

採用ECMWF季節預報資料建置水庫集水區的雨量降尺度預報系統 Using ECMWF SEAS5 Develop Reservoir Statistical Downscaling Forecast System

林昀靜¹、李清騰¹、李思瑩¹、張庭槐²

Yun-Ching Lin¹, Ching-Teng Lee¹, Szu-Ying Lee¹, Ting-Huai Chang²

¹中央氣象局氣象科技研究中心

¹Meteorology Research and Development Center, Central Weather Bureau, Taiwan

²中央氣象局資訊中心

²Meteorological Information Center, Central Weather Bureau, Taiwan

摘要

氣象局從去年開始發展水庫集水區的雨量降尺度預報系統，使用新一代海氣耦合模式(TCWB1T1.1)運用直接內插統計降尺度法到19個水庫集水區的降尺度作業化預報系統建置，今年開始氣象局採用歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的季節預報資料(SEAS5)發展水庫集水區未來1-6個月的雨量降尺度預報，並且根據各水庫集水區在事後預報期間的歷史降尺度預報結果進行事後預報技術校驗計算，從事後預報期間的校驗結果看來多數的水庫集水區在4、9、11月的預報技術都不錯，而在預報期的預報成效評估，多數月份的預報類別也是與觀測的類別相近，顯示本降尺度系統具有不錯的預報技術。

關鍵字：氣候模式、統計降尺度

1. 前言

中央氣象局為因應短期氣候預報的需求而開始發展動力統計氣候預報系統。在2016年第二代二步法氣候預報系統(TCWB2T2)開始進行作業化的預報測試，並從2017年4月開始，此模式(TCWB2T2)的測站降尺度預報開始上線作業化。到了2018年，氣象局第一代海氣耦合模式(TCWB1T1.0)開始準作業預報，並從2019年3月開始提供測站降尺度預報產品。而新一代的海氣耦合模式(TCWB1T1.1)從2020年1月開始進行準作業月與季預報並同時提供此系統的測站降尺度預報作業。

短期氣候預報模式在降尺度預報作業上的應用，除了開發測站降尺度的預報作業系統外，也因應跨領域作業單位的需求，從2020年開始發展水庫集水區的雨量降尺度預報。去年已使用氣象局新一代海氣耦合

模式(TCWB1T1.1)運用直接內插統計降尺度法到19個水庫集水區的雨量降尺度預報，而今年則開始使用歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的季節預報資料發展水庫集水區在未來1-6個月的雨量降尺度預報，並完成各水庫集水區在事後預報期間的預報技術校驗。

2. 資料

本研究中使用的模式資料來自歐洲中期天氣預報中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)第五代的季節預報系統-SEAS5，此預報系統可以提供即時性的季節性預報資料，其空間解析度為0.4度。

降尺度研究區域為水利署的19個水庫集水區範圍，分別為仁義潭水庫(含竹山攔河堰)、日月潭水庫(含栗栖壩)、永和山水庫、石門水庫(含榮華壩)、牡丹水

庫、明德水庫、南化水庫、烏山頭水庫、高屏溪攔河堰、曾文水庫、湖山水庫(含桶頭攔河堰)、新山水庫、翡翠水庫、德基水庫、鯉魚潭水庫、霧社水庫、寶山水庫、寶山第二水庫(含上坪攔河堰)、蘭潭水庫等 19 個集水區(如圖 1 所示,圖中藍色範圍為石門水庫及翡翠水庫,黃色格點為 TCWB1T1.1 的模式解析度,灰色格點為 ECMWF 的模式解析度)。

另外也蒐集了水庫集水區的雨量觀測資料為了計算在事後預報期間的降尺度預報校驗。在 19 個水庫中,缺寶山水庫及蘭潭水庫的雨量觀測資料,但因為寶山水庫距離寶山第二水庫差不多僅有 3 公里遠,因此寶山水庫在計算事後預報技術得分時可以使用寶山第二水庫的降雨資料;而蘭潭水庫也是離仁義潭水庫約 3 公里的距離,因此蘭潭水庫缺的雨量觀測資料就使用仁義潭水庫的觀測資料代替。

由於蒐集到的水庫集水區觀測雨量是日雨量,因此需要先轉換成月雨量才能使用來計算月尺度的預報技術得分計算。但在日雨量轉換成月雨量的部分,會遇上缺值的問題,因此判斷若當月缺資料的天數少於 15 天,就計算當月有雨量紀錄的雨量平均值(mm/day),再乘回當月的總天數變成當月的月雨量值(mm),若是當月缺資料的雨量天數大於 15 天,則當月的雨量就以 NA 值來表示。

另外由於各水庫集水區紀錄的觀測雨量時間長度不一致,且目前取得的水庫集水區觀測資料僅到 2020 年 12 月,因此在資料的時間長度選擇為各水庫從 1991 年或是從有觀測資料開始且累積時間長度大於 10 年,該水庫的資料才能用來計算降尺度的事後預報技術得分,而在計算過程中若遇上缺值則該年不納入計算,在 19 個水庫集水區中有 3 個水庫集水區的觀測資料少於 10 年因此沒有計算其降尺度的事後預報技術得分,此 3 個水庫為日月潭水庫、湖山水庫及霧社水庫。

3. 統計降尺度方法介紹

直接內插法是最簡單的內插方法,此方法在統計上的誤差小,可以減小因為預報因子的挑選、統計計

算方式等所帶來的誤差。不過此方法所有的預報能力都是來自全球預報模式,如果全球預報模式不能準確掌握大尺度環境場的變異,就不能掌握伴隨大尺度變化的臺灣小尺度變異。因此直接內插法是所有降尺度預報方法的最低門檻,也可用來作為估計預報技術高下的參考。

直接內插降尺度法就是用每個測站臨近的四個網格點資料內插到所要推估的目標測站,根據每個網格點與目標測站間的距離,以距離平方反比法計算各網格點所對應的權重,當距離越近其權重就越大。

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^k Z_i \frac{1}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{d_i^2}}$$

其中, Z_0 是要內插的目標測站點, Z_i 是臨近的網格點資料, d_i 是目標測站點 Z_0 與網格點 Z_i 間的距離,因為本研究採用的是臨近的 4 個網格點,因此 $k = 4$ 。

距離的計算方式為

$$d = \cos^{-1}(\cos(a1) * \cos(b1) * \cos(a2) * \cos(b2) + \cos(a1) * \sin(b1) * \cos(a2) * \sin(b2) + \sin(a1) * \sin(a2) * r)$$

假設要計算距離的兩點的經緯度座標為 $(x1, y1)$ 、 $(x2, y2)$, 先將經緯度座標轉換成弧度後再代入上述的公式中計算距離 d 。其中 r 為地球半徑 6378km。

$$a1 = y1 * 2.0 * \pi / 360 \cdot b1 = x1 * 2.0 * \pi / 360$$

$$a2 = y2 * 2.0 * \pi / 360 \cdot b2 = x2 * 2.0 * \pi / 360$$

4. 水庫集水區雨量降尺度預報產品

ECMWF 模式資料是利用 1991-2020 年的事後預報資料降尺度到水庫的集水區邊界,並利用此結果建立歷史的事後預報分布,在預報作業應用時可根據預報的模式降尺度結果與歷史事後預報分布比較,即可得知模式在預報期的降尺度預報類別。預報產品如圖 2 所示,以石門水庫在 2021 年 5 月為初始場預報 5-11

月的集水區降尺度預報為例（預報第一筆資料為當月的預報），在上圖中 x 軸為預報月份，y 軸為雨量值，灰色為 1991-2020 年事後預報期的降尺度歷史分布，上下兩個點分別表示雨量分布的最大及最小值，灰色的上限為雨量分布的 75%，下限為 25%，中間為 50%；藍色為預報的盒鬚圖分布，其中藍色的實心表示在歷史事後預報期間有預報技術，而空心則表示沒有（事後預報期間的預報技術在下段詳述如何計算），這盒鬚圖分布的最上端為雨量最大值、最下端為雨量最小值，中間為 75%、50%、25%的百分位值。

另外在預報圖中的下面兩個表格，分別代表預報在不同百分位的 6 分類機率值以及事後預報分布的氣候門檻值，氣候門檻值是根據 1991-2020 年事後預報期的降尺度歷史分布所計算，在百分位 10、30、50、70、90 的雨量值，而預報的 6 分類機率就是根據預報期的降尺度分布對應歷史分布百分位雨量值的發生機率，根據此發生機率即可得知模式在預報期的降尺度預報最大可能發生類別以及在氣候上的雨量值大小。此類別的機率預報產品會比單純的雨量時間序列具有較高的預報參考性，而且也可提供較極端雨量(10%、90%)的發生機率供參考。

5. 水庫集水區雨量降尺度預報技術

5.1 事後預報技術得分

為了評估 ECMWF 模式資料運用此降尺度方法在水庫集水區的預報能力，因此計算在事後預報期間的 GSS，由於各水庫集水區紀錄的觀測雨量時間長度不一致，且目前取得的水庫集水區觀測資料僅到 2020 年 12 月，因此模式初始場的事後預報期僅能選擇從 1991 到 2019 年，而各水庫的觀測資料就選擇從 1991 年或是從有觀測資料開始到 2019 年（或 2020 年，根據模式在不同初始月份要計算事後預報技術得分時所對應的年份不同）且累積時間長度大於 10 年，該水庫才能計算降尺度的事後預報技術得分，而在計算過程中若遇上缺值則該年不納入計算。

在模式事後預報期間的水庫集水區降尺度預報技術得分計算結果如圖 3 所示(圖 3 僅以(a)翡翠水庫、(b)石門水庫、(c)寶山水庫、(d)德基水庫、(e)南化水庫當作代表)，圖中 x 軸為降尺度預報的目標月份，y 軸為事後預報技術得分 GSS 值，不同顏色代表不同的初始月份在不同領先月份的預報技術得分。從預報技術得分結果來看多數的水庫集水區在 4、9 及 11 月的預報技術都不錯。

5.2 2021 年 2-6 月預報成效評估

運用 ECMWF 模式資料所發展的水庫集水區雨量降尺度預報從今年 1 月開始有預報產品，因此本研究以今年 1-5 月初始場的第一個月預報，即今年 2-6 月的降尺度預報結果來評估水庫集水區的預報成效，但因為沒有水庫集水區的雨量觀測資料，因此以鄰近的氣象局局屬測站資料來當作觀測的基準。

接下來以翡翠水庫、石門水庫、寶山水庫、德基水庫及南化水庫當作代表來討論今年的預報成效，另外與這 5 個水庫集水區對應，選擇當作觀測基準的氣象局局屬測站分別為：翡翠水庫對應臺北站、石門及寶山水庫對應新竹站、德基水庫對應臺中站、南化水庫對應臺南站。

ECMWF 模式以今年 1-5 月初始場對上述 5 個水庫在領先一個月(即 2-6 月)的雨量降尺度預報分布如圖 4 所示，其預報 6 分類的機率如表 1 所示。圖 4 中 x 軸為月份，y 軸為雨量值，灰色為 1991-2020 年事後預報期的降尺度歷史分布，綠色為預報的盒鬚圖分布。表 1 中綠色粗體字為預報 6 分類中最大發生機率的類別，紅色為水庫對應的氣象局局屬觀測站實際降雨發生類別。

根據圖 4(a)翡翠水庫在 2、4 月的預報是比歷史分布偏少，3 及 6 月的預報雨量分布是接近正常的類別，在 5 月的預報比歷史分布稍微偏多，這樣的預報分布在表 1(a)中也可看出，雖然表中 3 月的預報雨量最大機率是落在百分位 70-90 類別、而 6 月是落在百分位 10-30 的類別，但從百分位 10-90 間的各類別來看，其

實預報的機率大小都差不多，也就表示此月份的預報分布是接近氣候值的分布，且從預報技術的角度來看 3 及 6 月的預報是屬於沒有參考價值，因此從翡翠水庫今年 2-6 月的預報表現來看，是僅在 5 月的預報類別與觀測有些微差異。

圖 4(b)石門水庫與圖 4(c)寶山水庫在 2-4 月份的預報偏少，而 5-6 月在石門水庫是預報正常，而寶山水庫的預報屬正常到偏多。從表 1(b)石門水庫各月份的校驗結果，其預報類別都與觀測類別相近；而表 1(c)寶山水庫在 2-4 月的預報都與觀測的類別差不多，雖然寶山水庫在 5 月的預報與觀測差異較大，但寶山水庫在此月份的預報是沒有預報參考價值，而 6 月寶山水庫在 70-90 百分位與 30-50 百分位的預報機率差不多，因此此月份的預報類別也是與觀測的類別相近。

圖 4(d)德基水庫降尺度預報與臺中站的觀測降雨分布除了 3 月差異較大以外，在 2、4 月預報與觀測都是偏少，而 5、6 月都是比正常到偏多類別，表 1(d)的 6 分類校驗結果，也是 2、4、5 月的預報與觀測類別一致。最後在南化水庫的降尺度預報(如圖 4(e))與臺南站的比較，在表 1(e)的校驗結果可得知 2-5 月的預報與觀測類別都相當接近，6 月實際觀測降雨的百分位超過 90，屬於較極端的類別，而模式雖然沒有預報到如此極端類別，但模式預報是落在 50-70 百分位也是屬於偏多的類別預報。

從上述 5 個涵蓋北、中、南的水庫集水區在今年 2-6 月的降尺度預報成效評估來看，本降尺度方法對水庫集水區的降尺度預報能力不錯，待未來累積更多的預報個案，可以再更完整的預報能力評估。

6. 結論及未來工作

目前利用 ECMWF 的模式資料在水庫集水區的降尺度預報，從事候預報期間的預報技術看來多數的水庫集水區在 4、9 及 11 月的預報技術都不錯。另外，在今年 2-6 月的水庫集水區降尺度預報成效評估部分，本降尺度方法對水庫集水區的降尺度預報有一定的預報能力，待未來累積更多的預報個案，可以再更完

整的預報能力評估。未來將規劃使用相關係數權重回歸方法改進水庫集水區的降水預報，會根據模式在不同初始月份的預報以及不同水庫的集水區，在模式資料與水庫集水區降雨間分別建立相關，再挑選高相關格點，依照格點相關係數的高低計算比重，並格點的比重平均，依此發展水庫集水區之降雨降尺度預報。

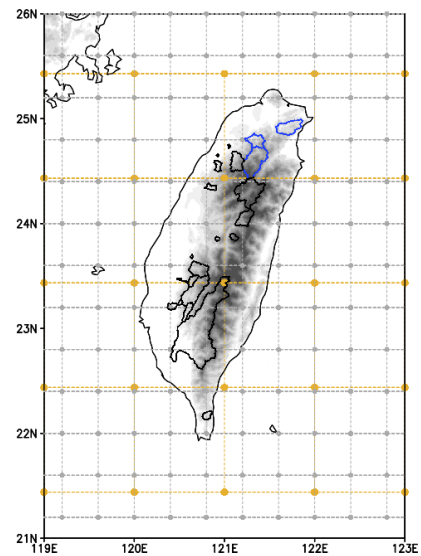


圖 1 水庫集水區分布圖，以水利署 19 個水庫集水區為降尺度研究區域，圖中藍色範圍為石門及翡翠水庫。

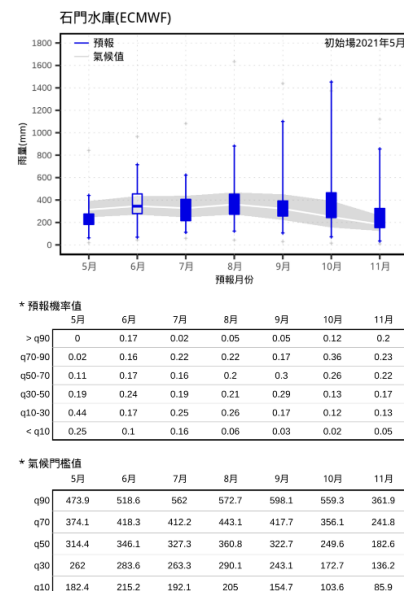
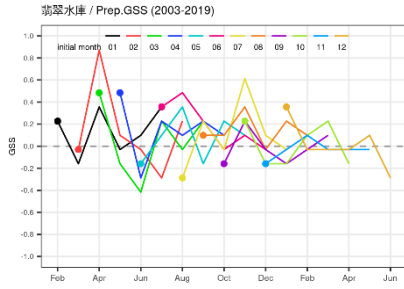
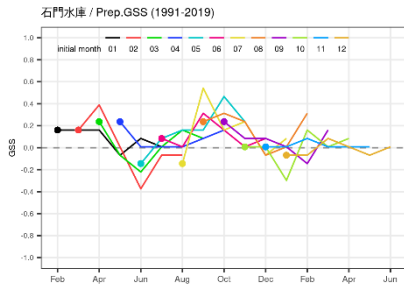


圖 2 水庫集水區雨量降尺度預報產品，以石門水庫在 2021 年 5 月為初始場預報 5-11 月的雨量降尺度預報為例。

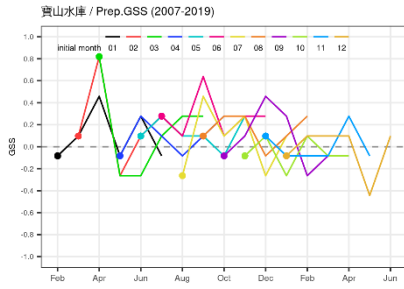
(a)



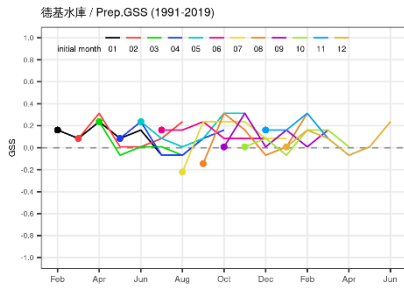
(b)



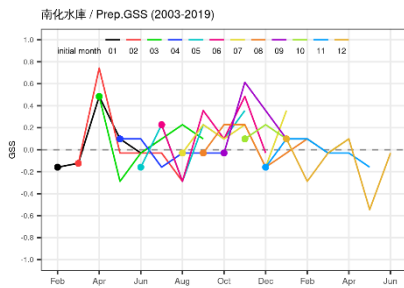
(c)



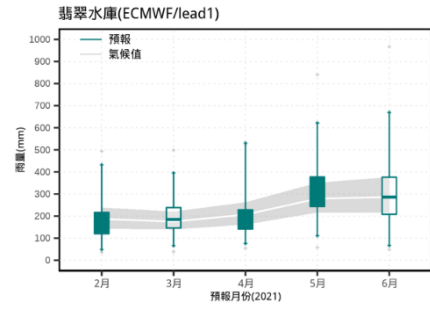
(d)



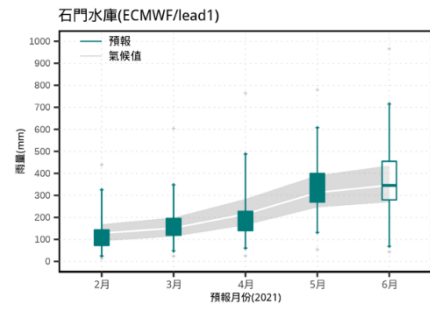
(e)



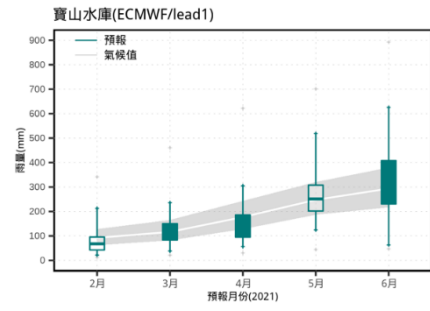
(a)



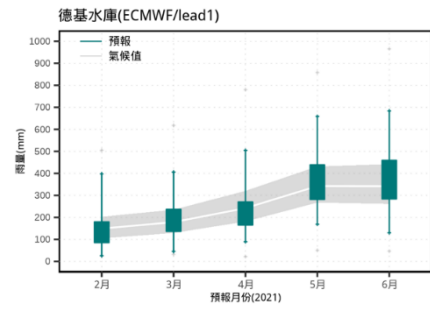
(b)



(c)



(d)



(e)

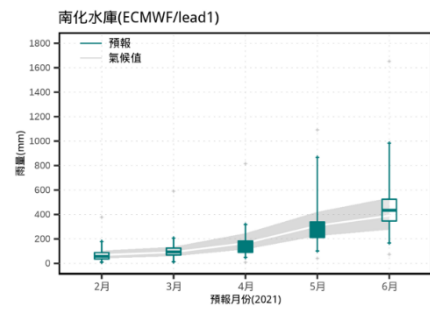


圖 3 (a)翡翠水庫、(b)石門水庫、(c)寶山水庫、(d)德基水庫、(e)南化水庫在事後預報期間已 1-12 月為初始月份往後預報 1-6 個月的事後預報技術得分。

圖 4 ECMWF 模式以今年 1-5 月初始場對(a)翡翠水庫、(b)石門水庫、(c)寶山水庫、(d)德基水庫、(e)南化水庫在領先一個月(即 2-6 月)的雨量降尺度預報。

(a)

翡翠水庫預報機率 (2021/ECMWF/lead1/台北站)

	2月	3月	4月	5月	6月
> q90	0.08	0.15	0.04	0.14	0.08
q70-90	0.14	0.21	0.12	0.23	0.21
q50-70	0.13	0.18	0.21	0.23	0.2
q30-50	0.18	0.2	0.23	0.21	0.18
q10-30	0.28	0.18	0.21	0.14	0.22
< q10	0.18	0.07	0.19	0.06	0.11

(d)

德基水庫預報機率 (2021/ECMWF/lead1/台中站)

	2月	3月	4月	5月	6月
> q90	0.06	0.08	0.03	0.1	0.16
q70-90	0.15	0.24	0.14	0.23	0.17
q50-70	0.17	0.22	0.18	0.25	0.19
q30-50	0.21	0.2	0.24	0.16	0.24
q10-30	0.27	0.18	0.32	0.25	0.16
< q10	0.14	0.08	0.1	0.01	0.07

(b)

石門水庫預報機率 (2021/ECMWF/lead1/新竹站)

	2月	3月	4月	5月	6月
> q90	0.07	0.1	0.02	0.11	0.17
q70-90	0.12	0.19	0.1	0.22	0.16
q50-70	0.14	0.22	0.18	0.23	0.17
q30-50	0.18	0.23	0.23	0.24	0.24
q10-30	0.29	0.17	0.28	0.17	0.17
< q10	0.19	0.09	0.18	0.03	0.1

(e)

南化水庫預報機率 (2021/ECMWF/lead1/台南站)

	2月	3月	4月	5月	6月
> q90	0.03	0.01	0	0.09	0.11
q70-90	0.18	0.25	0.13	0.14	0.2
q50-70	0.18	0.26	0.19	0.08	0.31
q30-50	0.25	0.28	0.19	0.33	0.22
q10-30	0.2	0.1	0.34	0.29	0.09
< q10	0.16	0.11	0.14	0.07	0.07

(c)

寶山水庫預報機率 (2021/ECMWF/lead1/新竹站)

	2月	3月	4月	5月	6月
> q90	0.06	0.1	0	0.08	0.16
q70-90	0.1	0.12	0.08	0.19	0.24
q50-70	0.16	0.24	0.22	0.24	0.12
q30-50	0.18	0.2	0.18	0.24	0.23
q10-30	0.24	0.26	0.3	0.21	0.14
< q10	0.26	0.08	0.22	0.03	0.1

表 1 ECMWF 模式以今年 1-5 月初始場對(a)翡翠水庫、(b)石門水庫、(c)寶山水庫、(d)德基水庫、(e)南化水庫在領先一個月(即 2-6 月)的雨量降尺度預報 6 分類機率。綠色粗體字為預報 6 分類中最大發生機率的類別，紅色為水庫對應的氣象局局屬觀測站實際降雨發生類別。

Using ECMWF SEAS5 Develop Reservoir Statistical Downscaling Forecast System

Yun-Ching Lin¹, Ching-Teng Lee¹, Szu-Ying Lee¹, Ting-Huai Chang²

¹Meteorology Research and Development Center, Central Weather Bureau, Taiwan

²Meteorological Information Center, Central Weather Bureau, Taiwan

Abstract

Reservoir statistical downscaling forecast system by using TCWB1T1.1 was operational last year. This year the reservoir statistical downscaling forecast system use the SEAS5 model, the latest generation of ECMWF's seasonal forecasting system, as input data to develop the reservoir precipitation forecast. The skill scores of hindcast period, the results show that the high skill scores are in Apr., Sept. and Nov.. And the evaluation of forecast period show that the forecast precipitation and the observation precipitation of reservoir are close. According to the skill score of hindcast period and the evaluation of forecast period both show this statistical downscaling forecast system of the reservoir precipitation forecast is skillful.

Key words: climate model, statistical downscaling