

# 臺灣地區年際異常氣象狀況對農業生產之影響

陳守泓<sup>1\*</sup>、李炳和<sup>2</sup>、姚銘輝<sup>1</sup>、申雍<sup>3</sup>

<sup>1</sup>行政院農委會農業試驗所農業工程組

<sup>2</sup>交通部中央氣象局嘉義氣象站

<sup>3</sup>國立中興大學土壤環境科學系

## 摘要

本研究依據環繞臺灣地區的10個中央氣象局平地氣象站，自1949-2003年的觀測資料，整理各地區每年低溫( $\leq 10^{\circ}\text{C}$ )與高溫( $\geq 30^{\circ}\text{C}$ )的日數、日絕對最低與最高氣溫、年累積降雨量與降雨( $\geq 1.0\text{mm}$ )日數、日最大降雨強度等項目，以及1959-2003年的侵臺颱風數目，以瞭解屬於全面性之異常氣象狀況的發生情形。再以十年為週期統計分析各災害性天氣狀況的發生趨勢，並與農業氣象災害損失程度進行關聯性分析。分析結果指出，近年來侵臺颱風數目和日降雨強度均有增加的趨勢，雖然受害面積將因農地釋出而不至於大幅增加，但受損金額預期仍將持續增加。由於作物雨害與降雨日數的異常增多有較密切的關係，但降雨日數並未呈現明顯偏多的異常趨勢，因此預期未來雨害受害面積和受損金額仍將持續目前的下降趨勢。旱害與年降雨量和降雨日數的異常偏低(少)，以及日絕對最高溫和 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日數的異常偏高(多)有關，雖然降雨日數並未呈現明顯偏少的趨勢，高溫異常偏高的趨勢也不明顯，但年降雨量異常偏少的可能性增加，因此預期未來旱害的受害面積和受損金額仍將持續目前的上升趨勢。寒害與 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 的日數和日絕對最低氣溫的

異常偏多(低)有關，受氣候暖化之影響，平地農作物大面積遭受寒害的機率已很低，但山坡地上經濟果樹仍有局部受害的可能，受損金額也不容忽視。因此臺灣地區因異常氣象狀況所導致的嚴重農業氣象災害仍將持續發生，且受損金額有逐年擴大的趨勢。

**關鍵詞：**農業氣象災害、颱風、雨害、旱害、寒害。

## Occurrence of Annual Abnormal Meteorological Conditions and Its Effect on Agricultural Production in Taiwan

Shou-Hung Chen<sup>1\*</sup>, Ping-Ho Lee<sup>2</sup>, Ming-Hwi Yao<sup>1</sup> and Yuan Shen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Agricultural Engineering Division, Agricultural Research Institute, COA, Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC.

<sup>2</sup> Chiayi Meteorological Observatory, CWB, MOTC, Seiko, Chiayi Hsien 61359, Taiwan ROC

<sup>3</sup> Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 40227, Taiwan ROC

## ABSTRACT

In this study, yearly data, including number of days  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  ( $D_{10}$ ) and  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  ( $D_{30}$ ), the lowest ( $T_{\min}$ ) and the highest ( $T_{\max}$ ) temperatures, accumulated precipitation ( $P_{\text{acc}}$ ), number of days with precipitation  $\geq 1.0\text{mm}$  ( $D_{1.0\text{mm}}$ ), and maximum daily rainfall intensity ( $I_{\text{rain}}$ ), from 1949-2003 of 10 Central Weather Bureau (CWB) weather stations distributed around the island and number of typhoon that may invade Taiwan during 1959-2003 were collected. Occurrence of

通信作者, chensh@wufeng.tari.gov.tw

投稿日期：2006年7月12日

接受日期：2006年10月6日

作物、環境與生物資訊 3:307-316 (2006)

Crop, Environment & Bioinformatics 3:307-316 (2006)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC

island-wide abnormal meteorological conditions were first identified and followed by 10 year moving average to study the trend. Correlation among severe agrometeorological disasters and those abnormal meteorological conditions were also analyzed. Results indicated that the numbers of typhoon and  $I_{rain}$  were increasing recently. Though the acreage of damaged agricultural land was not increased, the economical loss showed a steady increasing trend. The  $D_{1.0mm}$ , without significant abnormal changing trend, showed positive correlation with heavy rainfall damage to agriculture production. It is expected that the acreage and economical losses of agricultural production due to heavy rainfall will both follow the current decreasing trend. Drought damages showed negative relationship with  $P_{acc}$  and  $D_{1.0mm}$  and positive relationship with  $D_{30}$  and  $T_{max}$ . There was neither significant decreasing trend of  $D_{1.0mm}$  nor increasing trend of  $T_{max}$ , but  $P_{acc}$  showed significant variation between abnormally high and low. It is expected that the acreage and economical losses of agricultural production due to drought will both follow the current increasing trend. Cold damages showed positive relationships with  $D_{10}$  and  $T_{min}$ . There was significant warming trend in current years. It is expected that chances of having extensive cold damages over flat land will be rare. However, fruit trees grown on hills suffering significant economical losses due to cold damages may still occurring locally. Thus, severe agrometeorological disasters due to abnormal meteorological conditions will continue to occur and the losses are expected to be expanding.

**Key words:** Agrometeorological disaster, Typhoon, Rainfall damage, Drought damage, Cold damage.

## 前言

Hsu and Chen (2002)指出，過去百年來臺灣地區氣溫上升速率在  $1.0-1.4^{\circ}\text{C}/\text{百年}$  之間，增溫趨勢夏季( $1.37^{\circ}\text{C}/\text{百年}$ )比冬季明顯( $0.83^{\circ}\text{C}/\text{百年}$ )，因此年溫差呈現上升的趨勢。北部及東部的測站(新竹、花蓮、淡水)呈現雨量漸增的趨勢，幅度在  $3-4\text{ mm year}^{-1}$  之間；南部的測站(恆春)則呈現雨量漸減的趨勢，幅度為  $-3.99\text{ mm year}^{-1}$ ，略有北增南

減的趨勢。由於各測站雨量的增減多發生於雨量最多的季節，因此乾季與雨季間的雨量差，在北部呈現增加的趨勢，在南部則反之。年降雨日數方面，臺北、臺中、恆春測站呈現減少的趨勢，幅度在  $-26\text{ 日}/\text{百年}$  到  $-36\text{ 日}/\text{百年}$  之間；新竹、臺南、臺東測站則呈現增加的趨勢，幅度在  $22\text{ 日}/\text{百年}$  到  $57\text{ 日}/\text{百年}$  之間。中央氣象局(1994)分析近三十年之降雨資料指出，全年降水在東部和北部約增加 5%，西南部地區約減少 10~20%。Wu (1992)指出，在降水量的季節變化方面，秋、冬季時東部和北部增加，中南部略減；春、夏季時各地區都減少；梅雨季早期減少但後期增加。這些有關臺灣地區氣候變化的研究，多著重於月、季或年之氣溫和雨量的變化，較少探討異常天氣發生頻率的年際變化。

臺灣地區氣候資源非常豐富，各地區農民所生產的作物和栽培管理方式也會依氣候環境變化而調整。若氣候環境稍有變動，通常對於作物生產影響不大，但若遇有異常的災害性天氣狀況發生，則作物生產將會受到嚴重傷害。臺灣地區農作常見的氣象災害可概分為風害、雨害、旱害、及寒害等四大類(Kuo 1980, Yang 1995)。農業氣象災害不僅造成臺灣地區農民的損失也造成物價的波動，對國計民生的影響甚為深遠。因此本研究擬探討臺灣地區過去 50 年間，異常氣象狀況發生頻率的變化趨勢，以及對於農業生產的影響。

## 資料與分析方法

中央氣象局位於島內之局屬站中觀測資料超過 50 年者共有 15 站，除玉山站外，本研究選擇平均分佈於全島四周的基隆(466940)、淡水(466900)、新竹(467571)、臺中(467490)、臺南(467410)、高雄(467440)、恆春(467590)、臺東(467660)、花蓮(466990)、宜蘭(467080)等 10 個平地氣象站進行分析，分析項目有每年  $\leq 10^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 30^{\circ}\text{C}$  的日數、絕對最低與最高氣溫、累積降雨量、日最大降雨

強度、降雨日數( $\geq 1.0 \text{ mm day}^{-1}$ )，以及侵臺颱風數目。資料取自中央氣象局之地面氣候觀測年報與颱風資料庫，氣候資料時間範圍為 1949-2003 年，颱風資料時間範圍為 1959-2003 年。

由於受測站所處地理位置和地形的影響，各測站同一分析項目數值的變化範圍並不相同，不應僅用超過或低於某一通用數值作為判斷是否異常的依據。因此先逐站將各分析項目依數值大小進行排序，取 55 年資料中的第 10 個最大值( $\text{Max}_{10}$ )與最小值( $\text{Min}_{10}$ )作為判斷該站該分析項目是否異常的標準，逐年依據分析項目數值給予 1、0、-1 的得分，分別代表 $\geq \text{Max}_{10}$ 、介於  $\text{Max}_{10}$  與  $\text{Min}_{10}$  之間、 $\leq \text{Min}_{10}$  三種狀況。再依各年份所選的測站中，是否有超過半數(含以上)測站得分為-1 或 1，作為判定該年份臺灣地區曾發生廣泛性偏少或偏多異常狀況的依據。進而以移動平均法計算 10 年週期內發生異常狀況平均值，以探討異常狀況發生頻率趨勢變化。

關於作物受害情形則依據農業統計年報資料，統計各年度颱風害、雨害、旱害、寒害等災別作物受損面積與受害金額。受害金額並先依行政院主計處公佈之每年消費者物價指數，以 2001 年為基準進行修正，以減少年際間幣值變動的影響。再分別依受損面積或受害金額是否超過設定標準作為判別該年度是否曾產生嚴重災損的依據，並給予 1(有)和 0(無)的得分。颱風害、雨害、旱害、寒害所採用的受損面積判別標準分別為 15、3.5、1、1 萬公頃，受害金額判別標準分別為 35、9、2、2 億元；其中颱風害、雨害和寒害所用之判別標準近似此 55 年間的平均值，旱害由於近年之災害規模已不如早年嚴重，因此採用與寒害相同的標準。進而以移動平均法計算 10 年週期內農作物遭受嚴重傷害次數的平均值，以探討嚴重農作災損發生頻率的趨勢變化。

為瞭解颱風害、雨害、旱害、寒害等災別分別受何類氣象異常狀況之影響較大，再

將上述所獲得之各年度氣象狀況和農作物受損的資料，進行相關分析，以進一步探討各氣象異常狀況與農作物遭受嚴重災損間的關聯性。

### 異常氣象狀況發生趨勢

在此 55 年期間，受氣候暖化效應影響，低溫異常的變化最為明顯。1960 與 1970 年代期間，一年中低溫( $\leq 10^\circ\text{C}$ )的日數和日絕對最低氣溫經常呈現近乎全面性偏多(Fig. 1a)與偏低(Fig. 1b)的現象，顯示此期間臺灣地區低溫偏低的狀況較常發生；1990 年代迄今，臺灣地區則經常呈現全面性低溫偏高的狀況。10 年週期的移動平均顯示，一年中 $\leq 10^\circ\text{C}$ 的日數偏少的異常狀況已由早年之每 10 年至多僅有 2 年會發生，逐漸增加至近年每 10 年有 7 年會發生(Fig. 1c)；日絕對最低氣溫偏高的異常狀況已由早年之每 10 年至多僅有 1 年會發生，逐漸增加至近年每 10 年有 6 年會發生(Fig. 1d)。

在高溫方面，此 55 年間，一年中高溫( $\geq 30^\circ\text{C}$ )的日數和日絕對最高氣溫則呈現偏多/高(Fig. 2a)與偏少/低(Fig. 2b)之異常交替發生的現象。10 年週期的移動平均顯示，近年來全年中 $\geq 30^\circ\text{C}$ 的日數偏多的異常狀況每 10 年有 3 年會發生，與 1980 年代初期的高值相同(Fig. 2c)；日絕對最高氣溫偏高的異常狀況每 10 年也僅有 2 年會發生，較以往每 10 年至多有 1 年發生略高(Fig. 2d)。因此氣候暖化對高溫異常之影響，還未呈現如低溫異常一般的明顯變化趨勢。

在降雨方面，1949 至 1960 期間，有多次年雨量偏多的異常狀況；1960 至 1980 期間，則出現多次年雨量偏少的異常狀況，僅 1974 年出現一次年雨量偏多的情形；1993 年迄今，則年雨量偏多(1998、2001)和偏少(1993、2002、2003)的異常狀況皆有發生(Fig. 3a)。大雨日數呈現偏多與偏少之異常交替發生的現象(Fig. 3b)。日降雨強度在近年則常有偏高的狀況發生(Fig. 3c)。10 年週期的移動平均

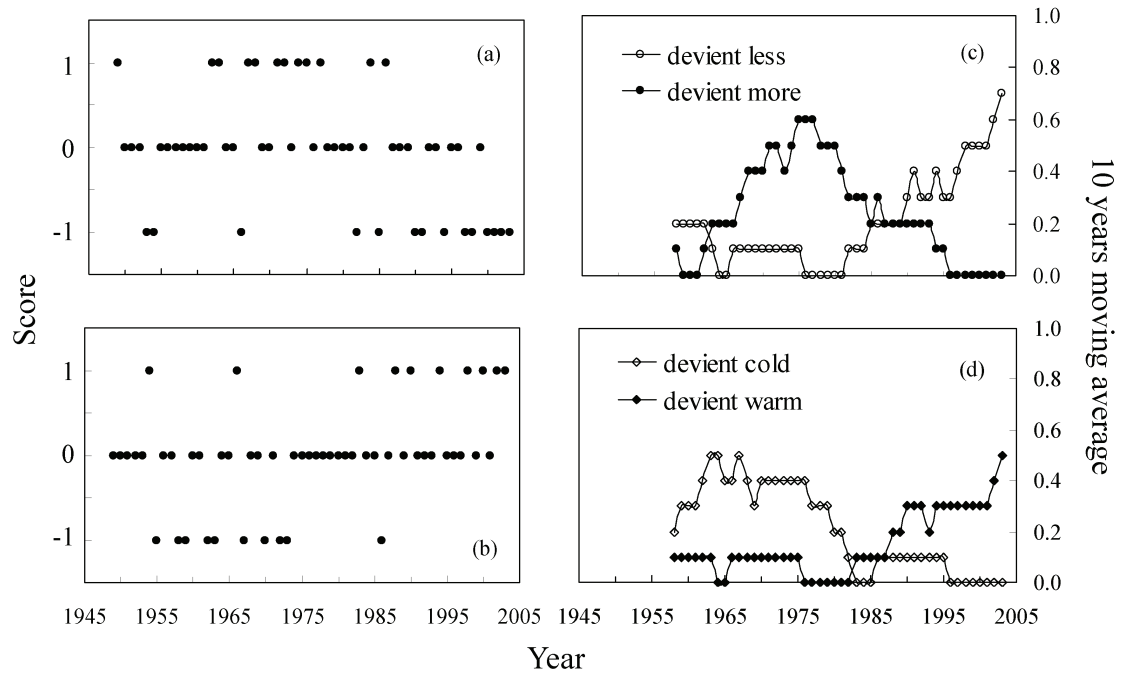


Fig. 1. The distributions in the scores of (a) days of temperature  $\leq 10^{\circ}\text{C}$ , (b) the absolute lowest temperature, and (c)(d) their 10-year moving averages respectively from 1949 to 2003.

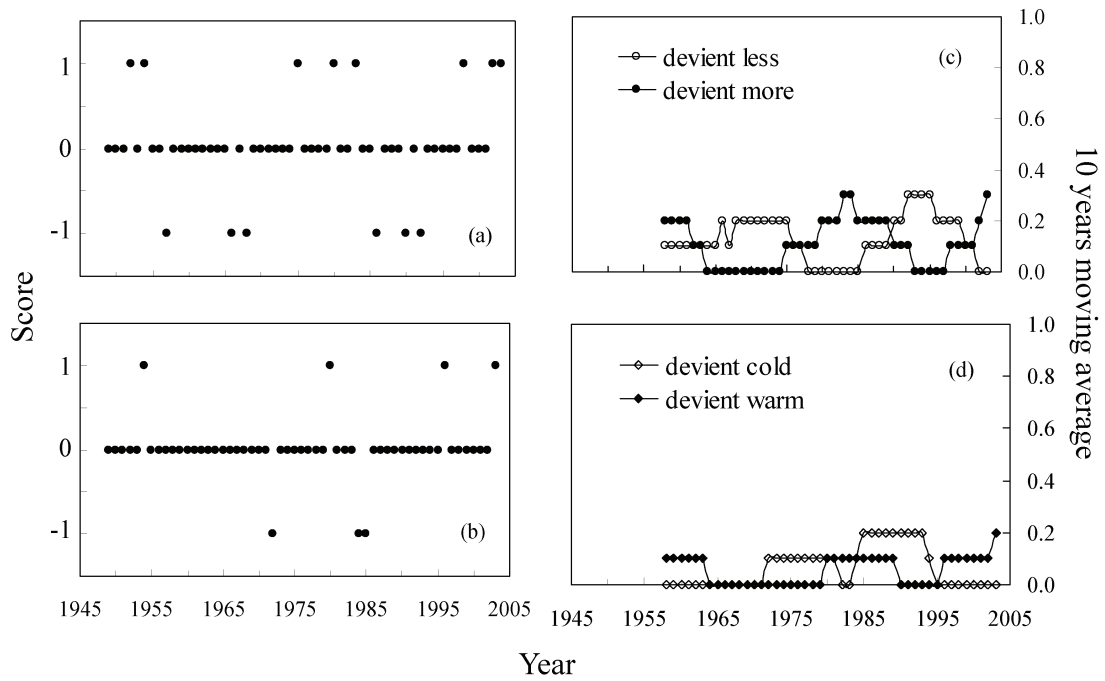


Fig. 2. The distributions in the scores of (a) days of temperature  $\geq 30^{\circ}\text{C}$ , (b) the absolute highest temperature, and (c)(d) their 10-year moving averages respectively from 1949 to 2003.

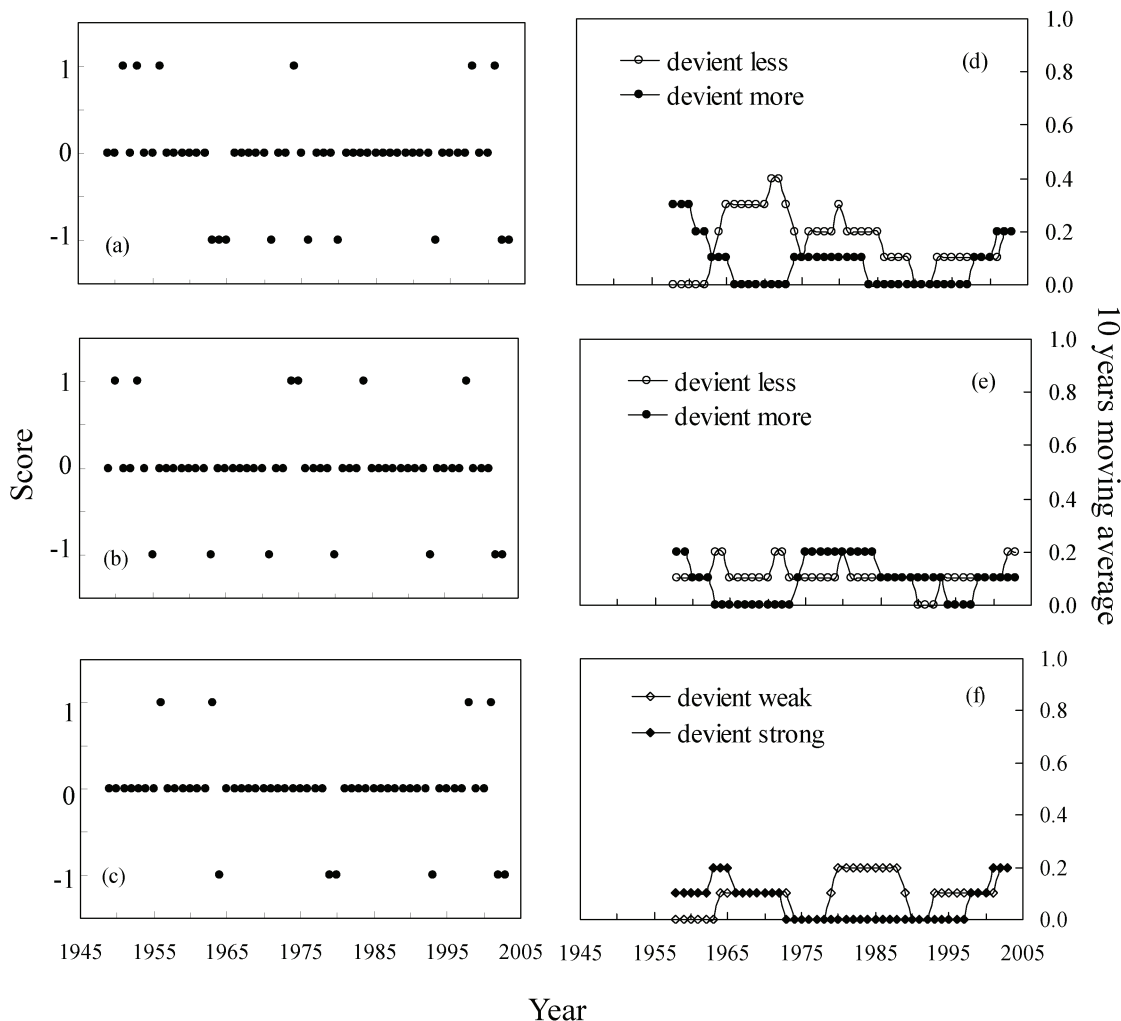


Fig. 3. The distributions in the scores of (a) precipitation, (b) days of precipitation, (c) rainfall intensity, and (d) (e) (f) their 10-year moving averages respectively from 1949 to 2003.

顯示，1960 以前每 10 年有 3 年年雨量偏多，1970 年代期間曾出現 10 年有 4 年年雨量偏少的狀況，近年來年降雨量異常偏多或偏少的狀況，則約每 10 年有 2 年會發生(Fig. 3d)。此 55 年期間，降雨日數偏多與偏少之異常狀況的發生頻率每 10 年至多有 2 年(Fig. 3e)。近年每 10 年有 2 年出現全面性的日降雨強度增強的狀況(Fig. 3f)，顯示降雨強度有增加的趨勢。

在侵臺颱風數目方面，近 20 年間有 6 年偏多，僅有 1 年偏少(Fig. 4)，近年每 10 年有

3 年侵臺的颱風數目 $\geq 7$  個，2001 和 2003 曾達到 9 個，遠超過 1958-2004 之 47 年間的平均數 4.8 個，因此侵臺颱風數目呈現增加的趨勢。

### 農業氣象災害損失趨勢

臺灣地區從 1949 至 2003 的 55 年間，因農業氣象災害所引起的損失總共約 1,584 億元，因颱風造成的損失約 1,099 億元，雨害損失約 251 億元，乾旱損失約 60 億元，寒害損失約 46 億元。若依 2001 年的幣值為基準，

此 55 年間農業氣象災害損失最少的一年也有 3.5 億元，損失最多的一年曾達到 232 億元，平均每年損失約 53.6 億元；颱風、雨害、乾旱、寒害四類災害損失分別約佔全部農業氣象災害損失的 66%、17%、7% 和 4%。

由於 1970 年代侵臺颱風數目有偏少趨

勢，且耕地面積自 1977 年以後逐年快速減少，颱風被害面積的十年移動平均值由早年的 20-25 萬公頃/年下降至近年的約 10 萬公頃/年 (Fig. 5)；但受損金額卻由早年的 10 億/年逐年攀升，近年已達到約 50 億/年的規模。近年來，每年發生颱風被害面積

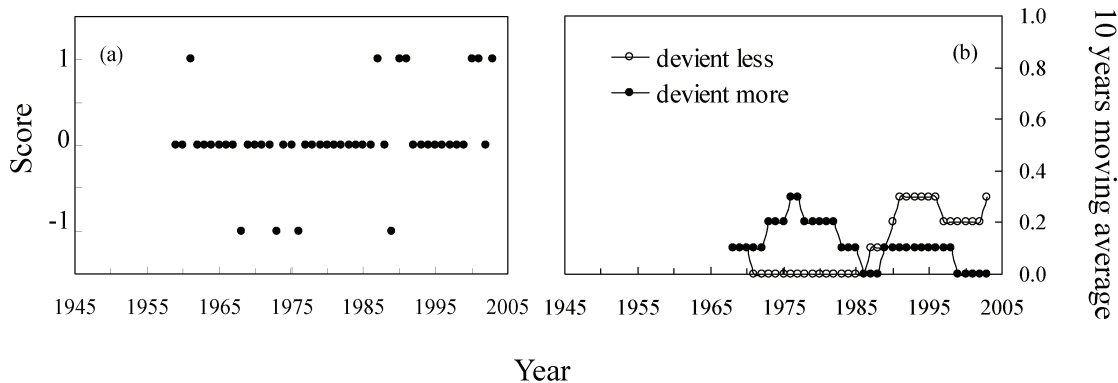


Fig. 4. The distributions in the scores of (a) number of typhoons and (b) their 10-year moving average from 1959 to 2003.

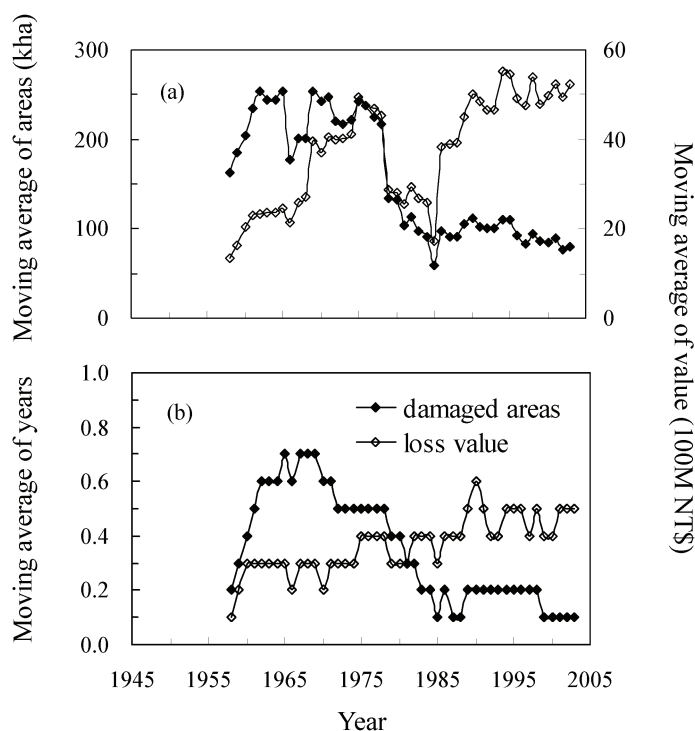


Fig. 5. The distributions of (a) damaged areas and estimated loss value and (b) damaged years were the 10-year moving average caused by typhoon from 1949 to 2003.

超過 15 萬公頃規模的機率已降至 25% 以下，但受損金額達到 35 億以上規模的機率則有 50%。

早年隨著耕地面積增加，雨害被害面積的十年移動平均值呈現增加的趨勢，在 1970 年代中期曾達到 6 萬公頃/年的高峰，其後也因耕地面積逐年減少而下降，近年已降至 1-2 萬公頃/年(Fig. 6)；受損金額則由早年的 2 億/年逐年攀升，在 1990 年代初期達到 17 億/年的高峰，其後呈現逐漸下降的趨勢，近年已降至約 5 億/年的規模。近年來，每年發生雨害被害面積超過 3.5 萬公頃規模的機率已降至 25% 以下，但受損金額達到 9 億以上規模的機率有 50%。

旱害被害面積的十年移動平均值早年約有 6 萬公頃/年的規模，由於石門、曾文等水庫分別在 1973 年和 1974 年興建完成，受害面積逐年減少而下降，在 1980 年代期間幾無

旱害發生，近年來則因民生和工業用水需求量快速增加，旱害受害面積又呈現增加的趨勢(Fig. 7)；受損金額早年有 10 億/年的規模，在 1980 年代期間有少於 1 億/年的狀況，近年則增加至約 1-3 億/年的規模。近年來，每年發生旱害被害面積超過 1 萬公頃規模的機率已降至 10% 以下，但受損金額達到 2 億以上規模的機率約有 20%。

受 1960 和 1970 年代間低溫盛行的影響，寒害被害面積的十年移動平均值在此期間曾達到 3-4 萬公頃/年的規模；近年受氣候暖化影響，發生大面積寒害的情況已非常少見(Fig. 8)；受損金額早年有 6 億/年的規模，近年則仍有約 1-2 億/年的規模。近年來，雖然每年發生寒害被害面積超過 1 萬公頃規模的機率已降至 0%，但由於受害作物多為經濟價值高的果樹，因此受損金額達到 2 億以上規模的機率則有 30%。

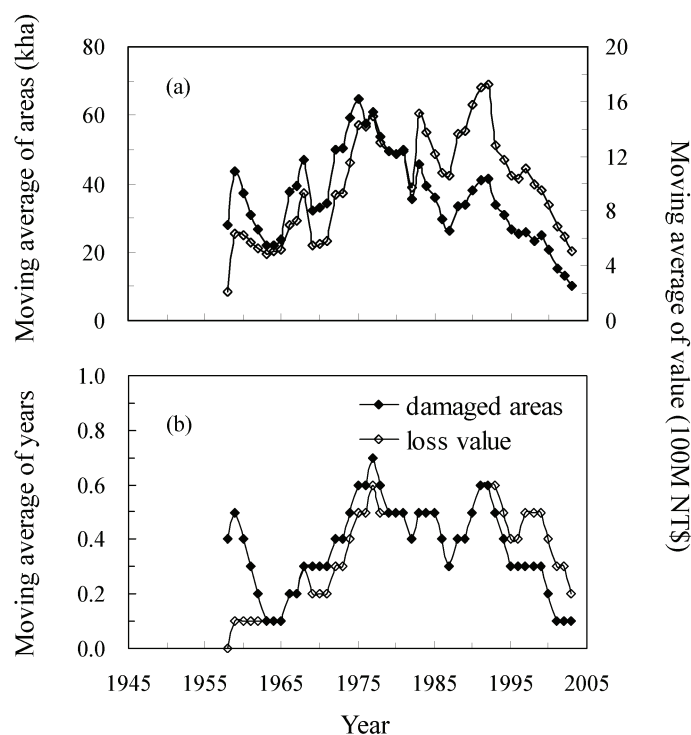


Fig. 6. The distributions of (a) damaged areas and estimated loss value and (b) damaged years were the 10-year moving average caused by flood from 1949 to 2003.

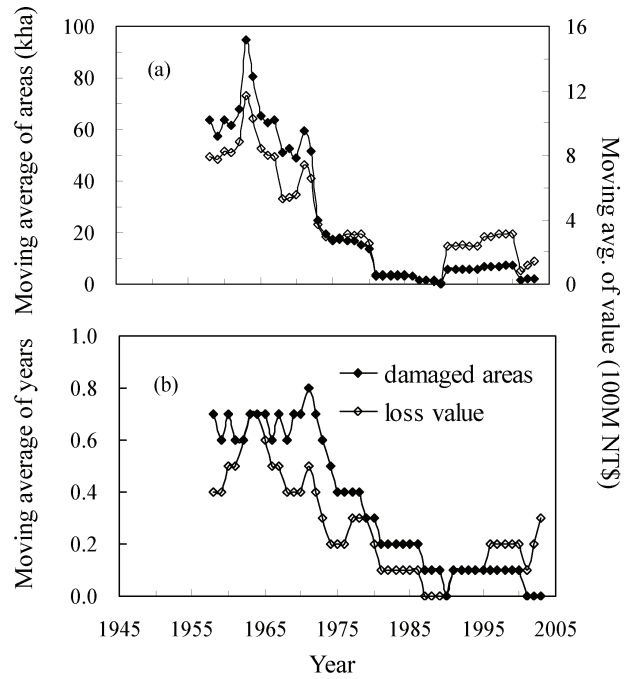


Fig. 7. The distributions of (a) damaged areas and estimated loss value and (b) damaged years were the 10-year moving average caused by drought from 1949 to 2003.

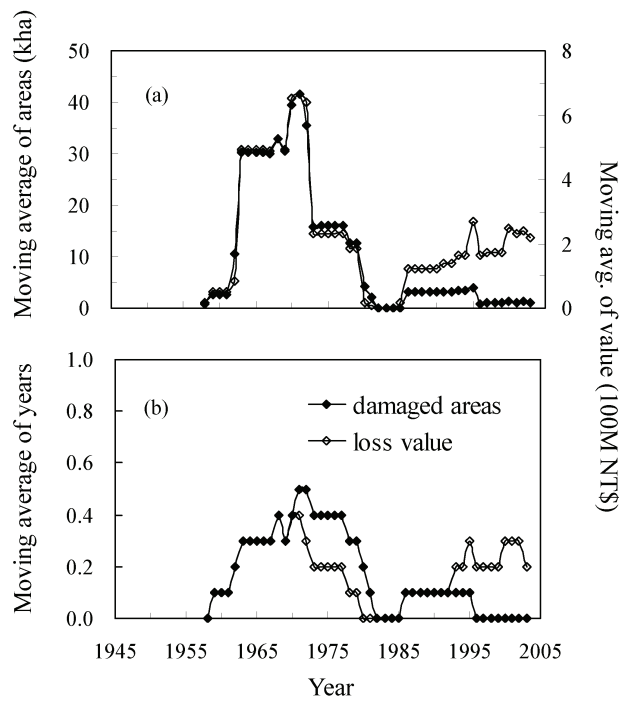


Fig. 8. The distributions of (a) damaged areas and estimated loss value and (b) damaged years were the 10-year moving average caused by cold temperature from 1949 to 2003.



### 異常氣象狀況與農業氣象災損之關聯

Table 1 列出異常氣象狀況與嚴重農業氣象災損間的相關分析。由於颱風的破壞力強，因此農作物是否發生嚴重的颱風災損，與侵臺颱風總數或強烈颱風數目是否異常增多間的關係較不密切，反而與是否導致異常強烈之日降雨強度有較高的相關性。嚴重雨害災損與大雨日數異常增多的關係較密切，除可能因地面排水宣洩不及造成傷害外，雨日增多導致土壤長期處於水分飽和狀態，作物因根系缺氧受害也是一個重要致災因素 (Chen *et al.* 2004)。旱害與水分供應不足有關，因此與年降水量與大雨日數間呈現負相關，尤其在石門與曾文水庫建設完成前，其負相關性更強；高溫除會直接對作物產生傷害外，也會導致蒸發散量的增加而引發旱害，因此每日絕對最高溫和 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日數異常增高或增多時，作物旱害受損規模也隨之增加。作物寒害與低溫強度與持續時間有關，

因此每日絕對最低溫狀況和 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 日數異常偏低或增多時，作物寒害受損規模也隨之增加。

全面性異常氣象狀況發生時，作物罹害面積與損失金額理應隨之增加，惟受栽培作物種類、生長階段、地形及地理位置不同，各地農作物是否罹害、以及罹害的程度並不相同，除具有顯著的地域性及季節性差異外，也與是否採行人為避險措施，以及避險措施效能差異等多項因素有關。臺灣地區農作發生寒霜害的機率不高，基於經濟效益之考量，農民雖然認知有此項危險，但通常不會採取積極的防護措施，因此農作物遭受嚴重寒害與發生全面性低溫偏低的異常狀況的相關性很高。反之，雨害常藉由改善地面排水設施，旱害則藉由興建儲水設施、抽取地下水灌溉、以及實施休耕等措施而獲得舒緩，因此作物損失與異常狀況間的相關性較差。

Table 1. The correlation coefficients between abnormal meteorological conditions and agrometeorological disasters.

Item	Estimated loss value				Actual damaged areas			
	Typhoon	Rainfall damage	Drought damage	Cold damage	Typhoon	Rainfall damage	Drought damage	Cold damage
Total of typhoon	— <sup>a</sup>	—	—	—	—	—	—	—
Daily rainfall intensity	0.24	—	—	—	—	—	—	—
Annual precipitation	—	—	-0.28 (-0.30) <sup>b</sup>	—	—	0.22	-0.20 (-0.32)	—
Rainy days	—	0.27	-0.21 (-0.25)	—	—	0.46	-0.25 (-0.43)	—
Days $\geq 30^{\circ}\text{C}$	—	—	—	—	—	—	-(0.21)	—
The highest temperature	—	—	0.30 (0.25)	—	—	—	—	—
Days $\leq 10^{\circ}\text{C}$	—	—	—	0.24 (0.34)	—	—	—	0.53 (0.49)
The lowest temperature	—	—	—	-0.43 (-0.57)	—	—	—	-0.61 (-0.58)

a: The absolute value of correlation coefficient was smaller than 0.20.

b: The values in parentheses were the correlation coefficients from 1949 to 1972.

## 結語

颱風是造成臺灣地區農業氣象災害的首要因素，近年來侵臺颱風數目和日降雨強度均有增加的趨勢，雖然受害面積將因農地釋出而不會大幅增加，但受損金額預期仍將會繼續增加。由於雨害與降雨日數的異常增多有較密切的關係，但降雨日數並未呈現明顯偏多的異常趨勢，因此預期未來雨害受害面積和受損金額仍將持續目前的下降趨勢。旱害與年降雨量和降雨日數的異常偏低(少)，以及日絕對最高溫和 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 日數的異常偏高(多)有關，雖然降雨日數並未呈現明顯偏少的趨勢，高溫異常偏高的趨勢也不明顯，但年降雨量異常偏少的可能性增加，因此預期未來旱害的受害面積和受損金額仍將持續目前的上升趨勢。寒害與 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 的日數和日絕對最低氣溫的異常偏多(低)有關，受氣候暖化之影響，平地農作物大面積遭受寒害的機率已很低，但山坡地上經濟果樹仍有局部受害的可能，受損金額也不容忽視。

以上結果顯示，臺灣地區因異常氣象狀況所導致的農業氣象災害仍將持續發生，且受損金額有逐年擴大的趨勢。農業氣象災害不僅造成臺灣地區農民的損失也造成物價的波動，對國計民生的影響甚為深遠。對於臺灣地區常見的四大農業氣象災害而言，除旱

害因長期降雨預報準確度仍有待改進外，目前的天氣預報技術已多能充份掌握其餘三項的動態，因此如何針對臺灣地區小農制度的特性，開發或引進經濟有效的防護方法，將是農業氣象相關研究的重要工作。

## 引用文獻

- Central Weather Bureau (1994) Analysis and assessment of climatic change of Taiwan. (in Chinese) The report No. 1 wrote for Energy Committee, Ministry of Economic Affairs. Central Weather Bureau, Taipei.
- Chen SH, SW Chang Chien, Y Shen (2004) Vegetable production at Shilo as influenced by rainfall characteristics and strategies in response. *J. Agri. Assoc. China* 5(3): 218-233.
- Hsu HH, CT Chen (2002) Observed and projected climate change in Taiwan. (in Chinese) *Meteorol. Atmos. Physics* 79:87-194.
- Kuo WS (1980) Further Study on Agriculture - Climate Division in Taiwan. Central Weather Bureau, Taipei.
- Wu MC (1992) Climate variation in Taiwan - temperature and precipitation. *Atmos. Sci.* 20: 295-318.
- Yang CM (1995) Agro-climatic disasters from 1945 to 1993 in Taiwan and the coupling research direction. (in Chinese) *Chinese J. Agromet.* 2(1): 31-35.