

# 台灣地區2004年梅雨期 WRF 敏感度測試-地面測站校驗

繆璿如<sup>1</sup> 林沛練<sup>1</sup> 簡芳菁<sup>2</sup> 周仲島<sup>3</sup> 洪景山<sup>4</sup> 陳致穎<sup>1</sup> 張文錦<sup>2</sup> 劉素屏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立中央大學大氣科學系 <sup>2</sup>台灣師範大學地球科學系

<sup>3</sup>台灣大學大氣科學系 <sup>4</sup>中央氣象局

## 摘要

利用WRF模式進行敏感度實驗，在相同的物理參數下，使用不同初始場資料時，分析WRF模式不同模式組態下模擬結果對地面測站預報與實際觀測值之差異。

模擬時間為2004年梅雨季(5月15日~6月15日)，計算台灣地區17個地面測站模擬結果與實際觀測值之平均偏差(Bias)與均方根誤差(RMSE)，主要使用溫度場(T)、風場(U、V)和水汽場(RH)這四種變數來分析地面測站校驗之結果。

實驗結果顯示，在使用不同初始場時，WRF模式在不同的變數場有不一樣的表現，高垂直解析度的C01在溫度場有不錯的表現。模式往東擴展，對模擬南北方向之水平風場有不錯的改善結果。在no feedback的設定下，高水平解析度的C04對地面測站溫度場的預報有相當好的改善效果。加入WRF-3DVAR後，不僅可以改善模式初期預報結果，對預測地面測站溫度場與風場方面都有不錯的改善結果。

關鍵字：WRF，地面測站校驗

## 一、前言

台灣為位於西太平洋及亞洲大陸東南隅之副熱帶島嶼，地理環境相當特別，降雨主要受到東亞季風與中央山脈之影響。最主要的雨季是梅雨季（五月中~六月中）以及颱風季（七月中~八月）(Chen and Chen, 2003)，梅雨季的降水，通常是受到梅雨鋒面的影響，每年大約會有4~5個梅雨鋒面影響台灣地區（Chen, 1988；Chen and Chi, 1978；1980）。夏季主要受到侵台颱風所帶來的雨量，或是中尺度對流系統的影響。但對部分地區而言，梅雨鋒面所伴隨的豪雨往往因難以預測，而使得民眾容易輕忽而更容易造成災害的損失。

在數值模式方面，WRF(The Weather Research & Forecasting Model)是NCAR繼MM5之後新一代的中尺度數值天氣預報模式，台灣地區使用WRF模式方面的研究經驗還並不是非常豐富，為了更了解WRF模式對即時天氣預報的應用，在中央氣象局的支援下，師範大學、中央大學、台灣大學合作進行「動力模式降雨系集與降尺度預報實驗」，研究WRF模式對於東亞與台灣地區模擬所適用的參數化，以及研究WRF模式對台灣地區天氣系統的掌握程度與應用方式。在過去成果中，對於WRF模式，針對2種微物理方法、3種積雲參數法、2種邊界層參數法，探討WRF在不同模式物理參數之差異的不同組合的表現，已有進一步的了解(簡等, 2004)。

本篇則是應用過去研究成果中，使用最佳的物理參數化設定時，在不同物理模組、水平及垂直解析度、不同Domain範圍（調整第一層網格往東擴大）情況下，利用簡單的校驗方式，比較地面測站預報之觀測值與模擬間之差異。

## 二、資料與校驗方法

本研究使用的觀測資料為中央氣象局地面觀測站其中17個測站的觀測資料，包括溫度、風向風速、相對溼度四種變數，在2004年5月15日00Z(08 LST)~6月17日12Z(20LST)每6小時的觀測值。17個測站的位置分布請參照圖1。

研究中使用WRF(V2.0.3)進行數值模擬，在簡等(2004)的敏感度測試中，包括了兩層巢狀網格，第一層粗網格解析度為45km，第二層細網格解析度為15km，第一層網格數為140×105，第二層為100×100，模擬的範圍在第一層涵括了東亞地區，青康藏高原，第二層的範圍主要選擇以台灣地區為中心，以及包括福建武夷山等地區。垂直方向為31層。在物理參數化的選擇，所有的敏感度實驗組皆使用相同的參數化法，主要參考自簡等(2004)研究成果中較佳的組合，雲微物理參數法使用WSM 5 class，積雲參數化法使用Kain-Fritsch，邊界層參數化使用YSU scheme。此設定為P01的控制組。

敏感度實驗中包含C01~C05五個成員，在使用相同的物理參數化時，分別在垂直解析度、第一層粗網格模擬範圍、增加高解析度第三層巢狀網格模擬、

使用資料同化的初始資料等進行敏感度測試，探討不同的模式設定與初始資料對於WRF模式模擬的影響。C01為提高垂直解析度至37層，而C02則是減少垂直解析度至25層，C03將第一層粗解析度網格的模擬範圍向東延伸40個格點，格點數增為180 × 105，擴大太平洋的範圍，C04增加第三層高解析度巢狀網格，水平解析度為5 km，格點數為103 × 121，模擬範圍以台灣地區為主。C05則改變初始資料，使用NCEP GFS模式資料加上地面測站與探空測站資料的三維變分資料同化(3D-VAR)。

所有敏感度實驗的成員，模擬時間皆為2004年5月15日00Z~6月15日12Z，一日兩次，每次預報48小時，計算在這段期間(2004年梅雨期)內，台灣地區17個地面測站(圖1)第6~48小時每6小時的模擬結果與實際觀測值之平均誤差(Bias)與均方根誤差(RMSE)，兩者越接近於0時，代表觀測與模擬之間的誤差越小，平均誤差為正值時，代表模擬值高於觀測值，平均誤差為負值時，代表模擬值低於實際觀測值。測站模擬值結果是使用每個預報的第二層高解析度網格距測站經緯度的最近點之模擬值，而C04因有第三層巢狀網格，因此有比較C04的第二巢與第三巢網格模擬結果。接下來的部分是分析WRF模式在不同模式組態下模擬結果對地面測站預報與實際觀測值之差異，分析之校驗變數有溫度場(T)、風場(U、V)和水汽場(RH)。

### 三、地面測站校驗結果

#### (一)溫度場

模式預報的地面測站溫度是使用模式 $\sigma$ 層最低層的溫度，除了C01與C02分別為垂直37層與25層之外，其他組別皆為垂直31層。

比較C01~C05不同敏感度模式組態與控制組P01在溫度場Bias(圖2)的表現來看，整體而言，所有群組之平均偏差值範圍約在-2.5~-3.5之間，顯示所有模式的預報溫度值均比地面觀測值之實際溫度要低，主要原因為所使用的模式最低層溫度，高度距離地面仍有數十公尺之差異，因此模式預報溫度約比觀測值平均低2.5~3.5度以內。而每個模式的溫度在不同的預報時間的表現，普遍在第12小時會出現誤差值最低的預報，其次為第6小時、24小時、18小時、36小時、30小時、48小時及42小時，基本上，隨著預報時間增加，Bias誤差會逐漸增加，隨著不同預報時間的改變，在溫度場的Bias呈現高低的波動，在6、18、30、42小時會呈現較高的誤差值，而在12、24、36與48小時會呈現較低的誤差值，對照到RMSE(圖3)也有相同的特性，主要是因為溫度有最高最低溫的日變化，而在溫度的模擬，通常較大的誤差來自於模擬最高最低值時，對極值的掌握較差，而在預報的第6、18、30、42小時，通常也是溫度最高最低值發生的時間，

模式的初始場時間為00Z (08LST)與12Z(20LST)，當初始時間為00 Z開始模擬，預報第6小時、18小時即分別為14 LST、02LST，若初始時間為12Z開始模擬，則預報第6小時、18小時則分別為02 LST、14 LST，這兩個時間通常為一日溫度最高值發生的時候(14 LST)，以及凌晨溫度逐漸降低，接近最低值的時候(02 LST)，而預報第12、24小時則分別為20 LST或08 LST，剛好介於最高最低溫之間的中間地帶，因此預報的誤差自然偏低許多，造成溫度場的預報有明顯的高低波動存在。溫度場的RMSE(圖3)分布也類似於Bias的情況，均方根誤差值主要分布2.6~3.6之間，與Bias差距不大，顯示誤差來源與Bias類似，大部分為溫度場的低估，且隨著時間增加，RMSE也有逐漸增加的趨勢。但是6小時RMSE與12小時之差別很明顯，但是Bias在6小時與12小時的誤差不大，顯示模式模擬初期在溫度部分可能還在調整，誤差來源不完全是受到高度的影響。

針對不同成員比較的部分，改變垂直解析度時，由於溫度是使用垂直最低層的溫度，因此會對溫度場有很明顯的影響，C01為垂直37層，C02為垂直25層，與垂直31層的P01比較，可以發現在較高解析度的C01，Bias主要在-2.5~-3之間，而P01主要在-2.7~-3.2之間，C02主要在-2.9~-3.5之間，有較高垂直解析度的C01或許因為在低層有較好的解析度，以及比其他兩個成員的最低層的高度要接近地面，因此誤差比其他兩組要低。C03為Domain位置東擴，和P01比較，在2004年的梅雨期間，對台灣地區的17個測站的溫度預報結果並無較佳的表現，每個時段的Bias皆比P01略高。C04為3層巢狀網格，模式的部分設定為no feedback，domain2的部分與P01比較之結果，在每個時間的Bias全部高於P01，顯示在no feedback的設定時，誤差值會提高，但是在domain3的部分，誤差值較P01明顯降低許多，在6小時與12小時預報是表現最好的一組，其他時間則略低於垂直高解析度的C01，但是若與垂直皆為31層的成員比較，高水平解析度很明顯的可以大幅改善模式對地面測站溫度預報的結果。C05為加入WRF-3DVAR之結果，在溫度的方面，除了6小時的結果誤差值略高於P01之外，其他所有的預報時間之誤差值均較低，顯示加入WRF-3DVAR對溫度的模擬的確有改進的效果。對照溫度場的RMSE，結果也與Bias呈現之特性類似。

#### (二)風場

模式風場的部分是使用地面10m風(U、V)與地面觀測風場作比較。

在東西向水平風場(U)的Bias(圖4)主要分布在-0.8~-1.6之間，誤差最低值主要出現在預報第6小時，隨著預報時間增加，大約在預報24小時誤差值最大，然後誤差值又逐漸降低。對照RMSE(圖5) 主要誤差範圍在2.1~2.4之間，第6小時、12小時有較低的

誤差值，其他時間因為差距相當小，所以則較無明顯的特性分布。

討論不同成員對東西向水平風場的表現，每個成員對風場都有表現不錯的預報時間，但並沒有哪一個成員可以在所有預報時間都有最佳的表現，各有誤差減少與增加的部分。改變垂直解析度的部分，垂直為25層的C02具有較低的垂直解析度，但是對地面測站的東西向水平風場反而比垂直31層的P01、以及高垂直解析度的C01有更好的表現，所有預報時間的Bias分布範圍主要在-0.9~-1.3，P01為-0.95~-1.5之間，C01則是在-1~-1.5之間。模式往東擴展(C03)對東西向的水平風場，在某些預報時間有改進，對照RMSE(圖5)的部分來看，雖然並非所有的預報時間都是低於P01，但整體而言，整個誤差值有稍微降低。而在加入第三層巢狀網格的C04，比較特別的是，在Bias的部分，Domain2與Domain3都較P01的誤差值要稍微偏高，但是在RMSE的部分，6小時、12小時卻反而都比P01的誤差值要低。而在加入WRF-3DVAR的C05，在6小時以及12小時都有很明顯的改善效果，誤差值皆是各成員最低，之後的預報時間誤差值雖有增加，但在預報30小時之前皆較P01的誤差值低，對照RMSE(圖5)，除了18小時的預報較高，在6~36小時的預報也都較P01的值低，特別是在模式模擬初期的6與12小時有明顯的改善效果。RMSE顯示各組在東西向水平風場的誤差相當接近。

每個成員的所有地面測站南北向水平風場(V)Bias的部分(圖6)，大部分的誤差值隨預報時間增加而增加，在6小時會有最低的誤差值，在48小時預報則有最大的誤差值，誤差值主要分布在-1~-2.5之間，誤差來源可能為模式本身風速的低估，或是模擬的水平風在南北向的表現偏向北風分量比例較高，也就是模擬北風分量的速度較強或是模擬的南風分量較弱。對照RMSE(圖7)，也類似Bias的情況，誤差值會隨預報時間的延長而逐漸增加，誤差範圍主要在2.4~3.4之間，顯示南北向水平風的誤差來源不完全屬於模式的風速低估，南北風向的正負值抵消，造成Bias顯示的值會比RMSE的值來的小。

在不同的成員表現上，Bias(圖6)的部分，提高垂直解析度對預報地面測站南北向水平風場的結果並未有明顯的幫助，垂直25層的C02反而比37層的C01有較佳的表現，在RMSE(圖7)也是呈現同樣的結果。而模式的東擴(C03)，對南北向水平風場的結果，有明顯的改進，所有的預報時間的誤差都比P01要來的小，P01主要為-1.1~-2.3之間，而C03大約在-0.9~-2.2之間，RMSE(圖4b)的結果也與Bias(圖6)相同，所有預報時間的誤差值均比P01要低。C04為巢狀三層網格的模擬，由於no feedback的設定，Bias的部分，Domain2的表現比P01較差，但是Domain3的部分，在模擬初期(第6小時和12小時)有較好的表現，但是到

18小時之後誤差便比P01要大，但是對照RMSE(圖4b)，Domain2的表現普遍比P01差，但是Domain3的部分，除了在6小時與12小時明顯表現較好之外，其他時間的預報則是無明顯的差距，互有高低，顯示C04\_Domain3與P01的不同，主要在風向的部分，提高水平高解析度，對風向會有所影響，但是結果有好有壞，可能還有其他的影響因素，並非絕對可以提升對南北向水平風場的預報準確性。C05為加入WRF-3DVAR之結果，無論是在Bias(圖6)或是RMSE(圖7)的部分，模擬初期對南北向水平風場都有相當明顯的改善，6小時的Bias為所有預報中誤差最低的，大約為-0.55，其他時間與P01比較也都有明顯較低的誤差值，顯示加入WRF-3DVAR對南北向水平風場有明顯的改進效果。

比較東西向與南北向的風場，在南北向的水平風場誤差比東西向誤差要大，不同的成員改變也有明顯的差異，顯示在梅雨期間，模式對於東西向風場的掌握變化不大，但是不同成員對南北向風場就有相當大的差異。也有可能是受到台灣地形南北走向，造成在東西向的風向速度改變不大，東部與西部測站的東西向水平風場較有一定的速度與方向，但在梅雨期間，南北向的水平風場卻對於降水系統的移動速度可能有較大的影響，也是模式較不易掌握的地方。

### (三)水汽場

水汽場(RH)的計算是使用地面最低層溫度與氣壓反推之水氣壓及飽和水氣壓的比值與地面測站量測到的相對溼度作比較。由於垂直最低層的溫度場高度約在數十公尺，模式的溫度場略比地面測站的溫度較低，因此推算出來之相對溼度會比實際的地面測站高。

整體而言，不同敏感度模式組態與控制組P01在水汽場Bias(圖8)主要分布在4.5~7.6之間，在第12小時預報通常會有最低的誤差值，隨著預報時間增加誤差會增加，但是各組最大的誤差值分布時間較不固定，不過一般而言前24小時會有較低的誤差值，24~48小時的誤差值會較高。RMSE(圖9)則是在12小時會有較低的誤差值，其他預報時間則隨成員不同，誤差的分布也不盡相同。在水汽場的部分，RMSE的分布值由9.6~11.5，比其他場的誤差要來的大了許多。

比較不同成員對水汽場的影響，改變垂直解析度對水汽場的分布的影響較不明顯，Bias(圖8)部分是C02比C01略低，但是在RMSE(圖9)卻是相反的結果。顯示C02也許是在RH的部分高估的較少，但是降水系統的位置卻不一定比較正確，所以在RMSE的部分反而較C01來的高。模式往東擴展的C03，Bias部分，在模式預報初期(6、12、18小時)有較好的結果，但是RMSE的誤差值卻比P01略高。加入第三層巢狀網格的C04的Domain2與Domain3，結果均未比P01的結果來的好，無論是Bias或是RMSE皆是如此，而且

Domain3的Bias反而是所有成員中的表現最差的。可能是高水平解析度的domain3在並未使用積雲參數化，採取直接計算，造成RH易有高估的現象。而在加入WRF-3DVAR的C05，Bias與RMSE均未比P01的結果來的好。

#### 四、討論與結果

本篇研究主要是「動力模式降雨系集與降尺度預報實驗」第二年研究計畫的部分成果，當使用WRF模式(V2.0.3)在相同的物理參數化條件時，改變不同物理模組、水平及垂直解析度及不同Domain範圍(調整第一層網格往東擴大)的情況下，對於地面測站的模擬結果的影響，希望藉此更能了解WRF模式模擬台灣地區梅雨季的特性，並且如何改進模擬結果。

在各種變數下，誤差值會有不同的特性，大部分的變數，誤差會隨著模擬時間增加而誤差逐漸增加，但是東西向水平風場無論在平均誤差或是均方根誤差部分，此特性都較不明顯。而溫度場以及相對溼度，誤差值由於最高最低溫的分布時間，而有明顯的誤差值的波動，主要顯示出模式在最高溫以及最低溫的極端值模擬誤差較大，在中間值的模擬誤差差距會較小。討論在不同的設定下，模擬結果在不同的變數場特性也不相同，高垂直解析度的C01在溫度場有不錯的表現。模式往東擴展，對模擬南北方向之水平風場有不錯的改善結果。在no feedback的設定下，高水

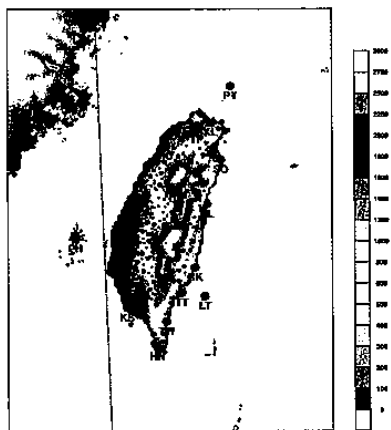


圖1 地面測站校驗所選取的17個台灣地區地面測站之位置分布圖。

平解析度的C04對地面測站溫度場的預報有相當好的改善效果。而加入WRF-3DVAR對模式初期預報結果的改善，以及預測地面測站溫度場與風場方面都有不錯的改善結果。

#### 參考文獻

- Chen, C. -S., and Y. -L. Chen, 2003: "The rainfall characteristic of Taiwan." *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1323-1341.
- Chen, G. T. -J. and S. S. Chi, 1978: "On the meso-scale structure of Mei-Yu front in Taiwan (in Chinese with English abstract)." *Atmos Sci.*, 5, 1, 35-47.
- Chen, G. T. -J. and S. S. Chi, 1980: "On the frequency and speed of Mei-Yu front over southern China and the adjacent areas." *Paper Meteor. Res.* 3, 1&2, 31-42.
- Chen, G. T. -J. 1988: "On the synoptic-climatological characteristics of the east Asian Mei-Yu front (in Chinese with English abstract)". *Atmos Sci.*, 16, 435-446.
- Chien, F.-C. and B. J.-D. Jou, 2004: "MM5 ensemble precipitation forecasts in the Taiwan area for three Mei-yu seasons." *Weather and Forecasting*, 19, 735-750.

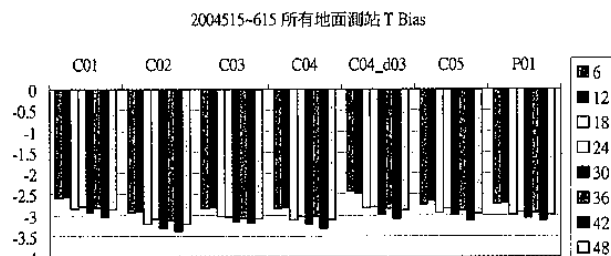


圖2 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間溫度場之平均誤差值。

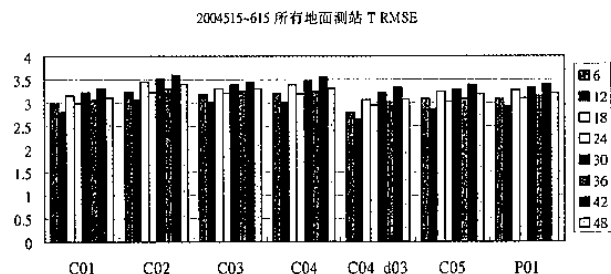


圖3 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間溫度場之均方根誤差值。

2004515-615 所有地面測站 U Bias

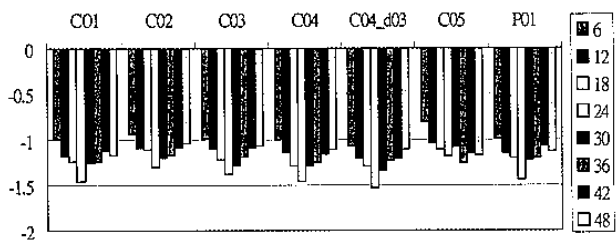


圖4 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間東西向水平風場(U)之平均誤差值。

2004515-615 所有地面測站 U RMSE

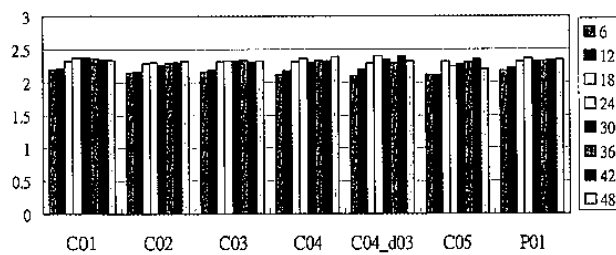


圖5 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間東西向水平風場(U)之均方根誤差值。

2004515-615 所有地面測站 V Bias

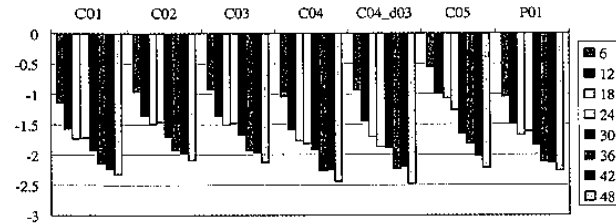


圖6 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間南北向水平風場(V)之平均誤差值。

2004515-615 所有地面測站 V RMSE

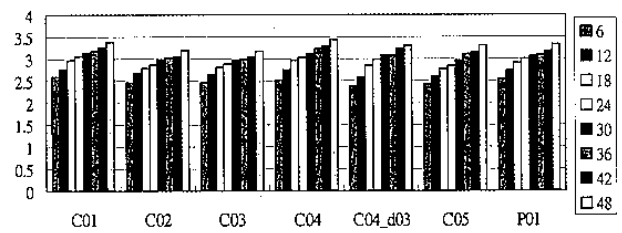


圖7 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間南北向水平風場(V)之均方根誤差值。

2004515-615 所有地面測站 RH Bias

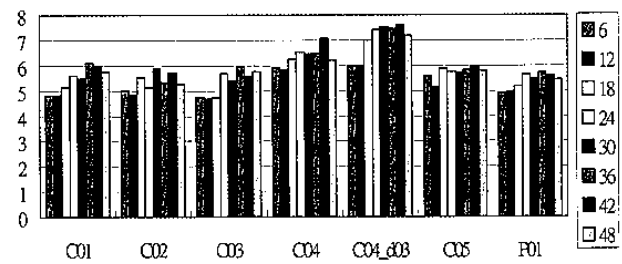


圖8 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間水汽場(RH)之平均誤差值。

2004515-615 所有地面測站 RH RMSE

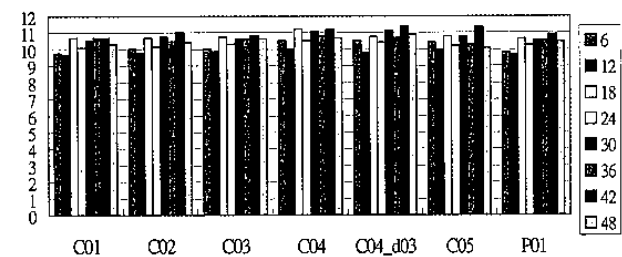


圖9 2004年梅雨期不同模式成員C01~C05與P01在台灣17個地面測站不同預報時間水汽場(RH)之均方根誤差值。