

國立臺灣大學理學院大氣科學研究所

碩士論文

Graduate Institute of Atmospheric Sciences

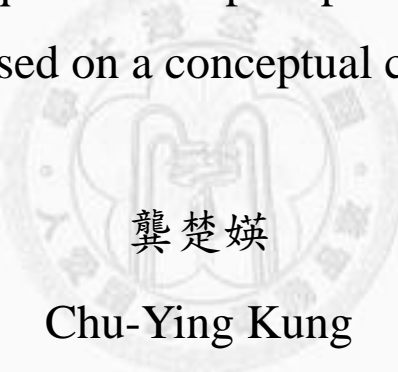
College of Science

National Taiwan University

Master Thesis

氣候概念模式於梅雨定量降雨預報之評估與分析

An analysis of quantitative precipitation forecast for  
Mei-Yu season based on a conceptual climatology model



龔楚嫻

Chu-Ying Kung

指導教授：李清勝 博士、王重傑 博士

Advisor: Cheng-Shang Lee, Ph.D.,

Chung-Chieh Wang, Ph.D.

中華民國 99 年 7 月

July, 2010

# 國立臺灣大學碩士學位論文 口試委員會審定書

本論文係 龔楚嫻 君 (學號 R97229008) 在國立臺灣大學大氣科學學系、所完成之碩士學位論文，於民國 99 年 7 月 26 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

李清勝

(簽名)

(指導教授)

陳壽元

王重隆

周仲島

葉之降

系主任、所長

吳俊傑

(簽名)

## 致謝

兩年的碩士生涯，最感謝指導教授李清勝老師與王重傑老師。謝謝李老師的敦促與提點，使學生在研究的路上更有方向感；謝謝您的關懷與包容，以及提供溫馨舒適且設備優良的學習環境的堅持，使學生雖然研究梅雨，在颱風實驗室仍有歸屬感。謝謝王老師總是細心檢視我的研究進度，並面帶笑容且不厭其煩地陪我討論，在您的身上看見做學問的專注與嚴謹，更看見您對於追求學問的期待與熱情，這將是學生在往後的日子仍將學習的。而本論文的完成，感謝口試委員陳泰然老師、周仲島老師以及葉天降副局長細心審稿與指教，感謝翁進登先生與黃奕霖先生協助雨量資料校正，感謝林松錦老師、陳嘉裕主任與簡國基學長提供資料，也感謝天氣實驗室無限期出借天氣圖與王尹懋學長的指教與鼓勵。

感謝颱風實驗室所有成員的指教與陪伴，尤其感謝總是主動關心並且有求必應的神人嫵竹學姐、耐心陪我討論助我突破瓶蓋的魚丸、貼心打氣讓我放寬心情的夜班同窗小威、不吝分享搞笑事與認真事的偉庭、奕霖和昆緯，以及最後這段日子裡，時時彼此加油的好戰友雨青。感謝自六年前一路相伴的 B93 夥伴們：呂易、朝淵、阿良、小乙、瑛容、屁弟、三王等人，所有疑難雜症辛酸苦辣，有你們一起分享與討論，一切似乎都簡單開朗起來。感謝校園文化資產詮釋、林敏聰老師與海獺們，你們豐富了我的生命與思想，使我的研究生涯依舊有著亮麗色彩。亦感謝以各種形式關心著我的師長、朋友，你們的問候是生活中的驚喜，讓每個日子變得特別。

感謝如同生命嚮導的明達，你的引導與照料使我安然越過層層關卡，更我確信我們還要一起懷著初衷挑戰未來。最後，感謝我的家人們，尤其深深感謝我最親愛的爸媽，因為有你們付出與支持，才讓一個吸手指的嬰孩能衣食無缺、健康快樂地長成今日撰寫此文的我。我終於畢業了，接下來換我照顧你們。（所以，媽，退休了，好嗎？）

## 摘要

本研究分析 1991~2006 年 5~6 月之 134 個梅雨鋒面影響台灣期間，台灣地區降雨特徵隨梅雨鋒面移動之變化情形，並以 1997~2006 年中央氣象局作業使用的綜觀預報檢查表資料，分析台灣西部 6 個主要流域之強降雨與綜觀環境之關係。結果顯示，鋒面過境本島時，較大雨勢常出現於盛行西南風之迎風面，其中境內地形與西南風有交角的高屏溪強降雨機率最高，顯示鋒面雖提供舉升機制，但台灣地形之強迫作用更為重要。當鋒面位於台灣北部時，淡水河流域之強降雨發生機率高，顯示鋒面舉升作用與該流域強降雨關係密切。

以統計方法篩選與各流域強降雨相關之重要綜觀因子顯示，梅雨鋒面接近、潮濕環境、低層噴流，以及 700/500 hPa 有短波槽等項目，與各流域強降雨有較高相關。北部流域 12 小時強降雨主要需借助高層噴流提供輻散，以維持對流發展；南部流域強降雨則與台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區的關聯性佳。為評估氣候概念模式應用於梅雨定量降雨預報之可用性，本研究應用前述結果建立梅雨季強降雨氣候概念模式，並以 2007~2008 年 17 個獨立個案校驗之。結果顯示，該模式有助於改進氣候模式在較強降雨的預報，並在中南部流域有較佳的預報表現。對中南部流域而言，該模式 6 月之預兆得分遠高於 5 月，北部則無明顯趨勢。前估與後符的分析顯示，此模式有過度預報的情況，然而即使整體預報表現尚有改進空間，此模式仍可於數值模式預報結果尚未穩定或各數值模式預報結果有所分歧時，提供額外之參考資訊。

關鍵字：梅雨鋒面、氣候概念模式、定量降雨預報、強降雨、綜觀環境、豪大雨預報檢查表

# Abstract

This study focused on the characteristics of rainfall distribution in Taiwan with respect to frontal positions using 134 cases during the Mei-yu season in 1991-2006. Operational checklist entries from the Central Weather Bureau were also used to study the relationship between heavy rainfall and synoptic environmental factors for 6 selected river basins. The results show that heavy rainfall occurs frequently over the windward side of terrain under the prevailing southwesterly flow. Though the Mei-yu front provides lifting mechanism, the forcing from the topography also plays an important role. Identified through statistical methods, those synoptic factors highly related to heavy rainfall include: approach of the Mei-yu front, high humidity, low-level jet, and 700/500 hPa shortwave trough. The result also indicates that 12-hourly heavy rainfall over northern Taiwan relies on the divergence provided by upper-level jet streaks to help convective development, while that over southern Taiwan is highly related to the diffluent pattern in 1000-500 hPa thickness.

Based on the above analyses, this study established a conceptual climatological model, and attempts to estimate the model's usefulness to the quantitative precipitation forecast (QPF). The validation was done by 17 independent cases in 2007-2008. Results show that the conceptual climatological model performs better on predicting heavier rainfall than pure climatological model, especially for basins in central and southern Taiwan. The analysis on prefiguration and postagreement indicates that the conceptual climatological model tends to over-predict. However, when the results of numerical weather prediction models are still unstable or disagree with each other, this model can still provide additional and useful information on heavy rainfall occurrence.

Key words: Mei-yu front, conceptual climatology model, quantitative precipitation forecast, heavy rain, synoptic environment, heavy rainfall checklist

# 目錄

致謝 .....	ii
摘要 .....	iii
Abstract.....	iv
目錄 .....	v
表目錄 .....	vi
圖目錄 .....	ix
第一章 前言 .....	1
1.1 文獻回顧 .....	1
1.2 動機與目的 .....	4
第二章 資料介紹與分析方法 .....	6
2.1 資料來源 .....	6
2.2 分析方法 .....	7
第三章 梅雨鋒面降雨氣候特徵分析 .....	14
3.1 影響台灣之梅雨鋒面氣候特徵 .....	14
3.2 全台流域梅雨鋒降雨之空間分佈特徵 .....	15
3.3 主要流域梅雨鋒強降雨之空間分佈特徵 .....	16
3.4 小結 .....	20
第四章 梅雨期綜觀環境分析 .....	22
4.1 伴隨梅雨鋒面之強降雨綜觀環境特性 .....	22
4.2 強降雨與重要綜觀因子 .....	25
4.3 小結 .....	30
第五章 梅雨氣候概念模式 .....	31
5.1 模式設計 .....	31
5.2 模式結果校驗 .....	33
5.3 小結 .....	38
第六章 討論與總結 .....	39
參考文獻 .....	43

# 表目錄

表 2-1	中央氣象局使用的台灣地區梅雨季豪(大)雨預報檢查表之 20 項檢查內容。 其中第 10 項於 2000 年啟用，第 11、12、16 及 19 項於 2003 年啟用。.....	45
表 2-2	中央氣象局自動雨量站之雨量傳輸訊號特殊值說明表。.....	47
表 2-3	1991~2006 年梅雨鋒面影響台灣及影響台灣前 12 小時期間，全台 404 個測站之各項雨量資料總數。.....	47
表 2-4	卡方檢定與費雪精確檢定所使用之列聯表，N 為樣本總數，S(r)為列之邊 際總次數，S(m)為行之邊際總次數，O 則為觀測次數。.....	48
表 2-5	校驗降雨預報能力時，所使用之列聯表。.....	48
表 3-1	1991~2006 年 5~6 月影響台灣之 134 個梅雨鋒面個案起迄時刻與影響天 數。.....	49
表 3-2	6 個主要流域之流域代號、境內測站數量與流域平均緯度列表。.....	53
表 4-1	經卡方檢定或費雪精確檢定判定為與主要流域 6 小時及 12 小時強降雨有 關的檢查項目總數(末欄)，以及各項目與流域強降雨之關聯係數 $\Phi$ 係數， 空格處表示檢查項目與流域強降雨的發生無關。卡方檢定與費雪精確檢定之 顯著水準為 0.05； $\Phi$ 係數顯示為 * 者，表示該項以費雪精確檢定檢驗相關， 無法計算 $\Phi$ 係數。.....	54
表 4-2	預報檢查表各項目(共 20 項)預報各流域 6 小時與 12 小時強降雨是否 發生之平均預兆得分(左欄)、預兆得分篩選門檻(該流域各項目預兆得分 值前 33%之數值，中欄)以及通過篩選門檻之較高預兆得分項數(右欄)。 .....	55
表 4-3	影響流域強降雨的重要綜觀因子(經卡方檢定或費雪精確檢定判定為與 主要流域 6 小時及 12 小時強降雨相關，且預報是否發生強降雨的預兆得分通 過篩選門檻之項目，灰色網底標記者)、其與流域強降雨之關聯係數 $\Phi$ 係數 以及重要綜觀因子總數(末欄)。卡方檢定與費雪精確檢定之顯著水準為 0.05。	

.....	56
表 5 - 1 影響各主要流域強降雨的重要綜觀因子全數符合時，強降雨事件的發生 機率（%）與以此預報強降雨是否發生之預兆得分（TS）。X 標記顯示無重要 綜觀因子全數符合之紀錄，無法計算該流域的強降雨發生機率。.....	57
表 5 - 2 由 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，影響主要流域強降雨 發生之重要綜觀因子項目數，及具有最佳預報強降雨能力時之最低需符合項 數，與其預兆得分（TS）和強降雨發生機率（%），強降雨事件發生指流域 中有任一測站 6 小時累積雨量達 30 mm 或 12 小時累積雨量達 50 mm。.....	58
表 5 - 3 1991~2006 年 5~6 月梅雨影響台灣期間，各流域 6 小時及 12 小時強降 雨發生機率大於 25% 的緯度區間，頭前溪流域無強降雨發生機率高於 25% 的 緯度區間。.....	59
表 5 - 4 2007~2008 年 5~6 月影響台灣之 17 個梅雨鋒面系統個案起迄時刻與影 響天數。.....	60
表 5 - 5 主要流域 6 小時及 12 小時最大單站雨量達強降雨標準（6 小時累積雨量 達 30 mm 或 12 小時累積雨量達 50 mm）時之流域平均雨量（mm）。.....	61
表 5 - 6 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候概念模式之預報指引 對判斷主要流域是否發生 6 小時或 12 小時強降雨事件的預兆得分（TS）。頭 前溪流域因強降雨發生機率不高於 25%，無法使用機率預報指引。.....	61
表 5 - 7 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候模式及氣候概念模式 在不同門檻值下，對主要流域 6 小時流域平均雨量預估之預兆得分（TS），左 側為氣候模式之 TS，右側為氣候概念模式之 TS。.....	62
表 5 - 8 2007 年~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候模式及氣候概念 模式在不同門檻值下，對主要流域 12 小時流域平均雨量預估之預兆得分(TS)， 左側為氣候模式之 TS，右側為氣候概念模式之 TS。.....	63
表 5 - 9 2007 年~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候概念模式在不同	



門檻值下，對主要流域 6 小時流域平均雨量預估之預兆得分 (TS)，左側為對 5 月個案進行校驗之 TS，右側為對 6 月個案進行校驗之 TS。..... 64



# 圖目錄

- 圖 1 - 1 1972~1977 年 5 月 15 日至 6 月 15 日梅雨鋒面影響期間，台灣北部(台北、新竹測站，標記為 N)及南部(台南、高雄測站，標記為 S)地區相對於鋒面(F)之各間距(km)之相對降水機率百分比。上方兩曲線指降水量大於或等於  $10 \text{ mm day}^{-1}$  之日數佔總降水日數之百分比；下方兩曲線指降水量大於或等於  $50 \text{ mm day}^{-1}$  之日數佔總降水日數之百分比。橫軸負值表示鋒後。(陳與紀 1978) ..... 66
- 圖 2 - 1 台灣流域集水區地形與本研究所使用之 404 個雨量測站分佈圖，地形標高單位為公尺。 ..... 67
- 圖 2 - 2 個案選取時定義之鋒面影響範圍(黑色框線)與颱風或熱帶低壓影響範圍(灰色框線)。 ..... 67
- 圖 2 - 3 梅雨鋒面定位時所採用之參考線(實線)，台灣本島以西部海岸線為參考線，台灣北端以北與南端以南則分別以  $121.5^{\circ}\text{E}$  與  $120.7^{\circ}\text{E}$  為參考線；虛線部份為梅雨鋒面之示意位置。 ..... 68
- 圖 2 - 4 流域逐時雨量值回傳特殊值之範例。虛線方框部份為需校正之連續特殊值及最後的累積雨量值。 ..... 68
- 圖 2 - 5 特殊值經勘誤後之列表範例，與圖 2 - 4 為同一個案資料。左側虛框為目標測站經權重後之雨量資料；右側虛框為用來比對的兩個測站 46755 及 CIM44 的逐時雨量平均值。 ..... 69
- 圖 3 - 1 1991~2006 年 5~6 月影響時間大於 0.5 天之地面梅雨鋒面，於 5 月 1 日~6 月 30 日之間各半月之平均影響日數(虛線，左側座標)及平均個案數(實線，右側座標)。 ..... 70
- 圖 3 - 2 台灣 33 個流域位置分佈圖，英文字部份為流域之代碼，著色流域為強降雨分析之對象流域。 ..... 71
- 圖 3 - 3 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於  $27^{\circ}\sim 20^{\circ}\text{N}$  間各緯度分區(每  $0.5^{\circ}$  為

一緯度分區)時, 全台 33 個流域之 6 小時累積雨量空間分佈圖。由左至右為鋒面(紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍), 依次南移 0.5°之降雨分佈圖。.....	72
圖 3-4 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於 27°~20°N 間各緯度分區(每 0.5°為一緯度分區)時, 全台 33 個流域之 6 小時累積雨量標準差空間分佈圖。由左至右為鋒面(紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍), 依次南移 0.5°之降雨標準差分佈圖。.....	77
圖 3-5 2005 年 5 月 29 日 0800 UTC 之 GMS-5 紅外線衛星雲圖; 圖中彩色區域為雲頂溫度低於 -15°C 的區域。.....	82
圖 3-6 2001 年 6 月 13 日 0800 UTC 之 GMS-5 紅外線衛星雲圖; 圖中彩色區域為雲頂溫度低於 -15°C 的區域。.....	82
圖 3-7 1991~2006 年梅雨鋒面影響台灣期間, 各主要流域 6 小時與 12 小時強降雨發生機率。各流域 6 小時累積雨量資料總數平均為 1434 筆, 12 小時累積雨量資料總數平均為 665 筆。.....	83
圖 3-8 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面影響期間, 梅雨鋒面位於各緯度分區時(a) 6 小時與 (b) 12 小時累積雨量資料之次數分佈圖。橫軸為鋒面位置, 每 0.5°為一類別。.....	83
圖 3-9 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生次數隨鋒面位置變化圖, 橫軸為鋒面所在緯度, 每 0.5 度為一類別; 圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。.....	84
圖 3-10 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面位置變化圖, 橫軸為鋒面所在緯度, 每 0.5 度為一類別; 圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。.....	85

- 圖 3-11 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面與流域之相對位置變化圖，橫軸為鋒面與流域之相對位置，每  $0.5^\circ$  為一類別，正值顯示流域位於鋒前，負值顯示流域位於鋒後；圖例依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。..... 86
- 圖 4-1 主要流域發生 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件時，預報檢查表各檢查項目 (共 20 項) 的符合機率，各色實線為主要流域，實線圖例由上而下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域；點線為 1997 年後梅雨鋒面影響時段之預報檢查表單一檢查項目符合機率 (標示為 "Meiyu")，虛線為 1997 年以來五、六月期間預報檢查表單一檢查項目的符合機率 (標示為 "MJ")。..... 87
- 圖 4-2 主要流域發生 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件時，預報檢查表各檢查項目的符合機率，與未發生強降雨事件時預報檢查表各檢查項目符合機率之差值。各色實線為主要流域，圖例由左至右依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。..... 88
- 圖 4-3 預報檢查表各檢查項目符合時，主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件發生機率。各色實線為主要流域，圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。..... 89
- 圖 4-4 以預報檢查表各檢查項目判斷主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件是否發生的預兆得分 (TS)。圖例由左至右依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。..... 90
- 圖 4-5 1997~2006 年梅雨鋒面影響台灣期間，「預報檢查表與各流域強降雨之  $\Phi$

係數」與「以預報檢查表預報流域強降雨之預兆得分 (TS)」的相關係數。

..... 91

圖 5 - 1 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於  $20^{\circ} \sim 27^{\circ}N$  間各緯度分區 (每  $0.5^{\circ}$  為一緯度分區) 時, 6 個主要流域之 6 小時強降雨空間分佈圖。由左至右為鋒面 (紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍) 依次南移  $0.5^{\circ}$  之降雨分佈圖。..... 92

圖 5 - 2 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於  $20^{\circ} \sim 27^{\circ}N$  間各緯度分區 (每  $0.5^{\circ}$  為一緯度分區) 時, 6 個主要流域之 6 小時強降雨分區標準差空間分佈圖。由左至右為鋒面 (紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍) 依次南移  $0.5^{\circ}$  之標準差分佈圖。..... 97

圖 5 - 3 1991~2006 年 5~6 月間, 主要流域 (a) 6 小時及 (b) 12 小時流域平均雨量與流域內最大單站雨量之散佈圖, 橫軸為流域內最大單站雨量, 縱軸為流域平均雨量, 座標軸單位為 mm。圖中實線為散佈圖趨勢線, 其趨勢線公式顯示與圖之右下角, 兩種雨量資料之相關係數顯示於圖之左上角。..... 102

圖 5 - 4 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間, 氣候概念模式在不同門檻值下, 對主要流域 6 小時及 12 小時流域平均雨量之預兆得分 (a, b)、前估 (c, d) 與後符 (e, f)。校驗門檻值顯示為 HR 者, 表示以各流域之強降雨標準 (參見表 5 - 4) 為門檻值。..... 103

圖 6 - 1 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面與流域之相對位置變化圖, 橫軸為鋒面與流域之相對位置, 每  $1^{\circ}$  為一類別, 正值顯示流域位於鋒前, 負值顯示流域位於鋒後。..... 104

# 第一章 前言

## 1.1 文獻回顧

台灣位於全球季風最顯著的東亞地區，5月中旬，適逢亞洲夏季季風第一次轉換期 (Yanai et al. 1992)，南海地區之西南氣流快速建立，使台灣與華南地區之低層盛行氣流由東北風轉為西南風。此時，北方大陸移動性分裂高壓與南方副熱帶太平洋高壓之間常形成有利鋒生之變形場 (Chen 1977, 1983)，因而常見鋒面自日本南部向西南延伸至台灣及華南一帶，此即為東亞地區特有之梅雨鋒。

梅雨鋒南側低層西南氣流旺盛，其水氣通量與鋒面區的強水氣通量輻合，有利對流發展 (Chen 2004)，配合梅雨鋒面區常伴隨綜觀尺度之組織性上升運動 (陳與蔡 1978)，因而使鋒面常伴隨連續雲帶，於5月中至6月中為台灣帶來連續性或間歇性的降雨 (陳 1994)，此即台灣之梅雨季。Chen and Chen (2003) 分析 1980~1997 年全台降雨特性，發現台灣地區全年的大雨 ( $50 \text{ mm day}^{-1}$ ) 發生頻率有一極大值出現於梅雨季，且此情形在台灣西南部更為顯著 (陳與吳 1978)。

梅雨鋒面長度可達數千公里，而其在跨梅雨鋒面方向上，卻是數百公里之中尺度現象，陳與紀 (1978) 探討梅雨鋒面之中尺度結構與降雨特徵，以兩種定義 (日降雨量 $\geq 25 \text{ mm}$  機率大於 50%、平均日降雨量 $\geq 10 \text{ mm}$ ) 定義梅雨鋒面影響範圍，結果均顯示鋒面雲帶平均寬度為 700 km，北部地區為鋒後 300 km 至鋒前 400 km，而南部地區則為鋒後 200 km 至鋒前 500 km；其中，北部地區發生豪 (大) 雨最大機率為鋒前 100 km 至鋒後 200 km，而南部地區則出現於鋒前 200~300 km 處 (圖 1-1)。此研究並指出，梅雨鋒面南北兩側伴隨著對流運動所引發的垂直次環流，當鋒面位於台灣北部，鋒面兩側之次環流為熱力直接環流，可將鋒面附近之緯流可用位能轉變為動能；而當鋒面抵達台灣南部時，兩側之次環流轉為熱力間接環流，顯示此時環境具有鋒消作用。

除梅雨鋒面外，台灣梅雨期尚有許多重要中尺度現象，如低層噴流、中尺度對流系統、中尺度低壓以及地形效應等（陳 1994；Chen 2004）。梅雨季之豪（大）雨主要由梅雨鋒面雲帶伴隨之組織性中尺度對流系統造成，Chen（2004）回顧過去研究，整理出適合中尺度對流發展之六種條件，分別是：（1）低對流層暖平流、（2）低壓或鋒面區之低層輻合、（3）低層噴流、（4）中低層短波槽、（5）中高層分流或速度輻散以及（6）中低層潛在不穩定度。而可能引發中尺度對流系統的中尺度強迫機制則有鋒面次環流、低層噴流、高層噴流條、準滯留性的中尺度低壓、地形造成的流場、外流邊界與局部環流等；相關結果亦應用於現今中央氣象局之梅雨季豪（大）雨預報作業之中。

過去研究顯示，低層噴流有助於對流的形成，其主要貢獻有三：第一是傳送來自低緯度的暖濕空氣至鋒面區，再者為可於噴流心下游區提供低層輻合，最後則是有助建立條件性不穩定的環境場（Chen et al. 2005）。Chen and Yu（1988）探討 1965~1984 年梅雨季台灣北部 35 個豪雨（日雨量超過 100 mm）與低層噴流（700 hPa 風速大於  $15 \text{ m s}^{-1}$ ）的關係，結果顯示 91% 具有低層噴流的個案將在當天或 24 小時內發生豪雨。Chen et al.（2005）分析 1985~1994 年 30 個低層噴流個案，亦指出台灣北部之豪雨發生頻率在 850 與 700 hPa 低層噴流抵達台灣後顯著增加，其中移行性的低層噴流比非移行性者較強、較深厚、時空尺度較大且與豪雨的關係較為密切。Chen and Yu（1988）發現對流造成之垂直混合會使低層噴流減弱；而 Chen et al.（2006）使用片段位渦反演技術進行個案研究，結果顯示伴隨中尺度對流系統之潛熱加熱使低層高度下降，而增強的高度梯度產生向西北（中尺度對流系統所在方向）的非地轉風，使低層噴流透過科氏加速，在中尺度對流系統之東南方形成與增強，顯示對流與低層噴流的複雜因果關係。

梅雨鋒面經過台灣時，生命期短且垂直發展淺的中尺度低壓系統常於台灣西北部、西南部、東南部以及鄰近海域形成，其後緩慢移動或近似滯留，影響台灣地區的降水。陳（1995）的合成分析顯示，發生於中尺度低壓區或其南側的豪雨，

其降雨強度在中尺度低壓出現時至 6 小時後達到最大，而發生於中尺度低壓環流內的豪雨，其降雨強度亦於中尺度低壓出現後顯著增加。就梅雨季降雨之空間分佈而言，較大雨量及豪（大）雨集中在山脊西側迎風面，即阿里山、中央山脈西南麓及雪山山脈西南側（Chen et al. 2007; 紀 2006），顯示西南氣流受地形舉升的作用於梅雨期的降雨扮演重要角色。Wang et al. (2005) 模擬一個造成台灣中北部豪雨之線狀對流個案，結果顯示，兩低層輻合區決定線狀對流的發展，其一位於台灣西北沿岸，主要受鋒面舉升，但受到地形阻擋而使輻合增強；另一者位於鋒面南邊，由鋒前西南氣流和地形造成的離岸流輻合而成。上述分析指出輻合帶與地形之關係密切，若將地形高度減半，此時控制流場整體行為的夫如數（Froude number）由 0.25 倍增至 0.5，模擬結果顯示，迎風面之阻塞高壓與離岸風均會減弱，使輻合帶減弱並且向台灣沿岸靠近，雨區由沿岸轉至山區。

陳與林（1997）分析梅雨季中南部（包含南投與嘉義以南之西部縣市）各地區相對於梅雨鋒面不同距離的時空分佈，結果顯示豪（大）雨頻率在鋒前 200 公里最高，鋒前 50 公里次高，而於鋒後驟減，此結果與梅雨鋒面伴隨之次環流上升區有關；在降雨時間特徵上，中南部許多分區之豪大雨頻率呈現雙高峰特徵，於鋒面過境前後與鋒面過境後 11 小時之後出現大值。而陳與王（2002）使用相似方法，探討梅雨鋒面過境與西北沿岸中尺度低壓旋生前後，台灣中北部地區（包含彰化以北之西部縣市）定量降雨或豪大雨之中尺度氣候，結果顯示，各分區最大降雨機率及降雨強度發生於鋒面過境後 0~3 小時間，鋒前系統對中部地區降雨有較大貢獻，而北部地區之降雨則可在鋒後仍持續出現；西北沿海中尺度低壓前後，各地區降雨機率於旋生後 0~3 小時達最大，其後漸減，而各地區降雨強度於旋生後顯著增加，並於旋生後 3~4 小時達最大，大致來說，低壓對各地區降雨的影響，主要在旋生後 5~6 小時內，且降雨在旋生區南側較旋生區內顯著。



## 1.2 動機與目的

梅雨鋒面伴隨之豪雨常使台灣發生嚴重災害，帶來高額的經濟損失，甚至是人員傷亡，使梅雨成為台灣地區的四大災變天氣之一，因此梅雨研究不僅具有學術意義，更具應用技術發展之價值。梅雨期的定量降雨預報始終是一重要課題，陳等(1991)評估 1977~1989 年間，台灣地區梅雨季豪大雨的定量降雨預報能力，其預兆得分(Threat Score, TS)約為 0.18，後符(預報事件應驗之比例)約為 57%，而前估(觀測事件事前被預報之比例)僅 20%，顯示相較於綜觀型態的降雨，中尺度現象所造成的豪(大)雨仍較難以掌握。簡(1999)指出，以 MM5 非靜力模式進行梅雨期定量降水預報，在 12~24 小時具有預報是否降水的能力；但在定量、定點方面，則仍相當不足。

近年來，數值模式的改進使梅雨季的降雨預報能力大幅提升，張等(2007)評估結合局地分析預報系統(Local Analysis and Prediction System, LAPS)與中尺度模式(MM5, WRF 等模式)之中尺度模式短時預報系統 LAPS-MM5 及 LAPS-WRF (ARW)對於 2006 年梅雨期「大降雨個案」之預報表現，其 0~6 小時降雨預報在降雨門檻值為 1 mm 時，兩模式的 TS 值約為 0.63 與 0.71；在門檻值為 10 mm 時，兩者 TS 值約為 0.43；而在門檻值為 20 mm 時，兩者 TS 值則降至 0.3 左右，顯示對於強降雨系統的預報，仍有一定的困難。一般而言，數值模式需要 6~12 小時調整，因此在 12~24 小時或 24~36 小時始能有較好的雨量預報能力；因此，短期預報時常需藉助其他預報方式及技術，例如中尺度氣候法、統計法或類比法。

中尺度氣候法利用雷達、衛星或地面降水等資料，求取其伴隨於中尺度天氣系統之氣候特徵並應用於預報(陳等 2005)。過去許多研究(陳與林 1997；陳與王 2002；陳等 2005)先後探討與降水相關的現象之時空分佈特徵及中尺度氣候值，其成果並發展為豪(大)雨與定量降水中尺度氣候預報法，應用於 1992 年 Post-TAMEX 預報實驗及其後中央氣象局之梅雨季預報實驗中。陳與張(2000)及陳與張(2001)分別對前述中尺度氣候法在台灣中南部、中北部地區之預報成果

進行校驗，結果顯示，中尺度氣候法在短期預報方面具有一定程度的預報能力；與持續法相比，持續法在 3~6 小時之後誤差普遍增大，此時，氣候法不但具有基本參考價值，亦可彌補數值預報模式的預報缺口。

前述關於中尺度氣候法之研究，所使用的氣候資料最多不超過 7 年，且主要是針對縣、市等行政區進行資料整理及研究分析，與台灣的自然地形及水文需求較未能有密切配合，使得水利作業單位在應用上較不容易。因此，本研究之主要目的包含：

- (1) 分析梅雨鋒面影響期間，全台主要流域集水區之中尺度降雨氣候特徵與梅雨鋒面位置的關係；並探討影響各主要流域強降雨事件之綜觀環境條件。
- (2) 針對北、中、南部流域，發展以中尺度氣候法為基礎之氣候概念模式，提供短期（0~12 小時）定量降雨預報，做為梅雨期降雨預報之參考。
- (3) 評估與分析氣候概念模式於梅雨期定量降雨預報之可用性。

本文隨後第二章簡介本研究的資料來源與分析方法，第三章呈現梅雨鋒面影響期間全台主要流域集水區之中尺度降雨氣候特徵，第四章探討影響各主要流域強降雨事件發生之綜觀環境條件，第五章則介紹並校驗氣候概念模式，最後於第六章進行討論與總結。

## 第二章 資料介紹與分析方法

本研究以中央氣象局定義之梅雨季（5、6月）為每年梅雨影響時段，探討期間梅雨鋒面對於台灣各流域中尺度降雨氣候的影響，分析過程使用梅雨季鋒面過境時，台灣地區各地測站及自動雨量站地面降雨資料與當時之地面天氣圖。此外，本研究亦探討梅雨鋒面影響期間之綜觀環境特性，綜觀環境資訊使用預報時較易取得的作業用綜觀檢查表資料。

### 2.1 資料來源

本研究使用 1991~2008 年梅雨季（5、6月）中央氣象局每 6 小時一張之地面天氣圖，以天氣圖上預報員主觀判定的鋒面位置作為地面鋒面之位置。而本研究所使用之雨量資料包括 1991~2008 年間中央氣象局所屬之傳統氣象站、自動雨量站共 404 站（未包含外島測站）之逐時雨量觀測資料，其各流域境內測站分佈圖如圖 2-1。

探討強降雨之氣候特徵時，為避免午後對流事件影響強降雨事件之氣候特性，本研究使用日本發射的作業性地球同步氣象衛星 GMS（Geostationary Meteorological Satellite）之紅外線衛星雲圖資料，排除午後對流之事件。其中，1991~1995 年之衛星資料來自 GMS-4 衛星，時間解析度為 12 小時；而 1996~2003 年、2003~2005 年與 2006 年分別使用日本 GMS-5、美國 GOES-9 與日本 MTSAT-1R 衛星，其時間解析度為 1 小時，空間解析度約 5 公里。

謝（1996）分析台灣梅雨季豪（大）雨之天氣類型與降水特性，並發展綜觀因子預報檢查法，以判斷台灣地區發生豪（大）雨的潛勢，基本上，檢查項目符合越多，發生豪（大）雨的相對機會越高。參考上述綜觀因子預報檢查法，中央氣象局自 1997 年起開始使用「台灣地區梅雨季 12~48 小時豪（大）雨預報檢查表」（如表 2-1，以下簡稱為「預報檢查表」），藉以判斷綜觀環境是否具備有利對流發展的條件，以協助梅雨季的豪（大）雨預報。預報檢查表中包含 9 大項、

共 20 小項的檢查項目，9 大項分別為：梅雨鋒面、溼度分佈、低層噴流、溫度場、風切線、次系統、氣壓、高層風場及穩定度。本研究引用林（2006）彙整之中央氣象局預報員主觀判斷之預報檢查表資料，以探討強降雨事件發生時之綜觀環境。

## 2.2 分析方法

本研究參考過去之中尺度氣候研究（陳與紀 1978；陳與林 1997）之分析方法，採用以梅雨鋒面為移動座標之準拉格藍基（quasi-Lagrangian）系統，研究 1991～2006 年（共 16 年）間，相對於鋒面位置特定距離的流域降雨氣候特徵，另分析強降雨發生時的綜觀環境特性，並藉以建立氣候概念模式。其後，以 2007～2008 年之獨立個案評估氣候概念模式之預報表現。

### 2.2.1 個案挑選

參考過去之中尺度氣候研究（陳與林 1997；陳與王 2002；陳等 2005）方法，以地面天氣圖做為判定梅雨鋒位置之依據；本研究使用 1991～2006 年梅雨季（5、6 月）期間中央氣象局每 6 小時之地面天氣圖所標示之梅雨鋒面位置，並以此為後續分析所需的鋒面位置。本研究選取  $20^{\circ}\sim 27^{\circ}\text{N}$ ， $119^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$ （圖 2-2 黑色方框區域）作為梅雨鋒面影響台灣與鄰近區域之範圍；當梅雨鋒面系統進入此範圍，且在此範圍內停留時間大於 12 小時，則定義該鋒面為影響台灣之梅雨鋒面個案。本研究考量研究結果所發展之氣候概念模式在應用上的即時性，選用地面之綜觀天氣圖定義鋒面位置，其鋒面位置可能與中尺度觀測之鋒面位置稍有落差，然而本研究個案眾多因而未能逐一討論各鋒面之定位對於分析結果之影響，故在此特別說明之。

若個案影響期間，台灣附近出現熱帶氣旋（熱帶性低氣壓、颱風等系統），綜觀環境場會受到颱風環流的影響，而無法判斷降雨是否與梅雨鋒面有關；因此，若  $15^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$ 、 $110^{\circ}\sim 130^{\circ}\text{E}$  及包含南海西北部區域（圖 2-2 灰色框線區域）有

熱帶氣旋出現時，該時段將排除於氣候統計資料之外。此外，2002 年有一鋒面個案影響時間為 6 月底至 7 月初，該個案在 6 月影響時間僅 12 小時、且鋒面位置在定義範圍邊緣較高緯度處，對台灣影響較小，故將該個案排除。

梅雨季的豪（大）雨事件始終是梅雨研究之重要課題，作業上，中央氣象局明定一地區之時雨量達 15 mm 以上且 24 小時累積雨量達 130 mm（50 mm）者，稱為豪雨（大雨）；然而，本研究期望立基於中尺度氣候模式，發展定量降雨預報，因此所關心的強降雨時間尺度較短，因而有必要選擇適當的標準，以定義較短時間的強降雨事件。吳等（1984）曾由氣象與水稻災害觀點定義豪雨，發現以 6 小時大於 30 mm 之累積雨量定義豪雨為一理想選擇，因此，本研究參考吳等（1984）的定義，以 6 小時累積降雨達 30 mm，且至少有 1 小時降雨量 15 mm 以上為標準；而 12 小時強降雨是根據 Post-TEMEX 預報實驗（陳與謝 1992；謝等 1993）定義之 B 型豪雨（12 小時累積降雨大於 50 mm，且至少有 1 小時降雨量 15 mm 以上）為強降雨門檻之標準。當流域內有任一測站的累積雨量達到上述強降雨標準，即視為該流域有強降雨事件發生。

## 2.2.2 資料處理

地面天氣圖上的鋒面為一線狀系統，其走向雖常為東北—西南，但仍有相當大的變化；此外，不同緯度之鋒面移速亦常不同。因此，為客觀定義梅雨鋒面之位置（同時為了將來之分析需要），選取台灣西部海岸線、 $121.5^{\circ}\text{E}$ （台灣北端以北使用）和  $120.7^{\circ}\text{E}$ （台灣南端以南使用）作為梅雨鋒面定位之參考線（如圖 2 - 3 所示），並判讀地面天氣圖（每 6 小時一張）上的梅雨鋒面與參考線交點之位置，判讀時，交點之緯度資料估計至小數點下一位。

由於自動雨量站之資料即時傳輸係使用無線電頻道，其頻寬有限，當發生劇烈降雨時，自動雨量站儀器可能發生電子訊號傳遞中斷的問題，造成雨量觀測資料出現延遲回傳（降雨時無法傳輸資料，降雨量值一併累積於之後傳輸，故出現

異常大之時雨量值) 的情形。劇烈降雨時段的資料為本文的重點研究資料，不能輕易捨去，故為使雨量資料庫更具代表性，本研究針對梅雨鋒面影響期間之雨量觀測資料仔細進行品質檢驗和校正，校正方法主要係參考 Lee et al. (2006) 之資料處理方式。

中央氣象局之自動雨量站資料說明(表 2-2)顯示，觀測雨量為-9996 和-9997 時，分別代表「雨量記錄值累積於後」和「原因不明之不合理資料值」，此兩種情形通常是自動雨量站觀測資料延遲回傳的結果，因此當單一測站的雨量觀測資料中出現連續或單筆-9996 或-9997 數值時(如圖 2-4 虛線框中所示)，本研究即會校正該時段前後之觀測資料，避免異常的時雨量值。校正時，主觀挑選出 1~3 個正常運作且環境條件(如測站之高度、地形、降雨量及降雨型態等因素)與資料有誤的站類似之鄰近測站作為比對。若該流域內多數測站皆須進行資料校正，導致難以挑選適當測站作為比對時，則以該流域內中央氣象局局屬人工觀測氣象站之雨量資料作為調整標準。校正時，依據比對用的測站於需校正時段內的逐時雨量變化趨勢(若比對用的測站大於兩站時，則先平均兩站之雨量值)，將待校正測站在該時段最末的異常累積雨量值分配為該時段內各小時降雨量，使待校正測站的雨量變化趨勢較為合理。例如圖 2-5 即為使用 2 個測站(46755 與 C1M44)對圖 2-4 中 C0H9A 測站之資料進行校正的實例，本次校正將 5 月 7 日 10 時之 380 mm 降雨合理分配至當日 1~10 時之時段。本研究所使用的雨量資料中，非正常觀測紀錄的雨量佔 5.5%，有延遲傳送情形之資料則佔資料總數 4.1%，其中，總資料數 3.1% 的資料可經由上述資料校正方法修正之(表 2-3)。

因考量以氣候概念模式進行定量降雨預報之需求，本研究將 0000 UTC、0600 UTC……等標準時間之雨量資料，以 6 小時為單位進行雨量累加(12 小時累積雨量則只計算 0000 UTC 與 1200 UTC 兩時段)，其中，以未來 0~6 小時(0~12 小時)之雨量總合代表 6 小時(12 小時)累積雨量值。此外，為保留較多的雨量資料以增加氣候模式之樣本數，計算累積雨量時，未來 0~6 小時(0~12 小時)期

間之無效值（無設站或未能經由雨量校正而重建之資料）資料數未超過累加資料數之三分之一時，即仍進行累加。以 2002 年 5 月 13 日 8 時之資料為例，若 13 日 9~14 時之雨量資料中，僅有 2 筆為無效值，則 13 日 8 時之 6 小時累積雨量為 13 日 9~14 時之時雨量總和。

### 2.2.3 重要綜觀檢查項目挑選方法

為了尋找影響強降雨事件發生與否的重要綜觀條件，本研究使用前述預報檢查表之資料，以統計方法計算預報檢查表上的綜觀環境特性與強降雨事件發生與否的關聯性，由於預報檢查表之檢查結果為定性的「符合」與「未符合」兩種，而強降雨事件亦有「發生」與「未發生」兩種情形，因此挑選重要檢查項目時，首先選用適合用於定性條件之獨立性檢驗的卡方檢定（Chi-square test），尋找和強降雨事件發生有關的綜觀環境特性；但由於卡方檢定只能判定兩變數之獨立性，無法得知兩者之相關程度，因此本研究分析時，再以卡方檢定算出之  $\chi^2$  值計算關係數「 $\Phi$  係數」，以取得強降雨事件發生與綜觀環境特性之間的相關程度。

卡方檢定為一無母數檢定法，主要概念是比較樣本資料之「觀察次數」（observed frequency）與「當虛無假設為真的條件下之期望次數」（expected frequency）的接近程度，然後依據卡方分配之假設檢定來判定接受或拒絕「虛無假設」，其中，虛無假設通常假設兩定性變數是獨立的。當觀察次數與期望次數的差異越大，檢定統計量  $\chi^2$  值落在拒絕域的機率越高，越有可能拒絕虛無假設；若  $\chi^2$  值高於某一預設顯著水準（ $\alpha$ ）下之  $\chi^2$  值，則可拒絕虛無假設。 $\chi^2$  值之定義為：

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

其中， $O_{ij}$  代表在  $i \times j$  的列聯表中，某一類別樣本資料之「觀察次數」。本研究以卡方檢定探討檢查項目「是否符合」以及強降雨事件「是否發生」之交叉關係，因此使用  $2 \times 2$  的列聯表（如表 2 - 4）， $O_{11}$  表示針對某一檢查項目，所有有

預報檢查表之鋒面過境時段資料中，該項目符合(i=1)且有強降雨事件發生(j=1)之資料筆數，其他項目依此類推。而  $E_{ij}$  代表樣本資料之「期望次數」，期望次數之計算公式如下：

$$E_{ij} = \frac{S(r)_i \times S(m)_j}{N}$$

其中，N 為資料總數， $S(r)_i$  為有強降雨事件發生之資料總數， $S(m)_i$  表示該項目有符合的資料總數，其他項目則依此類推。

當樣本數越小，資訊的分佈越不易與理想的期望次數分佈相近，因此，卡方檢定在樣本數不大時，容易出現高估  $\chi^2$ ，使檢定結果傾向拒絕虛無假設的情形。一般而言，對於 2×2 的列聯表分類結果，當有一類別的期望次數小於 10 但大於或等於 5 時，卡方檢定即可能出現偏差，則  $\chi^2$  值需做葉氏連續性修正(Yate's Correction for Continuity)，此時  $\chi^2$  值之計算公式（代號之意義同表 2-4）為：

$$\chi^2 = \sum_i \sum_j \frac{(|O_{ij} - E_{ij}| - 0.5)^2}{E_{ij}}$$

若有一類別的期望次數小於 5，則不適用卡方檢定（亦無法做葉氏連續性修正），此時可使用費雪精確檢定（Fisher exact test, Fisher 1935）的結果取代之。費雪精確檢定計算在兩變數獨立時，出現與觀察所得的樣本有相同排列的機率(P)值高低，若出現機率小於一預設標準值，則可否定兩變數獨立之假設。費雪精確檢定的機率計算公式（代號意義同表 2-4）如下：

$$P = \frac{\binom{O_{11} + O_{12}}{O_{11}} \binom{O_{21} + O_{22}}{O_{21}}}{\binom{N}{O_{11} + O_{21}}} = \frac{(O_{11} + O_{12})! (O_{21} + O_{22})! (O_{11} + O_{21})! (O_{12} + O_{22})!}{O_{11}! O_{12}! O_{21}! O_{22}! N!}$$

當  $\chi^2$  檢定結果拒絕虛無假設，即兩變數在統計上具有相關性時，可利用  $\chi^2$  值計算兩者之關聯係數  $\Phi$  係數 (phi coefficient)：



$$\Phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}}$$

$\Phi$  係數介於 0 與 1 之間， $\Phi$  係數越大表示兩變數相關程度越高。使用費雪精確檢定時，無法計算  $\chi^2$  值，故未能計算  $\Phi$  係數，此時無法得知兩變數定量的相關程度。

本研究中，檢驗各檢查項目與強降雨的關聯時，若樣本有一類別的期望次數大於或等於 10，以卡方檢定進行檢驗（若樣本有一類別的期望次數小於 10 但大於或等於 5 時，仍進行卡方檢定，但將作葉氏連續性修正），並選定顯著水準（ $\alpha$ ）0.05 做為拒絕域的門檻值，即由樣本計算而得的  $\chi^2$  值需大於顯著水準 0.05 時的標準  $\chi^2$  值（ $\chi^2_{\alpha=0.05}$  為 3.841），方可說檢查項目與流域發生強降雨有關。若樣本有一類別的期望次數小於 5，則改以費雪精確檢定檢驗其關聯性，此時亦選擇 0.05 作為門檻值，即當費雪精確檢定計算出之機率 P 值小於 0.05 時，方可說檢查項目與流域發生強降雨有關。

## 2.2.4 校驗方法

對於降雨模式之較校驗，一般常使用 2×2 的列聯表為基礎而建構之校驗方法，如前述預兆得分（TS）、前估（Prefiguration）與後符（Postagreement）等，本研究即使用上述三種評估方法對於本研究所建立的氣候概念模式進行評估。一般在計算預兆得分時，首先需選定一校驗門檻值，依預估雨量與觀測雨量相對於門檻值之關係製成列聯表，如

表 2 - 5 所示，a 表示當預報某測站降雨低於門檻值，且觀測到該測站降雨低於門檻值之次數（correct rejection），b 代表當預報某測站之降雨低於門檻值，但觀測到該測站降雨超過門檻值的次數（miss），c 為當預報某測站降雨超過門檻值，但觀測到該測站降雨低於門檻值的次數（false Alarm），而 d 則表示當預報某測站之降雨超過門檻值，且觀測到該測站降雨超過門檻值的次數（hit）。預兆得分如下式所示：

$$TS = \frac{d}{b + c + d}$$

此為正確預報降雨大於門檻值之次數，與觀測或預報中降雨超過門檻值之總次數的比值。由於未門檻的降雨並不是降雨預報的主要關注對象，因此此方法排除觀測與預報降雨皆沒有超過門檻值的情形；當預報降雨範圍和實際觀測降雨範圍完全重合時，稱為完美預報（ $TS = 1$ ，因  $b = c = 0$ ），若兩者沒有交集，則表示無預報能力（ $TS = 0$ ，即  $d = 0$ ）。

前估為正確預報降雨大於門檻值之次數，與觀測降雨大於門檻值總次數之比值，即為觀測降雨在事前被預報的比例，其定義如下：

$$\text{Prefiguration} = \frac{d}{b + d} \times 100\%$$

前估亦作可偵測機率（Probability of Detection，POD），；若 POD 值越接近 1，則正確預報比例越高。而後符為事前預報之降雨事後應驗的比例，其定義如下：

$$\text{Postagreement} = \frac{d}{c + d} \times 100\%$$

其與誤報率（False Alarm Ratio，FAR）相加後為 1，若後符越低，FAR 值將越高，則錯誤預報比例越高。

## 第三章 梅雨鋒面降雨氣候特徵分析

### 3.1 影響台灣之梅雨鋒面氣候特徵

依據本研究之個案定義標準篩選個案，結果顯示 1991~2006 年（共 16 年）5~6 月間，影響台灣地區之梅雨鋒面個案計有 134 個（表 3 - 1），所有個案之總影響日數共 390.25 日，總影響時數為 9500 小時，扣除期間受 8 個熱帶氣旋影響的時段，16 年梅雨季（共 32 個月）間，台灣地區受梅雨鋒面影響之總時數為 9254 小時。平均每季梅雨鋒面影響台灣的日數約為 24 日，佔各年 5~6 月 39% 的時間，顯示梅雨鋒面為梅雨季影響台灣的重要天氣系統。

此外，統計分析亦顯示，平均每年有 8.4 個梅雨鋒面個案影響台灣，每個個案影響台灣之時間約 2.9 日；此結果與陳與紀（1978）以及陳（1988）等研究所得之氣候平均值（平均每年有 4~5 道梅雨鋒面影響台灣，且鋒面平均生命期為 8 天）有所出入，主要是因為上述研究對於梅雨期之定義較短（5 月 15 日~6 月 15 日）、定義範圍較大（ $20^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{N}$ ， $100^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ ，即東亞地區），且定義個案須存在 24 小時以上（本研究為 12 小時以上）方列入統計，此方法使其個案影響時間較本研究結果長而個案數量亦較少，故本研究定義之個案數量較過去研究多應屬合理。1991~2006 年 134 個梅雨鋒面個案，於 5 月 1 日~6 月 30 日之間各半月之平均影響日數及平均個案數如圖 3 - 1 所示，顯見梅雨期間鋒面個案數隨季節減少，而 6 月 15 日之前影響日數隨時間增長，意謂 6 月上半月之前，鋒面移速隨季節減緩，此結果與陳（1988）的研究結果一致。

## 3.2 全台流域梅雨鋒降雨之空間分佈特徵

為了解梅雨鋒面所在位置對於台灣各流域之降雨影響，本研究將台灣附近區域，每  $0.5^\circ$  劃分為一緯度分區（若鋒面位於  $23.5^\circ\text{N}$ ，則歸類至  $23.5^\circ\sim 24^\circ\text{N}$  之緯度分區），探討梅雨鋒面位於各緯度分區時，各流域之 6 小時累積雨量之空間分佈特性（各流域之地理分佈見圖 3-2）。圖 3-3 顯示 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，鋒面通過  $20^\circ\sim 27^\circ\text{N}$  各緯度分區時，由全台 404 個測站的分區平均雨量內插而成之 6 小時累積雨量空間分佈圖。繪圖時，雨量資料內插使用 Cressman 逐步訂正方法（Cressman 1959）進行半徑權重內插（內插半徑由 20 km 逐步遞減至 1 km），圖中白色區域為測站密度較小（附近尚未設立測站或雨量為無效值），不利資料內插之區域，故無資料。

分析各累積雨量圖顯示，鋒面過境台灣本島（鋒面位於  $22^\circ\sim 25.5^\circ\text{N}$  區間）時，台灣地區平均有大範圍降水出現，其中大甲溪流域、曾文溪流域及高屏溪流域皆有顯著降水，而台灣西側雨量多於東側，整體降雨空間分佈與紀（2006）統計梅雨期降雨量之空間分佈相似。即使顯著降雨區域隨鋒面位置的改變略有移動，各緯度分區平均之較大降雨仍以山區為主，顯示台灣主要山脈在盛行西南氣流迎風面提供舉升機制，並為背風東部區域的水氣屏障的重要角色。

當鋒面位於  $25^\circ\sim 25.5^\circ\text{N}$  區域時，降雨集中於鋒面前方的台灣北部與中部地區，以雪山山脈南端的後龍溪流域、大甲溪流域和烏溪流域降雨最為顯著，顯示鋒面前緣西南風或低層噴流遇地形舉升帶來降水。當鋒面移至  $21.5^\circ\sim 25.0^\circ\text{N}$  區域間，鋒面造成的降水多集中在中央山脈西側山區及南部地區，其中以鄰近中央山脈南段之高屏溪流域降雨最為顯著，此反應梅雨季挾帶豐沛水氣之盛行西南氣流遇梅雨鋒前不穩定環境，因而在地形迎風面引發降雨之現象。

當鋒面距離台灣較遠，如移至  $21^{\circ}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$  以南或  $26^{\circ}\sim 26.5^{\circ}\text{N}$  以北時，降雨主要在發生於山區，雨區範圍小，但強度較強，此情況多為山區日間或午後零星對流所致。此外有些較強降雨發生於清晨，可能為局部中尺度流系統之影響。

值得注意的是，各緯度分區之 6 小時累積雨量標準差空間分佈圖（圖 3 - 4）顯示，各測站的緯度分區平均雨量常較其標準差小（多處標準差達平均雨量的 2 倍），顯示梅雨鋒面在同一位置分區時，測站雨量的變異仍大，即梅雨季降雨在時間上有高度不均勻的特性。因此，各緯度分區之雨量氣候平均值雖可提供概略的降雨資訊，然仍應注意其變異度。

### 3.3 主要流域梅雨鋒強降雨之空間分佈特徵

梅雨期之災害主要來自於其伴隨的豪（大）雨事件，因此，本研究乃針對梅雨期的強降雨進行較為深入之分析與探討；為深入討論，本文僅選取梅雨期降雨較為顯著之台灣西部流域進行強降雨之氣候特徵分析，其中，北部、中部與南部地區各選取 2 個境內測站數不少於 10 站之流域為代表。於中、南部地區，本文各選取兩個氣候上梅雨季易發生強降雨之流域：大甲溪流域、濁水溪流域、曾文溪流域及高屏溪流域；於北部地區則選取人口密集之淡水河流域與地形較為平緩之頭前溪流域為討論對象。此 6 個流域（如圖 3 - 2 所示）合稱為主要流域，其流域代碼、境內測站數量與平均所在緯度（境內各測站緯度之平均值）顯示於表 3 - 2。主要流域中，淡水河流域、濁水溪流域與高屏溪流域境內測站數較多。

#### 3.3.1 主要流域之強降雨資料處理與分析

當梅雨鋒面位在個案顯取範圍中，但鋒面雲帶距離流域較遠，如圖 3 - 5 所示之案例（此時鋒面位於  $21^{\circ}\sim 21.5^{\circ}\text{N}$  區間），此時流域仍有可能出現主要由午後對流所引起的強降雨，由於此類降雨主要是熱力強迫機制所引起，與本研究希望探討的鋒面或地形所提供的強迫機制不同，因此，本研究使用 GMS 衛星雲圖協助將此種午後對流事件自研究資料時段中排除（雨量資料視為無效值）。此外，梅雨鋒

面影響期間，鋒前亦常有零星對流系統自海上移入台灣（部份系統又受到台灣地形舉升）後，帶來強降雨，如圖 3 - 6 所示之案例（此時鋒面位於  $28^{\circ}\sim 28.5^{\circ}\text{N}$  區間），此種情況則列入本研究之討論範圍內。

排除午後對流事件後，針對主要流域境內各測站之資料進行 6 小時與 12 小時雨量累積，當有任一測站滿足強降雨之標準時，即視該流域有強降雨發生。圖 3 - 7 為 1991~2006 年梅雨鋒面影響期間，各主要流域 6 小時與 12 小時強降雨事件之發生比例（強降雨資料數與累積雨量資料總數之比值），各流域累積雨量資料總數因無效值之影響而稍有差異，各流域 6 小時累積雨量資料總數平均為 1434 筆，而 12 小時累積雨量資料總數平均約為 665 筆。圖中各流域之 12 小時強降雨發生次數均較 6 小時強降雨高，應是 6 小時強降雨的定義標準較為嚴苛所致。

比較圖 3 - 7 中各主要流域之強降雨發生機率，高屏溪流域的強降雨發生機率遠高於其他流域，發生機率超過 23%（意謂幾乎每 4 筆累計雨量資料中即有 1 筆為強降雨），而中南部其他 3 個流域發生機率約略相當，6 小時與 12 小時強降雨機率分別約為 16% 與 19%；此主要是由於高屏溪流域位於台灣西南部，為盛行西南氣流迎風面，且流域東側為南北走向之中央山脈，與西南風有近  $45^{\circ}$  之交角，地形可提供良好的舉升機制，有助於對流生成。而北部流域強降雨發生機率較低，其中，頭前溪流域 6 小時強降雨發生機率未達 10%；此主要是由於北部流域境內地形較為平緩，地形舉升作用較不顯著，且流域南方為東北—西南走向之雪山山脈，當北部流域位於鋒前，盛行西南風遇台灣地形時，將於台灣中、北部之風向轉為南南西風，此時位於背風面之北部流域因雪山山脈之阻擋，不易發生強降雨，但位於迎風面之大甲溪流域，則有較大機會降下強降雨。

### 3.3.2 主要流域強降雨隨鋒面位置變化之特徵

本節探討地面梅雨鋒面位於不同緯度分區時，各流域強降雨之氣候特徵，在此之前，首先說明梅雨鋒面位於不同緯度分區之資料筆數。圖 3 - 8a（圖 3 - 8b）

為 1991~2006 年梅雨鋒面影響期間，對應於 6 小時（12 小時）累積雨量資料初始時刻，梅雨鋒面位於各緯度分區之次數分佈圖。圖 3 - 8a 顯示，影響台灣之梅雨鋒面常分佈於  $26^{\circ}\sim 26.5^{\circ}\text{N}$  與  $24^{\circ}\sim 24.5^{\circ}\text{N}$  間，其出現次數均超過 120 次， $24^{\circ}\text{N}$  以南處鋒面出現次數隨緯度降低而遞減，至  $20^{\circ}\sim 20.5^{\circ}\text{N}$  處約為 60 次；而鋒面較少出現於  $28.5^{\circ}\text{N}$  以北與  $19.5^{\circ}\text{N}$  以南的緯度分區（出現次數少於 20 次），這些分區的分析結果將較不具代表性。

圖 3 - 8b 之次數分佈與圖 3 - 8a 相似，唯其次數約為圖 3 - 8a 各分區者的一半，多數分區仍有 30 次以上。圖 3 - 8a、b 兩者的次數分佈曲線均顯示有較高頻的振盪，其中，包含整數緯度之緯度分區（如  $20^{\circ}\sim 20.5^{\circ}\text{N}$  或  $23^{\circ}\sim 23.5^{\circ}\text{N}$  等）之次數高於未包含整數緯度者（如  $20.5^{\circ}\sim 21^{\circ}\text{N}$  或  $23.5^{\circ}\sim 24^{\circ}\text{N}$  等分區）。此曲線振盪之現象亦影響強降雨發生次數隨鋒面緯度位置變化的分佈，因此，本節除了探討強降雨之發生次數分佈，亦將分析各緯度分區之強降雨發生機率（強降雨發生次數與鋒面出現次數之比值），以降低資料筆數差異造成之問題。

梅雨鋒面位於各緯度分區時，主要流域 6 小時（12 小時）強降雨發生發生次數呈現於圖 3 - 9a（圖 3 - 9b）；而鋒面位於各緯度分區之 6 小時（12 小時）強降雨發生機率則呈現於圖 3 - 10a（圖 3 - 10b）。此外，為瞭解鋒面與流域所在緯度（表 3 - 2 右欄所示）之距離遠近與強降雨特徵的關係，本研究另以鋒面與流域所在緯度之相對距離為橫座標，探討流域位於鋒面前後，每  $0.5^{\circ}$  之 6 小時（12 小時）強降雨發生機率，其結果呈現於圖 3 - 11a（圖 3 - 11b），其橫軸座標為正（負）時，表示流域位於鋒前（後）。由於梅雨鋒面位於  $28^{\circ}\text{N}$  以北緯度分區的資料筆數較少（僅 0~5 筆，見圖 3 - 9a、b），該區資料易受到少數強降雨事件影響，而有 33% 或 50% 等相對較高的降雨發生機率（如圖 3 - 10a 中  $28^{\circ}\sim 28.5^{\circ}\text{N}$  處、圖 3 - 10a、b 中  $29.5^{\circ}\sim 30^{\circ}\text{N}$  處以及圖 3 - 11a、b 中鋒面在流域北部較遠處），使此部份結果參考價值較低，文後將不針對該資料進行探討。

討論各主要流域之 6 小時強降雨之分佈特徵，圖 3 - 9 a 與圖 3 - 10a 顯示當鋒

面由北而南逐漸靠近台灣本島 ( $22^{\circ}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$ )，各流域強降雨發生次數與強降雨發生機率均顯著提高 (發生機率由 10% 增為 30%)，當鋒面位於  $25.5^{\circ}\text{N}$  以南時，各流域均有較大的強降雨發生次數與發生機率；其中， $24^{\circ}\sim 24.5^{\circ}\text{N}$  處發生次數最高，而  $23^{\circ}\sim 23.5^{\circ}\text{N}$  處次之。此兩個區域分別為濁水溪流域南緣之玉山地區 (標高超過 3500 m，請見圖 2-1)，以及雪山南端與中央山脈北端山區 (標高達 3000 m)；顯示梅雨鋒面影響下，台灣地形提供之額外舉升，有助於強降雨的發生，且此效應在台灣主要高海拔山區所在之緯度分區處更加顯著。

先前關於圖 3-7 之討論顯示，北部流域之強降雨發生機率較中南部流域低，然而，圖 3-10 a 中，鋒面位於  $25^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$  區間時，淡水河流域之強降雨發生機率有時卻比其他流域高；其中，當鋒面位於  $25^{\circ}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$  時，淡水河流域之強降雨發生機率 (近 30%) 更為各流域之冠，此時即是鋒面位於淡水河流域 (流域位置見表 3-2) 之情況，顯示對淡水河流域而言，鋒面區之低層輻合與舉升作用，與其強降雨的發生有密切關係。此結果，亦可說明圖 3-11 a 中，淡水河流域於鋒面處 (橫座標為 0 處) 附近有較高強降雨發生機率之原因。

以圖 3-11a (圖 3-11b) 探討流域位於鋒面前後，每  $0.5^{\circ}$  之 6 小時 (12 小時) 強降雨發生機率，結果顯示，中南部各流域的強降雨發生機率於鋒前  $2^{\circ}\sim$  鋒後  $1^{\circ}$  較高，其中，鋒前略高於鋒面處。當鋒面與各流域之相對距離相同 (意謂固定圖 3-11 a 橫軸之值)，則流域位置越南方，其鋒前強降雨發生機率越高，此應是因為南部流域較容易接觸暖濕西南氣流，因此即使鋒面仍在台灣北部，鋒面伴隨之低層噴流仍可傳送暖濕氣流、增加低層輻合並且建立對流不穩定之環境 (Chen et al. 2005)，有助於強降雨的發生。而當流域位於鋒後，各流域之強降雨發生機率皆隨鋒面遠離而逐漸下降，且各流域之差異不如鋒前各流域之差異來得明顯。

圖 3-9 b 與圖 3-10 b 為 12 小時強降雨發生次數與發生機率圖，各流域間的比較與 6 小時強降雨分析結果相似；惟鋒面位於  $26.5^{\circ}\sim 27.5^{\circ}\text{N}$  時，各流域之 12 小時強降雨發生機率 (約 20%) 高於 6 小時強降雨發生機率 (約 10%)。圖 3-11 b



為流域位於鋒面前後，每  $0.5^\circ$  之 6 小時（12 小時）強降雨發生機率，圖中顯示，南部流域於鋒前  $0.5^\circ \sim 1^\circ$  區間，強降雨發生機率最高，中部流域及淡水河流域則是於鋒後  $0.5^\circ \sim 1^\circ$ ，強降雨發生機率最高；其中，鋒面過境後，鋒後的東北風受台灣北部地形舉升，因而使淡水河流域容易出現強降雨（Chen and Chen 2003; Chen et al. 2007）。

### 3.4 小結

本研究以 1991~2006 年梅雨期（5~6 月）影響台灣地區之 134 個梅雨鋒面個案，探討梅雨鋒面與流域降雨特徵之關係。134 個個案之氣候特徵顯示，平均每年有 8.4 個梅雨鋒面個案影響台灣，每年梅雨鋒面影響台灣的日數約 24 日，佔每年梅雨期 39% 的時間，顯示梅雨鋒面為梅雨季影響台灣之重要天氣系統。梅雨期間鋒面個案數隨季節減少，6 月上半月之前，鋒面移速隨季節減緩，此結果與陳(1988) 之研究結果一致。

探討梅雨鋒面位於不同位置時，全台各流域的 6 小時累積雨量之空間分佈，結果顯示，鋒面過境台灣本島（鋒面位於  $22^\circ \sim 25.5^\circ \text{N}$  區間）時，台灣地區有大範圍降水出現，其中大甲溪流域、曾文溪流域及高屏溪流域皆有明顯降水。顯著降雨區域隨鋒面位置的改變略有移動，但各緯度分區平均之較大降雨仍以山區為主，且西岸雨量多於東岸，顯示台灣主要山脈在迎風面提供舉升機制，並為背風東部區域的水氣屏障之重要角色。當鋒面位於台灣北部，降雨集中於鋒面前方的台灣北部與雪山山脈南端區域。當鋒面移至  $24.5^\circ \sim 25^\circ \text{N}$  以南區域，鋒面造成的降水多集中在中央山脈西側山區及南部地區，其中以鄰近中央山脈南段之高屏溪流域降雨最為顯著，反應梅雨季挾帶豐沛水氣之盛行西南氣流遇梅雨鋒前不穩定環境，因而在地形迎風面引發降雨之現象。

針對梅雨期降雨較為顯著之台灣西部流域進行 6 小時與 12 小時強降雨之氣候特徵分析，結果顯示，高屏溪流域之強降雨發生機率（超過 23%）遠勝於其他流

域，主要是由於高屏溪流域為盛行西南氣流迎風面，且其境內地形與西南風有近 $45^\circ$ 之交角，可提供良好的舉升機制；地形較為平緩之北部流域，強降雨發生機率較低，且當盛行西南風遇台灣地形於中北部轉為南南西風時，北部流域將受雪山山脈阻擋，不易發生強降雨，而迎風面之大甲溪流域則有較多機會發生強降雨。

分析鋒面位於不同位置時，各主要流域之 6 小時強降雨發生次數與發生機率，結果顯示，當鋒面位於 $24^\circ\sim 24.5^\circ\text{N}$ 處（玉山山區，標高超過 3500 m）強降雨發生次數最高，而 $23^\circ\sim 23.5^\circ\text{N}$ 處（雪山南端與中央山脈北端山區，標高達 3000 m）次之，顯示梅雨鋒面影響下，台灣地形提供之額外舉升，有助於強降雨的發生。當鋒面位於 $25^\circ\sim 25.5^\circ\text{N}$ 時，淡水河流域之強降雨發生機率（近 30%）更為各流域之冠，此時即是鋒面位於淡水河流域（流域位置見表 3 - 2）之情況，顯示對淡水河流域而言，鋒面區之低層輻合與舉升作用，與該流域強降雨的發生有密切關係。而中南部各流域的強降雨發生機率於鋒前 $2^\circ\sim$ 鋒後 $1^\circ$ 較高，其中，鋒前略高於鋒面處，此應與低層噴流之貢獻有關。當鋒面遠離，各流域於鋒後之強降雨發生機率下降；此外，分析顯示頭前溪流域之強降雨與梅雨鋒面之關係較弱。12 小時之強降雨發生機率分析則顯示，南部流域於鋒前 $0.5^\circ\sim 1^\circ$ 時，強降雨發生機率最高；中部流域及淡水河流域則於鋒後 $0.5^\circ\sim 1^\circ$ ，有最高之強降雨發生機率，而鋒面過境後，淡水河流域之強降雨主要是由鋒後東北風受台灣北部地形舉升所引起。

## 第四章 梅雨期綜觀環境分析

為了瞭解強降雨發生時之綜觀環境特性，本章選用 1997 年～2006 年中央氣象局作業上所使用的預報檢查表（表 2-1，原表有分析場、12 小時預報、24 小時預報等不同預報時段之檢查欄位，本文使用分析場欄位的資料進行分析），藉以探討 6 小時和 12 小時強降雨事件發生時，台灣附近易影響豪大雨發生的因子。此外，由於預報檢查表資料在梅雨季預報作業上取得容易，對於有雨量預報需求的水利單位，也可以在取得預報檢查表資料後，參考本研究對於綜觀環境之分析，得知發生強降雨的機率，以利防災工作的調度。

本部份之研究著重於 6 個主要流域，分析每個流域較為重要的綜觀環境檢查項目。預報檢查表資料之時間解析度為 12 小時一筆，但本研究之鋒面位置資料及雨量累積資料皆為 6 小時一筆，考量氣候法需要較多資料方能具有較具代表性的分析，因此，假設綜觀環境在 12 小時內不致有太大變化，以 0000 UTC 之預報檢查表資料代表 0000～1200 UTC 之綜觀環境。舉例來說，資料分析時，若有一 6 小時強降雨事件發生於 0600～1200 UTC 間，則以分析圖時間為 0000 UTC 的預報檢查表資料，做為該強降雨事件發生時的綜觀環境資訊。

### 4.1 伴隨梅雨鋒面之強降雨綜觀環境特性

#### 4.1.1 五、六月期間與梅雨鋒面影響期間的綜觀環境

圖 4-1 中各色實線顯示主要流域發生強降雨事件時，預報檢查表各單一檢查項目的符合機率（項目被勾選的比例）。圖 4-1a 實線部份顯示 6 小時強降雨事件發生時各檢查項目的符合機率，而圖 4-1b 實線部份則顯示 12 小時強降雨事件發生時各檢查項目的符合機率，兩圖所顯示之特徵相似且差異不大，因此以圖 4-1a 為代表進行討論。

由圖 4-1a 虛線可知，五、六月期間有 55% 的時間有梅雨鋒面存在於 20°N~28°N，118°E~124°E 間（第 1 項），而第 4、6 項之值亦顯示超過 50% 的比例，台灣附近是較為潮濕的情況（850 hPa 之露點溫度 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 、700 hPa 氣溫與露點溫度差 $\leq 3^{\circ}\text{C}$ ）。除此三項之外，預報檢查表各項目的符合機率均不高於 50%，其中，第 3、9、12、14 及 17 等項的符合機率只有 15% 以下，表示這些有利於對流發展或維持的條件並不常出現。但若只探討本研究定義之梅雨鋒面影響台灣的時段（圖 4-1a 點線），多數檢查項目符合機率比五、六月期間之符合機率提高約 10~30%，顯示梅雨鋒面的出現亦常伴隨有利於對流發展或維持的其他環境條件，使台灣地區更有機會出現較大雨勢。

由於本研究個案選取範圍（20°~27°N，119°~123°E）較第 1 項（梅雨鋒面存在於 20°~28°N，118°~124°E 間）定義的鋒面影響範圍小，因此梅雨鋒面影響台灣時（點線部份），第 1 項符合機率理應為 100%，實際統計結果卻稍有落差。探其原因，第 1 項未符合之個案時段，鋒面多位於本研究個案選取範圍邊緣，推測可能是氣象局預報員用以判定鋒面位置的方式與本研究略有不同所致。而相較五、六月間預報檢查表項目符合機率，梅雨鋒面影響時，第 2 項（台北位於鋒後 100 km 或鋒前 200 km 內）與第 13 項（22°~28°N，114°~127°E 間有 850/700 hPa 風切線出現）項目之符合機率提高超過 30%，亦是因為這些項目與梅雨鋒面的存在有直接關係之故。

#### 4.1.2 強降雨事件發生時之綜觀環境

圖 4-1 a 顯示伴隨梅雨鋒面的強降雨事件發生時（各色實線部份），預報檢查表各項目符合機率均較梅雨鋒面影響時的符合機率提高約 10~30%。為方便討論，本研究將強降雨事件發生時與未發生強降雨事件時的各檢查項目的符合機率相減，其結果呈現於圖 4-2，各流域略有差異，但強降雨事件發生時各項目符合機率普遍高出無強降雨時 10~30%，顯示幾乎所有的檢查項目均較容易伴隨強降雨事件發生。

圖 4-2a 為發生 6 小時強降雨事件時與未發生強降雨事件時，各檢查項目符合機率的差值，其中，差值較大者為低層噴流類型的檢查項目（第 7~10 項）。發生 6 小時強降雨時各流域第 10 項（南海 15°N 以北區域 850 hPa 有  $\geq 10$  kts 的南風~西南風）符合機率較未發生強降雨時有 25% 左右之提昇，顯示低層噴流上游較強的風場分量，較易伴隨主要流域的強降雨事件而發生；探討第 8 項（850 hPa 有  $> 25$  kts 的西南風）的機率差值，發現大甲溪、曾文溪及高屏溪流域的機率差值幾乎達 40%，比其他流域大許多，思考其原因，應是此三個流域分別位於雪山山脈、阿里山山脈與玉山山脈西側或西南側，兩山脈於流域境內約為南北走向，且海拔高度均超過 1500 m（請參見圖 2-1），故地形與 850 hPa 西南風有相當大的交角，當西南風較大時，富含水氣的西南氣流容易受到地形舉升，於流域內降下較大雨勢。此外，北部流域在第 16、17 項（台灣附近氣壓偏低）的機率差值略小於零，顯示對北部流域而言，氣壓與 6 小時強降雨的發生，關係較不密切。

圖 4-2b 為發生 12 小時強降雨事件時與未發生強降雨事件時，各檢查項目符合機率的差值，第 5、8、10 項仍為差值較大的項，整體結果與圖 4-2a 差異不大，較值得注意的是，北部流域和南部流域分別在第 19 項（台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側）與第 12 項（台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區）有較高的符合機率差值，這是 6 小時強降雨分析（圖 4-2a）中沒有的，顯示北部流域 12 小時強降雨的發生，與綜觀環境是否具備有利高層輻散的條件較為有關，若高層輻散良好，對流較易發展與持續，出現持續性的降雨。

需注意本文中，「厚度場分流區」之用詞引用自中央氣象局的預報檢查表，過去研究指出（Junker 1992；紀 2001；紀等 2004），厚度分流的型態將影響中尺度對流系統的移動，當中尺度度流系統在等厚度線分流區發展，且有低層強西南風自厚度分流區南側提供不穩定度平流時，對流容易向分流區上游區域移動，成為後造型（back-building）的中尺度對流，帶來持續性的強降雨。然而厚度場並無方向

性，使用「分流」一詞或許並不恰當，該項所描述的厚度場變化解釋為「溫度梯度變化」應較為清楚。文後，為討論方便，仍以厚度分流稱呼該項為。

本研究接下來分別計算在預報檢查表各單項條件符合的情況下，各主要流域發生強降雨的機率，結果呈現於圖 4-3。圖 4-3 a 為 6 小時強降雨的發生機率，圖中顯示當任一項目符合時，強降雨的發生機率普遍不超過 50%，南部流域的強降雨發生機率較中部流域高，而北部流域則為強降雨發生機率最低的地區，此與梅雨季整體雨量或豪大雨次數之空間分佈情況相符（紀 2006）。比較所有檢查項目，對於中、南部流域而言，當第 17 項（台灣附近地面氣壓 $<1005$  hPa）、第 12 項（台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區）、第 8 項（ $18\sim 26^{\circ}\text{N}$ ， $115\sim 125^{\circ}\text{E}$  間，850 hPa 有 $>25$  kts 的西南風）或第 3 項（高雄位於鋒前 200 km 內）符合時，強降雨發生的機率是較高的；對於北部流域而言，強降雨發生機率普遍不超過 20%，其中，當第 12 項（台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區）符合時，強降雨發生的機率較高，此外，對於淡水河流域，第 19 項（台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側）符合時亦有較多發生強降雨的機會，而對於頭前溪而言，當第 14 項（地面/850 hPa 有中尺度低壓）符合時，強降雨發生機率較高。

圖 4-3 b 顯示 12 小時強降雨的發生機率，其結果與 6 小時強降雨發生機率之分析結果相近，較不同的是，第 12 項（台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區）與第 19 項（台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側）的影響變得較為顯著。此部份之結果，與圖 4-2 b 的相關分析結果類同。

## 4.2 強降雨與重要綜觀因子

### 4.2.1 與強降雨相關之綜觀因子

利用卡方檢定或費雪精確檢定，本文分別對預報檢查表上 20 個項目與流域強降雨事件的發生進行獨立性檢定，設定虛無假設為「該檢查項目與流域強降雨的發生無關」，在顯著水準為 0.05 的情況下，檢定結果拒絕虛無假設時，表示該檢查

項目與流域強降雨的發生有關。與主要流域 6 小時及 12 小時強降雨有關的檢查項目總數，以及各項目與流域強降雨之關聯係數  $\Phi$  係數呈現於表 4 - 1（各項目所代表的意義請參見表 2 - 1）。表中顯示，預報檢查表共 20 個項目中，只有半數與北部流域強降雨的發生具有統計上的相關性，而與南部流域強降雨發生有關的項目則可達到 16 項以上；與中部地區強降雨相關的項目數方面，大甲溪流域比濁水溪流域有較多與強降雨相關的檢查項目。由此可知，南部流域與大甲溪流域的強降雨，與綜觀環境是否具有有利對流發展的條件關係密切。

由表 4 - 1 顯示，濕度分佈類（第 4~6 項）與低層噴流類（第 7~10 項）的項目幾乎皆與各主要流域之強降雨有統計上的相關性；此外，梅雨鋒面與北、高兩地的距離（第 2、3 項）以及 700/500 hPa 有短波槽（第 15 項），也是各流域強降雨的相關參數。潮濕的環境及低層噴流提供暖濕且具有較大潛在不穩定的大氣環境，而 700/500 hPa 的短波槽則提供低層輻合的機會；梅雨鋒面的角色更為重要，除了提供舉升機制，其伴隨的鋒前低層噴流更使鋒面區的對流能持續發展。上述項目影響的空間尺度較大，因而與各流域強降雨皆有很好的關聯性，其中，低層噴流更與南部流域和大甲溪流域有相當高的相關。

第 17 項（地面氣壓 < 1005 hPa）及第 13 項（有 850/700 hPa 風切線存在）與中南部流域之強降雨發生有關，但與北部流域強降雨發生無關，此主要是由於梅雨鋒面影響期間，台灣附近低層風場常為西北風與西南風輻合之情形，此風場與中南部流域境內南北走向的山脈有較大的交角，與山脈為東北-西南走向的北部地區相比，中南部之地形舉升機制較為顯著，較有利於強降雨的發生。

對於北部流域，相關性最佳的綜觀因子為第 19 項（台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側），且此項目只和北部流域的 12 小時強降雨有關，顯示北部流域若要有較持續的強降雨，常需借助高層噴流條入區右側提供的高層輻散，使潮濕空氣被舉升，凝結並釋出潛熱，讓對流能持續發展，達到 12 小時強降雨的標準。

## 4.2.2 綜觀因子於預報各流域強降雨之表現

預報檢查表可指示環境是否具備有利豪（大）雨發生的條件，當環境具備有利條件，則可預期容易發生較強的降雨。本研究期望找尋可以應用於預報流域強降雨的綜觀環境條件，因此，需要評估各檢查項目在預報流域是否發生強降雨的表現。本研究採用預兆得分（TS）做為預報準確與否之標準，設定觀測雨量門檻值為 2.2.1 節之強降雨定義門檻值，且流域中有任一測站達強降雨標準即視為強降雨發生。而預報雨量的部份，當檢查項目符合時，視為預報強降雨將會發生，反之，則視為預報強降雨不會發生。

將 1997~2006 年之預報檢查表資料與各流域之觀測雨量資料對應結果製成列聯表後，預兆得分計算結果圖示於圖 4-4，其中，圖 4-4 a（圖 4-4b）呈現以預報檢查表之單一項目判斷各主要流域是否發生 6 小時（12 小時）強降雨事件的預兆得分；而各流域 20 項平均預兆得分則列於表 4-2 左欄。平均預兆得分（表 4-2）顯示，以預報檢查表預估高屏溪流域強降雨是否發生，其表現最佳，而預報檢查表在預報中部流域強降雨之表現遜於南部流域，對於北部流域的強降雨則更無法掌握。此結果表示中、南部流域強降雨的發生，與綜觀環境是否具備有利條件有相當程度的關聯，但北部流域之強降雨則不然。此分析與 4.2.1 節得到與強降雨相關之檢查項目數以南部最多、大甲溪則居次的結果一致。

## 4.2.3 影響各流域強降雨之重要綜觀因子

本文 4.2.1 節使用統計方法找出與各流域發生強降雨有所相關之檢查項目，並計算關聯係數  $\Phi$  係數，而 4.2.2 節則以應用之觀點，評估各檢查項目對於預報流域強降雨的預兆得分。探討各流域兩參數（預兆得分與  $\Phi$  係數）的相關係數（圖 4-5），結果顯示，預兆得分與  $\Phi$  係數有很好的正相關，相關係數除了高屏溪與頭前河流域較低之外，其他流域之相關係數均在 0.85 以上，且許多預兆得分較高的項目，亦為與流域強降雨有所相關的項目。而此種與流域強降雨有關、且具有較高



預兆得分的項目，本研究稱之為影響流域強降雨的重要綜觀因子，該因子除可反應對於流域強降雨較有影響之綜觀環境條件，亦具備較好的預報流域強降雨的能力，可應用於強降雨發生與否的預報。稍後，本研究亦將之應用於氣候概念模式，以協助進行定量降雨預報。

所謂「具有較高預兆得分」，需有一客觀定義，由於各流域之預兆得分差異顯著，因此不適宜以絕對的分數為門檻值，來篩選得分較高者；故本研究針對個別流域，以該流域各項目預兆得分值前 33%之數值作為門檻值，篩選出具有較高預兆得分之項目。舉例來說，以預報檢查表各項目預報某一流域強降雨，表現最佳者預兆得分為 0.5，最差者為 0.2，則篩選門檻為 0.4，即預兆得分達 0.4 以上之檢查項目，為預報該流域強降雨時具有較高預兆得分的項目。各流域之篩選門檻呈現於表 4-3 中欄，同表右欄為通過篩選門檻之較高預兆得分項目數。其中，通過篩選的項數越少，表示通過篩選的項目其預報得分與未通過者之得分差異越大，此時，所挑出的項目應有相當的代表性。

篩選出較高預兆得分之項目後，進一步挑出其中與流域強降雨有關之項目，此即為影響流域強降雨的重要綜觀因子（表 4-3 中以灰色網底標記者，各項目內容見表 2-1）。探討影響各流域 6 小時強降雨之重要綜觀因子（表 4-3 上半部），850 hPa 低層噴流（第 8 項）是各流域唯一共通的重要綜觀因子，顯示低層噴流傳送低緯暖濕空氣、於噴流心下游區提供低層輻合以及建立條件性不穩定的環境場（Chen et al. 2005）等作用，有助於各流域強降雨事件發生。影響北部流域強降雨之重要綜觀因子除了低層噴流（第 7~10 項），亦包含 850 hPa 水氣分佈（第 4、5 項）以及鋒面與台北的相對位置（第 2 項）。其中，850 hPa 水氣場亦受到低層噴流所傳送的低緯度暖濕氣流之影響，當低層噴流出現，台灣附近之低層環境濕度可大幅提升。根據 3.3.2 節之分析，當淡水河流域位於鋒前  $0.5^{\circ}$ ~鋒後  $1^{\circ}$  區間，鋒面提供之舉升機制使淡水河流域之 6 小時強降雨發生機率升高（參見圖 3-11），此結果與第 2 項（台北位於鋒後 100 km 或鋒前 200 km 內）概念相同。值得一提

的是，頭前溪流域之重要綜觀因子尚有地面/850 hPa 中尺度低壓以及 700/500 hPa 短波槽等次綜觀或中尺度系統的出現（第 14、15 項），過去研究顯示，台灣西北部為中尺度低壓容易出現之區域之一（陳 1995），當中尺度低壓於台灣西北部旋生，此時低壓發展伴隨之低層風場改變，提供額外輻合作用，使台灣西北部於低壓出現後 6 小時內達到降雨最大值（陳與王 2002），因而影響西北部流域之 6 小時強降雨。然而，中尺度低壓的出現與頭前溪流域強降雨的關聯係數並不高(0.09)，顯示中尺度低壓雖提供輻合，但對於頭前溪流域的影響仍然有限。

中部流域的強降雨與鋒面位置（第 2、3 項）與 850 hPa 低層噴流（第 8 項）有關，而濁水溪流域之重要綜觀因子尚有 850 hPa 相當位溫（ $\theta_e$ ）主軸指向台灣（第 5 項）、南海 15°N 以北 850 hPa 有  $\geq 10$  kts 南風~西南風（第 10 項）、700/500 hPa 有短波槽（第 15 項）以及地面氣壓 $<1005$  hPa（第 17 項）。至於南部曾文溪流域之重要綜觀因子為高雄位於鋒前 200 km 內（第 3 項）、700/850 hPa 低層噴流（第 8、9 項）、台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區（第 12 項）以及地面氣壓 $<1005$  hPa（第 17 項）；而高屏溪流域之重要綜觀因子則為 850 hPa  $\theta_e$  主軸指向台灣（第 5 項）、地面與 850 hPa 西南風（第 7、8、10 項）、及台灣位於低壓帶內（第 16 項）。綜合而言，中南部之重要綜觀因子亦不外乎為提供舉升之梅雨鋒面、傳送暖濕氣流的低層噴流與 $\theta_e$ 主軸、以及提供低層輻合或渦度之短波槽、低壓與厚度分流場。

探討影響各流域 12 小時強降雨之重要綜觀因子，北部流域以台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側（第 19 項）為主，淡水河流域尚有台北位於鋒後 100 km 或鋒前 200 km 內（第 2 項）與南海 15°N 以北 850 hPa 有  $\geq 10$  kts 南風~西南風（第 10 項）。其中，台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側（第 19 項）並不為 6 小時強降雨之重要綜觀因子，此結果與 4.2.1 節之分析結果一致，顯示若高層輻散良好，對流較易發展與持續，達到 12 小時強降雨的標準。而中南部各流域之重要綜觀因子雖略有差異，但主要仍以鋒面位置（第 2、3 項）、850 hPa  $\theta_e$  主軸指向台灣（第 5 項）與地面與 850 hPa 西南風（第 7、8、10 項）為主。其中，大甲溪流域尚受到

700/500 hPa 短波槽之影響，而高屏河流域強降雨另與濕度類項目（第 4、6 項）與穩定度（第 20 項）有關。曾文河流域之重要綜觀因子，則有台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區（第 12 項）、700/500 hPa 有短波槽（第 15 項）、台灣位於低壓帶內（第 16 項），及 300/200 hPa 風場分流角度 $>45^\circ$ （第 18 項）等項。

### 4.3 小結

為討論伴隨梅雨鋒面之強降雨綜觀環境特性，本研究使用 1997~2006 年中央氣象局作業上所使用的預報檢查表資料，分析有利於豪（大）雨發生的綜觀環境條件。梅雨鋒面影響台灣期間，各檢查項目符合機率均比整個五、六月期間之符合機率高，顯示梅雨鋒面的存在，較常伴隨有利豪（大）雨發生的綜觀環境條件。比較各流域發生與未發生強降雨時，項目符合機率的差值，結果顯示低層噴流類的項目（第 7~10 項），在強降雨發生時的符合機率，遠高出未發生強降雨時段。

經由卡方檢定（或費雪精確檢定）與強降雨預報得分評估，挑出檢查項目中，與流域強降雨事件的發生關係密切（關聯性高且有預報能力）的重要綜觀因子，結果顯示，梅雨鋒面接近（第 2、3 項）、潮濕環境（第 4、5 項）、低層噴流（第 7~10 項）以及 700/500 hPa 有短波槽（第 15 項）等項目影響的空間尺度較大，因此幾乎與各主要流域之強降雨皆有相關。此外，梅雨鋒面影響期間，台灣附近低層風場常為西北與西南風之輻合，與中南部流域內南北走向的山脈有適當的交角，比山脈走向為東北-西南項的北部地區有較為顯著的舉升機制，因此，與影響低層輻合因素如第 17 項（地面氣壓 $<1005$  hPa）亦與中南部流域強降雨有關。而北部流域在 12 小時強降雨部份，與第 19 項（台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側）有很好的關聯，顯示北部流域若要有較持續的強降雨，需借助高層噴流條入區右側之低壓區提供高層輻散，以維持對流發展。

## 第五章 梅雨氣候概念模式

為提供梅雨期之短期定量降雨預報，本研究分析強降雨事件的綜觀環境與降雨特性，發展「氣候概念模式」，設計適用於不同流域的強降雨預報指引，期望藉此指引判斷是否會發生強降雨事件，進而提升模式對強降雨的預報能力。模式發展以先前所分析的台灣西岸 6 個主要流域（淡水河流域、大甲溪流域、濁水溪流域、曾文溪流域與高屏溪流域）為對象，第 5.1 節將說明模式設計方法，而第 5.2 節、第 5.3 節則分別進行模式校驗及結果討論。

### 5.1 模式設計

本研究建立之梅雨氣候概念模式以中尺度氣候法為基礎，選擇梅雨期較顯著的天氣系統—梅雨鋒面系統—為分析主體，計算 1991~2006 年間，梅雨鋒面系統位於特定緯度分區（本研究取  $18.5^{\circ}\sim 32^{\circ}\text{N}$  之間區域，每  $0.5^{\circ}$  劃分為一緯度分區）時，目標流域或測站的雨量氣候值（如圖 3-3 為全台各測站 6 小時累積雨量氣候值之空間分佈情形，亦可作為降雨預報之參考）。實際應用時，作業者只需輸入當下的地面鋒面位置，模式即可提供梅雨鋒面位於該緯度分區時的氣候值，作為未來 0~6 小時或 0~12 小時某一流域或測站的定量降雨預估值。此方法在梅雨鋒面移速較快時，可能造成較大誤差；然而，分析 1991 年~2006 年所有梅雨鋒面個案資料，梅雨鋒面平均移速約每小時 6 公里，相當於每小時移動  $0.05^{\circ}$ （若排除梅雨鋒面北退之時段，則平均南移速度約為每小時 13 公里，相當於每小時移動  $0.12^{\circ}$ ），顯示梅雨鋒面的平均移速不快，故應不致於造過大之預估誤差。

由上述方法，已可建立簡易的梅雨降雨之氣候模式，於梅雨鋒面影響台灣期間提供定量降雨預報。然而，梅雨鋒面伴隨之中尺度對流系統，常造成梅雨降雨的時空分佈相當不均勻，其中強降雨事件約只佔所有個案時段的 10~30%（因流域而異，請參見圖 3-7），經過氣候平均的動作，強降雨事件幾乎無法在氣候法中呈現，使得氣候模式在預報梅雨季強降雨時，能力仍顯不足。為改善此情況，本

研究運用第三章及第四章對於強降雨事件的分析結果，發展「氣候概念模式」，嘗試設計適用於不同流域的強降雨預報指引，期望藉此指引判斷是否會發生強降雨事件，進而提升模式對強降雨的預報能力。

### 5.1.1 預報指引之選擇

強降雨事件主要來自於對流性的降水，而對流的發展與大氣的不穩定度、水氣通量輻合以及是否有強迫機制存在息息相關，綜觀環境若能提供有利對流發展之條件，則強降雨事件發生的可能性自當提高。因此，本研究發展之氣候概念模式考量綜觀環境特性（環境溫度、濕度分佈或是否有舉升機制或高層輻散）與強降雨的關係，將前述分析所得到的各流域強降雨重要綜觀因子（表 4 - 3）用於氣候概念模式之中。以 1991~2006 年之雨量與預報檢查表資料，評估各流域所有重要綜觀因子同時符合的情況下，重要綜觀因子組合對於強降雨的預報能力（項目符合時預期流域將發生強降雨，反之則預期不發生強降雨）以及強降雨事件的發生機率（表 5 - 1）。結果顯示，重要綜觀因子對於各流域強降雨的預報能力偏低，其中，對於 12 小時強降雨的預報能力較 6 小時者高；強降雨發生機率則以高屏溪流域最高，淡水河流域次之。由於上述重要綜觀因子組合的強降雨預報能力不佳，因此，改以重要綜觀因子有部份符合時之情況做為預報指引。評估各流域強降雨重要綜觀因子在符合多少項目時，對於強降雨的預報可有最高的預兆得分，以得到較好的預報效果，評估結果如表 5 - 2。在此重要綜觀因子對於各流域之預報得分較表 5 - 1 中的得分高，其中，北部流域淡水河 12 小時之預報得分可達 0.29，但頭前溪之表現則較不理想；中部流域次之，預兆得分為 0.28~0.32；而南部流域表現最佳，可有 0.37~0.41 之預兆得分，整體評估表現尚可，因此，可將上述結果做為氣候概念模式之第一種強降雨預報指引（以下稱之為綜觀預報指引）。

除了綜觀環境的舉升機制，台灣的地形也提供了良好的舉升機制，本文 3.3.2 節之分析顯示，當鋒面位於台灣本島（22°~25.5°N）附近，台灣高聳的地形提供機械強迫作用，有利氣塊凝結成雲進而降雨，而使 22°~25.5°N 區間有較高的強

降雨發生機率。因此，本研究選取梅雨鋒面位於上述緯度區間中，且統計上流域強降雨發生機率大於 25% 的情況，作為另一強降雨預報指引（以下稱之為機率預報指引）。應用時，若鋒面位於某一流域強降雨發生機率大於 25% 的緯度區間中，視該流域可能發生降雨。各流域強降雨發生機率大於 25% 的緯度區間呈現於表 5-3。其中，頭前溪流域因強降雨發生機率不高於 25%，無法使用機率預報指引。表 5-3 顯示，流域所在位置越南邊，強降雨發生機率大於 25% 的區域越大，此結果意謂著即使梅雨鋒面位於台灣北部，中南部流域仍有不小的機率會發生強降雨；顯示梅雨鋒前活躍的對流系統與中、南部流域強降雨的相關。

實際應用時，將同時考量綜觀環境及地形舉升的因素，若上述兩種預報指引中有任一預報指引顯示某一流域可能發生強降雨，則原氣候模式預估的流域平均雨量值需做修正，此時，將以梅雨鋒面位於同樣緯度分區中，1991~2006 年間該流域所有強降雨發生時段的雨量氣候平均值（如圖 5-1）取代。各緯度分區的主要流域強降雨標準差呈現於圖 5-2，相較圖 3-3 與圖 3-4 所示之梅雨鋒面降雨平均值及標準差的比值（小於 0.5），強降雨事件之平均值與其標準差的比值較大（約為 0.5~大於 1），顯示強降雨事件的變異程度相對於所有梅雨期降雨來得較小，因此，其氣候平均值應較有參考價值。

## 5.2 模式結果校驗

為檢驗氣候概念模式的可用價值，本研究使用 2007~2008 年 5~6 月間影響台灣之 17 個梅雨鋒面個案（個案列表請參見表 5-4），針對 6 個主要流域的預估流域平均雨量進行獨立個案校驗。本研究之資料分析與氣候概念模式建立過程中，強降雨事件發生的定義均為「流域中出現一個以上累積雨量大於強降雨標準的測站」，然而氣候概念模式主要提供流域整體平均雨量的預報，因此，為求校驗之合理性，需選擇適當的流域平均雨量，作為判定流域是否發生強降雨的門檻值。

6 小時與 12 小時累積之流域平均雨量與流域內最大單站雨量之散佈圖（圖 5-

3) 顯示，各流域之平均雨量與最大單站雨量兩者的相關性佳（相關係數均在 0.8 以上），故可由線性趨勢公式推估各流域最大單站雨量達強降雨標準（即流域發生強降雨事件）時，相對應之流域平均雨量，其結果呈現於表 5 - 5。流域內測站數較多的淡水河、濁水溪、高屏溪等流域，流域平均雨量之強降雨標準與原強降雨標準之比約為 1：3，而其他流域則約為 1：2。

### 5.2.1 預報指引的強降雨預報能力校驗

氣候概念模式依賴預報指引來判斷流域內是否會發生強降雨、是否需對預估雨量進行修正，因此預報指引對強降雨事件的預報能力越好，氣候概念模式在強降雨部份的預報能力即越好，故在此先對預報指引的強降雨預報能力進行校驗。

表 5 - 6 呈現兩種預報指引分別使用或共同使用（兩者有一符合則視為可能發生強降雨）時，判斷「強降雨事件是否發生」的預兆得分。由表中可知，機率預報指引對於是否發生強降雨的預報能力明顯優於綜觀預報指引；綜觀預報指引的預報能力偏低，亦使兩種預報指引共同使用時之預兆得分，與單獨使用機率預報指引之得分差異不大。將此處綜觀預報指引之預報得分，與使用 1991~2006 年所有相依個案檢驗綜觀預報指引判斷強降雨發生與否之結果（表 4 - 3）相比，綜觀預報指引在面對獨立個案之預報能力明顯下降；此現象顯示，綜觀預報指引對於不同個案之預報能力變異度極大，也反應出即便綜觀環境相似，降雨特性仍會因個別梅雨鋒面系統之秉性與鋒面伴隨的中尺度對流系統而有截然不同的降雨特性，此結果亦與吾人之預期相符。

檢視校驗工作所使用的 2007~2008 年獨立個案的預報檢查表資料，各流域符合綜觀預報指引的環境條件鮮少發生，195 筆有效資料中，僅有 1 筆被認為可能發生強降雨；其中，大甲溪、曾文溪及高屏溪之流域平均雨量確實達到強降雨標準，而頭前溪的 6 小時累積雨量為 12.3 mm，與頭前溪流域的強降雨標準只差 1.4 mm（見表 5 - 5），亦屬接近強降雨事件發生。儘管如此，絕大多數實際發生流域強

降雨事件時（195 筆資料中，各流域的觀測強降雨次數為 20~37 筆不等），綜觀預報指引均無法辨識之，因而使預兆得分低落。

比較綜觀預報指引對 6 小時與 12 小時強降雨事件的預報能力，結果顯示，綜觀預報指引對南部流域 12 小時強降雨的預報能力稍高，但仍然有很大的改進空間。其原因應是由於 12 小時的強降雨常為較持續的對流降雨，此時綜觀環境若能提供高層輻散、中低層渦度平流，或有顯著低層噴流帶來暖溫潮濕、潛在不穩定度較高的西南氣流，則對流較容易持續發展，強降雨亦較容易發生；然而 6 小時的強降雨容易因為局部的熱力強迫而發生，此過程不必然需要多項綜觀因子的支持，因此，以綜觀因子作為 6 小時強降雨的指引，較不易有好的表現。

表 5-6 顯示，機率預報指引的預報能裡的校驗方面，僅以機率預報指引估計強降雨事件是否發生，在中、南部流域表現較佳，但在淡水河流域的預估能力則較差。校驗個案資料顯示，梅雨鋒面在  $27^{\circ}\text{N}$  及  $20^{\circ}\text{N}$  時，淡水河流域均有強降雨發生，然而統計上淡水河強降雨發生機率大於 25% 的緯度區間卻只在  $24^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$  附近，故預報時許多強降雨常未能預報到。若比較機率預報指引對 6 小時與 12 小時強降雨事件的預報能力，前者在中部流域有較高的預兆得分，而後者則在淡水河流域及南部流域表現較佳。

整體而言，兩種預報指引均使用時（兩種指引有一種符合時，即視為可能發生強降雨），預報指引在預報中、南部流域強降雨有較佳的表現（TS 為 0.2~0.3），但對淡水河流域強降雨之預報表現則較差（TS 為 0.09 及 0.15）。預報指引在預報北部及南部流域 12 小時強降雨的表現，優於對該流域 6 小時強降雨之預報。一般而言，降雨時間較持續的 12 小時強降雨，需要有較多有利對流持續發展的綜觀條件支持；而 6 小時強降雨則大多由梅雨鋒前的時、空尺度較小的對流系統造成，可預報度較低。本研究選取之預報指引考量了有利強降雨的綜觀環境因素，但未能突顯伴隨梅雨鋒面的中尺度對流之特性，因此，在 12 小時的強降雨預報具有較高的預兆得分。



## 5.2.2 氣候概念模式的定量降雨預報能力校驗

了解預報指引對強降雨事件的預報能力後，本小節接著對於氣候概念模式提供的定量降雨預報進行校驗，並將評估「氣候概念模式」與未使用預報指引的「氣候模式」，在定量降雨預報上的能力差異。校驗時，需選取適當的校驗門檻雨量值，本研究以 0.1 mm 作為有降雨的標準，累積雨量未滿 0.1 mm 者，如無降雨或雨跡，均視為無降雨之情形。至於強降雨的門檻值，與前一小節採相同標準，即表 5 - 5 所示之流域平均雨量。

圖 5 - 4a (b) 為氣候概念模式預報 0~6 (0~12) 小時降雨時，在各校驗門檻值之預兆得分。氣候概念模式對於預報 0~6 小時及 0~12 小時是否降雨 (校驗門檻值為 0.1 mm) 之預兆得分分別為 0.6~0.7 及 0.75~0.85；當門檻值提高，預兆得分便逐漸下降。其中，圖 5 - 4a 顯示北部流域在 15 mm 以上幾乎無預報能力，而大甲溪流域則在 15 mm 門檻值時，預報表現略優於 10 mm 門檻值者；此主要是由於預報指引對於判斷大甲溪流域是否發生強降雨的表現較佳 (TS 為 0.27，見表 5 - 6)，但對於北部流域是否發生強降雨較無預報能力，故兩者在強降雨標準以上的門檻值，預報表現有顯著差異。

比較氣候模式及氣候概念模式在各校驗門檻值下，對主要流域 0~6 小時流域平均雨量值之預兆得分，表 5 - 7 為兩模式在不同校驗門檻值下，對主要流域 0~6 小時流域平均雨量值之預兆得分，其結果與 0~12 小時流域平均雨量評估的結果 (表 5 - 8) 相似。對於大多數流域，氣候概念模式在較大降雨門檻值時有顯著的改進，符合本研究之預期。然而，對於濁水溪流域，氣候概念模式在 15~20 mm 降雨門檻值之 0~12 小時雨量預報能力卻略低於氣候模式 (表 5 - 8)。在同一校驗門檻值下，氣候概念模式對於中南部流域之定量降雨預報的預兆得分較北部流域高，然而氣候模式的校驗結果則以中部流域較佳，北部與南部流域表現差異不大，此亦反應預報指引的強降雨預報能力，明顯影響該地區之定量降雨預報表現。探討氣候概念模式對於各流域強降雨發生與否之預報表現 (表 5 - 7、表 5 - 8 末欄右

側)，結果顯示，此模式對於頭前溪流域之強降雨無預報能力；而對中、南部流域 6 小時（12 小時）強降雨的預報，此模式約有 0.2~0.25（0.18~0.3）之預兆得分，整體表現較對於淡水河流域之得分 0.09（0.15）高，顯示氣候概念模式對於中南部流域之定量降雨預報有較高的參考價值。

討論氣候概念模式於各校驗門檻下，對於各主要流域 6 小時與 12 小時定量降水預報之前估（圖 5-4c、d），兩圖中顯示，中南部流域在預報是否降雨（門檻值 0.1 mm）時，各流域前估均為 100%，此主要是由於鋒面位於特定位置的雨量氣候值平均值通常不為零，因此預報時，無論鋒面位在何處，此模式均會預報流域有降雨，使前估甚高。比較氣候概念模式對於各流域 6 小時定量降雨之前估（圖 5-4c），南部流域前估達 60% 以上，而中部流域門檻值 20 mm 以下者前估亦有 40%，而北部流域門檻值 10 mm 以上者前估則偏低（20% 以下），顯示此模式在事前對於中南部流域之降雨事件可有一定程度的掌握，但對於北部流域之預報表現則較差。圖 5-4d 顯示，模式在淡水河流域 12 小時定量降雨之前估較 6 小時定量降雨者高，而大甲溪流域則相反，此結果再次顯示預報指引對於預報結果之影響。圖 5-4e（f）呈現氣候概念模式對於各主要流域 6 小時（12 小時）定量降水預報之後符，圖中顯示，當校驗門檻逐漸增加，模式對於各流域定量降雨之後符逐漸降低；在 5mm 門檻值以上，後符低於 40%，顯示模式預估雨量達到校驗門檻時，實際應驗之比例偏低，亦即誤報率（定義為 1 減去後符之值）偏高。對於中南部流域，後符低於前估，指出此模式之假警報（false alarm）過多，存在過度預報（傾向預報流域會發生定量降雨）的問題。

表 5-9 為氣候概念模式對 5 月以及 6 月個案的 6 小時流域平均雨量之預兆得分，表中顯示，對於北部流域而言，此模式在不同的降雨門檻值下，5 月及 6 月預報能力優劣互現；而對中、南部流域，氣候概念模式在 6 月之得分均高於 5 月者。此應是由於東亞夏季季風多肇始於 5 月中下旬，當東亞季風肇始後，低層西南風增強，且低層水氣可藉由西南氣流由印度洋傳送至南海與西北太平洋地區（Hung

and Hsu 2008)，使台灣附近環境較為潮濕，整體而言，有利降雨重要綜觀環境因子之影響較 5 月顯著，因此使氣候概念模式在 6 月可有較好的表現。

## 5.3 小結

本章依照前述降雨特徵及綜觀分析結果，設計適用於不同流域的強降雨預報指引，進而發展氣候概念模式以改善氣候模式對於強降雨的預報，以提供定量降雨預報之參考。以 2007~2008 年 17 個獨立個案對模式 0~6 小時或 0~12 小時之預估雨量進行校驗；結果顯示，預報指引在預報中、南部流域強降雨是否發生時，有較佳的表現，但對淡水河流域強降雨之預報表現則較差。此外，預報指引在預報北部及南部流域 12 小時強降雨的表現，優於對該流域 6 小時強降雨之預報。此現象的主要原因，是本研究選取之預報指引考量了有利強降雨的綜觀環境因素，但未能突顯伴隨梅雨鋒面的中尺度對流之特性，因此在時間尺度較短、較容易受到中尺度對流系統影響的 6 小時的強降雨預報表現較差。

比較氣候模式與氣候概念模式對於 0~6 小時（或 0~12 小時）流域平均定量降雨預報之預兆得分，氣候概念模式在較大的降雨門檻時顯著優於氣候模式，反應出預報指引的使用，確實有助於改善氣候模式對於較強降雨的預報。整體而言，模式對於中南部流域的定量降雨預報較對北部流域之預報有參考價值；但對於中南部流域，氣候概念模式之後符低於前估，顯示模式假警報偏多的問題。比較氣候概念模式在 5 月個案與 6 月個案的預兆得分，對北部流域，兩者優劣互現；但對中南部流域而言，6 月的得分遠高於 5 月，故具有較高的參考價值，此與東亞夏季季風多於 5 月中後肇始有關。

## 第六章 討論與總結

梅雨鋒面伴隨之豪（大）雨使梅雨成為台灣災變天氣之一，陳等（1991）評估台灣地區梅雨季豪（大）雨的定量降雨預報能力，結果顯示整體預報表現尚待改進，尤其對於中尺度現象造成之豪（大）雨較無法掌握。近年來數值模式對於梅雨季降雨的預報能力有所改善，然而在短期預報上，仍需參考持續法或氣候法等預報方式。陳與張（2000）及陳與張（2001）分析以鋒面系統或中尺度低壓過境前後之降雨氣候特徵而建立的中尺度氣候模式，結果顯示氣候法在彌補觀測與模式提供訊息不足之 2~6 小時預報缺口上，具有參考應用的價值。因此，本研究使用較長年份（共 16 年）梅雨期之氣候資料，分析全台各流域相對鋒面位置之降雨氣候特徵，並探討影響各主要流域強降雨事件的綜觀環境條件，藉以建立以中尺度氣候法為基礎之氣候概念模式，最後評估與討論此模式於梅雨期間短期（0~6 小時、0~12 小時）定量降雨預報的可用性。

本文研究 1991~2006 年 5~6 月 134 個梅雨鋒面個案影響期間（排除熱帶氣旋影響時段），台灣地區之降雨氣候特徵隨地面梅雨鋒面移動之變化。全台降雨空間分佈顯示，鋒面過境本島（鋒面位於  $22^{\circ}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$  區間）時，台灣地區出現大範圍降水，而較大雨勢常出現於盛行西南風之迎風面，顯示梅雨鋒面雖提供舉升機制，但台灣地形對於降雨分佈的影響更為重要。當鋒面位於台灣山區附近時，各流域之強降雨發生次數最多，亦突顯地形的重要角色。探討各流域之強降雨發生機率，高屏河流域因位於盛行西南氣流迎風面，且其境內地形與西南風有交角，其強降雨發生機率為各流域之冠；而當鋒前盛行之西南風遇台灣地形於中北部轉為偏南風時，北部流域由於位於雪山山脈之背風側，強降雨發生機率低，反觀位於雪山山脈迎風面之大甲河流域，則較容易發生強降雨。當鋒面位於淡水河流域，該流域之強降雨發生機率高，顯示鋒面區之低層輻合與舉升作用，與該流域強降雨的發生有密切關係。而當鋒面遠離，各流域於鋒後之強降雨發生機率均下降。

陳與紀 (1978) 以 100 km (約 1° 緯度) 之解析度分析梅雨鋒面伴隨之豪雨，結果顯示，北部地區發生豪雨 (日雨量大於 50 mm) 最大機率出現於鋒前 100 km ~ 鋒後 200 km，南部地區則於鋒前 200~300 km 處出現最大值，鋒後 100~200 km 出現次大值 (圖 1-1 下方二曲線)。而本研究在探討鋒面在各緯度分區之強降雨出現機率時，空間解析度為每 0.5° 區分；為方便和陳與紀 (1978) 之結果比較，在此合併結果而以 1° 為一類別，則各流域之強降雨機率如圖 6-1 所示。圖中顯示，北部流域無論 6 小時或 12 小時之強降雨機率，均以鋒前 1° ~ 鋒後 2° (約為鋒前 110 km ~ 鋒後 220 km) 區域較高，此與陳與紀 (1978) 之研究結果一致。然而對於南部流域之強降雨，本研究之分析顯示，較大之強降雨發生機率出現於鋒前 2° ~ 鋒後 1° (鋒前 220 km ~ 鋒後 110 km)；相較陳與紀 (1978) 之研究結果，本文定義之強降雨較集中於梅雨鋒附近。比較本文之強降雨及陳與紀 (1978) 之豪雨定義標準，本文提及之強降雨是降雨時段較為集中的劇烈降雨，綜合上述討論，顯示梅雨季之劇烈降雨仍與梅雨鋒面位置有密切關係。

以 1997~2006 年中央氣象局作業上所使用的綜觀預報檢查表資料，分析各主要流域強降雨與綜觀環境特徵之關係。比較流域強降雨發生與未發生時，各項目符合機率的差值，結果顯示低層噴流在強降雨發生時段扮演重要角色。篩選與各流域強降雨相關 (通過卡方檢定或費雪精確檢定者) 且有利於預報 (預報強降雨之預兆得分較高者) 之重要綜觀因子，結果顯示梅雨鋒面接近、潮濕環境、低層噴流，以及 700/500 hPa 有短波槽等項目，因影響的空間尺度較大，故與各主要流域強降雨皆有相關。此外，北部流域 12 小時強降雨與台灣位於高層噴流條入區右側關係密切，顯示該區若要有較持續的強降雨，需借助高層噴流條提供高層輻散，以維持對流發展。而中南部流域強降雨與影響低層輻合較有關。其中，南部流域強降雨與台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區 (該用詞引用自中央氣象局的預報檢查表) 之關聯佳。

參考上述降雨特徵及綜觀分析結果，可設計適用於不同流域的強降雨預報指引；應用時，由預報指引評估流域強降雨是否發生，進而參照當下鋒面所在位置，針對強降雨與一般梅雨期降雨分別進行定量降雨預估，此即為氣候概念模式之主要概念。以 2007~2008 年 17 個獨立個案校驗氣候概念模式，結果顯示預報指引在預報中南部流域強降雨之表現較好，但對北部流域強降雨之預報得分偏低；由於預報 6 小時強降雨時，易受到降雨時空尺度較小的零星對流影響，預報指引的預報表現則不如預報綜觀控制較顯著的 12 小時強降雨時佳。比較氣候模式（未使用預報指引之中尺度氣候模式）與氣候概念模式對於 0~6 小時（或 0~12 小時）流域平均雨量的定量降雨預報能力，氣候概念模式在較大的降雨門檻時顯著優於氣候模式，顯示預報指引的使用，有助於改進氣候模式對於較強降雨的預報；然而，氣候概念模式之前估與後符則顯示，該模式有過度預報之現象。比較氣候概念模式在 5 月個案與 6 月個案的表現，在北部流域兩者優劣互現，但對中南部而言，6 月之得分遠高於 5 月，故具有較高的參考價值。

陳等(1991)評估中央氣象局對於台灣全島梅雨季大雨(日降雨量大於 50 mm)的定量降雨預報能力，其預兆得分約為 0.18，後符約為 57%，而前估僅 20%。本研究發展的氣候概念模式，其定量降雨預報以 6 小時及 12 小時為單位，累積預報時間較陳等(1991)以日為單位為短，且氣候概念模式以單一流域為預報區域，比陳等(1991)的預報範圍小；一般而言，預報範圍越小、累積預報時間越短，預報之難度越高。在此，即使兩種預報性質與校驗設計略有差異，以下仍將氣候概念模式在預報「流域強降雨」時的預報表現與陳等(1991)評估的大雨預報結果稍作比較，藉以了解本研究發展之模式是否較過去之預報有參考價值。在預兆得分部份的比較，氣候概念模式對於中南部流域之強降雨預報表現(圖 5-4a、b)均優於陳等(1991)之評估結果，顯示此模式在中南部流域的預報表現比 20 年前梅雨季預報之表現為佳。若比較兩種預報之前估，結果顯示氣候概念模式對於中

南部流域 6 小時強降雨的預報能力較過去大幅提高 (圖 5 - 4c); 此外, 氣候概念模式對於淡水河流域之 12 小時強降雨表現亦不亞於過去的預報表現 (圖 5 - 4d)。比較兩種預報之後符, 氣候概念模式的後符 (圖 5 - 4e、f) 均遠較過去預報者低, 指出誤報率較過去預報高, 顯示模式仍有待改進。然而, 實際應用時, 未預報到強降雨 (miss) 的失誤比發出假警報 (false alarm) 者更為嚴重, 因此, 儘管氣候概念模式可能出現假警報, 但此模式在預估中、南部流域強降雨時, 有很好的表現 (尤其南部流域之前估可達 60%), 故此模式應仍具有參考價值。

本研究所發展之氣候概念模式, 在中南部流域相較於北部流域可有較佳的預報表現, 縱使模式整體預報表現尚有許多改進空間, 此模式仍可於數值模式預報結果尚未穩定或各數值模式預報結果有所分歧時, 快速提供梅雨鋒面位於當下位置時的降雨氣候資訊。其中, 氣候統計時, 因需要較多個案方有代表性, 因此本研究選擇較為寬鬆的標準來定義強降雨事件; 然而劇烈降雨造成的災害 (尤其在都市地區), 亦為重要課題, 因此建議後續研究可參考水利署公告之各鄉鎮淹水雨量警戒值, 以各主要流域內各鄉鎮之最小淹水警戒值做為致災降雨的標準 (如表 6 - 1, 此表依據 99 年 3 月更新之淹水雨量警戒值而設計), 進一步分析致災降雨事件之降雨氣候特徵, 以及影響致災降雨的重要綜觀因子, 以提供致災型降雨之定量降雨預報參考。此外, 本研究亦建議後續發展梅雨期氣候概念模式時, 可將梅雨鋒面個案依其移行方式 (快速通過、滯留或北退)、生命期長短或降雨時空分佈等特性, 將個案進行分類; 針對各類型梅雨鋒面個案之研究, 則可進一步發展為適用於不同特性的鋒面之氣候概念模式, 發展更為完善的定量降雨預報。綜合而言, 雖然目前數值模式的發展迅速, 對定量降雨預報的能力亦在提升中, 但在應用上, 概念模式仍有其價值; 梅雨強降雨概念模式的發展除可作為預報之時主觀修正之參考外, 對於瞭解導致強降雨的過程亦有所幫助。

## 參考文獻

- 吳宗堯、陳泰然、謝信良、喬鳳倫、陳正改、蕭長庚與朱曙光，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。
- 紀水上，2001：梅雨季豪大雨預報技術之發展與整合(I)－總計畫暨子計畫：梅雨季豪大雨預報技術之發展與整合(I)。國科會專題研究報告，NSC90-2625-Z-052-005，84頁。
- 紀水上，2006：台灣的梅雨。中興工程科技研究發展基金會，65頁。
- 紀水上、齊祿祥與林允才，2004：梅雨季台灣及其鄰近地區中尺度對流系統發展與移動之概念模式研究。天氣分析與預報研討會論文彙編，428-433。
- 林松錦，2006：發展並建立梅雨季豪大雨預報技術(0-36小時)－子計畫：梅雨季豪大雨定量降水預報設計與校驗評估(II)。國科會專題研究報告 NSC94-2625-Z-008-004，22頁。
- 張惠玲、王溫和、黃葳芃、丘台光與陳嘉榮，2007：2006年LAPS短時預報系統之降水校驗分析。天氣分析與預報研討會論文彙編，265-269。
- 陳泰然，1988：東亞梅雨鋒面之綜觀氣候特徵研究。大氣科學，**16**，435-445。
- ，1994：台灣梅雨季之豪雨研究。大氣科學，**22**，455-477。
- ，1995：台灣梅雨季之中尺度現象：中尺度低壓。大氣科學，**23**，1-7。
- 陳泰然、王重傑、張智昇與王子軒，2005：梅雨季台灣中部地區降水與豪（大）雨之中尺度氣候特徵。大氣科學，**33**，
- 陳泰然與王重傑，2002：梅雨季台灣中北部地區伴隨鋒面與中尺度低壓豪（大）雨與定量降水之中尺度氣候研究。大氣科學，**30**，61-82。
- 陳泰然與吳清吉，1978：台灣五大城市之氣候特性分析。大氣科學，**5**，1-16。
- 陳泰然與林宗嵩，1997：梅雨季台灣中南部地區豪大雨之氣候特徵研究。大氣科學，**25**，289-306。
- 陳泰然與紀水上，1978：台灣梅雨鋒面之中幅度結構。大氣科學，**5**，35-47。
- 陳泰然與張子琦，2001：台灣中北部地區梅雨季鋒面降水中尺度氣候法之預報研究。大氣科學，**29**，361-378。
- 陳泰然與張智昇，2000：中南部地區梅雨季鋒面降水中尺度氣候法之預報校驗。大氣科學，**28**，205-220。



- 陳泰然與蔡清彥，1978：台灣地區梅雨個案之中幅度系統、觀測誤差與平衡 $\omega$ 值之分析。國立臺灣大學大氣科學系研究報告Mei-Yu-002，44頁。
- 陳泰然與謝信良，1992：台灣地區中尺度實驗計畫1992年預報實驗之規劃與執行計畫：預報實驗計畫辦公室（二）。國科會防災科技研究報告81-12號，60頁。
- 陳泰然、謝信良、陳來發與陳清得，1991：台灣地區現階段豪（大）雨預報能力。大氣科學，**19**，177-188。
- 謝信良，1996：嘉南地區定量降水預報整合計畫—總計畫（二）。國科會防災研究報告NSC85-2621-P-052-002，161頁。
- 謝信良、林雨我與陳來發，1993：台灣地區中尺度預報實驗設計研究（II）。國科會防災科技研究報告81-40號，93頁。
- 簡芳菁，1999：1998年梅雨期間MM5模式之降水預報。第六屆全國大氣科學學術研討會論文彙編，596-600。
- Chen, C. S., and Y. L. Chen, 2003: The rainfall characteristics of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1323-1341.
- Chen, C. S., Y. L. Chen, C. L. Liu, P. L. Lin, and W. C. Chen, 2007: Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan. *Wea. Forecasting*, **22**, 981-1002.
- Chen, G. T. J., 2004: Research on the phenomena of Meiyu during the past quarter century: An overview. *East Asian summer monsoon*, C. P. Chang, Ed., No.10, World Scientific, 357-403.
- Chen, G. T. J., 1977: A synoptic case study on mean structure of Mei-Yu in Taiwan. *Atmos. Sci.*, **4**, 38-47.
- , 1983: Observational aspects of the Mei-Yu phenomenon in sub-tropical China. *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 306-312.
- Chen, G. T. J., C. C. Wang, and D. T. W. Lin, 2005: Characteristics of low-level jets over northern Taiwan in mei-yu season and their relationship to heavy rain events. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 20-43.
- Chen, G. T. J., C. C. Wang, and L. F. Lin, 2006: A diagnostic study of a retreating mei-yu front and the accompanying low-level jet formation and intensification. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 874-896.

- Chen, G. T. J., and C. C. Yu, 1988: Study of Low-Level Jet and Extremely Heavy Rainfall over Northern Taiwan in the Mei-Yu Season. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 884-891.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Fisher, J., 1935: James Hammond and the Quatrain of Gray's "Elegy". *Modern Philology*, **32**, 301-310.
- Hung, C. W., and H. H. Hsu, 2008: The first transition of the Asian summer monsoon, intraseasonal oscillation, and Taiwan mei-yu. *J. Climate*, **21**, 1552-1568.
- Junker, N. W., 1992: *Heavy rain forecasting manual*. National Weather Service Training Center. 91 pp.
- Lee, C. S., L. R. Hwang, H. S. Shen, and S. T. Wang, 2006 : A Climatology Model for Forecasting Typhoon Rainfall in Taiwan. *Natural Hazards*, **37**, 87-105.
- Wang, C. C., G. T. J. Chen, T. C. Chen, and K. Tsuboki, 2005: A Numerical Study on the Effects of Taiwan Topography on a Convective Line during the Mei-Yu Season. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 3217-3242.
- Yanai, M., C. Li, and Z. Song, 1992: Seasonal heating of the Tibetan Plateau and its effects on the evolution of the Asian summer monsoon. *J. Meteor. Soc. Japen*, **70**, 319-31.

表 2-1 中央氣象局使用的台灣地區梅雨季豪(大)雨預報檢查表之 20 項檢查內容。

其中第 10 項於 2000 年啟用，第 11、12、16 及 19 項於 2003 年啟用。

### 台灣地區梅雨季豪(大)雨預報檢查表檢查項目

(涵蓋範圍 15°N~30°N, 110°E~127°E)

(一)、梅雨鋒面存在於：

1. 20°N~28°N, 118°E~124°E 間
2. 台北位於鋒後 100 km 或鋒前 200 km 內
3. 高雄位於鋒前 200 km 內

(二)、濕度分佈：

4. 850 hPa  $T_d \geq 15^\circ\text{C}$
5. 850 hPa  $\theta_e$  主軸指向台灣
6. 700 hPa  $T - T_d \leq 3^\circ\text{C}$

(三)、低層噴流(18°N~26°N, 115°E~125°E 間)

7. 地面有 10~20 kts 西南風
8. 850 hPa 有 > 25 kts 西南風
9. 700 hPa 有 > 30 kts 西南風
10. 850 hPa 有  $\geq 10$  kts 南風~西南風(南海 15°N 以北) (2000 年啟用)

(四)、溫度場

11. 850 / 700 hPa 風切線北側有冷舌 (2003 年啟用)
12. 台灣位於 500-1000 hPa 厚度場分流區 (2003 年啟用)

(五)、風切線(22°N~28°N, 114°E~127°E 間)

13. 有 850/700 hPa 風切線存在

(六)、次系統(華南沿海或南海北部, 114°E 以東)

14. 地面/850 hPa 有中尺度低壓
15. 700/500 hPa 有短波槽

(七)、氣壓(台灣附近)

16. 台灣位於低壓帶內 (2003 年啟用)
17. 地面氣壓 < 1005 hPa

(八)、高層風場

18. 300/200 hPa 風場分流角度 > 45°
19. 台灣位於 300/200 hPa 噴流條入區右側 (2003 年啟用)

(九)、穩定度

20. K 指數(K-Index) > 35

表 2 - 2 中央氣象局自動雨量站之雨量傳輸訊號特殊值說明表。

特殊值代碼	說明
-9994	儀器故障（原始觀測資料檔缺）
-9995	儀器故障（原始觀測資料檔內該站記錄缺）
-9996	紀錄值累積於後（超過 7 小時無紀錄）
-9997	不明不合理資料值、因不明原因或故障而無資料
-9998	雨跡
-9999	空白、未觀測而無資料

表 2 - 3 1991~2006 年梅雨鋒面影響台灣及影響台灣前 12 小時期間，全台 404 個測站之各項雨量資料總數。

404 個測站資料數總和	資料筆數	佔總資料比例(%)
雨量資料總數（不包含未設站時段）	3387,540	100
特殊值資料數（紀錄代碼為-9994~-9999 者）	185,301	5.5
需校正資料數（紀錄代碼為-9996 與-9997 者）	138,293	4.1
完成校正資料數	108,340	3.2

表 2-4 卡方檢定與費雪精確檢定所使用之列聯表， $N$  為樣本總數， $S(r)$  為列之邊際總次數， $S(m)$  為行之邊際總次數， $O$  則為觀測次數。

	項目符合	項目未符合	合計
發生強降雨事件	$O_{11}$	$O_{12}$	$S(r)_1$
未發生強降雨事件	$O_{21}$	$O_{22}$	$S(r)_2$
合計	$S(m)_1$	$S(m)_2$	$N$

表 2-5 校驗降雨預報能力時，所使用之列聯表。

	預報雨量	< 門檻值 (檢查項目未符合)	$\geq$ 門檻值 (檢查項目符合)
觀測雨量			
< 門檻值		Correct Rejection $\langle a \rangle$	False Alarm $\langle c \rangle$
$\geq$ 門檻值		Miss $\langle b \rangle$	Hit $\langle d \rangle$

表 3 - 1 1991~2006 年 5~6 月影響台灣之 134 個梅雨鋒面個案起迄時刻與影響天數。

年份	個案編號	起始時刻			結束時刻			影響日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
1991	1	5	1	00	5	2	18	1.75
	2	5	6	00	5	9	18	3.75
	3	5	11	06	5	12	12	1.25
	4	5	26	12	5	27	18	1.25
	5	6	5	12	6	7	12	2.00
	6	6	8	00	6	8	18	0.75
	7	6	17	18	6	18	06	0.50
	8	6	19	12	6	26	12	7.00
	9	6	27	00	6	27	18	0.75
1992	10	5	7	18	5	11	18	4.00
	11	5	15	00	5	19	12	4.50
	12	5	21	12	5	23	18	2.25
	13	5	25	12	5	27	00	1.50
	14	5	3	00	6	1	00	2.00
	15	6	5	00	6	5	12	0.50
	16	6	7	00	6	12	18	5.75
	17	6	15	12	6	19	12	4.00
	18	6	22	18	6	24	06	1.50
1993	19	5	2	00	5	4	12	2.50
	20	5	6	12	5	8	06	1.75
	21	5	9	00	5	1	06	1.25
	22	5	14	06	5	15	06	1.00
	23	5	21	12	5	29	00	7.50
	24	6	1	12	6	4	12	3.00
	25	6	4	18	6	11	18	7.00
	26	6	22	12	6	24	06	1.75
1994	27	5	3	00	5	5	18	2.75
	28	5	1	12	5	12	00	1.50
	29	5	14	12	5	15	06	0.75

年份	個案編號	起始時刻			結束時刻			影響日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
	30	5	17	00	5	19	00	2.00
	31	5	21	18	5	23	18	2.00
	32	5	25	12	6	6	00	11.50
	33	6	14	12	6	16	18	2.25
	34	6	17	12	6	21	00	3.50
1995	35	5	2	18	5	5	18	3.00
	36	5	6	12	5	1	06	3.75
	37	5	12	12	5	15	00	2.50
	38	5	14	00	5	19	00	5.00
	39	5	2	12	5	23	06	2.75
	40	5	25	18	5	28	06	2.50
	41	5	29	06	5	3	00	0.75
	42	6	7	12	6	16	12	9.00
	43	6	17	12	6	18	18	1.25
	44	6	26	12	6	29	00	2.50
1996	45	5	1	00	5	2	00	1.00
	46	5	4	06	5	7	00	2.75
	47	5	7	00	5	8	06	1.25
	48	5	1	00	5	12	00	2.00
	49	5	19	18	5	2	06	0.50
	50	6	1	00	6	2	06	1.25
	51	6	5	06	6	6	06	1.00
	52	6	2	18	6	22	00	1.25
1997	53	5	1	00	5	2	18	1.75
	54	5	8	06	5	9	18	1.50
	55	5	15	18	5	18	12	2.75
	56	5	18	18	5	24	00	5.25
	57	5	29	12	5	3	00	0.50
	58	6	1	18	6	5	18	4.00
	59	6	8	12	6	16	18	8.25
	60	6	21	06	6	21	18	0.50
	61	6	22	12	6	23	00	0.50

年份	個案編號	起始時刻			結束時刻			影響日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
1998	62	5	2	18	5	6	00	3.25
	63	5	11	12	5	13	06	1.75
	64	5	14	18	5	16	12	1.75
	65	5	17	00	5	21	18	4.75
	66	5	24	00	5	29	00	5.00
	67	5	29	12	5	31	18	2.25
	68	6	2	00	6	11	18	9.75
	69	6	19	06	6	2	12	1.25
1999	70	5	4	00	5	7	00	3.00
	71	5	7	18	5	9	00	1.25
	72	5	9	12	5	1	06	0.75
	73	5	18	00	5	2	06	2.25
	74	5	24	00	5	28	12	4.50
	75	5	29	12	5	3	06	0.75
	76	5	31	00	5	31	18	0.75
	77	6	2	00	6	3	00	1.00
	78	6	8	06	6	8	18	0.50
	79	6	11	12	6	14	06	2.75
	80	6	18	06	6	2	06	2.00
2000	81	5	1	00	5	3	00	2.00
	82	5	9	18	5	1	12	0.75
	83	5	19	00	5	2	18	1.75
	84	5	25	00	5	25	12	0.50
	85	5	27	06	5	29	18	2.50
	86	6	4	12	6	7	00	2.50
	87	6	8	18	6	19	06	10.50
2001	88	5	1	00	5	2	12	1.50
	89	5	6	06	5	1	06	4.00
	90	5	18	00	5	25	00	7.00
	91	5	27	06	6	1	18	5.50
	92	6	2	18	6	3	12	0.75
	93	6	4	18	6	7	12	2.75



年份	個案編號	起始時刻			結束時刻			影響日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
	94	6	8	06	6	9	00	0.75
	95	6	13	12	6	16	06	2.75
2002	96	5	9	12	5	12	00	2.50
	97	5	14	18	5	18	18	4.00
	98	5	21	18	5	24	12	2.75
	99	5	3	06	6	7	18	8.50
	100	6	11	00	6	18	12	7.50
	101	6	25	06	6	26	18	1.50
2003	102	5	7	12	5	8	18	1.25
	103	5	1	18	5	11	06	0.50
	104	5	14	18	5	19	06	4.50
	105	5	22	00	5	26	00	4.00
	106	6	6	00	6	16	12	10.50
2004	107	5	1	00	5	1	12	0.50
	108	5	3	12	5	6	00	2.50
	109	5	8	12	5	9	06	0.75
	110	5	13	00	5	14	06	1.25
	111	5	15	18	5	17	06	1.50
	112	5	2	12	5	27	00	6.50
	113	5	31	06	6	4	06	4.00
2005	114	5	1	12	5	4	00	2.50
	115	5	5	18	5	7	18	2.00
	116	5	8	06	5	16	00	7.75
	117	5	17	18	5	2	06	2.50
	118	5	21	18	5	26	00	4.25
	119	5	26	18	5	29	18	3.00
	120	5	3	06	5	31	18	1.50
	121	6	2	12	6	4	18	2.25
	122	6	11	06	6	18	00	6.75
	123	6	19	00	6	19	18	0.75
	124	6	22	12	6	24	00	1.50
	125	6	24	12	6	25	12	1.00

年份	個案編號	起始時刻			結束時刻			影響日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
2006	126	5	1	12	5	3	06	1.75
	127	5	4	00	5	4	18	0.75
	128	5	6	18	5	7	18	1.00
	129	5	1	06	5	11	06	1.00
	130	5	13	00	5	14	18	1.75
	131	5	22	06	5	25	06	3.00
	132	5	27	00	6	13	06	17.25
	133	6	15	00	6	16	06	1.25
	134	6	17	12	6	19	00	1.50

表 3-2 6 個主要流域之流域代號、境內測站數量與流域平均緯度列表。

流域名稱	流域代號	測站數	測站平均緯度 (°N)
淡水河	DSH	41	25.03
頭前溪	TCS	10	24.74
大甲溪	DCS	16	24.23
濁水溪	CSS	37	23.75
曾文溪	TWS	18	23.24
高屏溪	KPS	29	22.98

表 4-1 經卡方檢定或費雪精確檢定判定為與主要流域 6 小時及 12 小時強降雨有關的檢查項目總數（末欄），以及各項目與流域強降雨之關聯係數  $\Phi$  係數，空格處表示檢查項目與流域強降雨的發生無關。卡方檢定與費雪精確檢定之顯著水準為 0.05； $\Phi$  係數顯示為 \* 者，表示該項以費雪精確檢定檢驗相關，無法計算  $\Phi$  係數。

與強降雨有關 的綜觀因子	鋒面位置			濕度分佈			低層噴流				溫度場		風切線	次系統		氣壓		高層風場		穩定度	總 數	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
6 小 時	淡水河		0.14		0.16	0.18	0.10	0.15	0.12	0.16	0.14					0.10			0.09			10
	頭前溪		0.16	0.11	0.11	0.19		0.17	0.10	0.11	0.16				0.09	0.12						10
	大甲溪		0.23	0.21	0.15	0.19	0.15	0.26	0.27	0.18	0.18			0.12	0.09	0.16	0.15	0.20	0.10		0.13	16
	濁水溪		0.22	0.21	0.16	0.21	0.13	0.16	0.17	0.10	0.19		*	0.11	0.12	0.16		0.23			0.13	15
	曾文溪		0.18	0.26	0.18	0.19	0.16	0.24	0.31	0.25	0.21	0.21	0.25	0.18	0.16	0.21	0.16	0.29	0.22		0.12	18
	高屏溪	0.11	0.16	0.22	0.18	0.23	0.20	0.25	0.34	0.21	0.22	0.18	0.18	0.16	0.12	0.13	0.23	0.31	0.15		0.13	19
12 小 時	淡水河		0.21	0.12	0.13	0.19	0.10	0.13	0.10		0.18									0.27		9
	頭前溪		0.18		0.12	0.18		0.19	0.16	0.14	0.17				0.13	0.10			0.12	0.20		11
	大甲溪		0.21	0.19	0.16	0.22	0.16	0.23	0.22	0.17	0.22			0.09	0.16	0.16		0.14	0.15		0.11	15
	濁水溪		0.15	0.11		0.14		0.14	0.16	0.12	0.21					0.11		0.20				9
	曾文溪		0.18	0.26	0.18	0.24	0.14	0.24	0.27	0.16	0.20		0.26		0.13	0.19	0.20	0.27	0.21	0.16	0.18	17
	高屏溪		0.14	0.23	0.16	0.18	0.20	0.18	0.29	0.16	0.16		0.25		0.11	0.15		0.24	0.16	0.22	0.13	16

表 4 - 2 預報檢查表各項目（共 20 項）預報各流域 6 小時與 12 小時強降雨是否發生之平均預兆得分（左欄）、預兆得分篩選門檻（該流域各項目預兆得分值前 33%之數值，中欄）以及通過篩選門檻之較高預兆得分項數（右欄）。

		平均預兆得分	預兆得分篩選門檻	較高預兆得分項數
6 小 時	淡水河	0.13	0.13	9
	頭前溪	0.10	0.09	15
	大甲溪	0.17	0.20	4
	濁水溪	0.17	0.18	7
	曾文溪	0.21	0.23	5
	高屏溪	0.26	0.29	5
12 小 時	淡水河	0.18	0.22	3
	頭前溪	0.14	0.16	1
	大甲溪	0.21	0.21	8
	濁水溪	0.22	0.24	6
	曾文溪	0.25	0.25	9
	高屏溪	0.28	0.29	12

表 4-3 影響流域強降雨的重要綜觀因子（經卡方檢定或費雪精確檢定判定為與主要流域 6 小時及 12 小時強降雨相關，且預報是否發生強降雨的預兆得分通過篩選門檻之項目，灰色網底標記者）、其與流域強降雨之關聯係數  $\Phi$  係數以及重要綜觀因子總數（末欄）。卡方檢定與費雪精確檢定之顯著水準為 0.05。

重要綜觀因子		鋒面位置			濕度分佈			低層噴流				溫度場		風切線	次系統		氣壓		高層風場		穩定度	總數
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
6 小 時	淡水河		0.14		0.16	0.18		0.15	0.12	0.16	0.14											7
	頭前溪		0.16	0.11	0.11	0.19		0.17	0.10	0.11	0.16				0.09	0.12						10
	大甲溪		0.23	0.21				0.26	0.27													4
	濁水溪		0.22	0.21		0.21			0.17		0.19					0.16		0.23				7
	曾文溪			0.26					0.31	0.25			0.25					0.29				5
	高屏溪					0.23		0.25	0.34		0.22						0.23					5
12 小 時	淡水河		0.21								0.18									0.27		3
	頭前溪																			0.20		1
	大甲溪		0.21	0.19	0.16	0.22		0.23	0.22		0.22					0.16						8
	濁水溪		0.15			0.14		0.14			0.21											4
	曾文溪			0.26		0.24		0.24	0.27		0.20		0.26			0.19	0.20		0.21			9
	高屏溪		0.14	0.23	0.16	0.18	0.20	0.18	0.29		0.16										0.13	9

表 5 - 1 影響各主要流域強降雨的重要綜觀因子全數符合時，強降雨事件的發生機率（%）與以此預報強降雨是否發生之預兆得分（TS）。X 標記顯示無重要綜觀因子全數符合之紀錄，無法計算該流域的強降雨發生機率。

		預兆得分	強降雨發生機率 (%)
6 小 時	淡水河	0.10	25.0
	頭前溪	0.00	0.0
	大甲溪	0.05	12.5
	濁水溪	0.00	0.0
	曾文溪	0.00	0.0
	高屏溪	0.27	58.3
12 小 時	淡水河	0.24	55.6
	頭前溪	0.24	26.3
	大甲溪	0.04	16.7
	濁水溪	0.26	39.1
	曾文溪	0.00	X
	高屏溪	0.15	66.7

表 5 - 2 由 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，影響主要流域強降雨發生之重要綜觀因子項目數，及具有最佳預報強降雨能力時之最低需符合項數，與其預兆得分 (TS) 和強降雨發生機率 (%)，強降雨事件發生指流域中有任一測站 6 小時累積雨量達 30 mm 或 12 小時累積雨量達 50 mm。

		最低需符合項數/ 重要因子項數	預兆得分	強降雨發生機率 (%)
6 小 時	淡水河	6 / 7	0.19	36.4
	頭前溪	7 / 10	0.18	10.0
	大甲溪	3 / 4	0.28	38.1
	濁水溪	6 / 7	0.29	14.3
	曾文溪	3 / 5	0.39	36.4
	高屏溪	4 / 5	0.38	37.5
12 小 時	淡水河	2 / 3	0.29	29.5
	頭前溪	1 / 1	0.19	26.3
	大甲溪	7 / 8	0.32	25.0
	濁水溪	4 / 4	0.29	39.1
	曾文溪	6 / 9	0.41	52.9
	高屏溪	7 / 9	0.37	59.3

表 5 - 3 1991~2006 年 5~6 月梅雨影響台灣期間，各流域 6 小時及 12 小時強降雨發生機率大於 25% 的緯度區間，頭前溪流域無強降雨發生機率高於 25% 的緯度區間。

	6 小時	12 小時
淡水河	25°~25.5°N	24°~24.5°N
頭前溪	x	x
大甲溪	23°~23.5°N，24°~25°N	23°~24°N，24.5°~25°N
濁水溪	23°~23.5°N，24°~25°N	22.5°~24°N，24.5°~25.5°N
曾文溪	22.5°~25°N	22.5°~25°N
高屏溪	22°~25°N	22°~25°N





表 5 - 4 2007~2008 年 5~6 月影響台灣之 17 個梅雨鋒面系統個案起迄時刻與影響天數。

年份	個案 編號	起始時刻			結束時刻			影響 日數
		月	日	UTC	月	日	UTC	
2007	1	5	4	18	5	6	06	1.50
	2	5	12	06	5	14	12	2.25
	3	5	16	06	5	23	12	7.25
	4	5	26	00	5	27	00	1.00
	5	5	27	18	5	3	00	2.25
	6	6	2	00	6	13	00	11.00
	7	6	14	12	6	17	12	3.00
2008	8	5	1	00	5	1	12	0.50
	9	5	4	18	5	6	12	1.75
	10	5	7	00	5	7	18	0.75
	11	5	9	06	5	1	12	1.25
	12	5	19	12	5	22	00	2.50
	13	5	24	12	5	26	12	2.00
	14	5	28	18	6	8	00	10.25
	15	6	11	00	6	13	18	2.75
	16	6	14	18	6	16	06	1.50
	17	6	28	06	6	29	06	1.00

表 5-5 主要流域 6 小時及 12 小時最大單站雨量達強降雨標準（6 小時累積雨量達 30 mm 或 12 小時累積雨量達 50 mm）時之流域平均雨量（mm）。

	6 小時	12 小時
淡水河	8.84	17.1
頭前溪	13.7	25.7
大甲溪	13.9	24.8
濁水溪	9.21	17.5
曾文溪	12.5	22.7
高屏溪	9.27	18.8

表 5-6 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候概念模式之預報指引對判斷主要流域是否發生 6 小時或 12 小時強降雨事件的預兆得分（TS）。頭前溪流域因強降雨發生機率不高於 25%，無法使用機率預報指引。

		綜觀預報指引	機率預報指引	兩種預報指引
6 小 時	淡水河	0.00	0.09	<b>0.09</b>
	頭前溪	0.00	x	<b>0.00</b>
	大甲溪	0.03	0.25	<b>0.27</b>
	濁水溪	0.00	0.20	<b>0.20</b>
	曾文溪	0.03	0.22	<b>0.23</b>
	高屏溪	0.03	0.24	<b>0.25</b>
12 小 時	淡水河	0.00	0.15	<b>0.15</b>
	頭前溪	0.00	x	<b>0.00</b>
	大甲溪	0.00	0.18	<b>0.18</b>
	濁水溪	0.00	0.18	<b>0.18</b>
	曾文溪	0.06	0.25	<b>0.27</b>
	高屏溪	0.10	0.29	<b>0.32</b>

表 5-7 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候模式及氣候概念模式在不同門檻值下，對主要流域 6 小時流域平均雨量預估之預兆得分 (TS)，左側為氣候模式之 TS，右側為氣候概念模式之 TS。

	校驗門檻值 (mm 6hr <sup>-1</sup> )							
	0.1	1	5	10	15	20	30	強降雨門檻
淡水河	0.66 / 0.66	0.41 / 0.41	0.24 / 0.24	0.00 / 0.09	0.00 / 0.05	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.09
頭前溪	0.60 / 0.60	0.42 / 0.42	0.32 / 0.33	0.00 / 0.03	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00
大甲溪	0.70 / 0.70	0.55 / 0.55	0.37 / 0.38	0.23 / 0.24	0.12 / 0.25	0.00 / 0.21	0.00 / 0.03	0.14 / 0.27
濁水溪	0.70 / 0.70	0.51 / 0.51	0.37 / 0.37	0.10 / 0.19	0.00 / 0.15	0.00 / 0.13	0.00 / 0.00	0.13 / 0.20
曾文溪	0.64 / 0.64	0.44 / 0.44	0.27 / 0.28	0.22 / 0.22	0.00 / 0.19	0.00 / 0.11	0.00 / 0.08	0.12 / 0.22
高屏溪	0.68 / 0.68	0.52 / 0.52	0.35 / 0.36	0.22 / 0.25	0.00 / 0.21	0.00 / 0.15	0.00 / 0.11	0.22 / 0.25

表 5-8 2007 年~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候模式及氣候概念模式在不同門檻值下，對主要流域 12 小時流域平均雨量預估之預兆得分 (TS)，左側為氣候模式之 TS，右側為氣候概念模式之 TS。

	校驗門檻值 (mm 12hr <sup>-1</sup> )							
	0.1	5	10	15	20	30	50	強降雨門檻
淡水河	0.78 / 0.78	0.38 / 0.38	0.23 / 0.23	0.17 / 0.18	0.00 / 0.17	0.00 / 0.21	0.00 / 0.00	0.00 / 0.15
頭前溪	0.74 / 0.73	0.43 / 0.44	0.27 / 0.27	0.12 / 0.13	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00
大甲溪	0.81 / 0.81	0.54 / 0.54	0.42 / 0.42	0.33 / 0.33	0.28 / 0.28	0.00 / 0.13	0.00 / 0.04	0.00 / 0.18
濁水溪	0.85 / 0.85	0.52 / 0.52	0.35 / 0.35	0.18 / 0.17	0.18 / 0.16	0.00 / 0.11	0.00 / 0.00	0.23 / 0.18
曾文溪	0.75 / 0.75	0.48 / 0.48	0.34 / 0.35	0.24 / 0.25	0.24 / 0.30	0.00 / 0.18	0.00 / 0.08	0.23 / 0.27
高屏溪	0.77 / 0.77	0.51 / 0.51	0.43 / 0.44	0.33 / 0.35	0.26 / 0.27	0.00 / 0.15	0.00 / 0.12	0.29 / 0.30

表 5 - 9 2007 年~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候概念模式在不同門檻值下，對主要流域 6 小時流域平均雨量預估之預兆得分 (TS)，左側為對 5 月個案進行校驗之 TS，右側為對 6 月個案進行校驗之 TS。

	校驗門檻值 (mm 6hr <sup>-1</sup> )							
	0.1	1	5	10	15	20	30	強降雨門檻
淡水河	0.67 / 0.66	0.35 / 0.47	0.21 / 0.26	0.19 / 0.04	0.13 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.18 / 0.03
頭前溪	0.61 / 0.59	0.39 / 0.45	0.29 / 0.35	0.08 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00	0.00 / 0.00
大甲溪	0.63 / 0.77	0.47 / 0.63	0.30 / 0.45	0.16 / 0.30	0.14 / 0.32	0.12 / 0.26	0.00 / 0.04	0.18 / 0.31
濁水溪	0.65 / 0.75	0.47 / 0.54	0.29 / 0.43	0.10 / 0.23	0.11 / 0.18	0.06 / 0.16	0.00 / 0.00	0.10 / 0.25
曾文溪	0.60 / 0.68	0.40 / 0.46	0.23 / 0.32	0.12 / 0.29	0.10 / 0.25	0.07 / 0.13	0.05 / 0.09	0.13 / 0.27
高屏溪	0.66 / 0.70	0.46 / 0.58	0.26 / 0.44	0.19 / 0.29	0.15 / 0.24	0.07 / 0.20	0.05 / 0.14	0.19 / 0.29

表 6-1 各主要流域 6 小時與 12 小時之致災累積降雨量標準。

	致災累積雨量 (mm)					
	淡水河	頭前溪	大甲溪	濁水溪	曾文溪	高屏溪
6 小時	70	100	100	100	100	100
12 小時	100	120	140	120	130	140



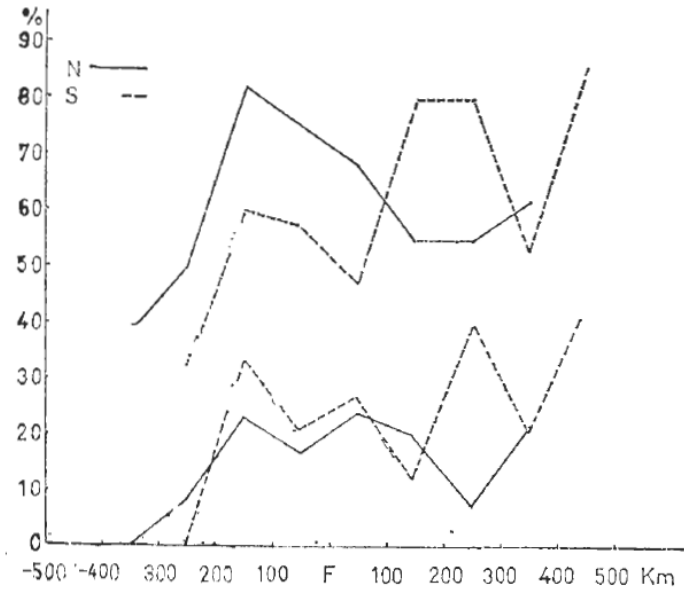


圖 1-1 1972~1977 年 5 月 15 日至 6 月 15 日梅雨鋒面影響期間，台灣北部(台北、新竹測站，標記為 N)及南部(台南、高雄測站，標記為 S)地區相對於鋒面(F)之各間距(km)之相對降水機率百分比。上方兩曲線指降水量大於或等於  $10 \text{ mm day}^{-1}$  之日數佔總降水日數之百分比；下方兩曲線指降水量大於或等於  $50 \text{ mm day}^{-1}$  之日數佔總降水日數之百分比。橫軸負值表示鋒後。(陳與紀 1978)

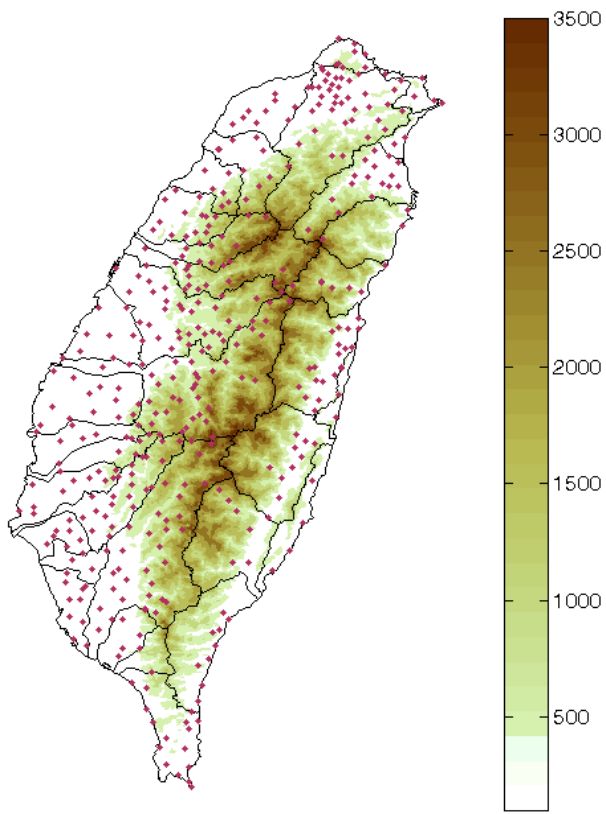


圖 2 - 1 台灣流域集水區地形與本研究使用之 404 個雨量測站分佈圖，地形標高單位為公尺。

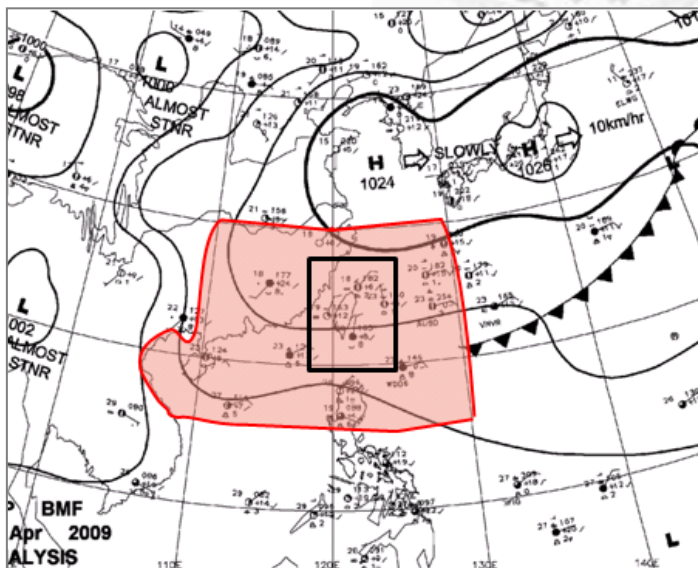


圖 2 - 2 個案選取時定義之鋒面影響範圍（黑色框線）與颱風或熱帶低壓影響範圍（灰色框線）。



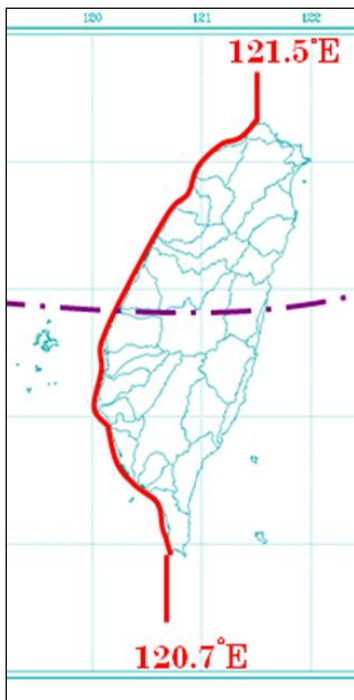


圖 2-3 梅雨鋒面定位時所採用之參考線（實線），台灣本島以西部海岸線為參考線，台灣北端以北與南端以南則分別以 121.5°E 與 120.7°E 為參考線；虛線部份為梅雨鋒面之示意位置。

1999 9905040507		num-stn= 37		num-t= 85			
station	46755	C1M44	COH9A	C1I34	C1I35	C1I07	C1I06
lat	23.49	23.47	23.53	24.84	24.84	23.59	23.62
lon	120.95	120.85	120.83	121.95	121.95	120.89	120.93
0504 08	0	0	0	-777	-777	0	0
0504 09	0	0	0	-777	-777	0	0
0504 10	0	0	0	-777	-777	0	0
0506 19	25	20	10	-777	-777	5	5
0506 20	5	10	5	-777	-777	5	5
0506 21	10	0	0	-777	-777	0	0
0506 22	5	0	0	-777	-777	0	5
0506 23	10	0	0	-777	-777	0	0
0506 24	40	35	65	-777	-777	50	55
0507 01	105	65	-9996	-777	-777	40	60
0507 02	80	70	-9996	-777	-777	45	45
0507 03	80	60	-9996	-777	-777	45	55
0507 04	80	75	-9996	-777	-777	45	45
0507 05	45	50	-9996	-777	-777	15	15
0507 06	15	30	-9996	-777	-777	0	5
0507 07	25	20	-9996	-777	-777	5	10
0507 08	35	35	-9996	-777	-777	0	0
0507 09	10	5	-9996	-777	-777	0	5
0507 10	35	30	380	-777	-777	5	20

圖 2-4 流域逐時雨量值回傳特殊值之範例。虛線方框部份為需校正之連續特殊值及最後的累積雨量值。

1999 9905040507	times= 10		
station	C0H9A	46755	C1M44
1999050701	68.0	85.0	
1999050702	60.0	75.0	
1999050703	56.0	70.0	
1999050704	62.0	77.5	
1999050705	38.0	47.5	
1999050706	18.0	22.5	
1999050707	18.0	22.5	
1999050708	28.0	35.0	
1999050709	6.0	7.5	
1999050710	26.0	32.5	

圖 2-5 特殊值經勘誤後之列表範例，與圖 2-4 為同一個案資料。左側虛框為目標測站經權重後之雨量資料；右側虛框為用來比對的兩個測站 46755 及 C1M44 的逐時雨量平均值。



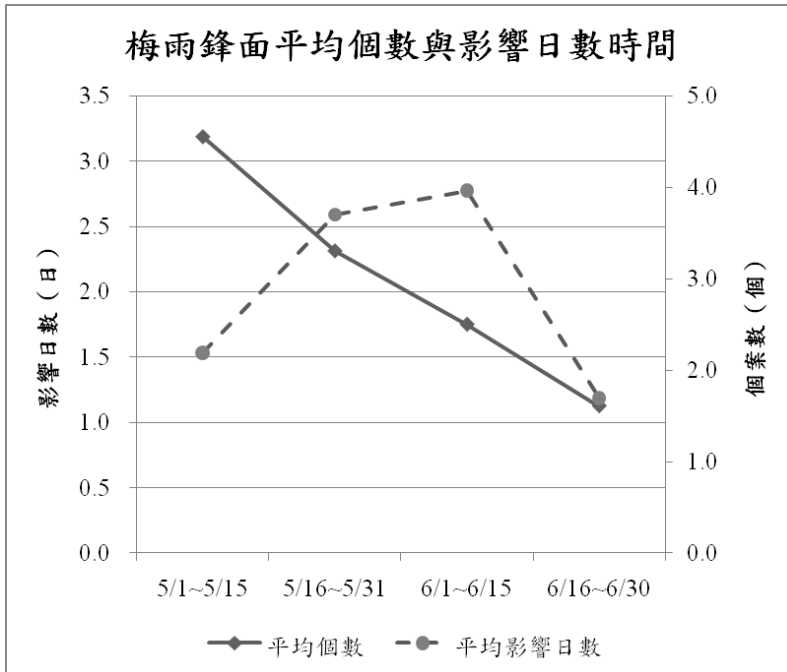


圖 3 - 1 1991~2006 年 5~6 月影響時間大於 0.5 天之地面梅雨鋒面，於 5 月 1 日~6 月 30 日之間各半月之平均影響日數（虛線，左側座標）及平均個案數（實線，右側座標）。

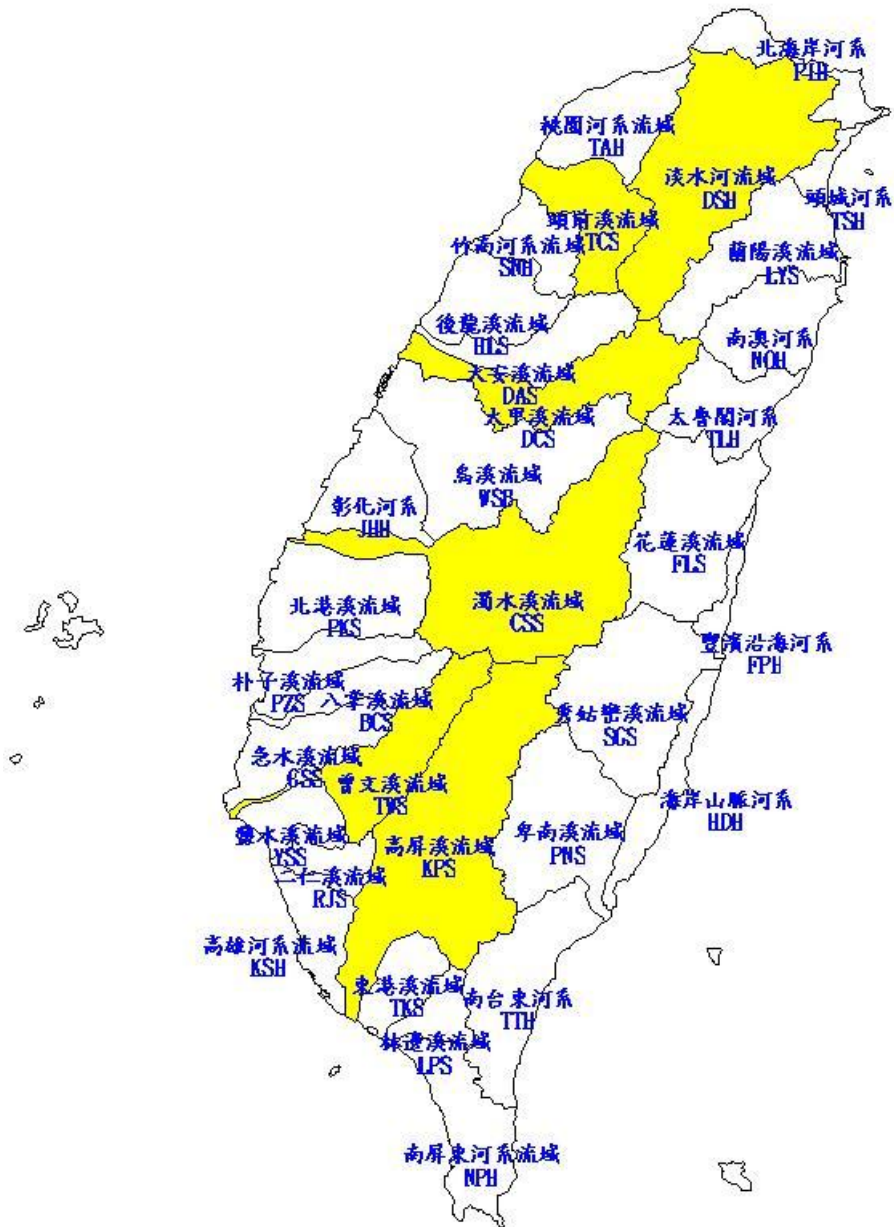


圖 3-2 台灣 33 個流域位置分佈圖，英文字部份為流域之代碼，著色流域為強降雨分析之對象流域。

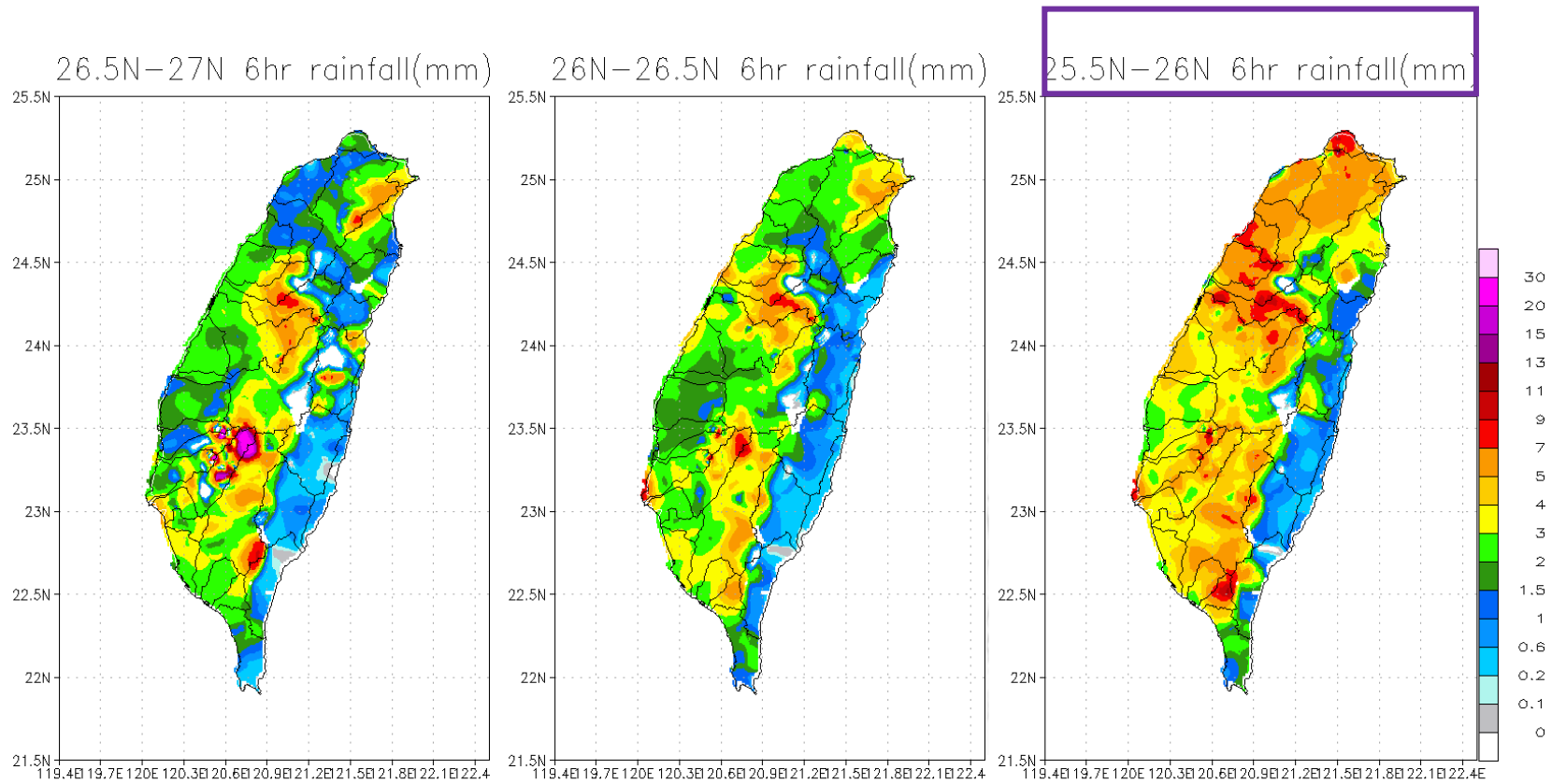


圖 3 - 3 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於 27°~20°N 間各緯度分區（每 0.5° 為一緯度分區）時，全台 33 個流域之 6 小時累積雨量空間分佈圖。由左至右為鋒面（紫色框線標示處，若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍），依次南移 0.5° 之降雨分佈圖。

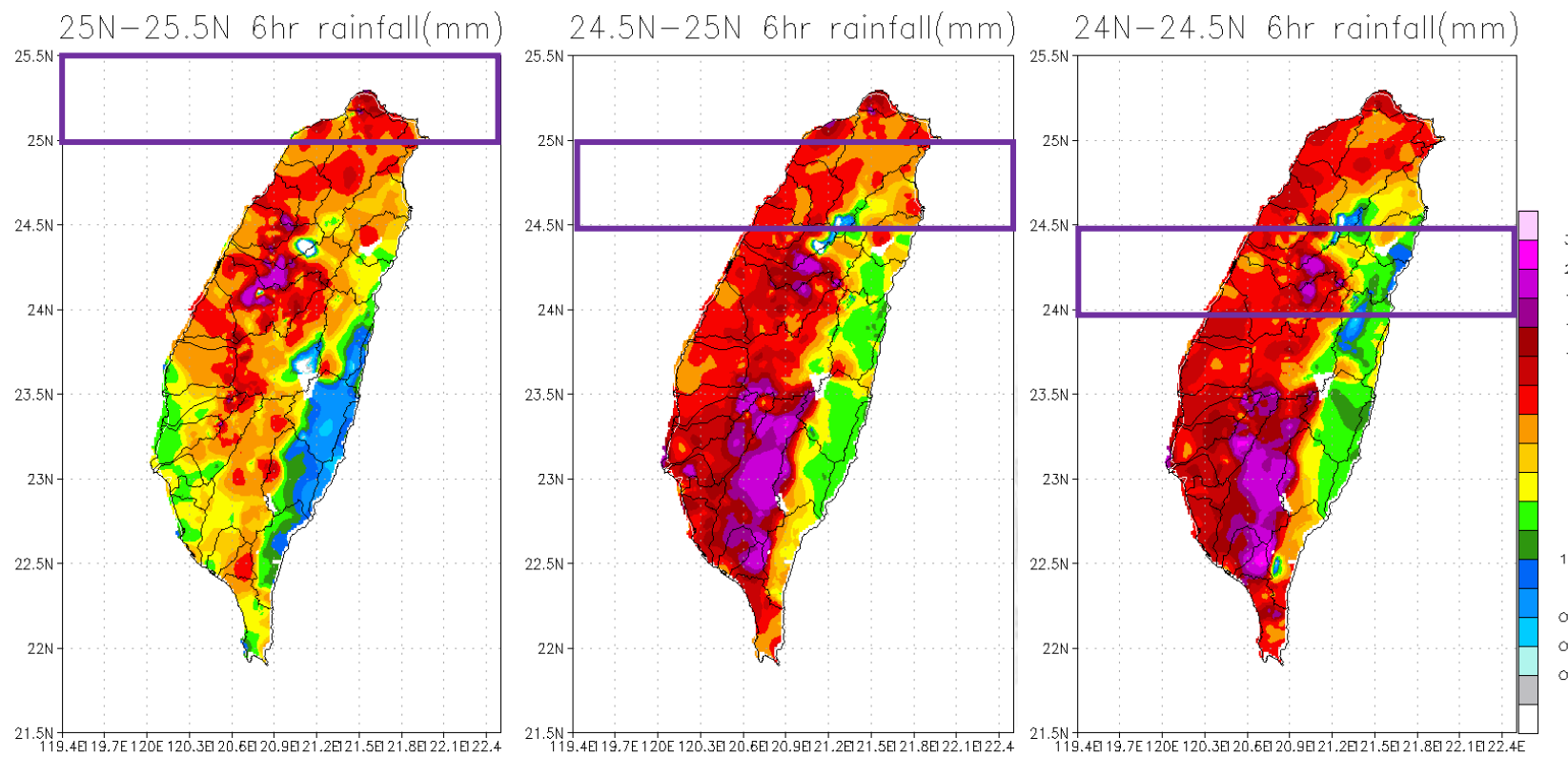


圖 3-3 (續)。

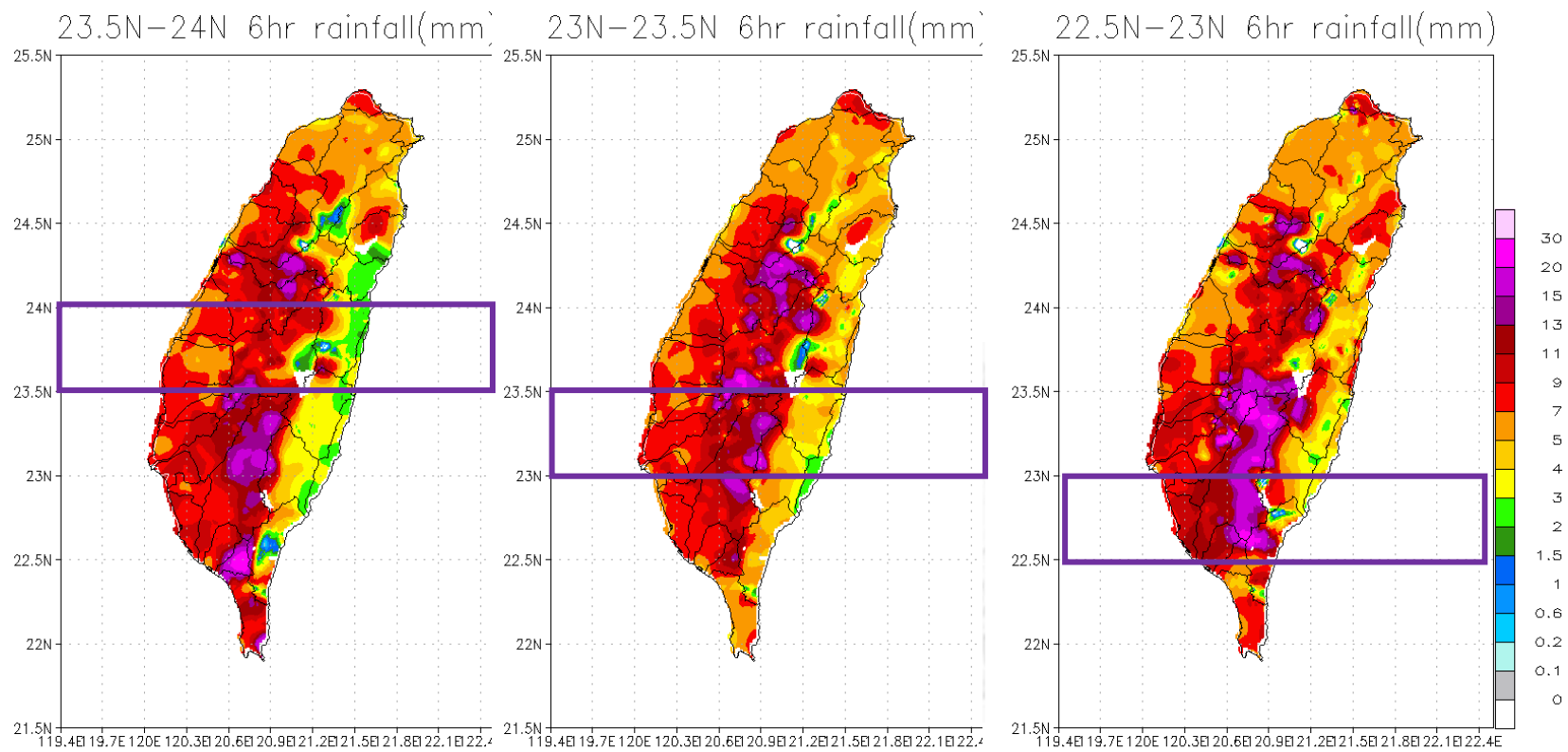


圖 3-3 (續)。

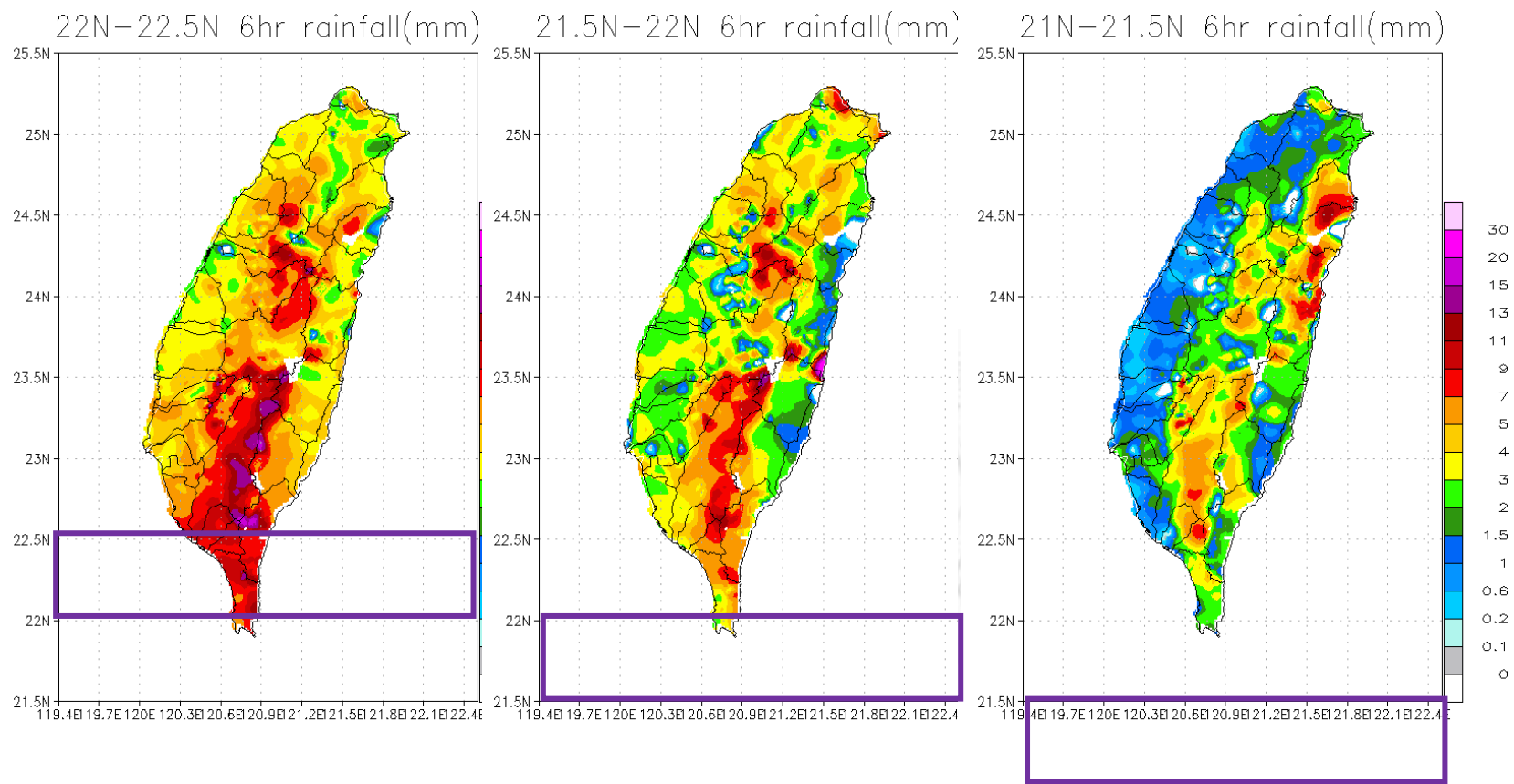


圖 3-3 (續)。



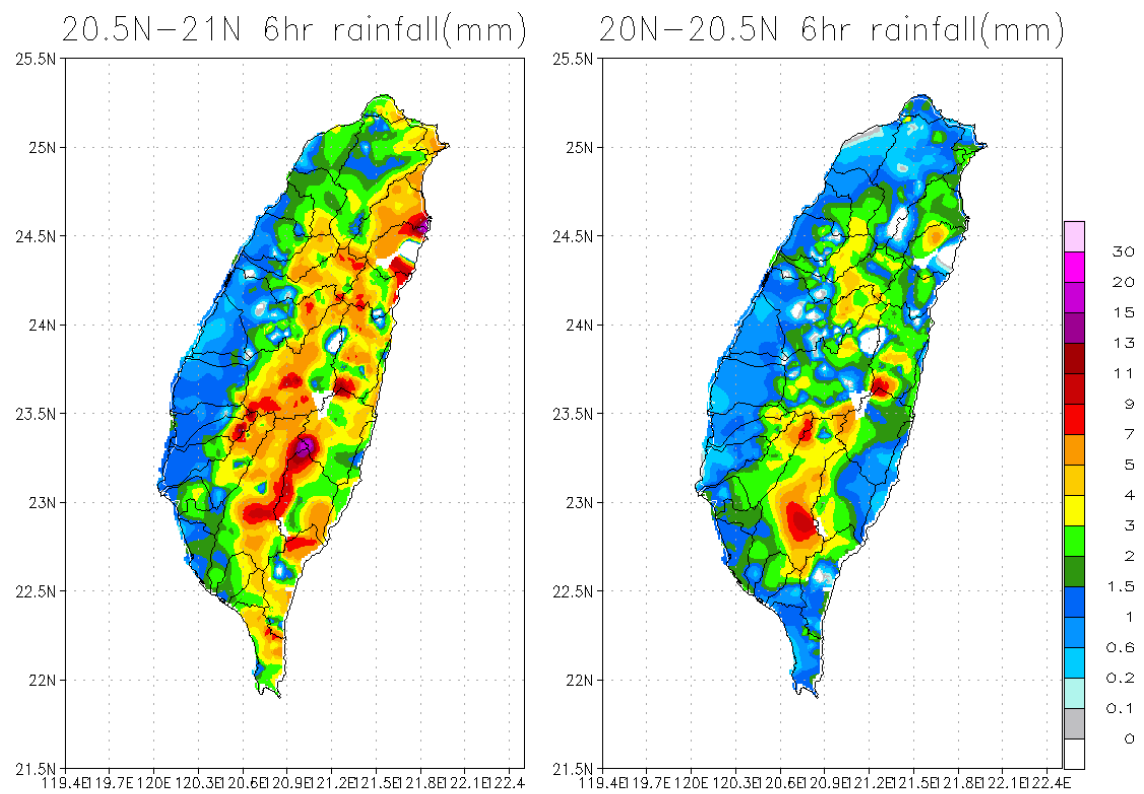


圖 3-3 (續)。

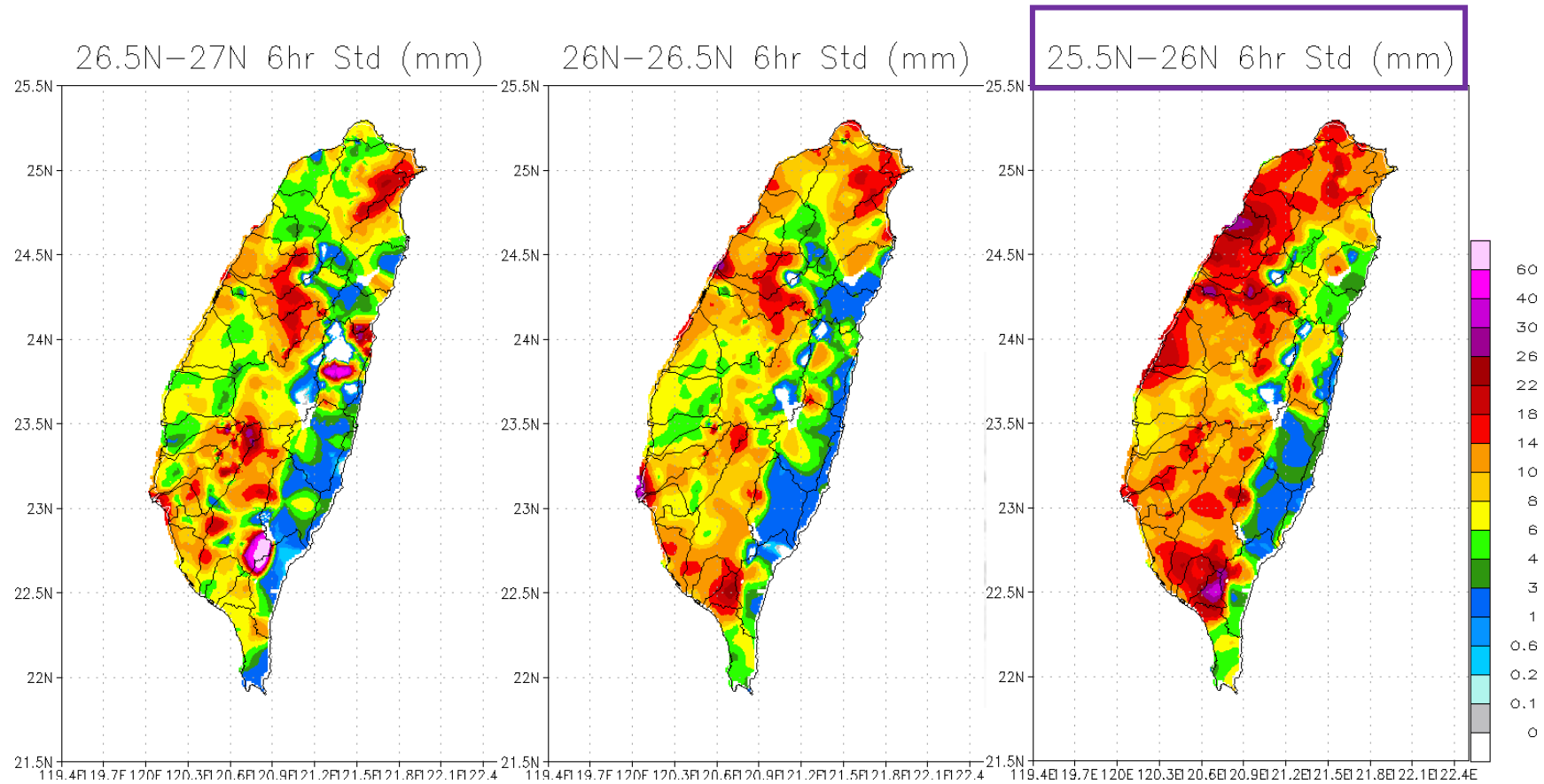


圖 3 - 4 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於 27°~20°N 間各緯度分區 (每 0.5° 為一緯度分區) 時, 全台 33 個流域之 6 小時累積雨量標準差空間分佈圖。由左至右為鋒面 (紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍), 依次南移 0.5° 之降雨標準差分佈圖。

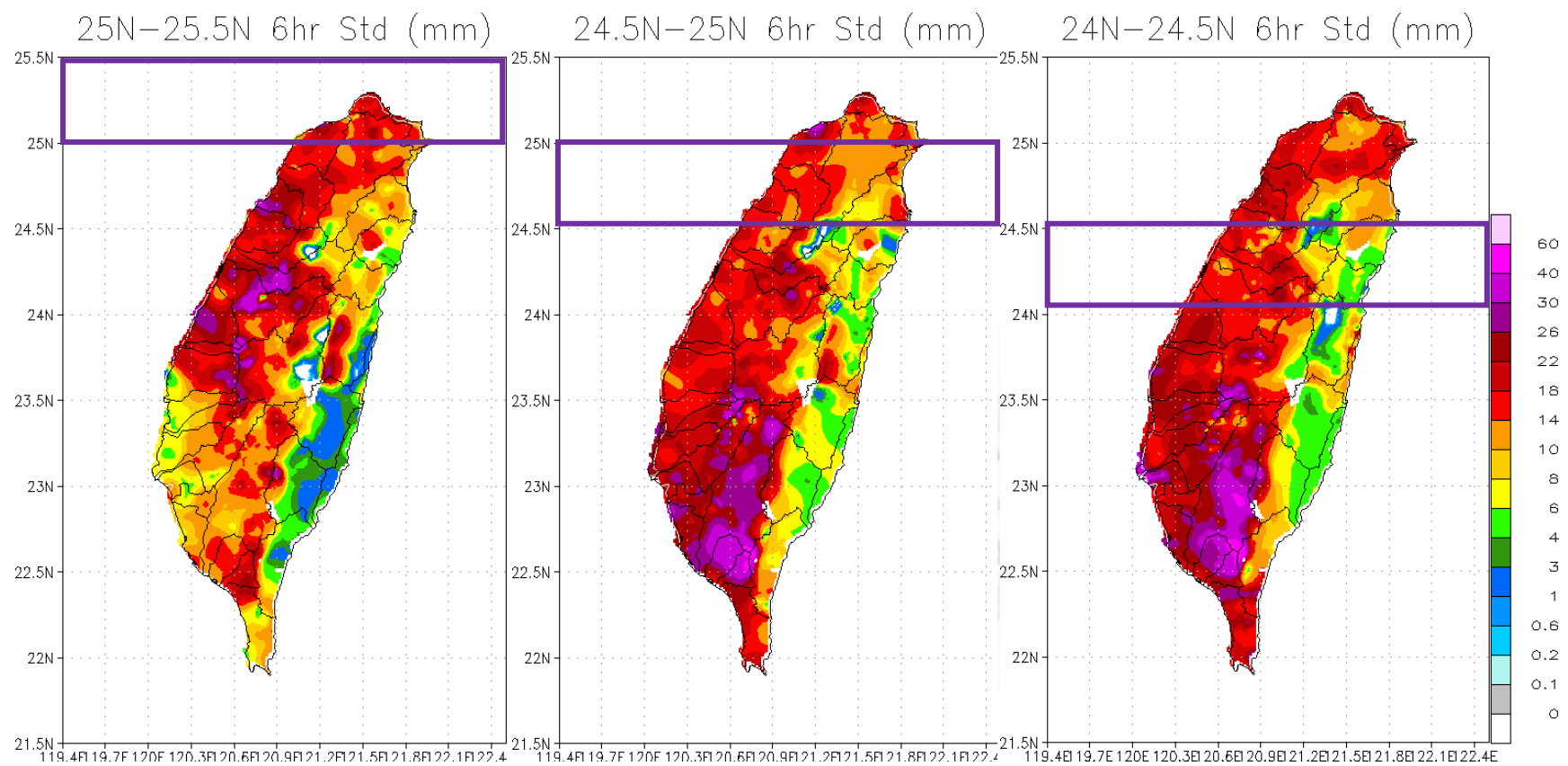


圖 3-4 (續)。

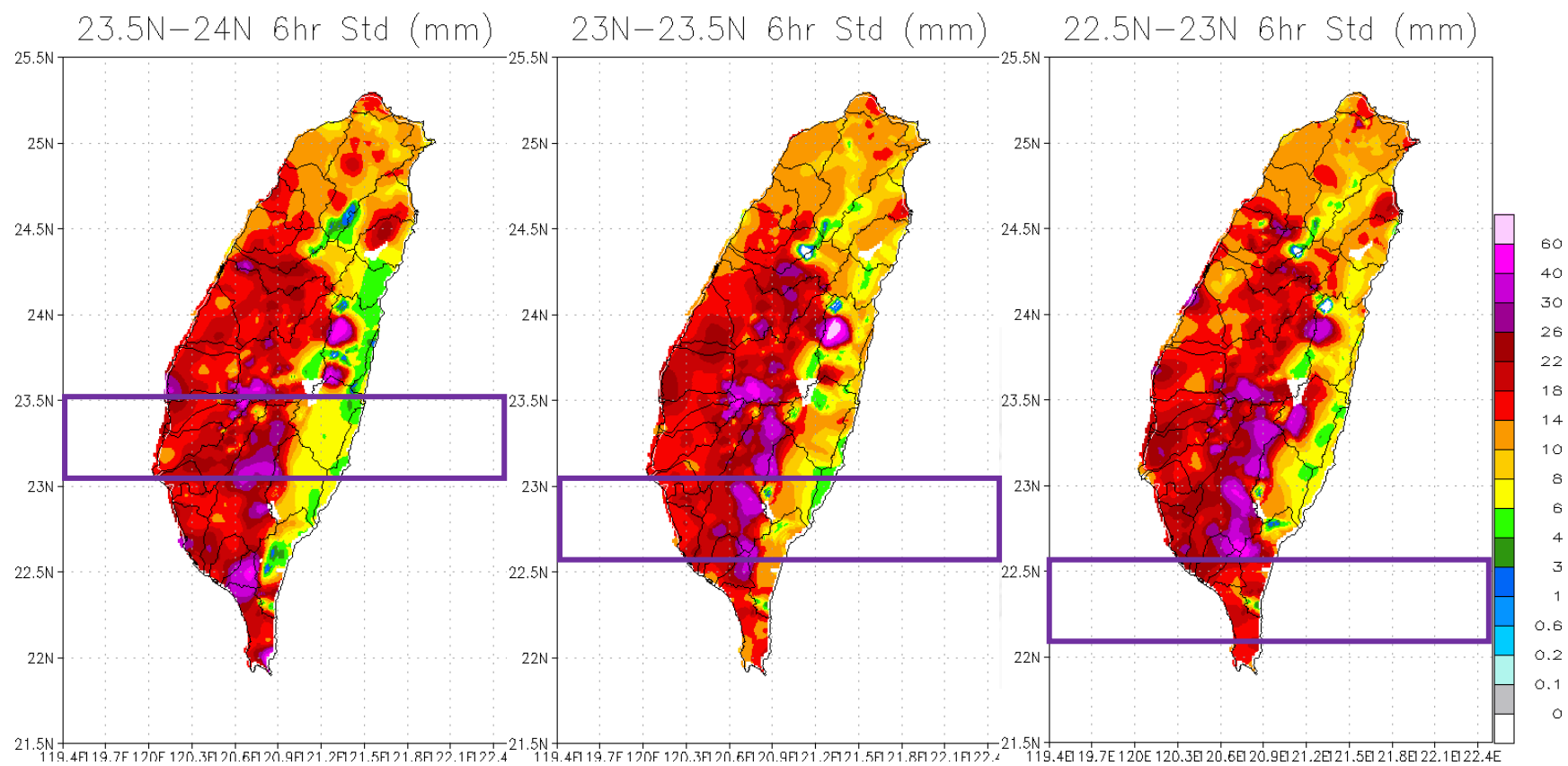


圖 3-4 (續)。

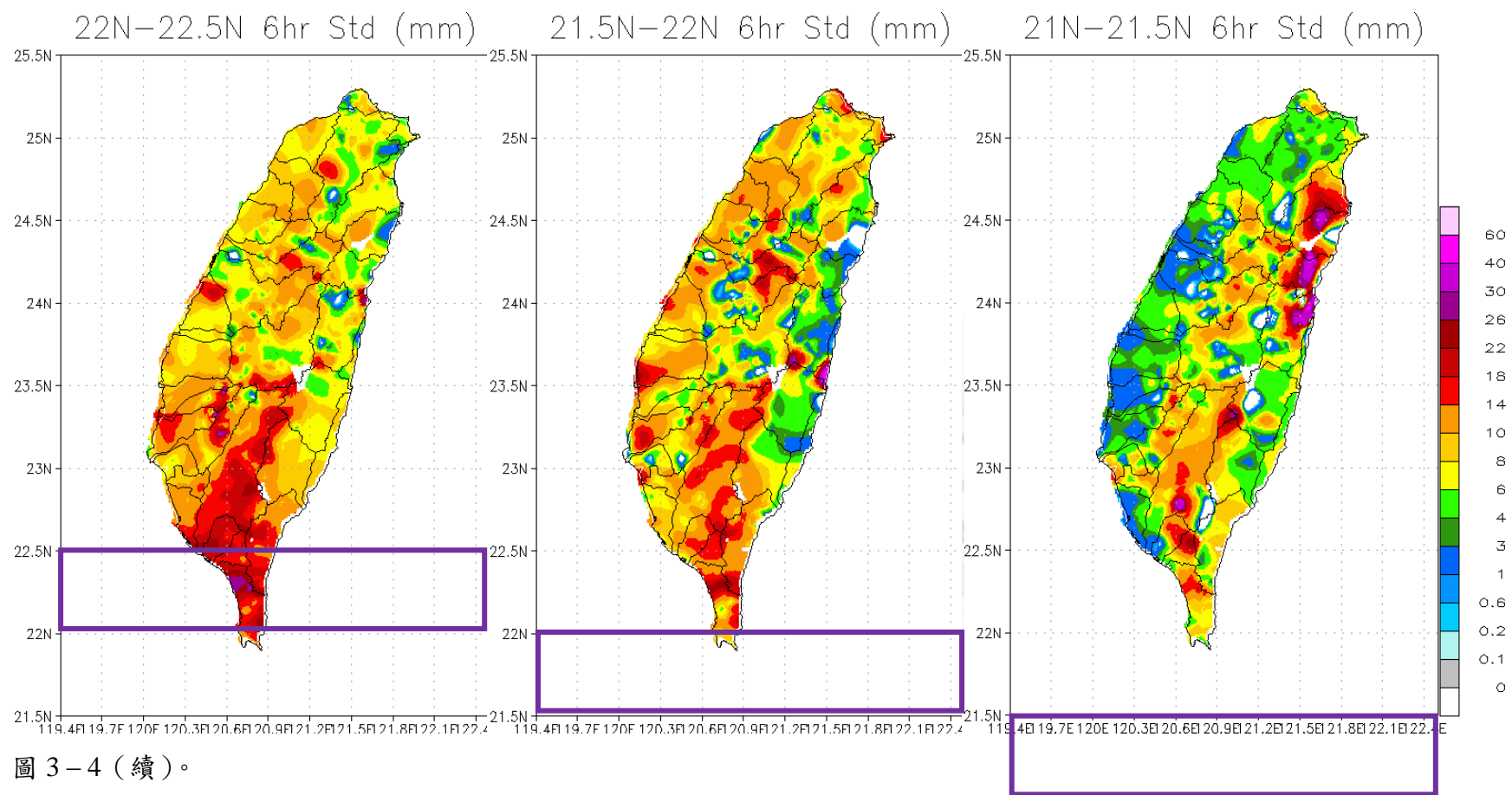


圖 3-4 (續)。

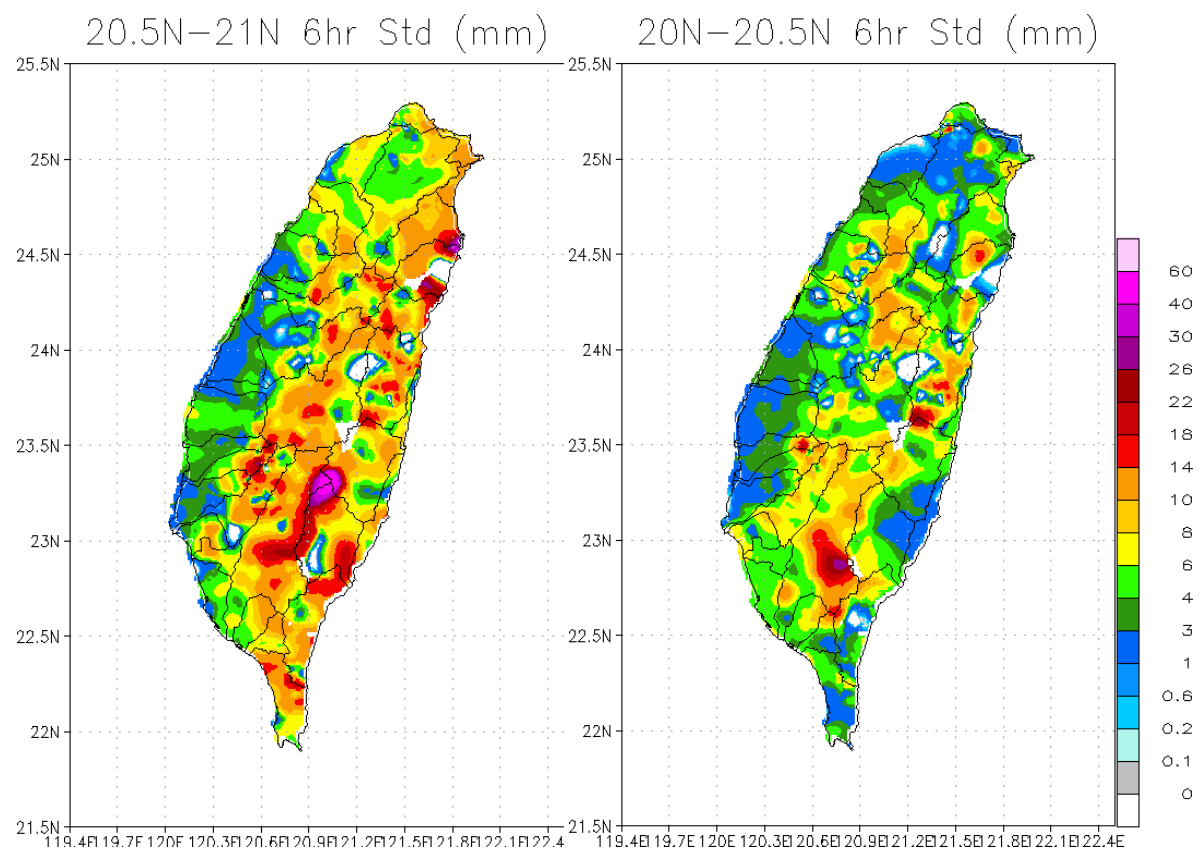


圖 3-4 (續)。

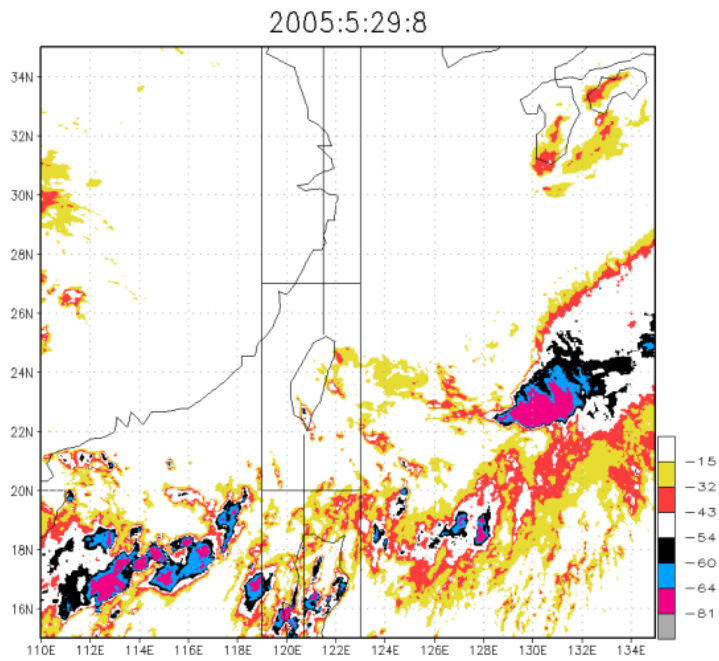


圖 3 - 5 2005 年 5 月 29 日 0800 UTC 之 GMS-5 紅外線衛星雲圖；圖中彩色區域為雲頂溫度低於  $-15^{\circ}\text{C}$  的區域。

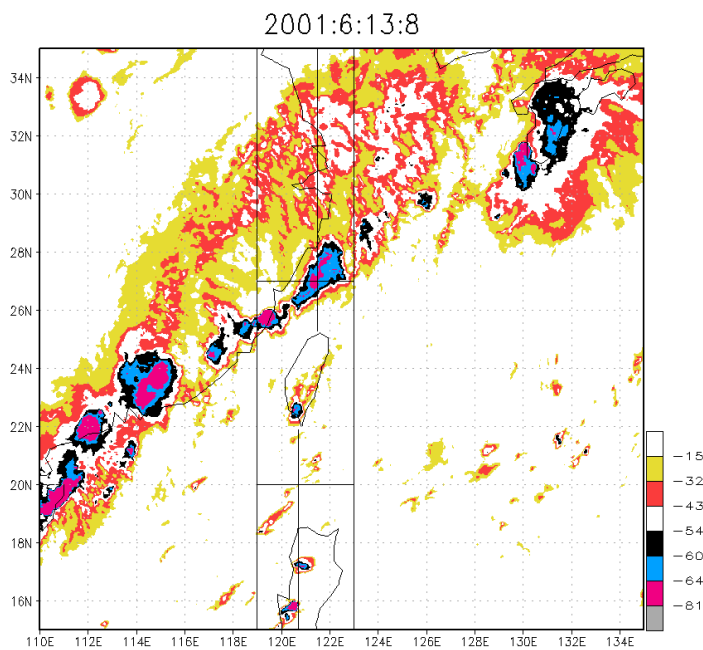


圖 3 - 6 2001 年 6 月 13 日 0800 UTC 之 GMS-5 紅外線衛星雲圖；圖中彩色區域為雲頂溫度低於  $-15^{\circ}\text{C}$  的區域。

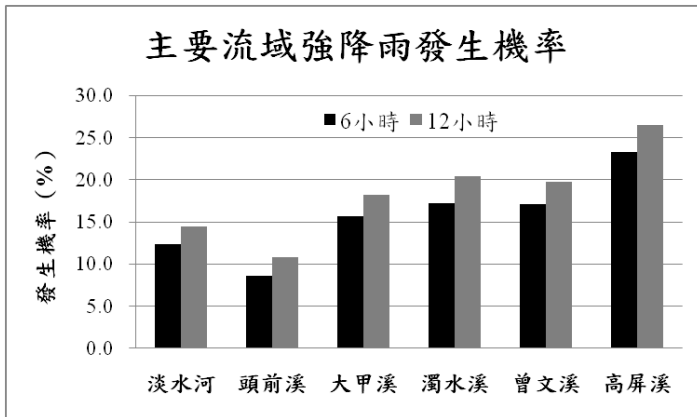


圖 3-7 1991~2006 年梅雨鋒面影響台灣期間，各主要流域 6 小時與 12 小時強降雨發生機率。各流域 6 小時累積雨量資料總數平均為 1434 筆，12 小時累積雨量資料總數平均為 665 筆。

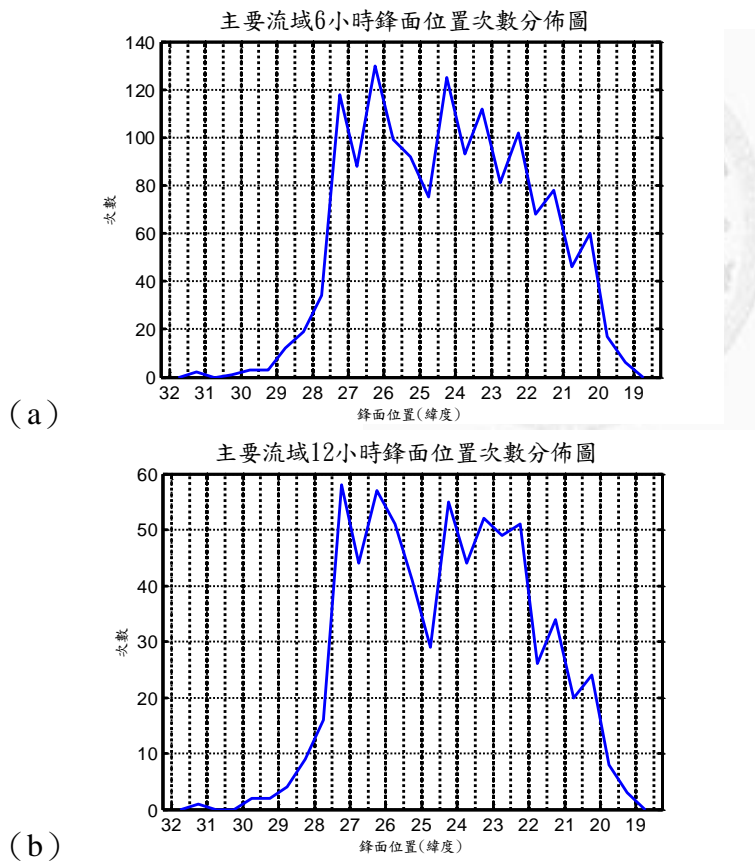
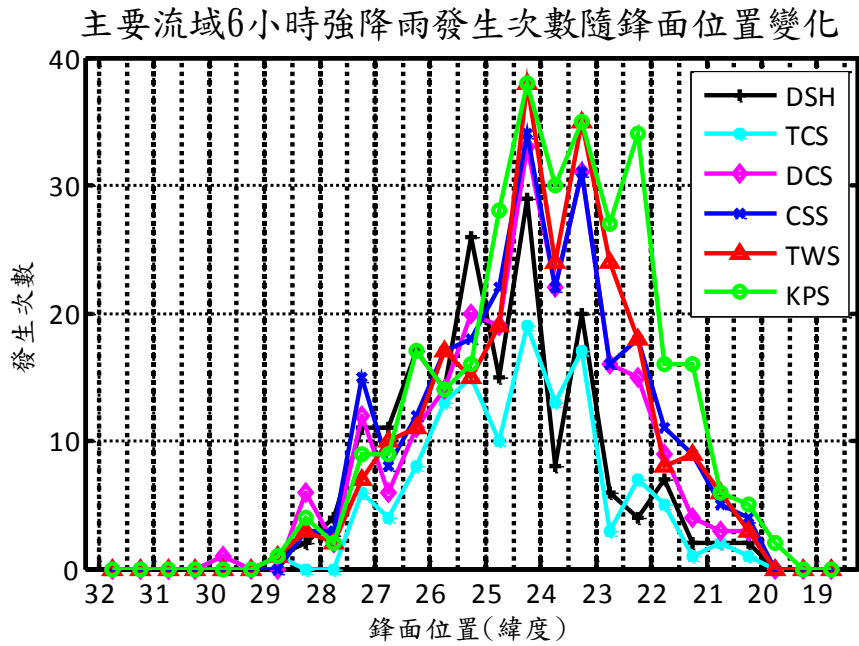


圖 3-8 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面影響期間，梅雨鋒面位於各緯度分區時 (a) 6 小時與 (b) 12 小時累積雨量資料之次數分佈圖。橫軸為鋒面位置，每  $0.5^\circ$  為一類別。



(a)



(b)

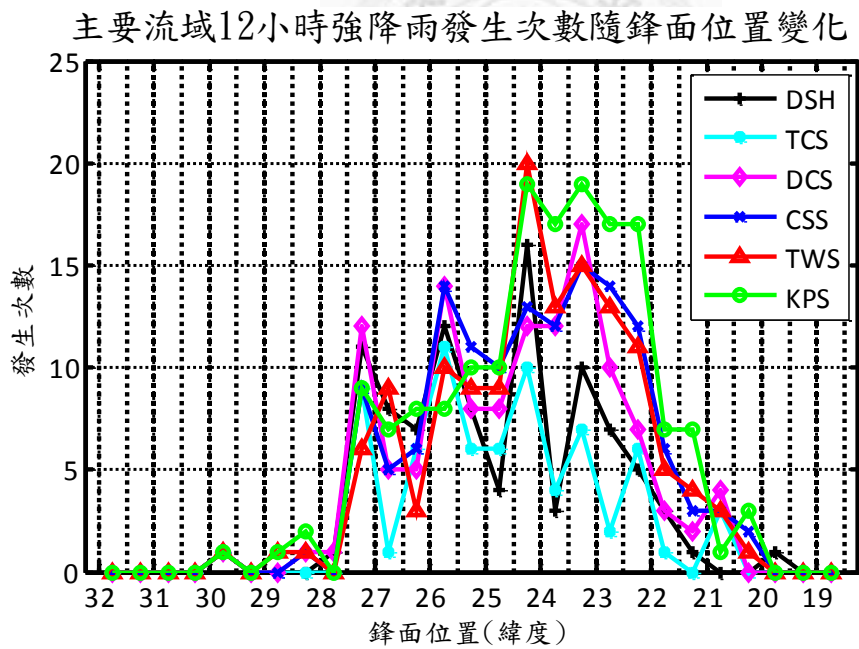
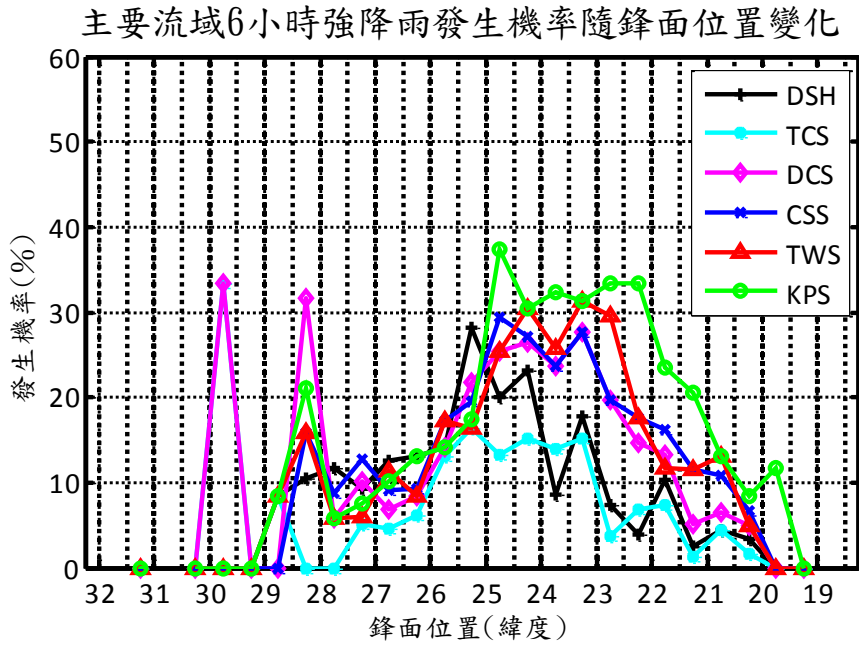


圖 3 - 9 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生次數隨鋒面位置變化圖，橫軸為鋒面所在緯度，每 0.5 度為一類別；圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。

(a)



(b)

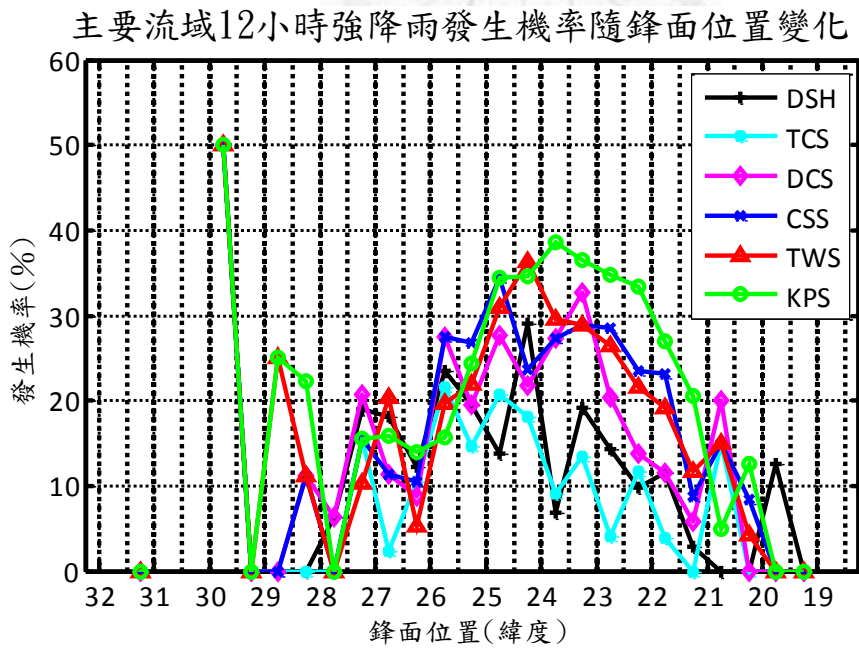
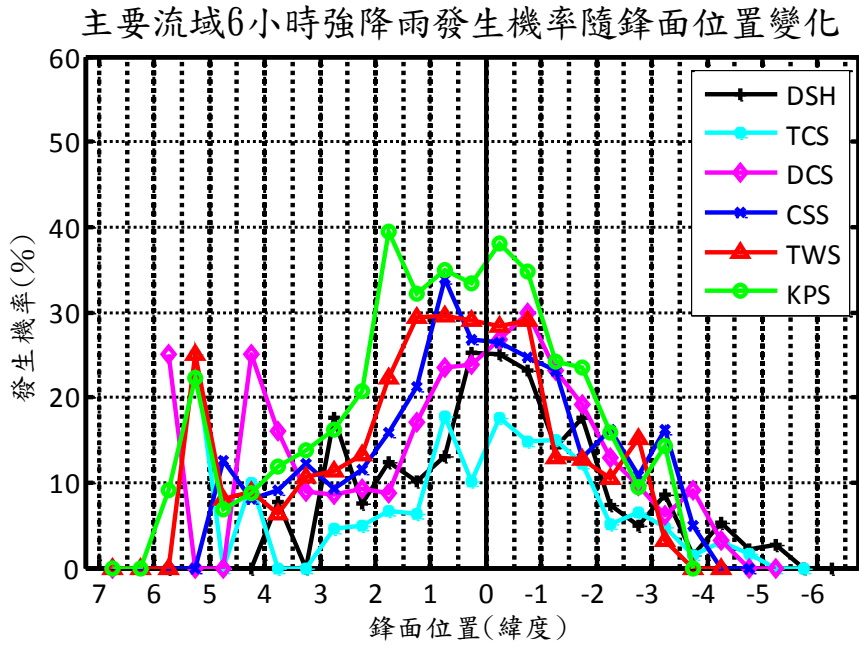


圖 3-10 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面位置變化圖，橫軸為鋒面所在緯度，每 0.5 度為一類別；圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。

(a)



(b)

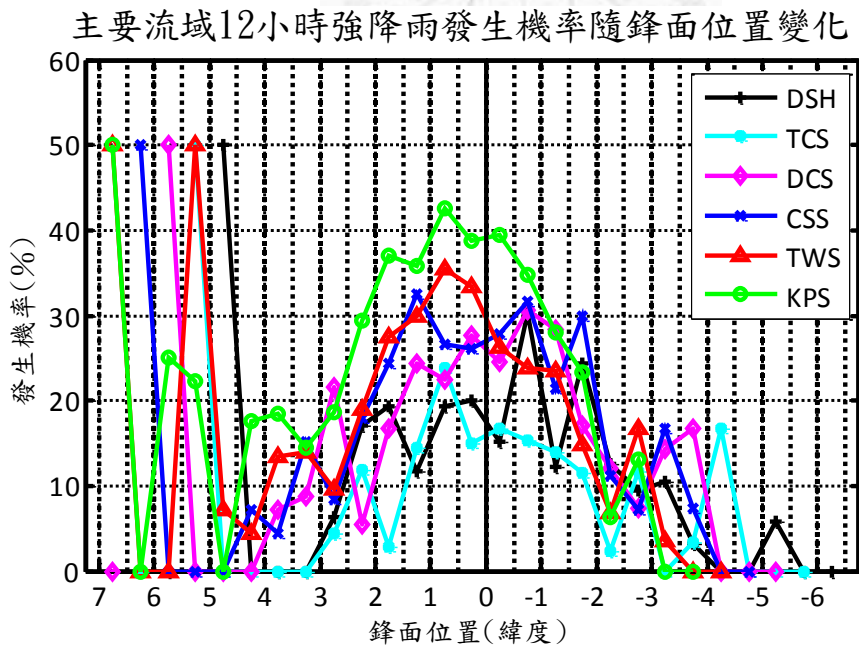
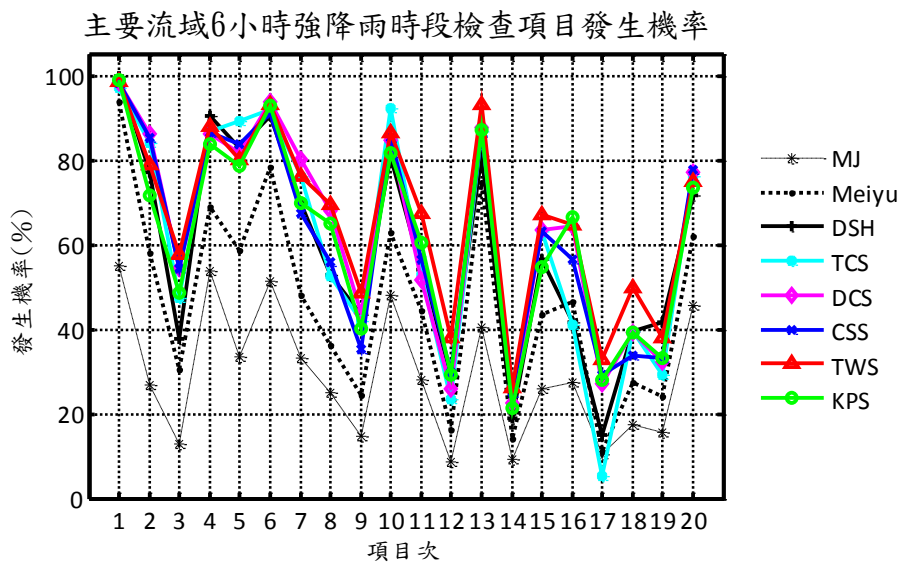


圖 3-11 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面與流域之相對位置變化圖，橫軸為鋒面與流域之相對位置，每  $0.5^\circ$  為一類別，正值顯示流域位於鋒前，負值顯示流域位於鋒後；圖例依序為淡水河(DSH)、頭前溪(TCS)、大甲溪(DCS)、濁水溪(CSS)、曾文溪(TWS)與高屏溪(KPS)流域。

(a)



(b)

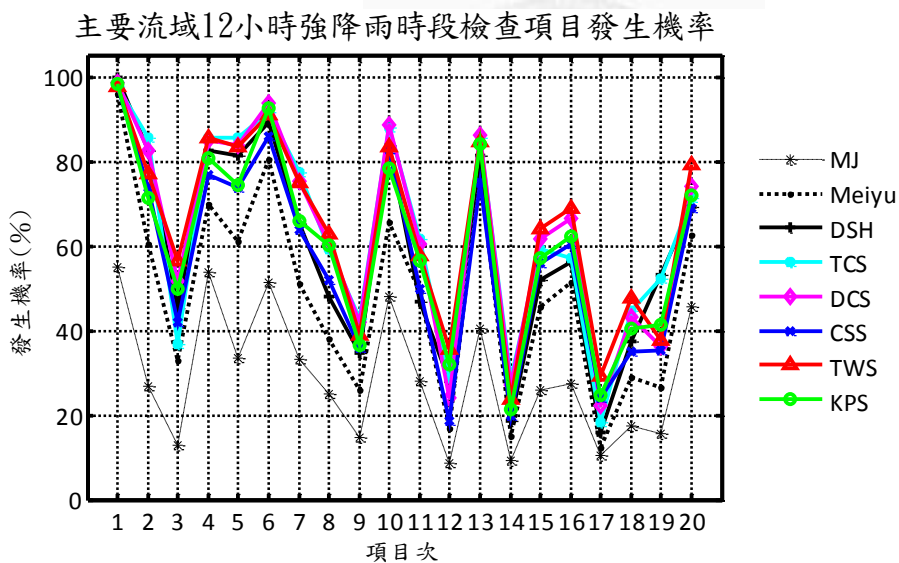


圖 4 - 1 主要流域發生 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件時，預報檢查表各檢查項目（共 20 項）的符合機率，各色實線為主要流域，實線圖例由上而下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域；點線為 1997 年後梅雨鋒面影響時段之預報檢查表單一檢查項目符合機率（標示為” Meiyu ”），虛線為 1997 年以來五、六月期間預報檢查表單一檢查項目的符合機率（標示為” MJ ”）。

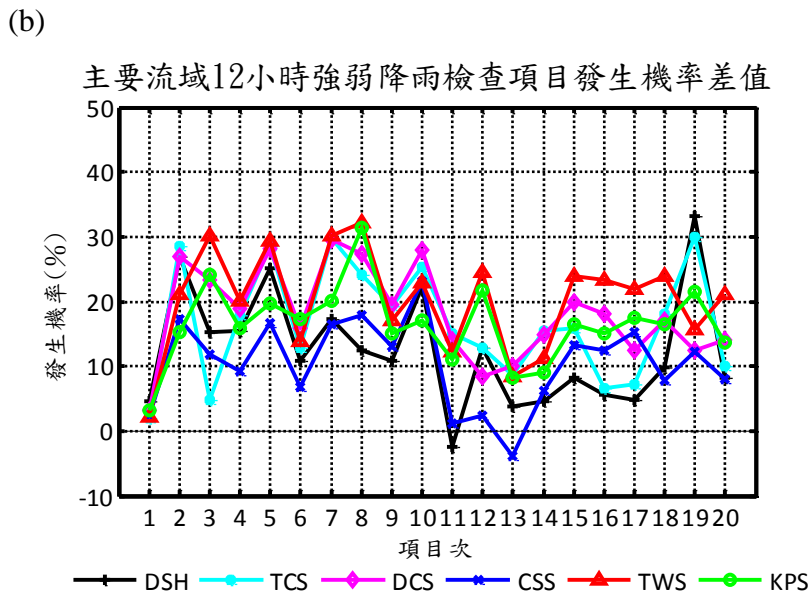
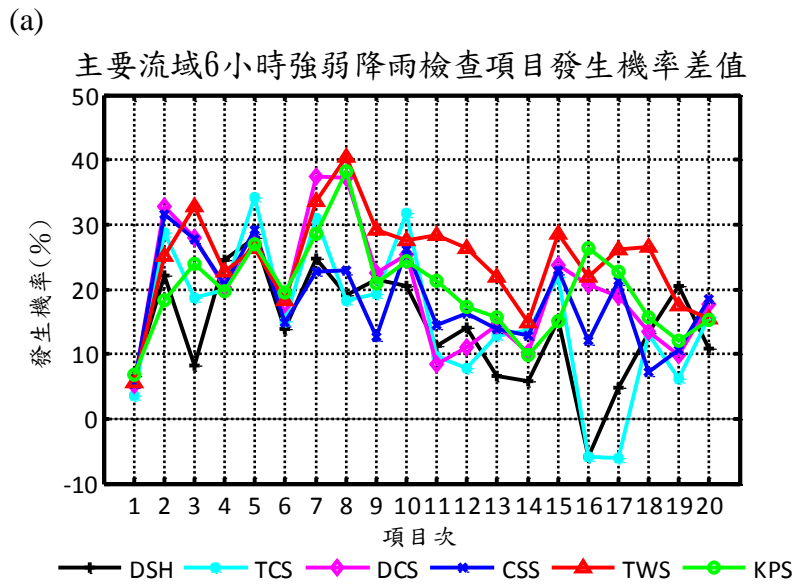
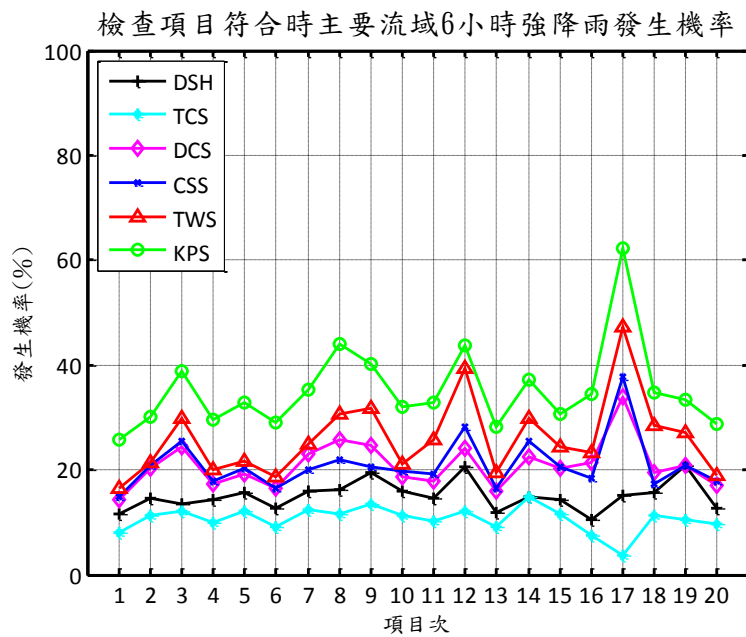


圖 4 - 2 主要流域發生 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件時，預報檢查表各檢查項目的符合機率，與未發生強降雨事件時預報檢查表各檢查項目符合機率之差值。各色實線為主要流域，圖例由左至右依序為淡水河(DSH)、頭前溪(TCS)、大甲溪(DCS)、濁水溪(CSS)、曾文溪(TWS)與高屏溪(KPS)流域。

(a)



(b)

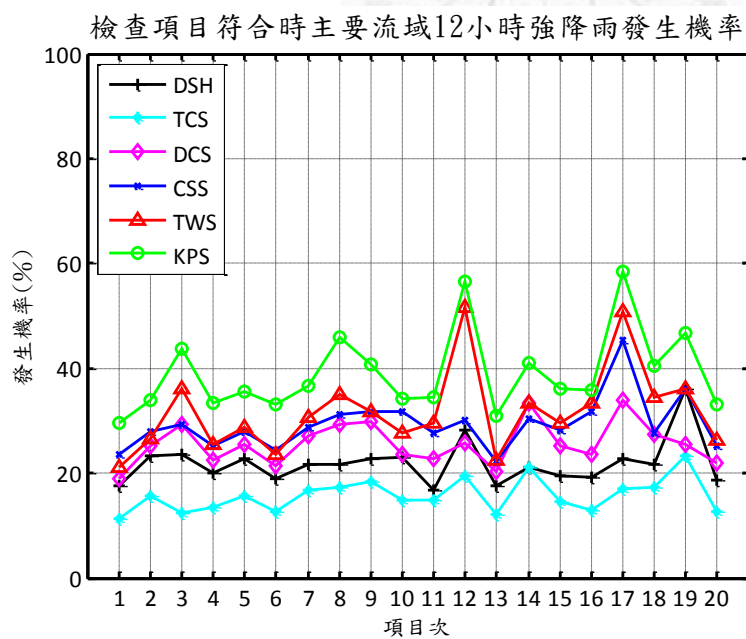
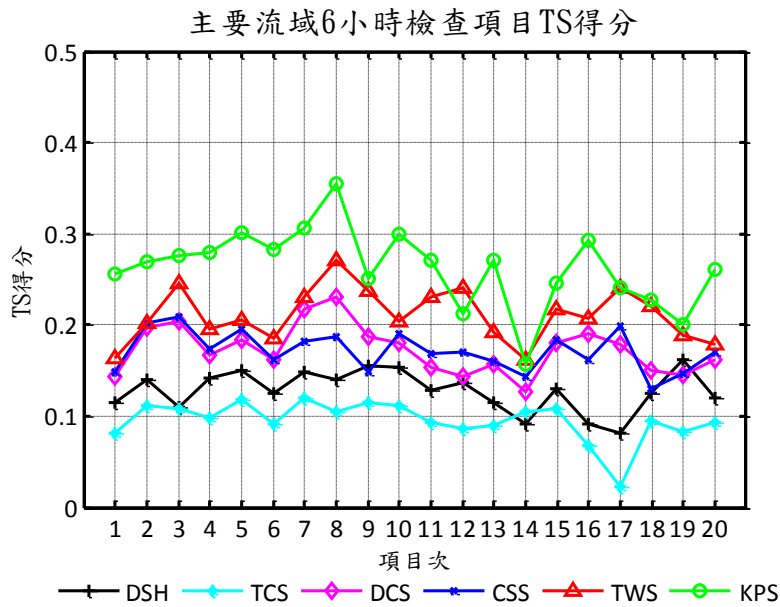


圖 4 - 3 預報檢查表各檢查項目符合時，主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件發生機率。各色實線為主要流域，圖例由上至下依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。

(a)



(b)

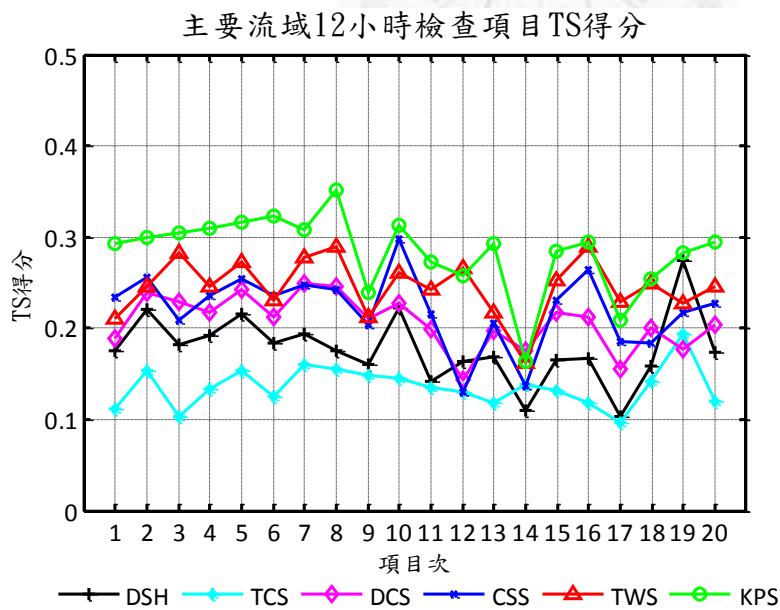


圖 4 - 4 以預報檢查表各檢查項目判斷主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件是否發生的預兆得分 (TS)。圖例由左至右依序為淡水河 (DSH)、頭前溪 (TCS)、大甲溪 (DCS)、濁水溪 (CSS)、曾文溪 (TWS) 與高屏溪 (KPS) 流域。

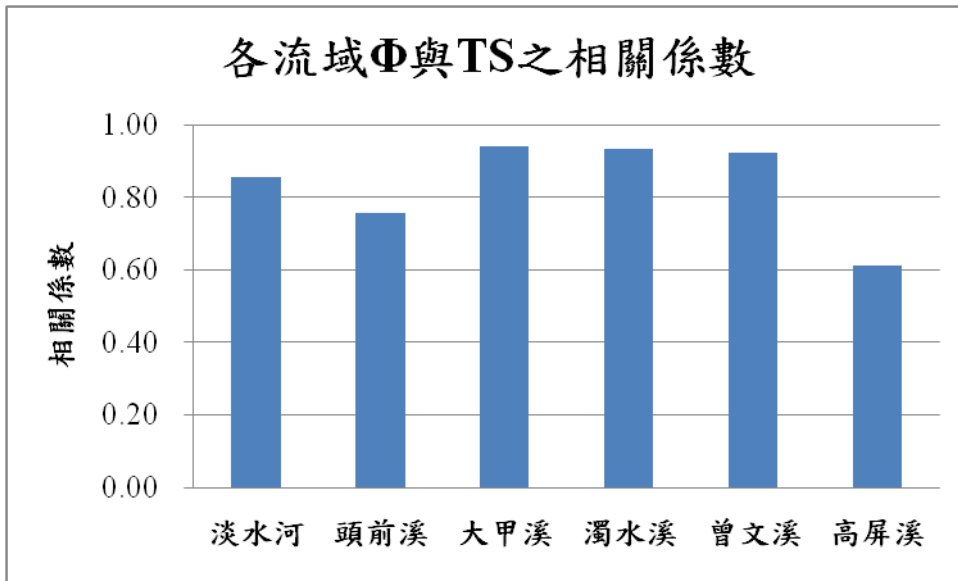


圖 4-5 1997~2006 年梅雨鋒面影響台灣期間，「預報檢查表與各流域強降雨之  $\Phi$  係數」與「以預報檢查表預報流域強降雨之預兆得分 (TS)」的相關係數。





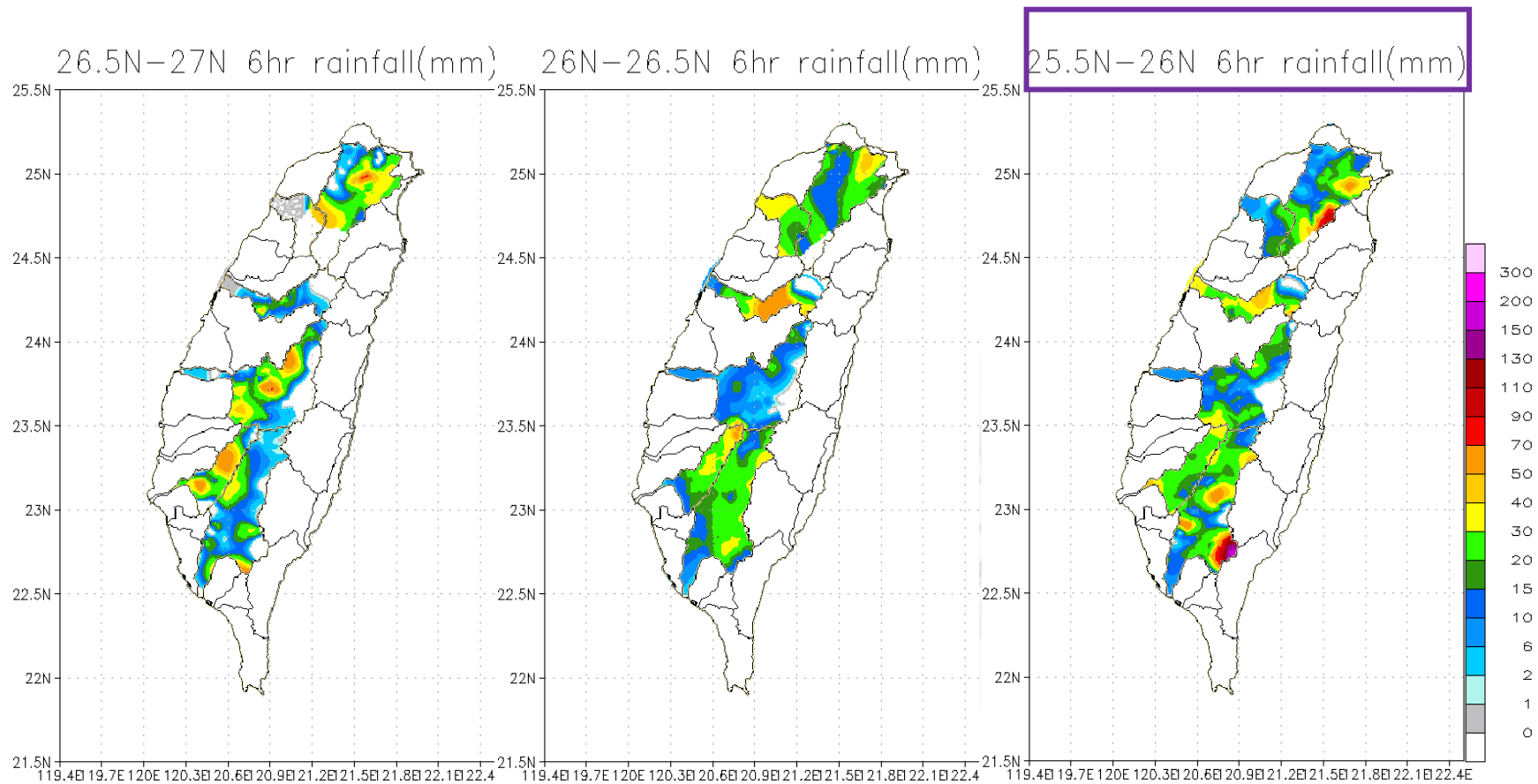


圖 5 - 1 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於 20°~27°N 間各緯度分區（每 0.5° 為一緯度分區）時，6 個主要流域之 6 小時強降雨空間分佈圖。由左至右為鋒面（紫色框線標示處，若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍）依次南移 0.5° 之降雨分佈圖。

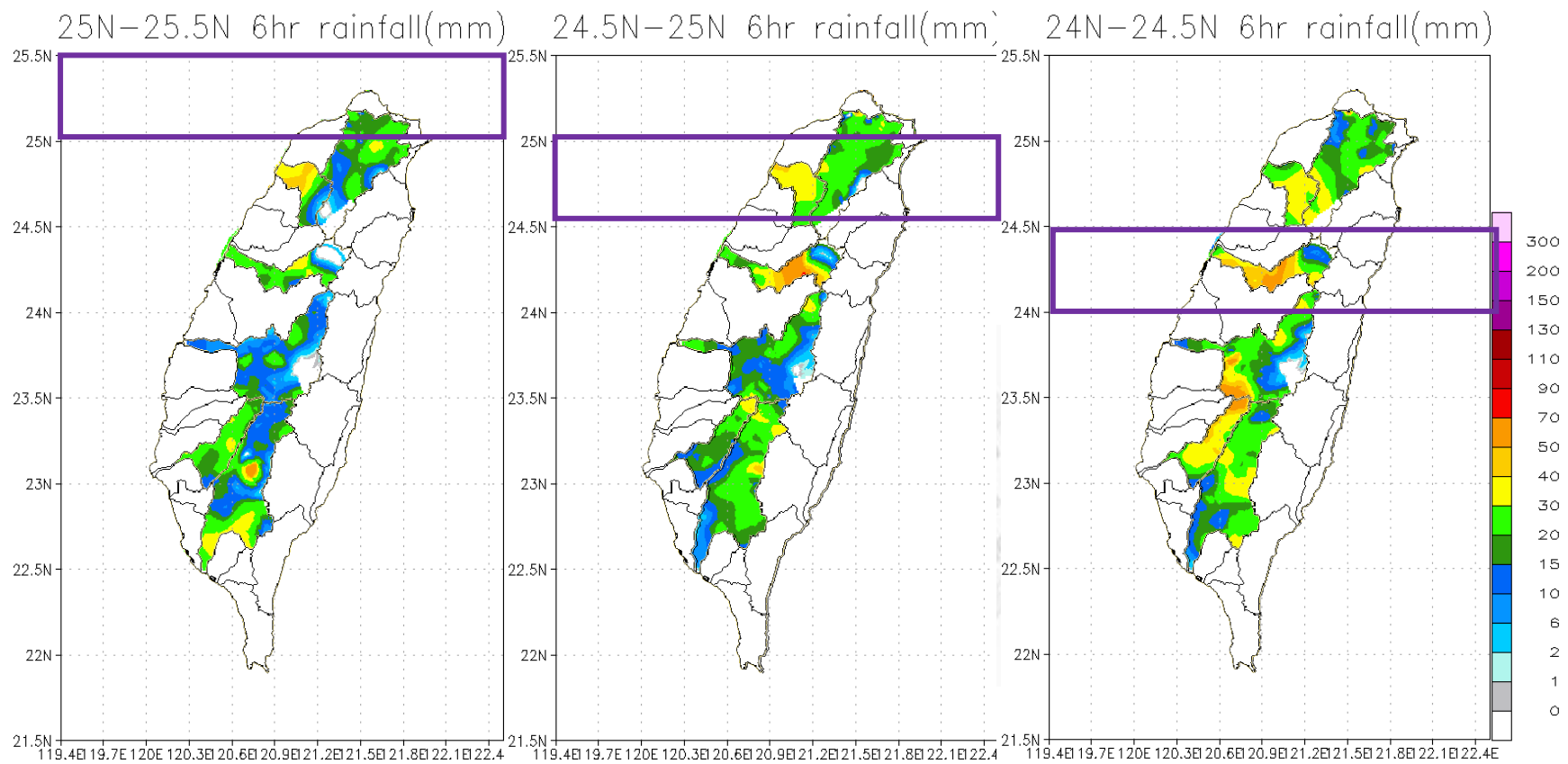


圖 5-1 (續)。

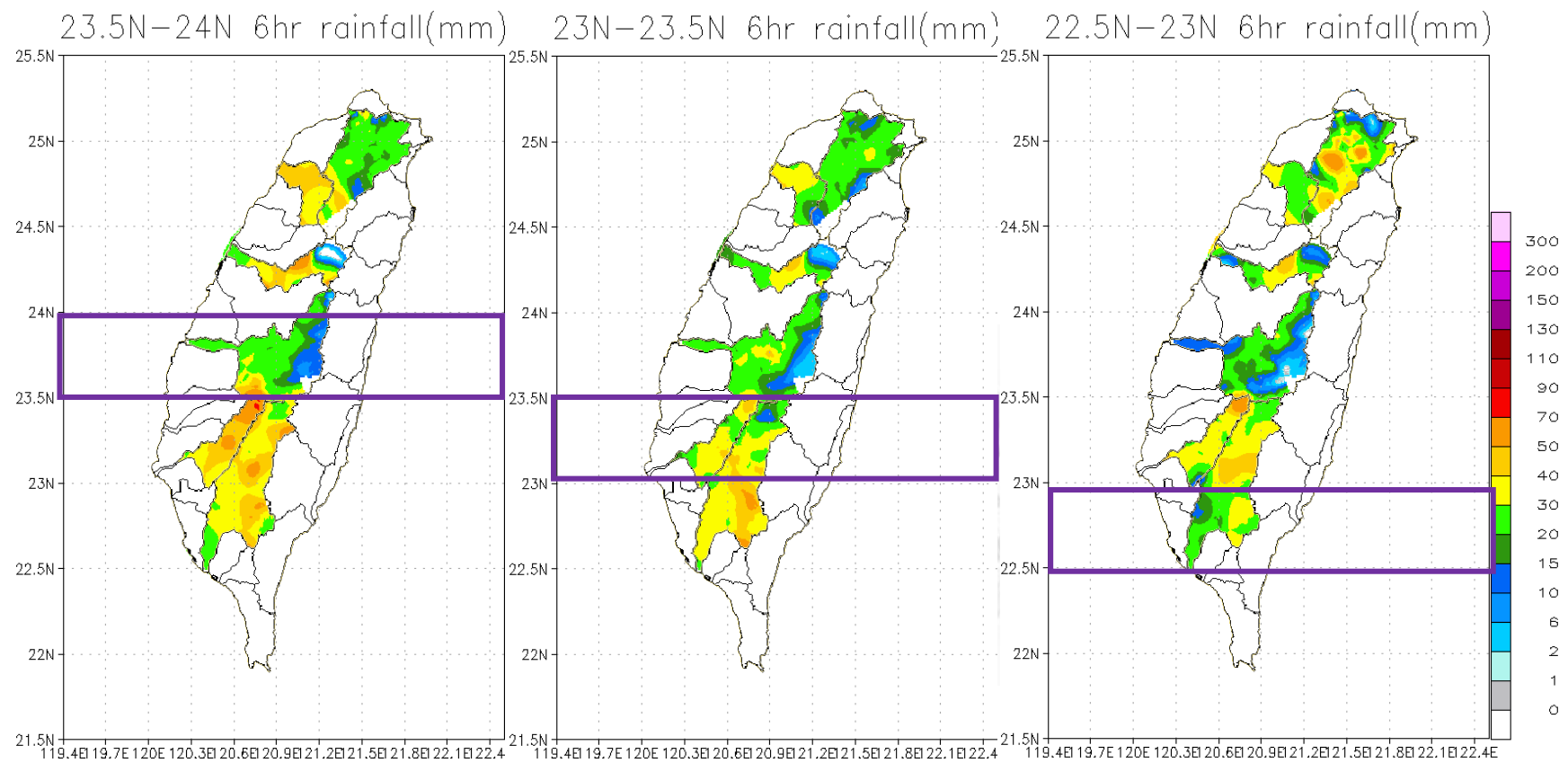


圖 5-1 (續)。

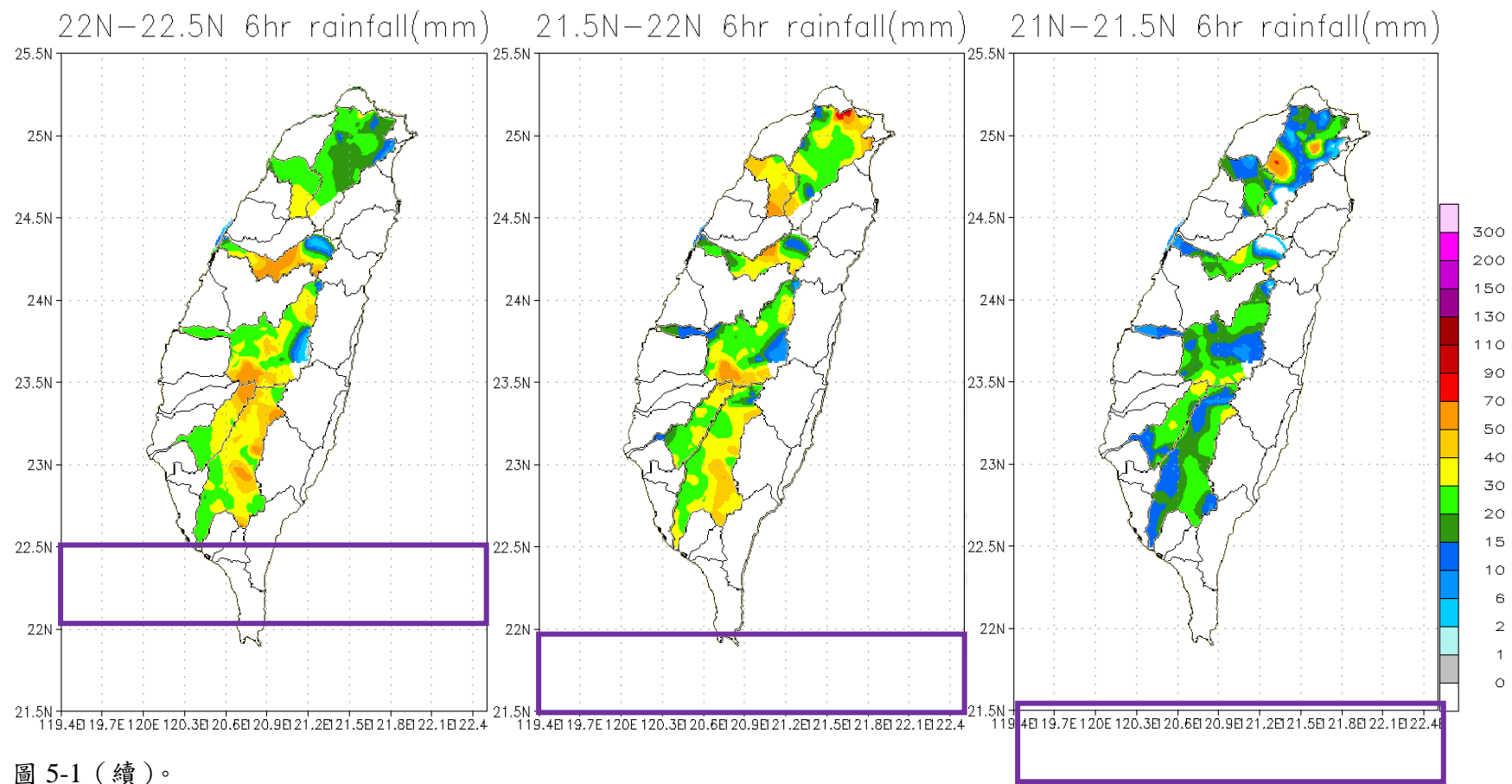


圖 5-1 (續)。

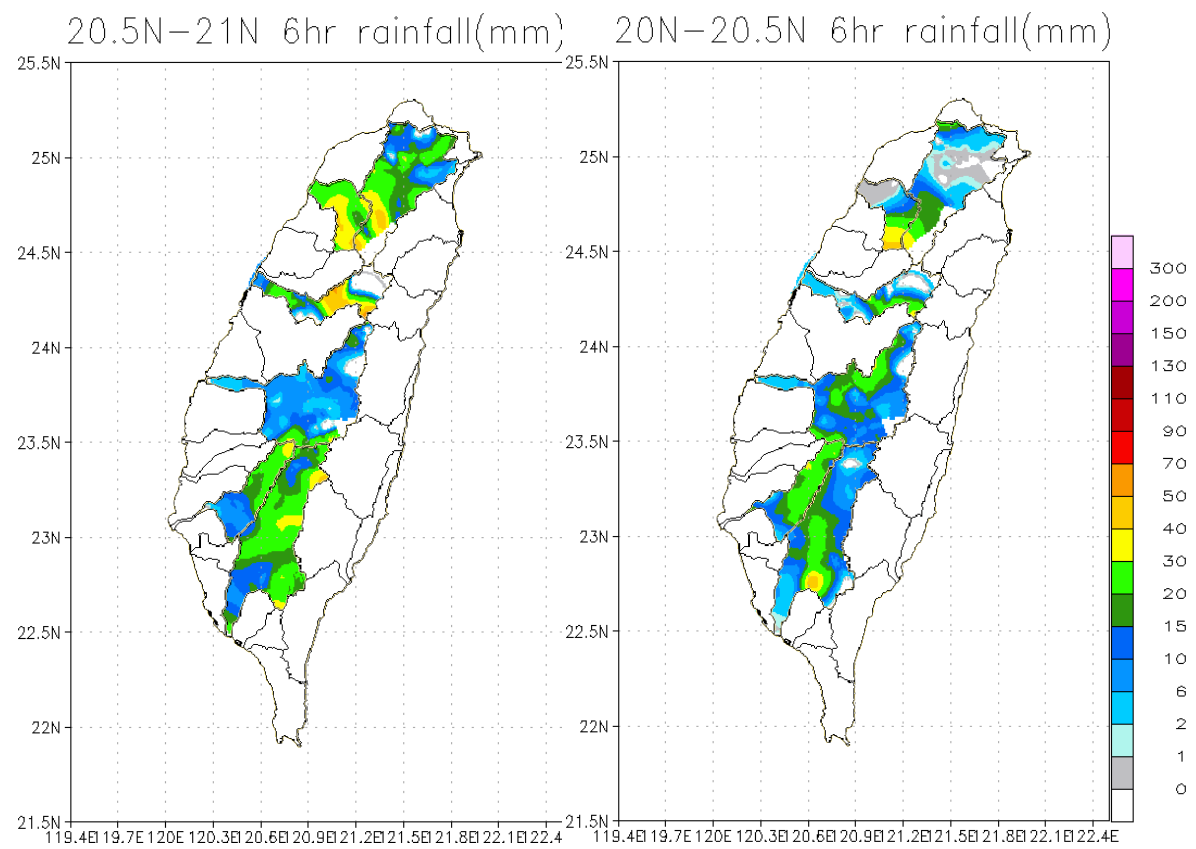


圖 5-1 (續)。

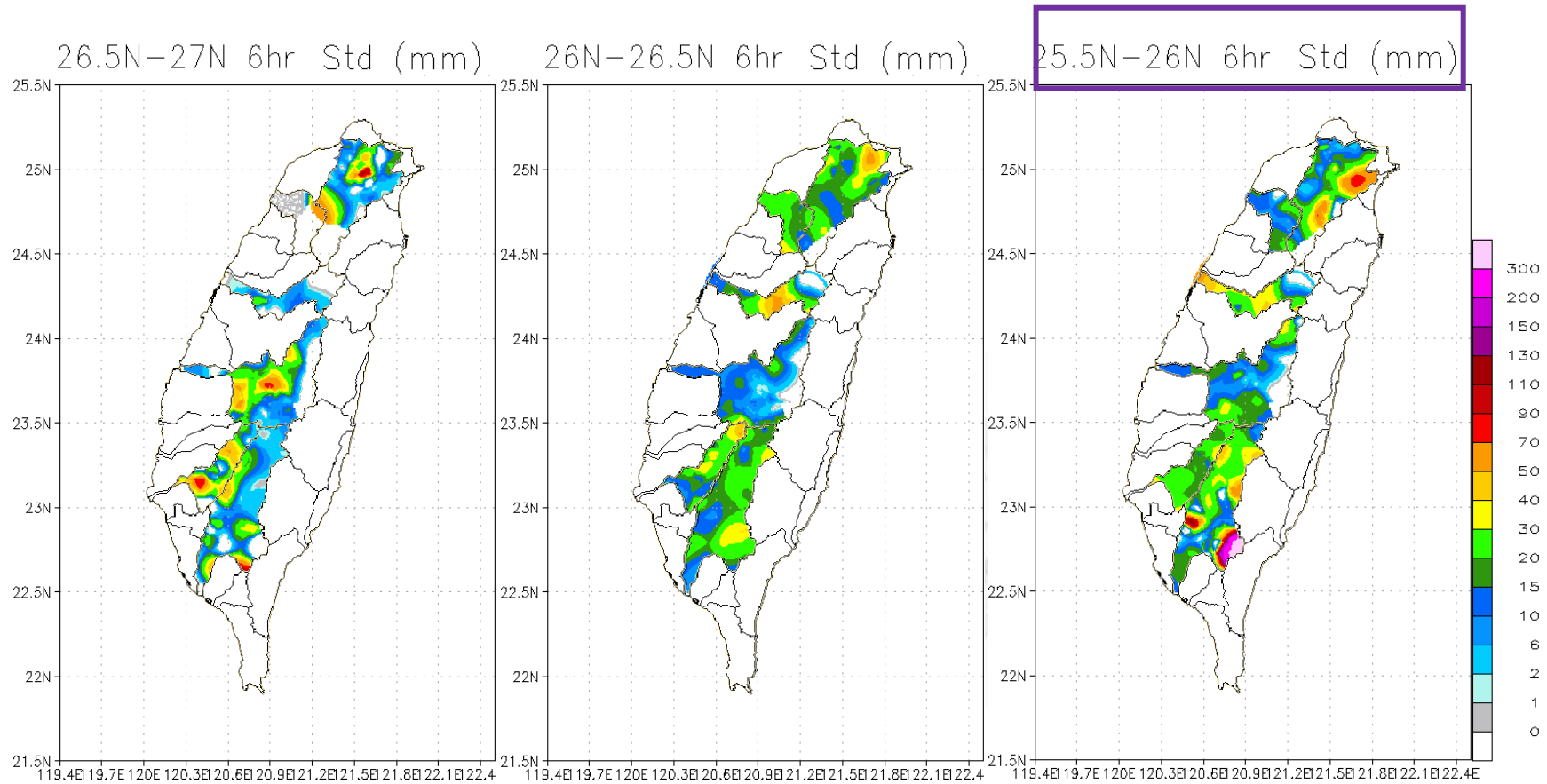


圖 5 - 2 1991~2006 年 5~6 月梅雨鋒面位於  $20^{\circ} \sim 27^{\circ} \text{N}$  間各緯度分區 (每  $0.5^{\circ}$  為一緯度分區) 時, 6 個主要流域之 6 小時強降雨分區標準差空間分佈圖。由左至右為鋒面 (紫色框線標示處, 若無框線則表示鋒面移出本圖顯示範圍) 依次南移  $0.5^{\circ}$  之標準差分佈圖。

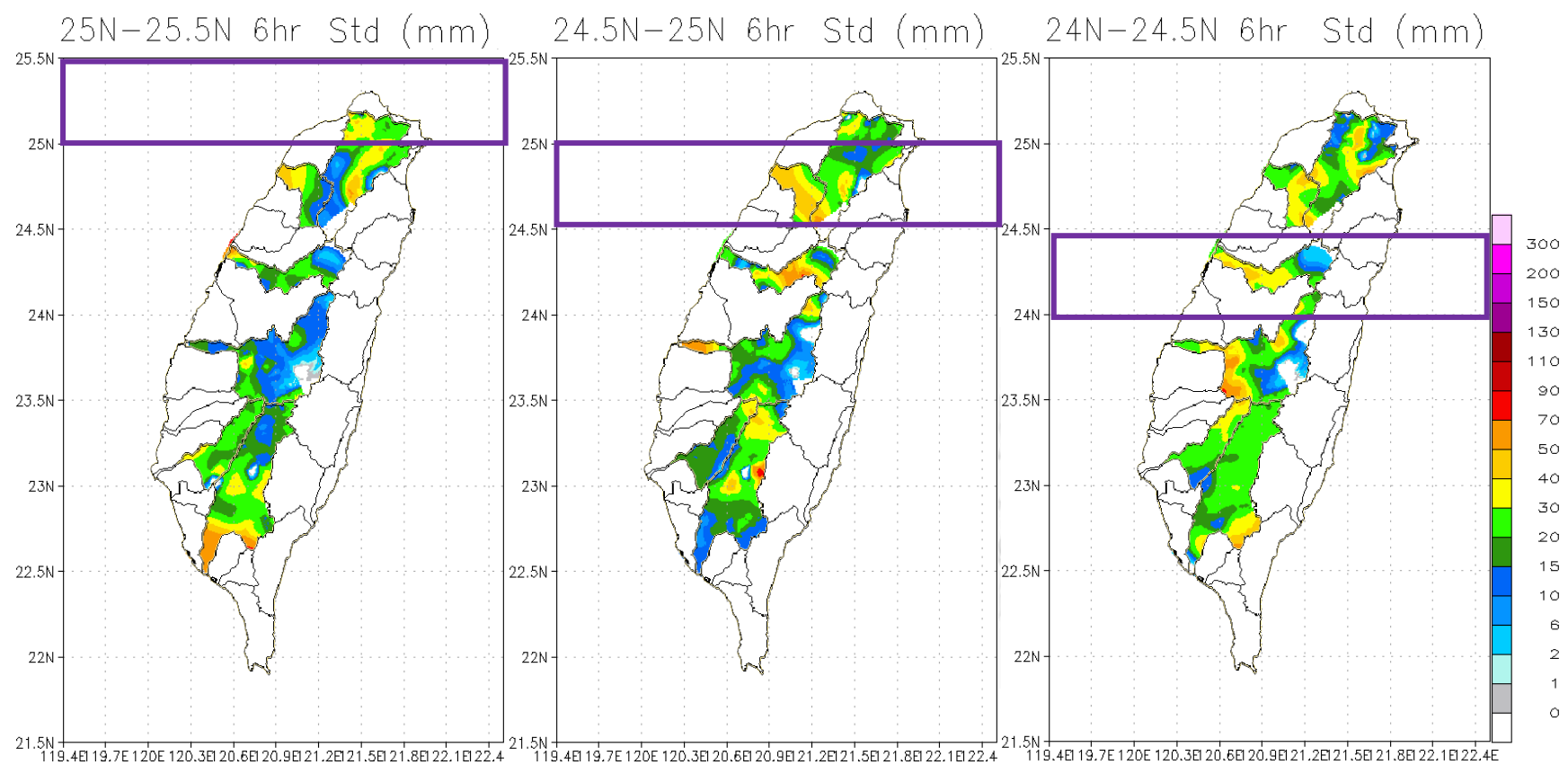


圖 5-2 (續)。

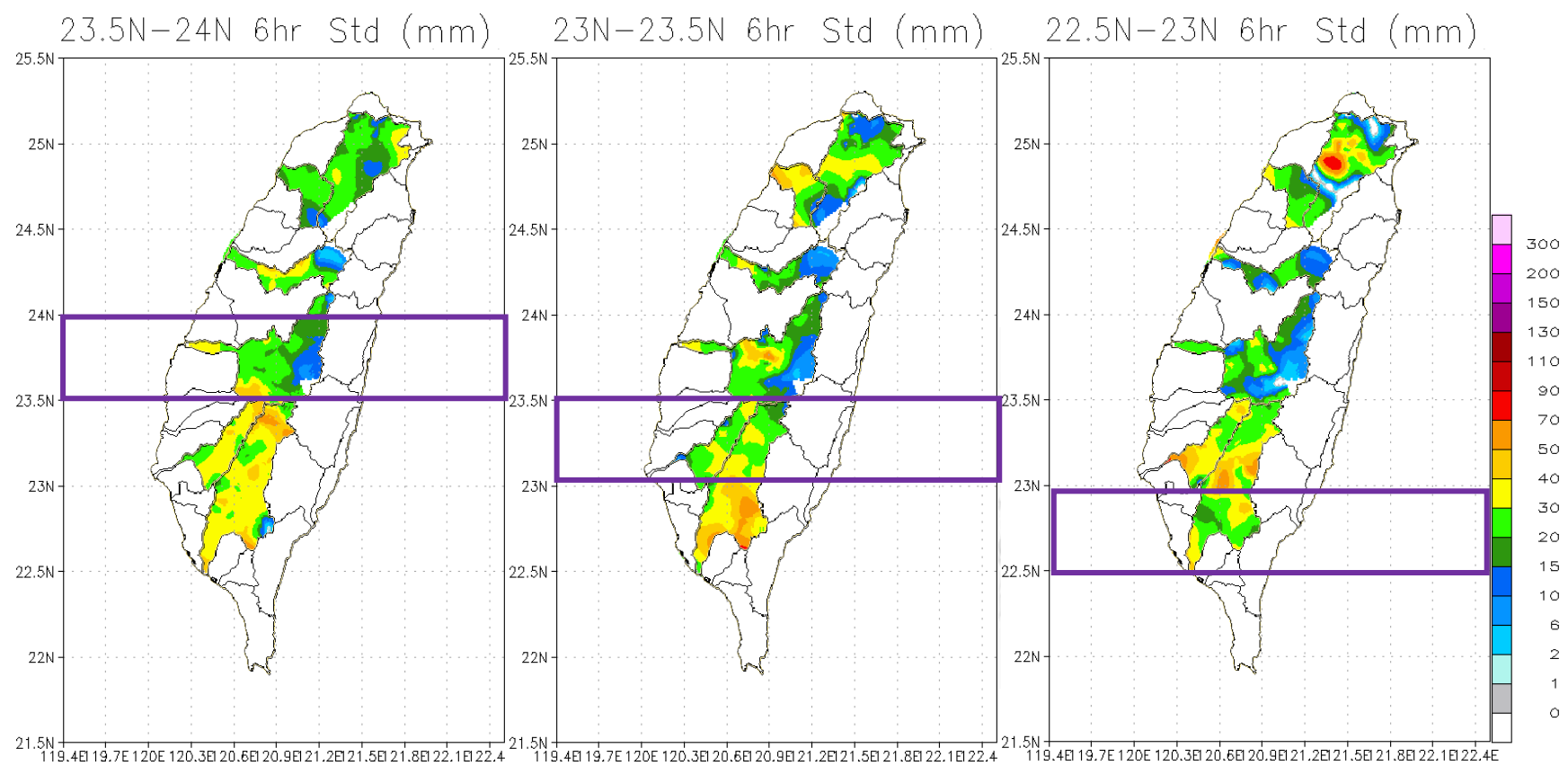
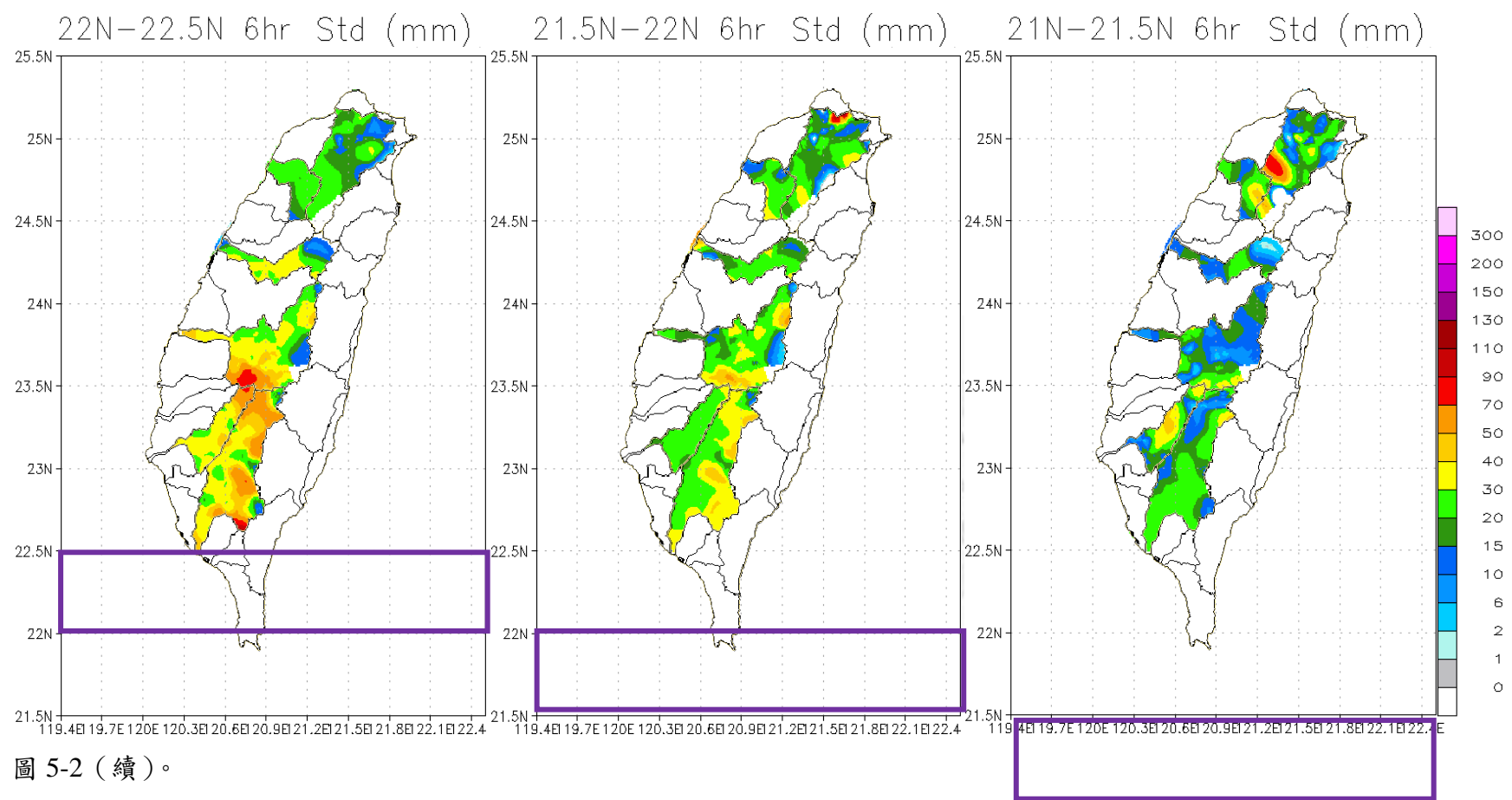


圖 5-2 (續)。





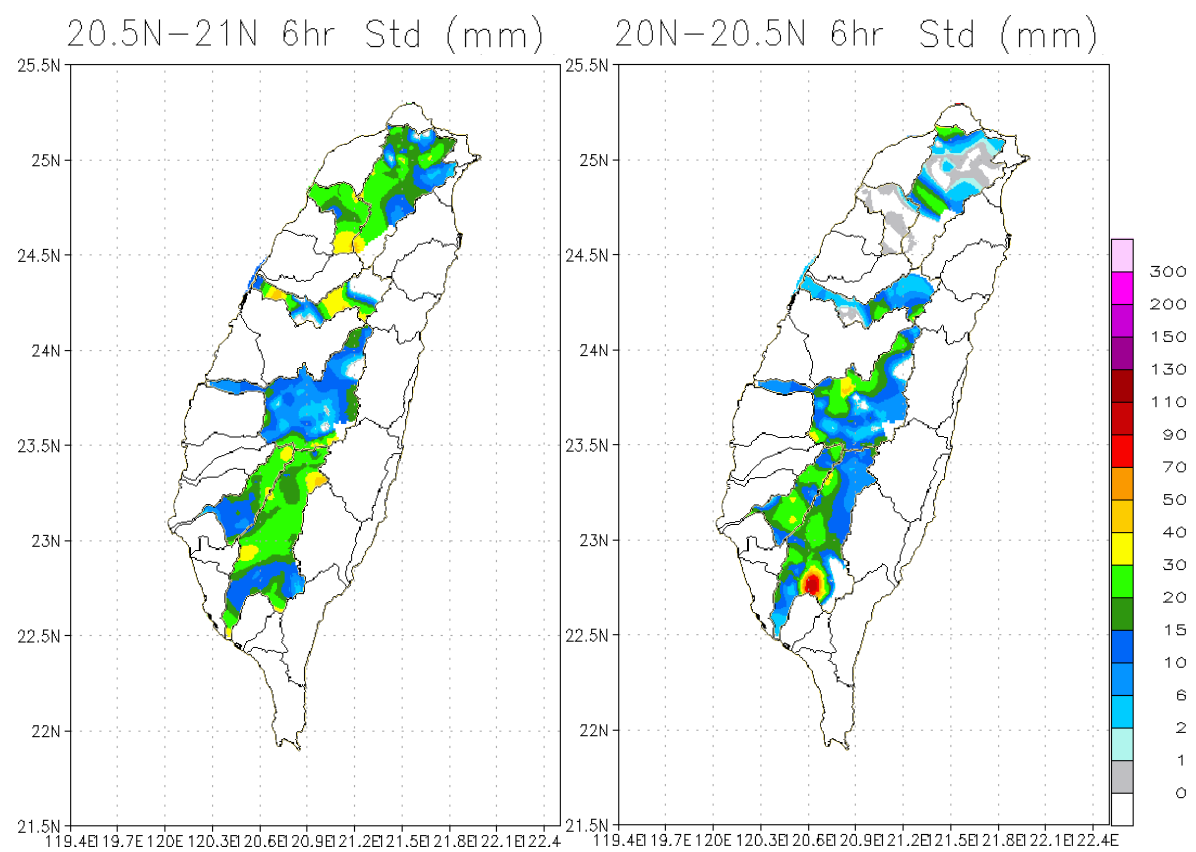
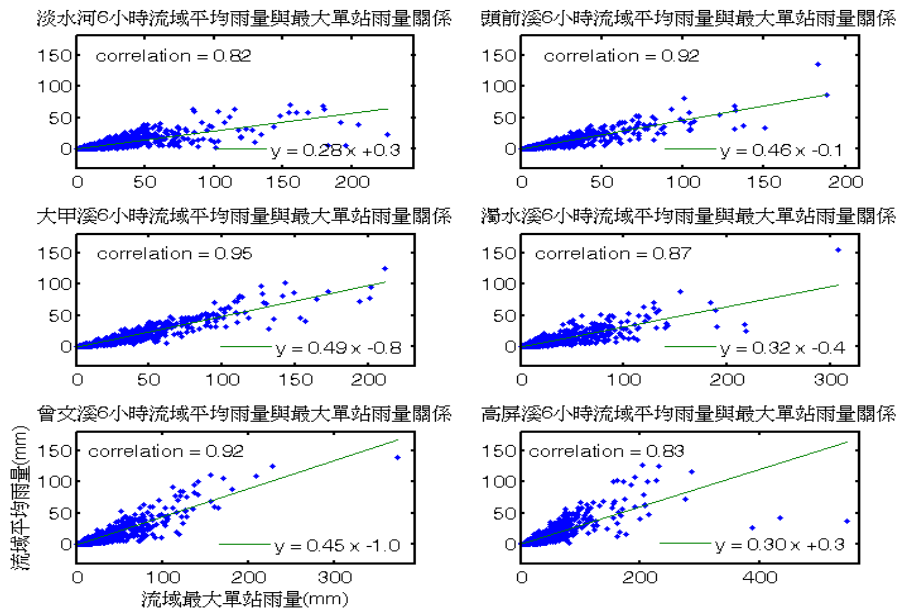


圖 5-2 (續)。

(a)



(b)

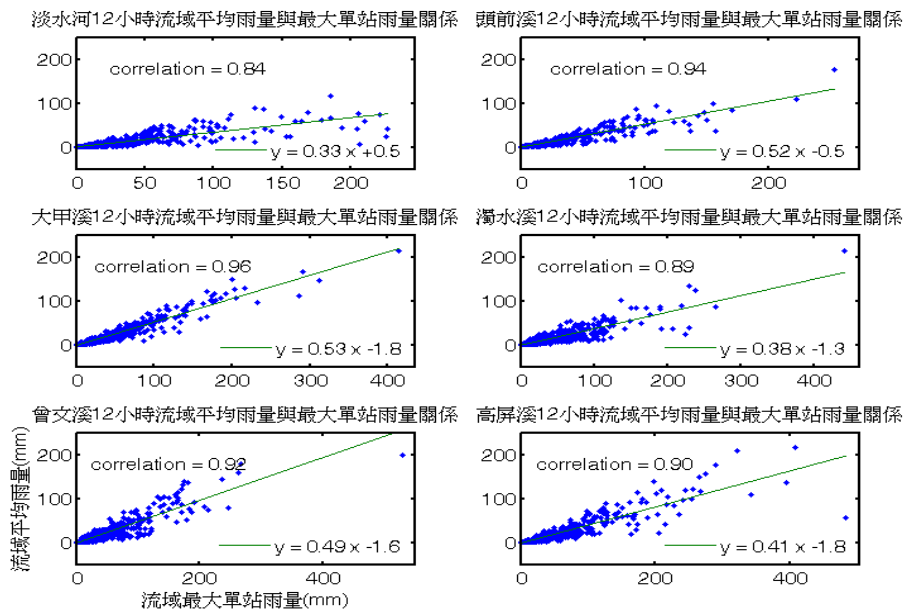


圖 5 - 3 1991~2006 年 5~6 月間，主要流域 (a) 6 小時及 (b) 12 小時流域平均雨量與流域內最大單站雨量之散佈圖，橫軸為流域內最大單站雨量，縱軸為流域平均雨量，座標軸單位為 mm。圖中實線為散佈圖趨勢線，其趨勢線公式顯示與圖之右下角，兩種雨量資料之相關係數顯示於圖之左上角。

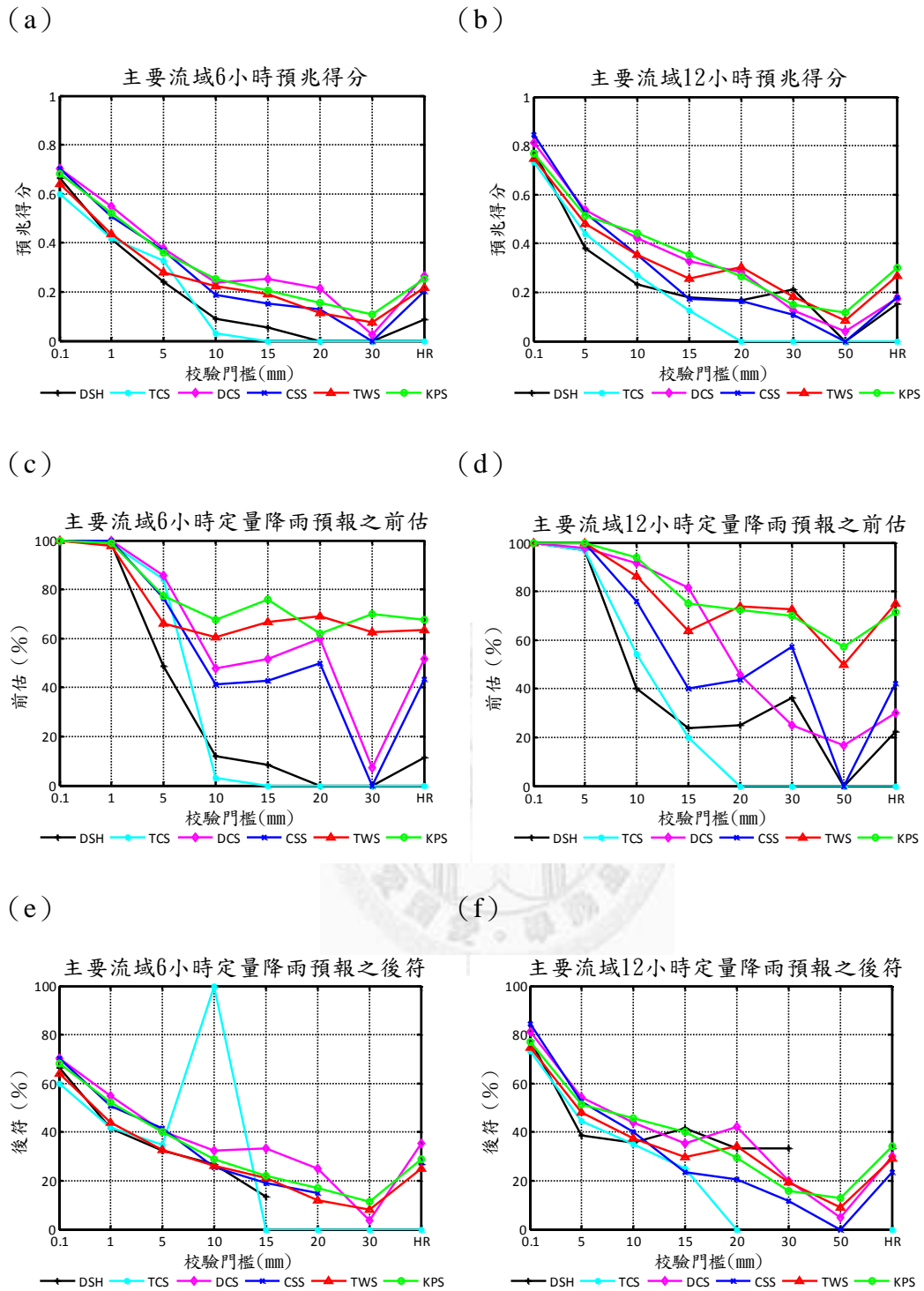
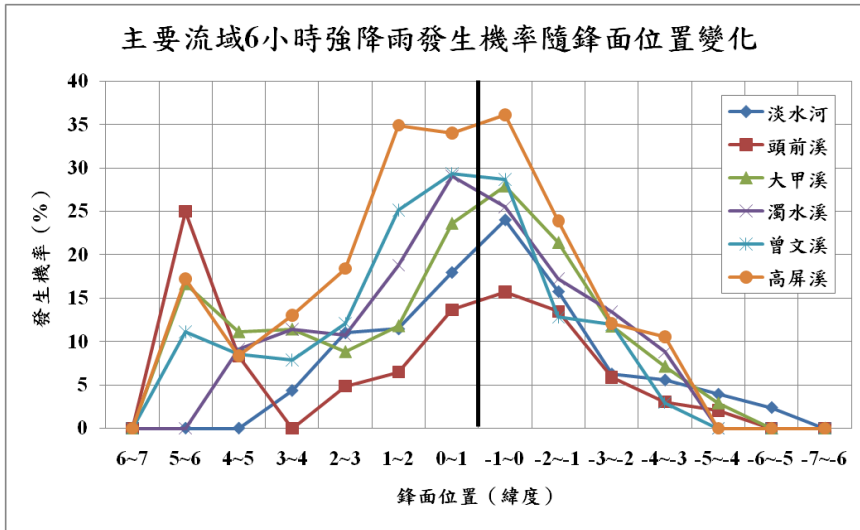


圖 5-4 2007~2008 年 5~6 月梅雨鋒面影響台灣期間，氣候概念模式在不同門檻值下，對主要流域 6 小時及 12 小時流域平均雨量之預兆得分 (a, b)、前估 (c, d) 與後符 (e, f)。校驗門檻值顯示為 HR 者，表示以各流域之強降雨標準 (參見表 5-5) 為門檻值。

(a)



(b)

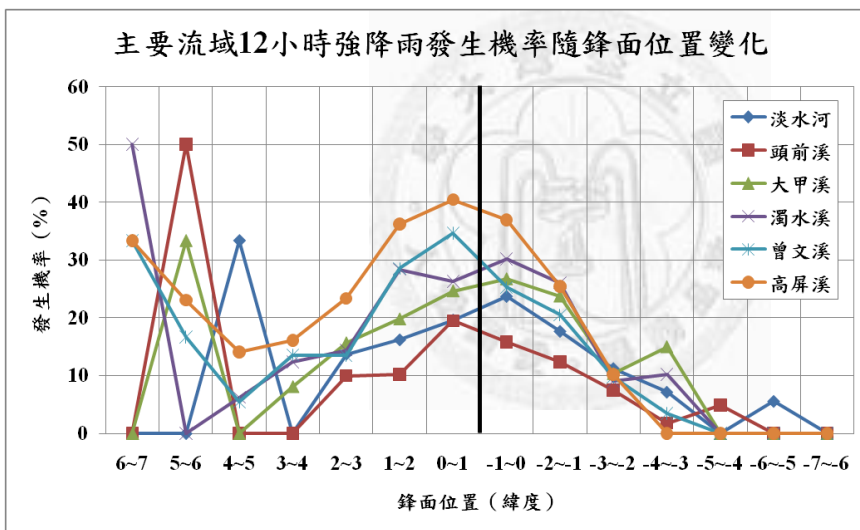


圖 6 - 1 主要流域 (a) 6 小時和 (b) 12 小時強降雨事件之發生機率隨鋒面與流域之相對位置變化圖，橫軸為鋒面與流域之相對位置，每  $1^\circ$  為一類別，正值顯示流域位於鋒前，負值顯示流域位於鋒後。