

台中地區 1960-1999 年間之溫度及降雨分析¹

姚銘輝^{2,4} 盧虎生³ 朱 鈞³ 蔡金川²

摘要：我國農業生產一直以雨害為首位氣象災害。未來氣候變遷所導致之水文循環，降雨量將明顯變化，尤其是豪大雨發生的機率將大幅提高。本研究以台中地區過去 40 年(1960-1999 年)之氣象資料作分析，包括溫度及降水的變化趨勢。分析結果顯示，氣溫方面，40 年間平均氣溫增加 0.86℃，平均最高溫下降 0.41℃，平均最低溫則明顯上升 1.66℃，因此日較溫明顯下降。台中過去 40 年來降雨趨勢，總雨量僅些微增加，但在時間及空間上分布並不均勻。尤其是農作物生長期之春季(3,4,5 月)，降雨量、降雨時間及豪雨發生次數均顯著增加，將影響水稻生長及產量甚鉅，因為此段時期為水稻一期作主要生育期。至於降雨特性的預測模式，ARIMA 在春季降雨特性的可有效預測趨勢變化，但對於極端值仍有低估現象。

關鍵詞：降雨、氣候變遷、ARIMA 模式。

前 言

由衛星影像或各處地面觀測的結果顯示，全球氣候因溫室效應 (greenhouse effect)、都市化、工業化及商業化等作用下，平均氣溫上昇 0.5℃(1900 年-1994 年)⁽²³⁾。除陸地氣溫升高外，佔地球面積 7/10 的洋面溫度，在過去 100 年間氣溫也上昇 0.3~0.6℃⁽¹⁶⁾，也就是全球皆呈現暖化現象。姚等人⁽⁵⁾針對我國十個氣象站過去 45 年氣象資料分析發現，除恆春測站增溫不顯著外，其餘各站也呈暖化現象。大氣溫度的增加也使其他氣象因子產生改變，最明顯為水文循環加速，雲量、光照及降水皆受影響。因此以氣候變遷觀點而言，各項氣象因素間存在著因果關係或交感效應，雖然有些因素地域性及隨機性高，在趨勢判定及預測上較為困難，但透過多項氣象因素共同探討，較能有全面性的瞭解。

我國農業生產所遭遇之氣象災害以雨害最為嚴重，尤其以每年夏季豪大雨所造成的農業損失最為嚴重。在溫度昇高及水文循環加速下，評估未來雨量或雨強的發生及所造成的災害損失更形迫切。以過去全球各地降水記錄為例，季節間降水變異不同，一些國家(前蘇聯、挪威、瑞典及加拿大)降水在寒冷季節增加較明顯 (10-15%/100Yr)，暖季較不明顯(5%/100Yr)⁽²⁰⁾。但在澳洲則降水主要增加在溫暖的半年⁽³⁶⁾。Groisman *et al.*, (1999) 分析世界上 8 個幅員較大的國家，包括美國、墨西哥、前蘇聯、中國大陸、澳洲、挪威及波蘭等地，發現過去百年間，夏季平均降雨量增加 5%，但超過 1 英吋 (=25.4 公厘) 的降水事件，在中緯度 (30-60°) 國家增加 20% (是平均降水量增加率的 4 倍)，而在所增加 5% 的降水量中，大雨所佔的比重超過 50%，至於降水天數僅些微增加。但就全球平均而言，根據 IPCC (1995) 分析過去百年來全球降水量僅增加 1%。至於未來的情形，降雨特性在氣候變遷不同情景

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2115 號。接受日期：91 年 5 月 6 日。

2. 本所農工組助理研究員、副研究員。臺灣省：臺中縣 霧峰鄉。

3. 台灣大學農藝系教授。台北市。

4. 通訊作者，電子郵件：mhyao@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23325144。

(scenario) 下的預測, 平均降雨量僅些微增加^(26,37)。但是造成災害的降雨特性並非著重於量的平均, 而在於瞬間強度, 即是極端降雨發生的機率。由一些觀測報告指出, 極端降雨事件的發生在許多地區有增加現象^(17,22,24,31), 另由模式模擬的結果也呈增加現象, 這包括在澳洲⁽³⁹⁾及南非地區⁽³⁰⁾等地的結果。

降雨過多的逆境對農作物的傷害受多種因素影響。例如地下水位過高, 則容易引起淹水, 而使根生長障害。降雨時若風速過強, 則植株倒伏或折斷, 同時降雨時光照程度也導致光抑制現象及光合作用速率下降⁽⁶⁾。降雨和其他氣象因素相較, 對於作物的影響是全面性, 由大氣-作物-土壤三相皆涵蓋。過多降雨除造成淹水外, 降雨雨滴本身的物理性及化學性也影響植株地上部的生長。降雨化學性傷害主要是因污染所引起的酸雨或酸霧, 這部份已有相當多研究, 在本文中不再贅述。至於物理性傷害是指雨滴下降過程的衝擊力對葉片拍打所形成的傷害。此外, 降雨時間長短也影響作物生理反應⁽²⁷⁾。我國過去探討降雨的相關文獻中, 對於農作物的傷害大多著重於降雨量的多寡⁽¹³⁾, 事實上, 降雨持續時間及降雨強度也對不同作物有不同程度的傷害。因此, 在本研究中也針對降雨強度及持續時間作分析, 希望能瞭解降雨各種特性在過去四十年的變化趨勢。

台灣四面環海, 位於大陸及太平洋之間, 每年受颱風、梅雨鋒面及西南氣流的影響, 雨量非常豐沛。但就降雨時間的分佈極不平均, 夏季常有豪大雨發生, 但冬季則屬於旱季, 尤其是水稻一期作插秧期常遇缺水而休耕。雨量在時間及空間上分佈的不均勻, 在未來氣候變遷下恐更嚴重。童⁽¹²⁾以大甲溪上游集水區作預測, 在 2 倍 CO₂ 時, 平均降水量增加 4%, 其中豐水期增加 7%, 枯水期減少 3%。雨量在分佈上的極端化, 除需要有效管理水資源外, 對於過去降水資料的分析及極端降雨的預測, 或對農業災害損失的評估是相當重要的課題。本研究擬以台中地區過去 40 年 (1960-1999 年) 之氣象資料作分析, 包括溫度及降水, 探討兩項氣象因子的變化趨勢, 並針對豪大雨發生的次數及其他降雨特性的變化作統計分析, 並以時間序列方法進行分析, 以供未來研究參考用。

材料與方法

國內對於氣候歷史資料的分析與探討, 所採用方法大致可歸納為線性迴歸及移動平均兩種方法。本研究以線性迴歸分析台中地區氣候特性的長期趨勢, 探討不同氣象因子和降水間的關係, 並配合農作物 (主要為水稻) 生長期的劃分, 將降雨相關的特性 (例如降雨時數及降雨量) 以移動平均預測模式。在本研究所使用模式為時間序列模式中之 ARIMA, 以下簡單敘述該模式之特性⁽³⁸⁾。

ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average Model), 模式是由三部份所組成, 包括自迴歸 (Auto Regression; AR)、整合 (Integral; I) 及移動平均 (Moving Average; MA) 的隨機性模式。ARIMA (p,d,q) 定義為-時間數列 X_t , 若對任意 t 可寫成

$$\phi P(B)(1-B)^d X_t = \theta q(B) \Sigma_t$$

其中 $\Sigma_t \sim WN(0, \sigma^2)$; ϕP 為自我迴歸參數; d 表示差分(difference)的階次; θq 為移動平均參數。假設在隨機過程中, 每個觀測值可以表示為諸個互相獨立, 且具有相同機率分配之隨機變數序列 $at, at-1, at-2, \dots$ 之線性組合, 而這些隨機變數通常假設為常態分配, 若 t 時刻之觀測值與其前後任何時刻之值無關, 並且它的「期望值」(expected value)為 0, 變異數(variance)為 σ^2 , 則此時間序列稱為「白噪音」(white noise)數列。就模式選擇的程序, 首先由時間序列自身相關 (autocorrelation) 的型態預選可能的時間序列模式, 其次, 利用最大概度就選定之模式估計模式中之相關參數, 在經診斷, 若模式未顯現不當, 即可接受該模式; 反之, 則重新選定模式在經診斷, 直到選取合適的模式為止。ARIMA 模式建立包括模式之鑑定、估計、檢定及預測等, 有嚴謹的校驗過程, 此法已被證實為一預測誤差較小的模式, 廣泛應用在經濟、工程及環境科學等議題上。至於氣象科學的研究方面, 胡⁽⁷⁾首先利用 ARIMA 預測台北地區月平均氣溫及降水量的預測。張⁽⁸⁾利用恆春 98 年降雨資料描繪時間序列的 AR 及 MR 模式。

曾⁽¹⁰⁾則利用 ARIMA 預測南部梅雨季降水量，能有效掌握年度間變化。本研究是以 SPSS 套裝軟體 (Trends ver 6.1) 進行相關分析及 ARIMA 模式之建立。

結 果

氣候變遷主要是因人類大量使用石化原料，使大氣中二氧化碳濃度上昇所致。但大氣中實測二氧化碳的濃度，是在 1957 年美國夏威夷才開始設立觀測站，當時測得濃度為 314 ppm，至 1994 年上昇至 346 ppm。雖然台中地區氣象觀測已累積有百年以上的資料，但為避免過去資料的干擾，因此本研究是以 1960 至 1999 年，共四十年資料為分析對象。除此之外，氣候評估常以平均值作探討，會忽略空間上區域性的差異，及時間上極端值出現的頻率及所代表的意義⁽¹⁹⁾，因此，本研究僅以台中地區之個別區域作分析，雖較不具有代表性，但可針對該地作精確預估，並且可避免極端值的遺漏。

圖 1 為過去 40 年台中地區溫度變化趨勢，平均氣溫增加 0.86°C，平均最高溫下降 0.41°C，平均最低溫則明顯上升 1.66°C，因此日較溫明顯下降，這種情形普遍存在。Eastering *et al.*,⁽¹⁸⁾分析全球 5400 個氣象站，結果顯示全球大部份地區的日溫差皆呈下降現象，平均日溫差下降幅度為 0.84°C。

台中地區過去 40 年平均降水量為 1610 公厘，最高值出現在 1972 年之 2388 公厘，最低值為 1991 年之 979 公厘，依迴歸方式計算 40 年間降水增加 8.4% (圖 2)。降水由於屬隨機性強的氣象因子，每一降雨事件發生頻率及降水量差異甚大，變異係數 (coefficient of variation; CV) 達 21.4%。

為探討降雨與水稻生育的關係，在降雨特性分析中將一年 12 個月分為四季：春 (3 月~5 月)、夏 (6 月~8 月)、秋 (9 月~11 月) 及冬 (12 月~隔年 2 月)。台中地區水稻生長季節，一期作約為二月中下旬移植，3,4,5 月為營養生長及開花期，6 月為穀粒充實及收穫期；二期作為 8 月上旬移植，9,10,11 月為生育及成熟期。降雨對水稻生長的影響，主要為營養生長期雨水淋洗的傷害，開花期影響授粉及穀粒充實後期的倒伏等。降雨配合強風使穀粒充實的稻株發生倒伏，影響產量相當大，但倒伏區域的估算或受害損失評估難以量化，並且倒伏大多發生在一期作居多，二期作之收穫期 (十一月中下旬) 較少遭遇豪雨或強風，倒伏情形較少。因此依據水稻生長時期所會遭受雨害，而劃分降雨分析期間。冬季 (前一年 12 月、1,2 月；和一期作插秧供水有關)，春季 (3,4,5 月；一期作主要生長期)，夏季 (6,7,8 月；一期作成熟期及二期作幼苗期)、秋季 (9,10,11 月；二期作生長及成熟期)。由圖 3 之台中月平均雨量可知，雨量集中在梅雨季及夏季，兩季雨量佔全年雨量 80% 以上。春季 429.3 公厘，佔 26.7%；夏季 892.7 公厘，佔 55.4%。至於秋冬季為 154.9 及 133.6 公厘，分別佔 9.6 及 8.3%。過去 40 年降雨趨勢分析如圖 4 所示，此趨勢是以 1960-1999 年線性迴歸的計算值。結果顯示降水量及降水時數在冬及春季大幅增加，夏季變化不明顯，秋季則明顯下降，尤其是降水量下降最為明顯。至於降雨強度為降水量除以降水時數，以四季方式劃分則變化較小。由上述可知，台中地區降雨在季節的變化趨勢，以春季降雨量及降雨時數之增加最為明顯，冬雨次之，夏雨變化不明顯，秋雨則減少。

依現行氣象預報系統，當某一地區連續降雨，且一天累積降雨量可能超過 130 公厘，氣象局會發佈「豪雨特報」。如果降雨量不到 130 公厘，但卻在 50 公厘以上，且有可能造成災害時，便發佈「大雨特報」。在台中地區過去 40 年日雨量超過 50 公厘的次數為 305 次，超過 130 公厘為 52 次。至於多少降雨量才會對農作物造成傷害？依各種作物別而有所不同。吳等⁽³⁾由各縣市統計一期作水稻受害情形和降雨量的關係發現，當每三小時累積雨量大於 20 公厘或每六小時大於 30 公厘以上時，即發生水稻植株倒伏並造成浸水傷害。郭⁽⁹⁾依氣象災害調查資料發現，連續降雨 3 至 5 天，日平均雨量達 50 公厘以上，即會對甘藷、蔬菜和落花生等作物造成災害損失。申⁽²⁾則認為降雨持續三天且累積雨量達 150 公厘以上時，即可能對大多數作物的生長造成影響。檢視台中地區過去 40 年資料，上述評估造成災害的雨量發生頻率太少，在年度或季節中常有缺值，因此本研究僅以日雨量超 50 公厘及最大日降雨量作趨勢分析 (圖 5)。超過 50 公厘的天數在冬及春季稍增加，夏及秋季則略減少。最大雨量的趨勢秋季

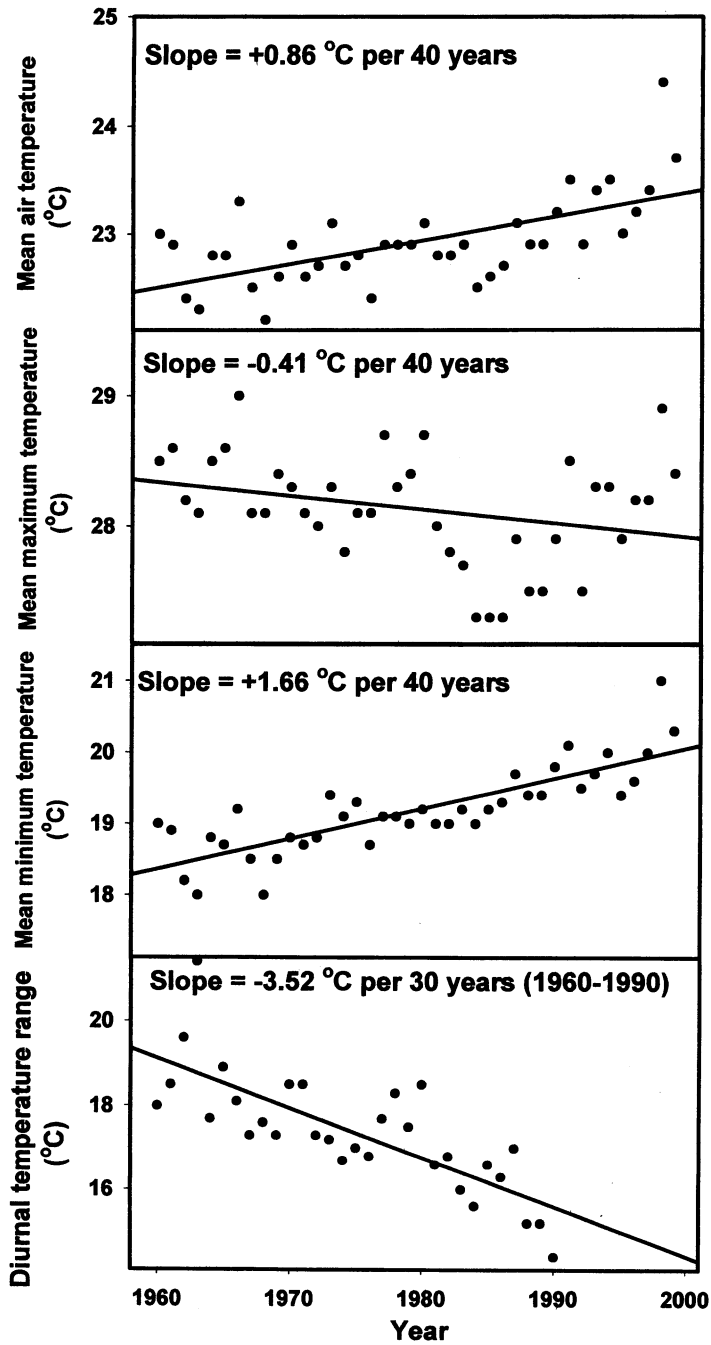


圖 1. 台中地區 1960 至 1999 年之年平均氣溫、最低溫度、最高溫度及日較溫之變化趨勢。

Fig.1 Annual trends for mean temperature, maximum temperature, minimum temperature and diurnal temperature range from 1960 to 1999 in Taichung area.

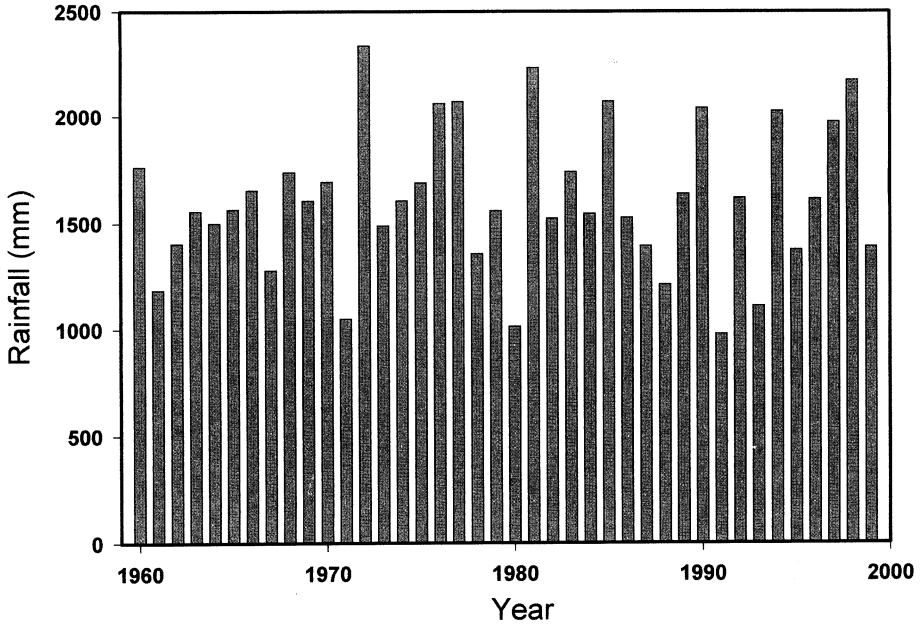


圖 2. 台中地區 1960 至 1999 年之年降雨量平均值。
Fig.2 Annual rainfall from 1960 to 1999 in Taichung area.

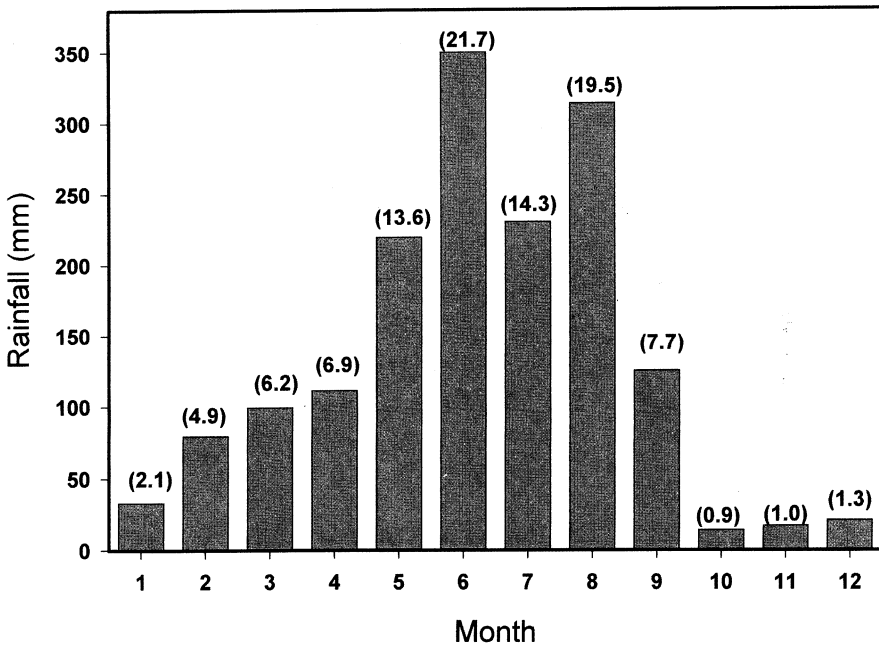


圖 3. 台中地區 1960 至 1999 年之月降雨量平均值。
Fig.3 Monthly rainfall from 1960 to 1999 in Taichung area. Percentage of total rainfall are expressed in parentheses

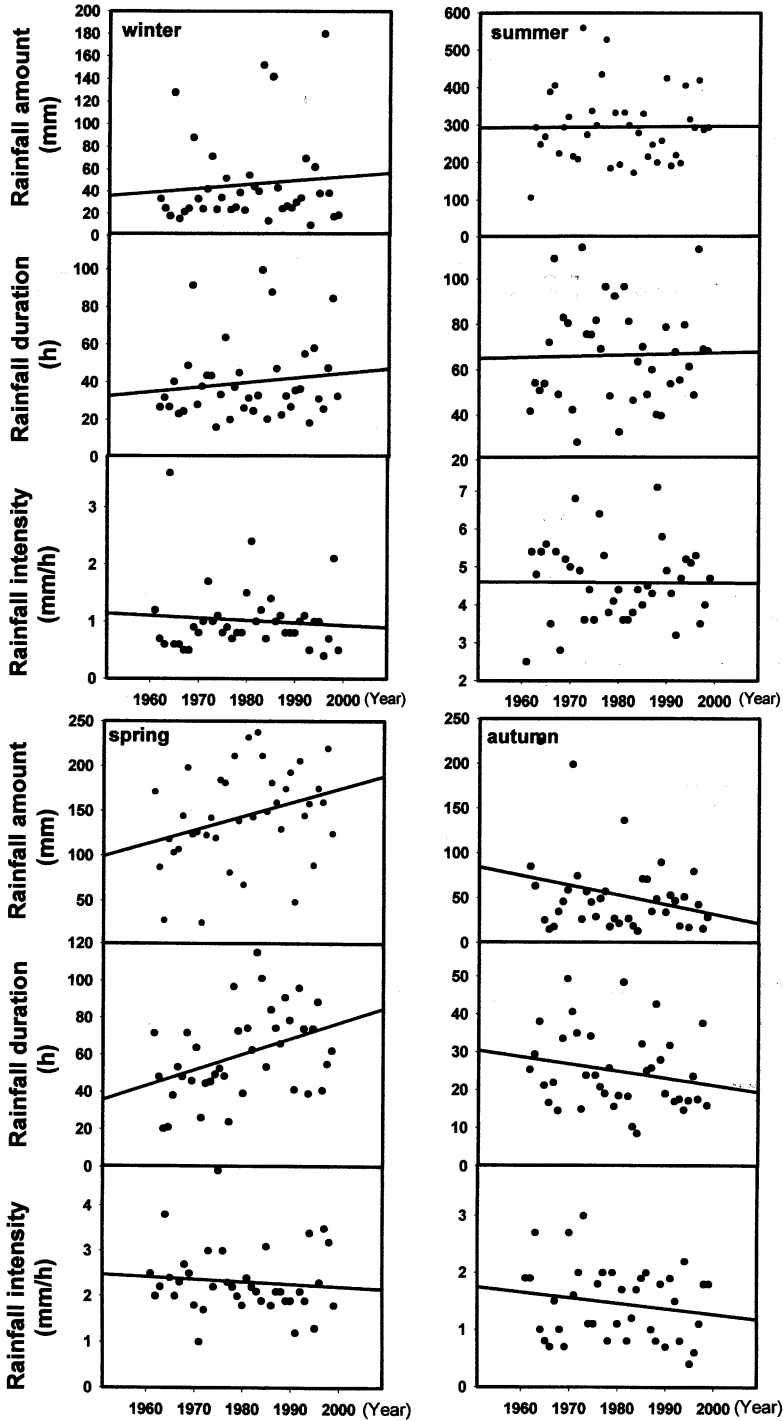


圖 4. 台中地區 1960 至 1999 年之季降雨量、持續時間及降雨強度之變化趨勢。

Fig.4 Seasonal trends for rainfall amount, duration and intensity from 1960 to 1999 in Taichung area.

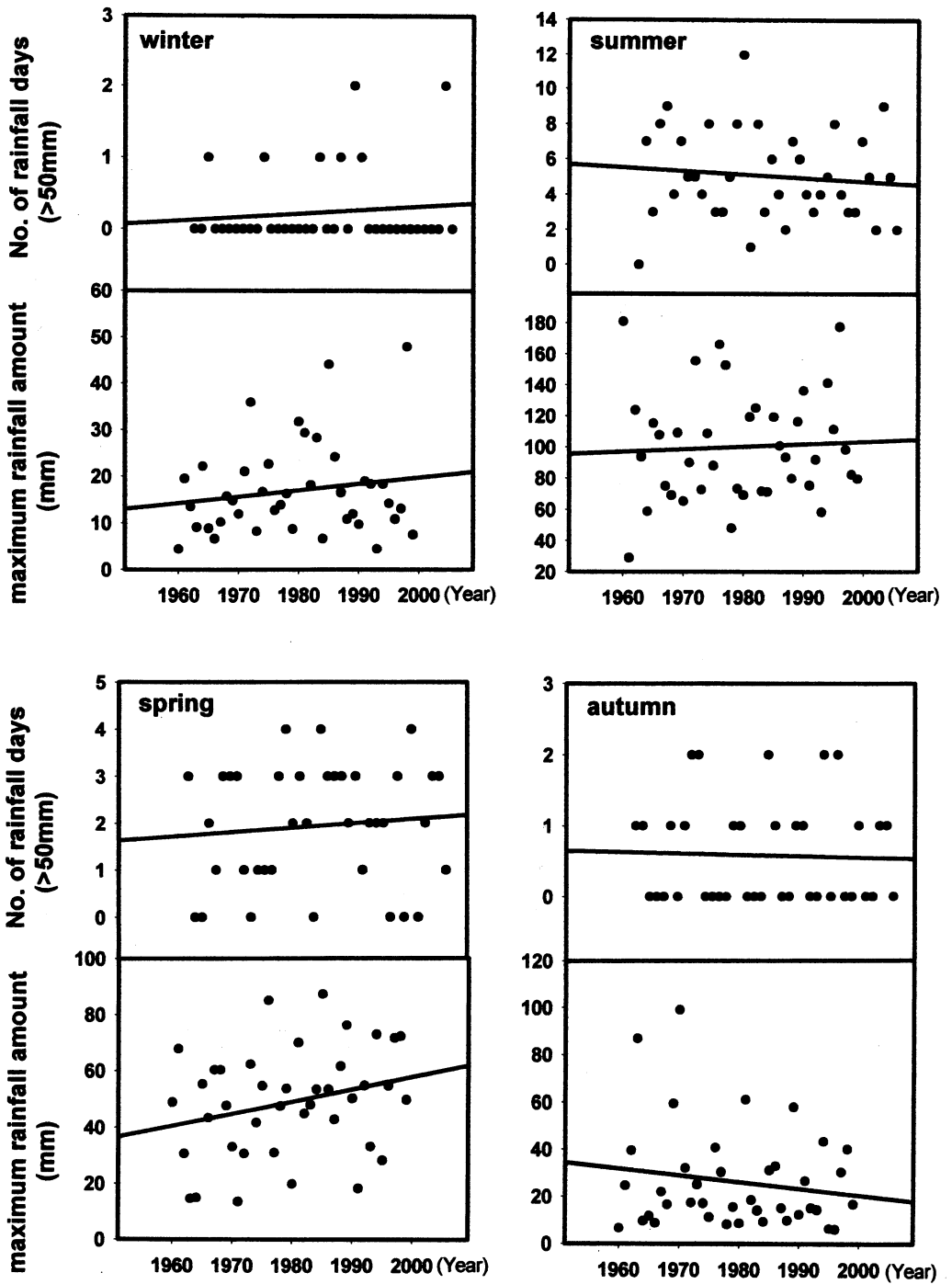


圖 5. 台中地區 1960 至 1999 年之季降雨大於 50 公厘天數、日最大降雨量之變化趨勢。

Fig.5 Seasonal trends for number of rainfall days (>50mm) and maximum rainfall from 1960 to 1999 in Taichung area.

仍是下降，其餘三季屬於則增加趨勢。

降雨時數和持續降雨天數對水稻生長有密切關係。由作物生理的研究，葉片持續濕潤影響光合作用的進行，同時降雨大多伴隨低日射量，長時間降雨阻礙生長⁽²⁸⁾。台中地區降雨日數連續性方面，降雨連續天數小於 3 日的事件及最長連續天數並無改變，連續降雨 4-7 天的事件則增加 18.7%（資料未顯示）。

一般探討作物生長受降雨影響常著重於雨量，但事實上，包括降雨持續時間、降雨強度或降雨所伴隨的低日射量，對作物的影響可能超過雨量本身的影響，不過對於這方面探討甚少⁽⁶⁾。由上述分析可知台中地區降水在過去的變化趨勢，雨量增加幅度集中在春季（3,4,5 月），此段時間又是作物生長的主要季節，因此本研究針對春季一些降雨特性利用時間序列分析方法建立預測模式，作為日後評估台中地區作物生長狀態的參考。

在時間序列模式的建構分為三個階段：階次認定（order identification）、參數估計（parameter estimation）及診斷檢定（diagnostic checking）。階次認定是以繪圖方式，由自我相關函數圖（autocorrelation function；ACF）、偏自我相關函數圖（partial autocorrelation function；PACF）及延伸自我相關函數圖（extend autocorrelation function；EACF）判斷 ARIMA（p,d,q）內之 p,d,q 階次，並根據差值判斷預測能力之優劣以選取合適模式，同時以最大概似估計法（Maximum likelihood estimation）計算參數之估算值。本研究中包括降雨量、降雨時間及最大降雨量之時間序列如圖 6 所示，降雨時間及最大降雨量是採取 3 年之移動平均。曾⁽¹⁰⁾利用 ARIMA 預測南部梅雨季降水量時，發現 3 年移動平均係以當年的數值加上前後各一年數值的平均，可消除部分由於降水自然週期，有利於長期趨勢探討。因此本研究所得到的最佳估計模式為 ARIMA（0,1,3）。不過整個序列有強烈趨於平均值的情形，也就是在極端值位置的振幅仍有低估現象。降雨量的預測，資料需先經過自然對數轉換過程，並配合移動平均設為 4 年，較能掌握變化趨勢。

討 論

大氣溫度上升影響地表的蒸發，使空氣中水汽循環加速，也就是降水（包括降雨、降雪及霧等）型態的氣象環境增加。但過去或未來大氣溫度是否增加？則有不同的看法，甚至質疑全球是否暖化⁽³²⁾。造成南轅北轍的結果主要在“雲”。Ramanathan *et al.*,⁽³⁴⁾利用衛星影像探討雲及輻射收支平衡發現，暖化是因雲粒子吸收長波輻射，冷卻則因將短波輻射反射回太空中所致。但是雲的形成、雲量多寡及雲層高度，雖然目前有氣象衛星但仍然無法加以量化，同時雲的數值處理也是氣候模式中最棘手問題⁽²⁹⁾。雲依據位置、厚度及含水量對溫度具有正反回饋機制。此外，大氣及地表水氣或水氣含量也影響雲的形成及變化等，雲更直接影響降雨量及光照強度。

雖然對於全球是否暖化仍有異議，但由地面實測資料分析結果，由全球較大區域的溫度變化趨勢而言，平均最高溫度保持不變或略為下降，但最低溫度增加迅速⁽³³⁾。由圖 1 的結果說明台中地區的溫度趨勢大致和全球變化一致。當然，一些區域性效應，諸如都市化、灌溉和區域性土地利用的變異都將影響日溫差⁽²⁵⁾。至於最高及最低溫度差異日漸縮小的原因，可能是雲量的增加和日射量減少所致⁽²³⁾。另一方面，由氣候模式的研究認為降低日溫差可能是結合吸收太陽輻射之部份紅外光、懸浮微粒、水汽的回饋和包含表面蒸散作用等因素所致^(21,35)。

豪大雨發生次數和氣象災害損失有直接關係。由圖 5 的結果可知，台中地區發生大雨在冬及春季的機率提高，但因冬季發生的次數偏低（40 年僅發生 9 次）並不值得重視，主要在春季不論是降雨量、降水時數及發生大雨的機率在過去 40 年皆有明顯增加的趨勢。虞及許⁽¹⁴⁾對我國各地降水量的分析結果，大致認為東部地區變化不大，西部以台中為分界，以北雨量增加，以南雨量減少。就季節分類，以春季（二月至五月）呈增加趨勢，北部及中部最為明顯，因此春季降雨的增加是普遍現象。這

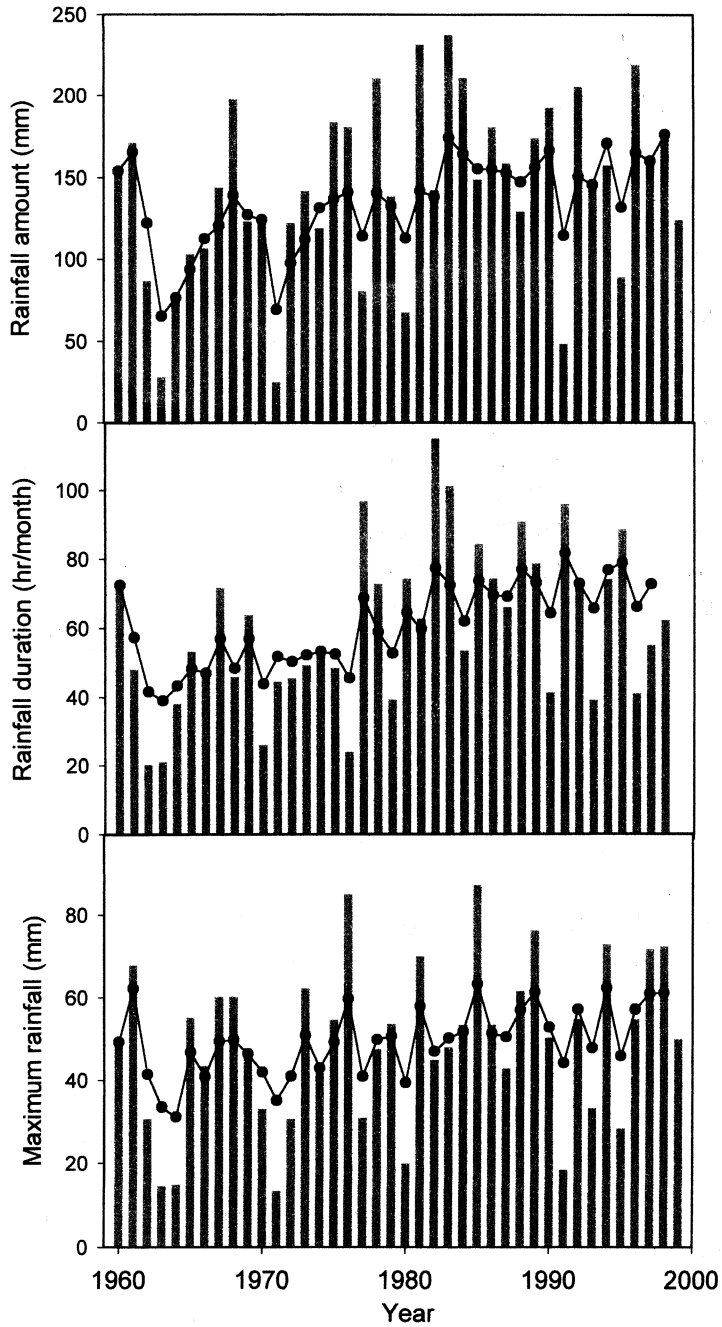


圖 6. 台中地區 1960 至 1999 年之春季降雨量、持續時間及降雨強度之時間序列分析。

Fig.6 Time series for rainfall amount, rainfall duration and maximum rainfall of spring season from 1960 to 1999 in Taichung area.

段時期又是一期作水稻生長期，而一期作又較二期作高產，因此就以水稻生產的觀點，此段時期雨害的相關研究是相當重要。

在本研究中結果部分曾說明，台中地區連續降雨日數 4-7 天的次數有增加情形，至於短於 3 天及長於 7 天的次數並未改變。由於降雨日數越長，作物能接受日射量相對減少，這對光合作用進行及碳水化合物累積影響極大。事實上，連續降雨日數與降水類型有關。李及黃⁽⁴⁾研究不同類型降水在空間雨量的差異，發現鋒面性降雨在測站距離 30 公里，相關係數可達 0.8；滯留鋒面（梅雨）在 20 公里仍可達 0.8；至於對流雨（雷雨）屬局部性降雨，各站間相關性偏低。程及賴⁽¹¹⁾分析我國 13 個測站過去 40 年降水類型之趨勢，發現颱風雨除東部增加外，其餘各地皆減少。對流雨及地形雨則大多增加，台中地區以發生在春季為多。梅雨在玉山以北下降，以南則增加，中部地區則變化幅度較大。同時作者認為降水類型受聖嬰現象影響。但蕭⁽¹⁵⁾以聖嬰現象和台灣地區降水量之相關性的分析中，在聖嬰 (El Niño) 或反聖嬰 (La Niña) 歷史紀錄期間，我國各地的降雨量並未有增加或減少的情形，同時影響聖嬰現象的海面溫度 (Sea Surface Temperature; SST) 和降雨量的相關係數甚小，作者認為聖嬰現象應不是影響台灣地區降雨的主要因素。

降雨預測對於事前防範及事後災害損失評估極為重要。以現行降雨預報而言，可分為經驗法、統計法及數值預報法，其中以數值法為最客觀預報方法，但此種方法需有可靠觀測資料，並且對物理模式及架構之依賴性甚高，受限於解析度，目前預報能力為兩周，但事實上，準確度只能維持一周以內較為準確。至於較長時間量化的預報，大部分仍必須依賴統計方式，根據大陸學者尤等⁽¹⁾對昆明近百年月雨量時間序列之研究結果認為，月雨量的可預報度為五個月，準確度約為 60-65%。而較長時間或氣候變遷的議題研究，大致僅能由 GCM 模式針對“趨勢” (trend) 作探討，而無法有精確量化預估。

結 論

我國農作物生產一直以雨害為首位氣象災害，每年因降雨所造成嚴重農業損失之事件連續發生，雖然可利用人工設施加以克服，但也僅限於少數園藝作物。未來氣候變遷所導致之水文循環，降雨量將明顯增加，尤其是豪大雨發生的機率將大幅提高，面對此種環境，實有必要加強降雨相關的研究，尤其是與農作物生長有關的特性。

在探討雨害之事前防範措施及事後災害評估時，需先瞭解雨的不同特性對作物傷害有不同型式，舉例來說，我國夏季常有蔬菜短缺現象，主要是豪雨造成蔬菜生產區減產，瞬間豪雨使排水溝渠無法迅速排除，而造成淹水現象；另大型粒徑之雨滴對葉菜類蔬菜葉片的拍打，造成細胞破損呈水漬狀，而失去商品價值。農藝作物之營養生長期對降雨持續時間及低日射量較敏感，成熟期則是降雨後泥濘土壤若配合強風則有倒伏之虞。國內外有關降雨特性對不同作物的影響研究甚少，我國在探討雨害防範及災害預測時，需針對降雨所產生災害有更多方面的探討，才能適切的掌握雨害的損失。

就降雨的統計分析而言，降雨由於隨機性很強，在分析及預測上難度較高，同時所受影響因素極多，如大氣環流、地面蒸發散、海拔高度及地形等，相鄰測站的紀錄可能不同，尤其是地形雨及對流雨更難預測。以台中地區分析為例，過去 40 年來降雨趨勢，總雨量僅些微增加，但在時間及空間上分布並不均勻，尤其是農作物生長期之春季 (3,4,5月)，降雨量及豪雨發生次數顯著增加，此段時期除水稻一期作主要生育期外，也是果樹如桃、李、荔枝開花授粉期，總降雨量或降雨時間過長，影響果樹之結果及產量甚鉅，在未來更應加強此段時間之降雨預測及防範措施研究。

引用文獻

1. 尤衛紅、嚴華生、伍從斌。1995。月雨量的可預報性估算試驗。熱帶氣象學報 11: 41-61。
2. 申雍、陳守泓。1994。台灣西南部地區梅雨期間大雨發生機率空間分佈之研究。氣象學報 40: 160-167。

- 3.吳宗堯、陳泰然、謝信良、喬鳳倫、陳正改。1984。台灣地區春至初夏之局部性豪雨及其對水稻災害之初步分析。大氣科學 11 : 29-44。
- 4.李炳和、黃學文。1997。嘉義山區日降雨量之空間分佈特性分析。中華農業氣象 4 : 133-138。
- 5.姚銘輝、盧虎生、朱鈞。1999。台灣地區日溫差之分析。中華農學會報 188 : 32-46。
- 6.姚銘輝。2001。人工降雨對水稻生理反應及生育之影響。國立台灣大學農藝學研究所博士論文。台北。台灣。中華民國。
- 7.胡仲英。1977。應用 ARIMA 模式對台北市月平均溫度與總降水量的分析與預測。氣象學報 23 : 15-26。
- 8.張培臣。1995。時間數列的自迴歸與移動平均模式及應用。氣象預報與分析 144 : 34-40。
- 9.郭文鏞、曾文柄、楊之遠、鄭淑賢。1980。台灣地區氣象因子與水稻產量預測模式之初步研究。氣象學報 26 : 71-79。
- 10.曾鴻陽。1996。應用時間序列 ARIMA 模式預測台灣南部地區梅雨季降水總量。華岡理科學報 13 : 169-180。
- 11.程萬里、賴威志。1998。近四十年台灣地區降水類型與趨勢之分析。中華農業氣象 5 : 15-26。
- 12.童慶斌。1997。氣候變遷對大甲溪上游河川流量之衝擊。臺灣水利季刊 45 : 64-70。
- 13.楊之遠。1979。台灣地區溫度年變化與水稻安全栽培期限之關係。氣象學報 25 : 21-28。
- 14.虞國興、許書平。1998。氣候變遷對水資源之衝擊-雨量分析。農業工程學報 44 : 9-23。
- 15.蕭政宗。2000。聖嬰現象與台灣地區降雨量之相關分析。農業工程學報 46 : 93-109。
- 16.Cane, M.A., A.C. Clement, A. Kaplan, Y. Kushnir, D. Pozdnyakov, R. Seager, S.E. Zebiak, and R. Murtugudde. 1997. Twentieth-century sea surface temperature trends. *Science* 275 : 957-960.
- 17.Changnon, S.A. 1985. Climate fluctuations and impacts : The Illinois case. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 66 : 142-151.
- 18.Easterling, D.R., B. Horton, P.D. Jones, T.C. Peterson, T.R. Karl, D.E. Parker, M.J. Salinger, V. Razuvayer, N. Plummer, P. Jamason, and C.K. Folland. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277 : 364-366.
- 19.Groisman, P.Y., T.R. Karl, D.R. Easterling, R.W. Knight, P.F. Jamason, K.J. Hennessy, R. Suppiah, C.M. Page, J. Wibig, K. Fortuniak, V.N. Razuvaev, A.L. Douglas, and P.M. Zhai .1999. Changes in the probability of heavy precipitation: important indicators of climate change. *Climate Change* 42 : 243-283.
- 20.Groisman, P.Y., and D.R. Legates. 1995. Documenting and detecting long-term precipitation trends: Where we are and what should be done. *Climate Change* 31 : 601-622.
- 21.Hansen, J., H. Wilson, M. Sato, R. Ruedy, K. Shah, and E. Hansen. 1995. Satellite and surface temperature data at odds ? *Climate Change* 30 : 103-117.
- 22.Hopkins, L.C., and G.J. Holland. 1997. Australian heavy-rain days and associated East coast cyclones : 1958-92. *J. Climatol.* 10 : 621-635.
- 23.International Panel on Climate Change (IPCC), 1995: *Climate Change 1995. The Supplementary Report to IPCC Scientific Assessment.* Cambridge : Cambridge University Press,
- 24.Iwashima, T., and R. Yamamoto. 1993. A statistical analysis of the extreme event: long-term trend of heavy daily precipitation. *J. Meteorol. Soc. Jpn.* 71 : 637-640.
- 25.Karl, T.R., P.D. Jones, R.W. Knight, G. Kukla, N. Plummer, V. Razuvayev, K.P. Gallo, J. Lindsey, R.J. Charlson, and T.V. Peterson. 1993. A new perspective on recent global warming : Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Am. Met. Soc.* 74 : 1007-1023.
- 26.Katz, R.W., and B.G. Brown. 1992. Extreme events in a changing climate : Variability is more important than average. *Climate Change* 21 : 289-302.
- 27.Kimura, K. 1987. Studies on plant response to rainfall. (IX) Effect of the duration and intensity of rainfall on the growth of the bean plant . *J. Agric. Met.* 42 : 319-327.(in Japanese)
- 28.Kimura, K., and S. Tanakamaru. 1980. Studies on plant response to rainfall (I) Effect of rainfall on dry matter production of plant leaves. *J. Agric. Met.* 36 : 189-195. (in Japanese)
- 29.Mahlman, J.D. 1997. Uncertainties in projections of human-caused climate warming. *Science* 278 : 1416-1417.
- 30.Mason, S.J., and A.M. Joubert. 1997. Simulated change in extreme rainfall over Southern Africa. *Int. J. Climatol.* 17 : 291-301.
- 31.Mason, S.J., P.R. Waylen, G.M. Mimmack, B. Rajaratnam, and D.J.M Harrison. 1999. Changes in extreme rainfall events in South Africa. *Climate Change* 41 : 249-257.
- 32.Pearce, F. 1997. Greenhouse wars. *New Scientist* 2091 : 38-54.
- 33.Plantico, M.S., T.R. Karl, G. Kukla, and J. Gavin. 1990. Is recent climate change across the United States related to rising levels of anthropogenic greenhouse gases ? *J. Geophys. Res.* 95 : 16617-16637.

34. Ramanathan, V., R.D. Cess, E.F. Harrison, P. Minnis, B.R. Barkstrom, E. Ahmad, and D. Hartmann. 1989. Cloud radiation forcing and climate: Results from the earth radiation budget experiment. *Science* 243 : 57-63.
35. Stenchikov, G.L., and A. Robock. 1995. Diurnal asymmetry of climatic response to increased CO₂ and aerosols : Forcings and feedback. *J. Geophys. Res.* 100 : 26211-26227.
36. Suppiah, R., and K.J. Hennessy. 1998. Trends in total rainfall, heavy rainfall events, and number of dry events in Australia, 1910-1990. *Int. J. Climatol.* 10 : 1141-1164.
37. Wagner, D. 1996. Scenarios of extreme temperature events. *Climate Change* 33 : 385-407.
38. Wei, W.S. 1994. *Time Series Analysis*. Addison Wesley company, California, U.S.A.
39. Whetton, P.H., A.M. Fowler, M.R. Haylock, and A.B. Pittock. 1993. Implications of climate change due to the enhanced greenhouse effect on floods and droughts in Australia. *Climate Change* 25 : 289-317.

Temperature and Rainfall Analysis in Taichung Area, 1960-1999¹

Ming-Hwi Yao^{2,4}, Hsu-Shen Lur³, Chun Chu³ and Jin-Chuan Tsai²

Summary

Rainfall could cause serious meteorological damage in agricultural production. Owing to the effects on hydrological cycle by global climate change, especially for the heavy rain. Meanwhile rainfall intensity is also one of the important factors affecting crop production. The objectives of this study is firstly to analyze the trends on total amount precipitation, rainfall duration, rainfall intensity, and other meteorological factors in Taichung over the past 40 years (1960-1999), and to evaluate the impacts of rainfall on the growth and yield of rice. In the change of meteorological factors over the past 40 years, the results showed that the mean temperature increased 0.86°C , mean maximum temperature decreased 0.41°C , and mean minimum temperature increased more than 1.66°C . Therefore, there was a significant decline as 2°C for diurnal differential temperature in Taichung. As for the trends of rainfall, the total amount of rainfall over the past 40 years increased slightly, but the rainfall distribution in temporal and spatial was unequal. The total amount and duration of rainfall, as well as the number of rainstorms apparently increased in spring (Mar, Apr and May) season, which could significantly influence rice yield for rice cultivation. For the establishment of rainfall forecasting the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) model was employed and the trend of the change in precipitation during spring season could be effectively predicted.

Key word : Rainfall, Climate Change, Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

1. Contribution No.2115 from Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture. Accepted by May 6, 2002.

2. Respectively, Assistant and Associate Researches, Department of Agricultural Engineering, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

3. Professor, Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.

4. Corresponding author, E-mail: mhyao@wufeng.tari.gov.tw; Fax: (04)23325144.