

乾日機率在水稻聯合收穫機作業 計畫中之應用

The Application of Dry Day Probability on the Scheduling of Rice Combine Operation

邱 永 和

李 南 文

Chiu, Yung-ho

Lee, Nan-wen

ABSTRACT

The scheduling of rainfall sensitive outdoor activities is necessary for assigned task by a predetermined completion date. For example, the delaying of field works results in unfavorable growth conditions to crops in agriculture. Particularly, in a mechanized farm, the occurrence of rainfall greater than some specified levels becomes of vital concern because the losses of working time relate directly with losses of profit.

To estimate the workday of rice combine, a day was defined as a complete workday when its daily rainfall was less than 0.1 mm. The workday sequence of Taichung and Tainan was fitted by the first order Markov chain model, then Monte Carlo method was applied to simulate the occurrence of workday.

一、降雨對農機作業的影響

容易受天氣影響的產業，如果無法造成理想的天氣條件，則必須採取適合天氣條件的經營措施，才能達到收益最大及損失最小的成效而獲得經濟的利益，可知經營決策必須參考氣象資訊。

經營者應用氣象資訊，可以做較合理的決策而能達成有利的經營結果，因此應用氣象資訊具有經濟效益 (McQuigg, 1974)。

農業是最易受天氣影響的產業。例如各種田間作業——耕耘、種植、收穫等——都可能因降雨而必須停頓。以作業當時的降雨而言，作業者將感覺不舒適而停工；作業以前的降雨則使作物及土壤的自由水分增加而成爲不適於作業的情況，兩種情況

都減少了作業時間。

如果各種田間作業因作業時間不足而未能在適宜時期內完成，對作物的品質及產量都會產生不良的影響。本省的二期稻作因遷就栽培制度，不能配合適宜的天氣條件（在營養生長期遭遇高溫長日，在生殖生長期遭遇低溫短日）以致普遍較一期作產量低爲最明顯的例證（林和張，1975）。可知經營農場時，預估可作業時間而適時完成田間作業極爲重要。

田間作業如以機械代替勞力而實施時，因農機屬於鉅額投資，可作業時間多寡更與經營利潤息息相關。因此無論就經營計畫或經營成效而論，都亟須瞭解降雨對農機作業的影響且須正確地估計可作業時間。

有關農機的使用成本可區分為固定成本及變動成本。固定成本項下包括的折舊、利息費用與作業日數的關係如下所示 (邱及黃, 1975) :

$$D = \frac{C-R}{L} \times \frac{1}{Q} \quad (1)$$

$$I = \frac{C+R}{2} \times P \times \frac{1}{Q} \quad (2)$$

式中 D: 單位作業量的折舊費
C: 機械購置價格
R: 機械殘餘價格
L: 機械耐用年限
Q: 年工作量 = 日作業量 × 作業日數
I: 利息費用
P: 年利率

由(1)、(2)二式可知, 折舊及利息費用與作業日數成反比, 可作業日數較多的地區, 農機的使用成本較低。各地區的可作業日數如有差異, 則政府在補助金額以推廣農機時, 似亦宜根據使用成本的觀點而運用經費, 將有助於合理地分配資源。

即使有些農民使用農機並不以追求利潤為着眼, 但以計畫作業的觀點, 亦必須參考可作業日數定決策。

可作業面積、作業能量及可作業日數之間具有下述關係 (關、1978) :

$$S_r = \frac{Q \cdot C \cdot T}{m} \quad (3)$$

式中 S_r : 可作業面積
Q: 可作業日數
C: 機械作業能量
T: 每日實際作業時數
m: 各種作業實施次數

據此推論, 不論是爲了完成固定面積的田間作業而選擇適當作業能量的農機, 以免不當投資; 或是爲了使得某一農機充分利用, 而能增加其作業面積, 都必須參考可作業日資料, 做爲計畫的依據。

前已述及, 降雨對農機作業的影響可分為對作業者及對機械能力兩方面。其中降雨對機械作業能力的影響, 係因使土壤含水量增加, 導致硬度減少, 黏滯性增加, 使得機械牽引力低落; 但一般而言, 缺乏精確的物理關係資料。所以氣象局 (邱等, 1981) 嘗試以問卷調查方法歸納農民使用農機的經驗, 以便決定降雨的影響而能分析作業日數。

調查結果顯示, 各種降雨對於不同的農機作業

影響互異。以耕耘機而言, 作業之前的降雨雖然增加了田間土壤水分, 但只要在作業當時, 未曾發生足以使作業者停工的中等強度降雨 (降雨強度 > 3 mm/hr), 耕耘作業大致不受影響。動力插秧機的作業, 則因要求土壤有適當硬度, 如降雨使得田土泥濘, 作業便可能延誤。以臺南地區為例, 日降雨量超過 5mm 時, 可能因日蒸發量較少, 田土無法逐漸乾燥, 將使得作業延誤; 同時插秧作業也會因作業當時所發生的中等強度的降雨 (降雨強度 > 3 mm/hr) 而停頓。至於聯合收穫機, 由於機械的設計極不利於收穫潮濕稻谷, 些許自由水分 (例如稻谷上的露水) 都可能使得機械阻塞而無法作業。由於此種影響, 農民多等待稻株水分乾後才利用聯合收穫機作業, 顯著地減少了機械作業時間。

由於聯合收穫機容易受降雨影響, 且屬於昂貴農機, 本文特別着重討論聯合收穫機的例子。

多數農民表示, 即使稻株上僅有露水, 亦將等待露水乾透後, 才使用聯合收穫機開始作業, 其等待時間由半小時以至三小時不等。由於每晚實際測定的露量, 遠低於理論上的最大露量 1mm (Chang, 1968; Hsu and Sakanoue, 1980), 仍對收穫機作業產生不利的影響, 所以此處決定以日降雨量少於 0.1mm 時爲適宜聯合收穫機作業的作業日, 簡稱乾日 (d)。日降雨量大於及等於 0.1 mm 時, 視爲不適宜作業日, 簡稱雨日 (r)。

二、乾日機率的估算

根據前述定義, 欲求 n 天之內適宜聯合收穫機作業的日數即等於求算 n 天之內所出現的乾日日數。其方法首須列出各種乾日及雨日組合的機率 (共有 2^n 種組合), 再合併計算 1、2、3...n 箇乾日的機率。

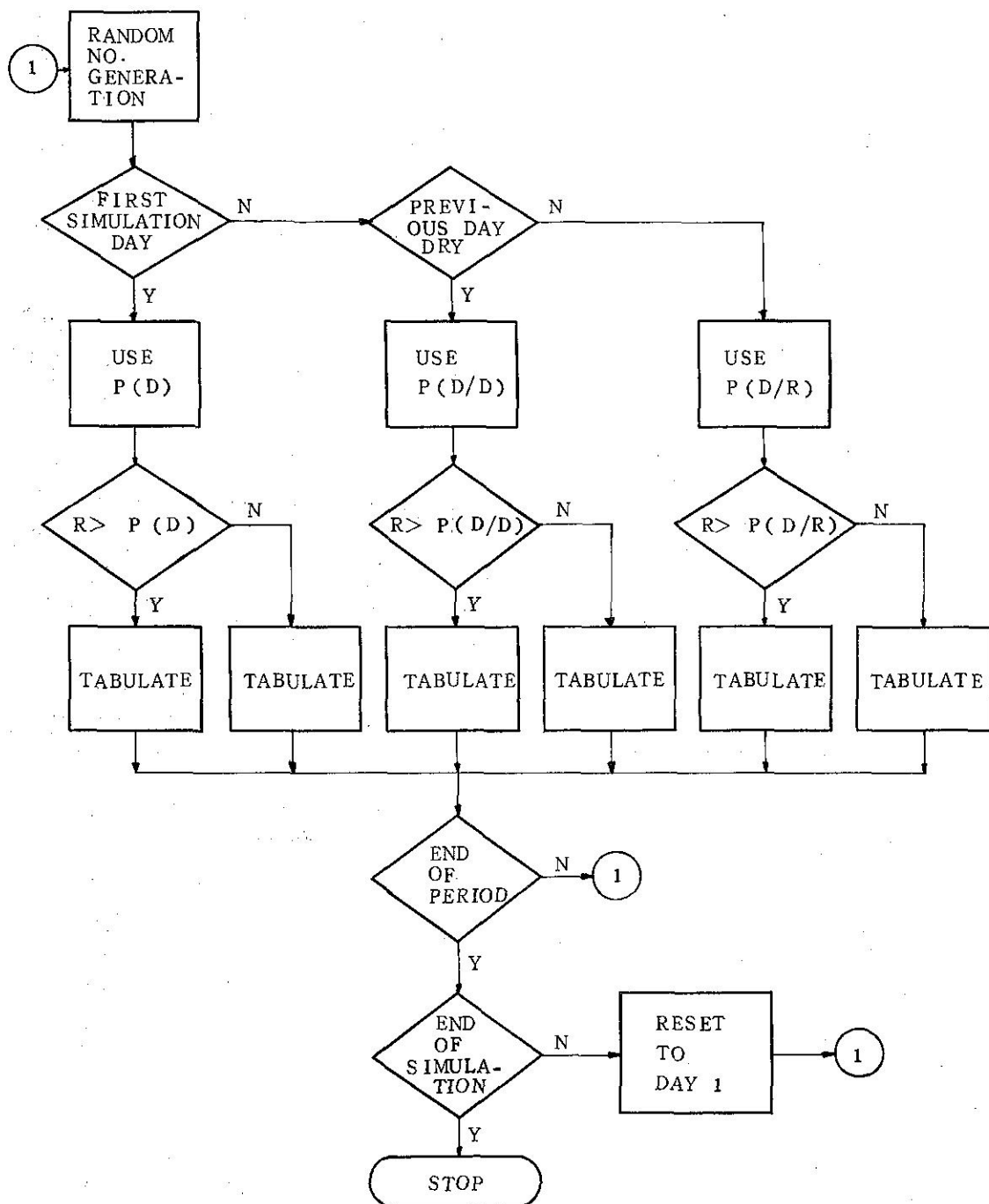
例如求 6 月 1 日至 6 月 4 日期間, 分別有 1、2、3、4 箇乾日的機率步驟如下:

(一)統計乾日及雨日十六種組合 (2^4) 的箇別機率, 分別爲 P (dddd)、P (dddr)、P (ddrd)、P (ddrr)、P (drdd)、P (drdr)、P (drrd)、P (drrr)、P (rddd)、P (rddr)、P (rdrd)、P (rdrd)、P (rrdd)、P (rrdr)、P (rrrd)、P (rrrr)。

(二)合併計算

$$1 \text{ 箇乾日機率} = P (\text{drrr}) + P (\text{rdrd}) + P (\text{rrdr}) + P (\text{rrrd})$$

$$2 \text{ 箇乾日機率} = P (\text{ddrr}) + P (\text{drdr})$$



圖一 Monte Carlo 方法作業流程

Fig. 1. Information flow chart of Monte Carlo method

$$+P(drrd)+P(rddr)$$

$$+P(rdrd)+P(rrdd)$$

$$3 \text{ 箇乾日機率} = P(dddr)+P(ddrd)$$

$$+P(drdd)+P(rddd)$$

$$4 \text{ 箇乾日機率} = P(dddd)$$

由此例可瞭解， n 較大時，根本無法處理；而實用上却往往要求估算長期間內（例如一個月， $n=30$ ）的乾日日數（Feyerherm and Bark, 1965）。

為避免直接計算的困難，Covert 等（1967）利用 Monte Carlo 方法求算乾日日數。此方法的重點在於：產生 0~1 的隨機數字，再與統計期間的乾日機率比較而決定是否為乾日，反覆模擬後，可得到近似常態的乾日頻度分佈，可視為乾日出現機率。圖一所示為 Monte Carlo 方法的作業流程。

不論是合併乾日與雨日組合機率而計算乾日日數，或是以 Monte Carlo 方法計算乾日日數，都必須注意乾日的出現係屬於相依事件而非獨立事件。這是因為許多大氣現象具有持續性，今天有雨之後數天內有雨的機率與今天無雨之後數天內有雨的機率並不相同；乾日的出現亦同。可知有關乾日機率的估算應以條件機率而非絕對機率為之。

估算乾日的條件機率必須先確定未來的乾日機率與過去的 n 日天氣有關。假如由今天的天氣情況即可決定明天出現乾日的機率，則乾日的條件機率為 $P(X_{n+1}|X_n)$ ；如需合併昨天及今天的天氣情況，才能較適切地決定明天出現乾日的機率，則條件機率成為 $P(X_{n+1}|X_n, X_{n-1})$ 。

隨機過程中的馬可夫過程指：不論有任何的過去事件 $(X_0=i_0, X_1=i_1, \dots, X_{n-1}=i_{n-1})$ 及現在事件 $(X_n=i)$ ，未來任意事件 $(X_{n+1}=j)$ 的機率只與現在事件有關而與過去事件無關

$$\begin{aligned} P\{X_{n+1}=j|X_0=i_0, X_1=i_1, \dots, X_{n-1}=i_{n-1}, X_n=i\} \\ = P\{X_{n+1}=j|X_n=i\} \end{aligned} \quad (4)$$

(4)式稱為簡單或一階馬可夫鏈模式。另有高階模式；如二階模式，指未來事件的機率與其前二次事件有關

$$\begin{aligned} P\{X_{n+1}=j|X_0=i_0, X_1=i_1, \dots, X_{n-1}=i_{n-1}, X_n=i\} \\ = P\{X_{n+1}=j|X_{n-1}=i_{n-1}, X_n=i\} \end{aligned} \quad (5)$$

若干研究者已根據馬可夫鏈模式求得乾（雨）日序列的理論分佈並與實測分佈相比較，認為該模

式可有效地描述乾（雨）日序列的分佈（Caskey, 1963; Weiss, 1964; Peng, 1967a, 1967b; Hsu and Sakanoue, 1975; 邱等 1981）。

利用卡方 (χ^2) 測驗法驗證乾日序列的理論與實測分佈是否相符以便決定適宜的馬可夫鏈模式（簡單或高階模式），再據以計算乾日的條件機率。

以下列出一階模式的乾日絕對及條件機率計算公式：

$$P(D_t) = \frac{\text{第 } t \text{ 天為乾日次數}}{\text{統計次數}} \quad (6)$$

$$P\left(\frac{D_t}{D_{t-1}}\right) = \frac{\text{第 } t-1 \text{ 及 } t \text{ 天皆為乾日次數}}{\text{第 } t-1 \text{ 天為乾日次數}} \quad (7)$$

$$P\left(\frac{D_t}{R_{t-1}}\right) = \frac{\text{第 } t-1 \text{ 天為雨日且第 } t \text{ 天為乾日次數}}{\text{第 } t-1 \text{ 天為雨日次數}} \quad (8)$$

三、臺中及臺南適宜聯合收穫機作業日數

為計算臺中及臺南兩地在一期作水稻收穫期間內適宜利用聯合收穫機作業的日數，首先分析二地區的乾日序列，應用卡方測驗證明其分佈可以一階馬可夫鏈模式加以描述（表一）。

表一 乾日序列實測與理論頻度比較，1971-1980。

Table 1. Observed and theoretical frequency distribution of dry day sequences, 1971-1980.

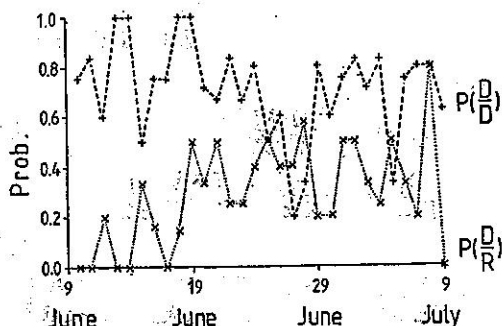
A臺中，6月10日至7月9日

序 列 長	實測頻度	一 階 模 式	
		理論頻度	χ^2
1	14	13	0.076
2	9	8	0.125
> 3	14	15	0.066
Σ	37	36	0.267
$< P_{\alpha=0.05} = 0.446$			

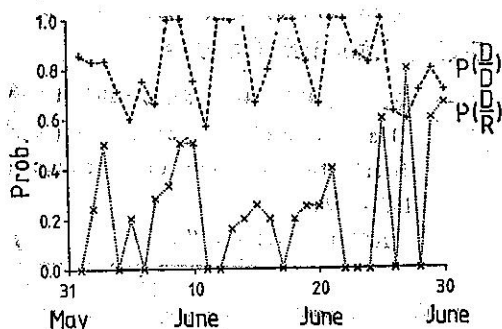
B臺南，6月1日至6月30日

序 列 長	實測頻度	一 階 模 式	
		理論頻度	χ^2
{ 1 2 }	7	9	1.777
> 3	18	14	1.142
Σ	25	23	2.91
$< P_{\alpha=0.05} = 3.841$			

利用(6)、(7)、(8)三式分別統計二地區 1971-1980年，收穫期間的乾日絕對機率及條件機率。由圖二可見乾日的條件機率有明顯的逐日變化，因此模擬時係使用逐日條件機率為之。

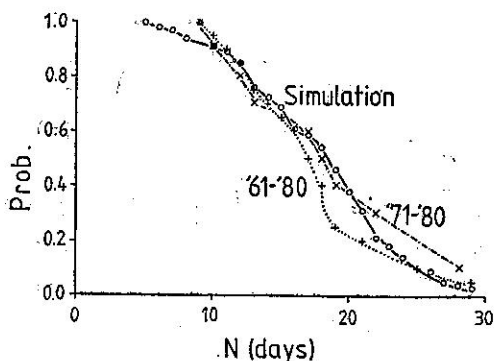


圖二A 臺中地區水稻收穫期間乾日條件機率的逐日變異
Fig. 2A. Fluctuation of conditional probability of dry day during harvesting period in Taichung.



圖二B 臺南地區水稻收穫期間乾日條件機率的逐日變異
Fig. 2B. Fluctuation of conditional probability of dry day during harvesting period in Tainan.

一般而言，Monte Carlo 法係應用於無法獲取實測資料的情況。例如藉助於模擬，可產生一千次或一萬次的統計期間內出現的適宜作業日日數，可比擬為一千年或一萬年的氣象資料。圖三即顯示利用臺南地區十年資料 ('71-'80)，二十年資料 ('61-'80) 及模擬一百次的資料所得到的累積機率分佈差異。由圖可見統計期間較短者所估計的較少及較多的作業日機率較高，且差異大。模擬法則期望藉大量模擬獲得近似常態的資料。

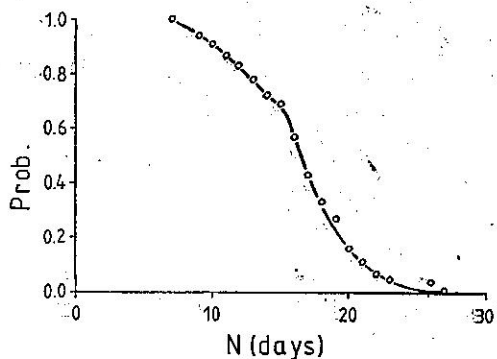


圖三 臺南地區不同統計期間及模擬100次作業日數的累積機率

Fig. 3. The cumulative probability of rice combine workday in Tainan of various data length and 100 simulation runs.

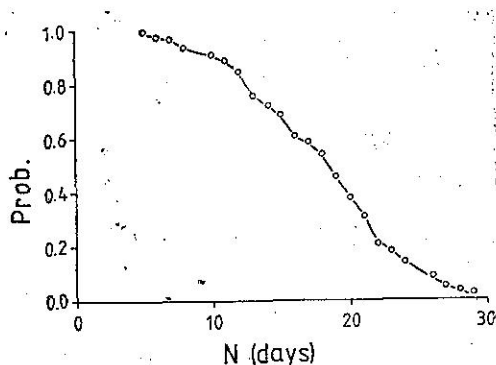
圖四顯示臺中 (A) 及臺南 (B) 二地收穫期間經一百次模擬的適宜聯合收穫機作業日數累積機率，此機率又可視為信賴水準。由圖可見二地在收穫期間有十至十六箇作業日的機率幾乎一致，約在 90%~60% 左右。可信賴水準高於 90% 的作業日數則以臺中較多，臺中至少出現有七箇作業日 (100%) 而臺南則僅有五箇作業日。

相反地如需要多於十六箇作業日時，臺南有較高的發生機率，最多可高於臺中達 20%。不過須注意的是，應用此資料時，通常是由應用者決定其所願意採用的信賴水準 (為安全著眼，可能須選用 80% 或 90% 的累積機率) 而判定可能擁有的作業日數



圖四A 臺中地區一期作適宜聯合收穫機作業日數的累積機率

Fig. 4A. The cumulative probability of rice combine workday of 1st crop in Taichung.



圖四B. 臺南地區一期作適宜聯合收穫機作業日數的累積機率

Fig. 4B. The cumulative probability of rice combine workday of 1st crop in Tainan.

，因此較少出現的作業日數多半不被採納。

由此結果可判斷，由於臺中在一期作收穫期間具有較臺南為多的作業日數，其聯合收穫機將可較臺南充分利用，使用成本較低而有較高的收益。

四、結 論

易受天氣影響的產業，其經營決策必須以氣象資訊為依據，才能達成較合理而有利的經營成果；而為了協助產業經營，氣象資訊應表達為適於決策的形式。

本省目前推廣使用的聯合收穫機，極不適宜收穫潮濕稻谷，一旦降雨，機械作業便易於延誤。為計畫作業、調配農機及分析投資收益亟須參考各地適宜聯合收穫機作業日數資料。

根據問卷調查，定日降雨量少於 0.1mm 時，為適宜聯合收穫機作業日。臺中及臺南的適宜作業日序列分佈經測驗合於一階馬可夫鏈模式，隨後應用 Monte Carlo 方法計算適宜作業日數並表為累積機率形式，以便參考應用。

五、誌 謝

本文承中央氣象局吳局長宗堯、張副局長領孝、郭組長文鏗及臺大森林系陳教授信雄惠予指正，謹此致最誠摯的謝意。

六、參 考 文 獻

1. 邱永和、曾文柄、徐君明、李南文，1981，臺灣不同地區降雨持續性與農業機械設備使用效率之相關研究，氣象學報 27(2):15-26。
2. 林鴻淇、張則周，1975，兩種溫度變化形式

下氮肥施用量對水稻產量及品質之影響，臺大農化學研究所博士論文。

3. 鄧清標、黃光華，1975，引進新型水稻聯合收穫機試驗及其結構性能之檢討，臺灣省農業試驗所研究彙報 32:78-88。
4. 關昌揚譯，1976，農業機械化技術，徐氏基金會，504 pp。
5. CASKEY, J. E., 1963, A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various length, Monthly Weather Review 91(6):298-301.
6. CHANG, J. H., 1968, Climate and agriculture, Aldine, Chicago, xvi+304 pp.
7. COVERT, R. P., GOLDHAMER, M. M. and LEWIS, G. F., 1967, An estimation of the effects of precipitation on scheduling of extended outdoor activities, J. of Applied Meteorology 6:683-687.
8. FEYERHERM, A. M. and BARK, L. D., 1965, Statistical methods for persistent precipitation patterns, J. of Applied Meteorology 4:320-328.
9. HSU, S. H. and SAKANOU, T., 1975, Probability and persistence of rainy days at Fukuoka, Sci. Bull. Fac. Agr. Kyushu Univ. 29(4):163-171 (in Japanese)。
10. HSU, S. H. and SAKANOU, T., 1980, Studies on dew, 1. On the dewy time and dew amount in southwest area of Taiwan, 農業氣象 36(2): 95-101.
11. MCQUIGG, J. D., 1974, The use of meteorological information in economic development. in: Application of meteorology to economic and social development. W. M. O. Technical Note No. 132:7-60,
12. PENG, L., 1967a, Wet and dry sequences at Taipei, Bull. of Inst. of Geophysics 1:28-35.
13. PENG, L., 1967b, Second and higher order stationary Markov chain models of daily rainfall occurrence, Bull. of Inst. of Geophysics 2:44-55.
14. WEISS, L. L., 1964, Sequence of wet or dry days described by a Markov chain probability model, Monthly Weather Review 92(4): 169-176.