

Projection of Future Precipitation in the Lhasa River Basin*

Wenfeng Liu, Zongxue Xu, Fapeng Li

Key Laboratory of Water and Sediment Sciences, Ministry of Education, College of Water Sciences,
Beijing Normal University, Beijing
Email: wfliu@mail.bnu.edu.cn, zxxu@bnu.edu.cn

Received: Jun. 25th, 2012; revised: Jul. 5th, 2012; accepted: Jul. 12th, 2012

Abstract: Under the impact of global warming, the Lhasa River Basin (LRB), located at the political, economic, and cultural center of Tibetan region, is experiencing significant climate change. It is important to undertake the climate studies over LRB. On the basis of observed precipitation at meteorological stations, ERA-40 reanalysis and MIROC3.2_medres data, statistical downscaling model—Automated Statistical Downscaling (ASD) was employed to simulate historical daily precipitation. Future precipitation scenarios for the periods of 2046-2065 and 2081-2100 were generated by using ASD model. Results show that ASD model can simulate the basic features of precipitation well, with the explanation variance (R^2) of each station reaching 13% - 22%. Root mean square errors (RSME) during calibration and validation periods are around 0.25 and 0.53, respectively. Precipitation regime will change significantly in the future. Total amount of annual precipitation will decrease by 10.55% - 17.25%. Future precipitation will become more concentrated. In summer, precipitation will increase evidently, and the amplitude of change is 19.03% - 59.02%, while precipitation in spring, autumn and winter will experience obvious decreasing, with the ratio of 18.43% - 40.93%.

Keywords: Precipitation; Scenarios; Downscaling; Lhasa River

拉萨河流域未来降水情景预估*

刘文丰, 徐宗学, 李发鹏

北京师范大学水科学研究院, 水沙科学教育部重点实验室, 北京
Email: wfliu@mail.bnu.edu.cn, zxxu@bnu.edu.cn

收稿日期: 2012年6月25日; 修回日期: 2012年7月5日; 录用日期: 2012年7月12日

摘要: 拉萨河流域是西藏地区政治、经济、文化中心, 在全球气候变暖影响下, 流域气候变化显著, 针对拉萨河流域开展气候变化研究具有重要意义。本文基于气象站点实测数据和 ERA-40 与 MIROC3.2_medres 大尺度网格数据, 采用统计降尺度模型 Automated Statistical Downscaling(ASD), 对拉萨河流域日降水量进行降尺度研究, 在此基础上分析了流域 2046~2065 年与 2081~2100 年降水量变化情景。结果显示: ASD 模型能够较好地模拟流域降水基本特征, 各站点的解释方差(R^2)达到 13%~22%, 率定期与验证期的均方根误差(RMSE)分别控制在 0.25 与 0.53 以内。未来两个时期流域降水格局变化显著, 年降水量将减少 10.55%~17.25%。降水年内分配变得更加集中, 夏季降水呈显著增加趋势, 变化幅度为 19.03%~59.02%; 春、秋、冬季降水呈显著减少趋势, 减小幅度为 18.43%~40.93%。

关键词: 降水; 情景; 降尺度; 拉萨河

*基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2009SC-5); 国家自然科学基金(50909003)。

作者简介: 刘文丰(1988-), 男(汉族), 四川广安人, 硕士研究生, 主要从事气候变化对水文水资源的影响研究。

1. 引言

拉萨河流域是西藏自治区最主要的农牧业生态地区之一, 尤其是流域下游地区, 是西藏政治、经济、文化中心, 著名的高原古城拉萨也坐落在拉萨河流域下游河畔^[1]。同时拉萨河也是西藏自治区水利开发的重点, 在区域发展中扮演着重要的角色。在全球气候变化背景下, 拉萨河流域的气候条件也发上了较大变化, 对气候变暖的响应程度显著^[2]。据洛珠尼玛和王建群的研究, 拉萨河流域气候有暖湿化趋势, 气温上升趋势显著, 增温幅度为 0.33℃/10a, 流域年蒸发能力也呈上升趋势, 年降水量的变化趋势不明显^[3]; 拉萨河流域的年径流序列也表现出增加趋势, 与气温和降水的变化趋势基本一致^[4], 气候变化已经对流域年径流量产生显著影响^[5]。因此, 基于拉萨河流域开展气候变化对水循环的影响研究, 模拟流域未来气候情景, 对拉萨流域水资源管理、西藏地区生态系统平衡维持与经济发展以及青藏高原气候变化研究都有着重要意义。

本文采用统计降尺度 Automated Statistical Down-scaling(ASD)模型, 基于气象站点实测降水数据、ERA-40 和 GCM 大尺度网格数据, 对拉萨河流域降水进行降尺度研究, 选取 21 世纪中期(2046~2065 年)和 21 世纪末期(2081~2100 年)两个时间段, 在 A1B、A2 和 B1 多增量情景下输出未来降水变化情景, 以探讨流域未来降水对气候变化的响应。

2. 流域概况

拉萨河位于雅鲁藏布江中游左岸, 是雅鲁藏布江支流中面积最大、河道最长的河流(图 1)。河流发源于念青唐古拉山脉中段南麓, 河源海拔约 5200 m, 在曲水附件汇入雅鲁藏布江干流, 汇入口海拔为 3580 m, 落差 1620 m, 平均坡降为 2.9‰, 是世界上海拔最高的河流之一。河流全长 551 km, 流域面积 32,471 km², 约占雅鲁藏布江流域面积的 13.5%, 位于北纬 29°20'~31°15'和东经 90°05'~93°20'之间^[1]。

拉萨河流域属于典型的高原大陆干旱半干旱寒冷气候, 年平均气温低, 日照充足。受地形影响, 气温从北向南递增, 北部地区年平均气温为 0℃~2℃, 南部可达 7℃~9℃。由表 1 可以看出, 流域年降水量分配不均, 北部高山地区多雨, 而南部河谷地区降水

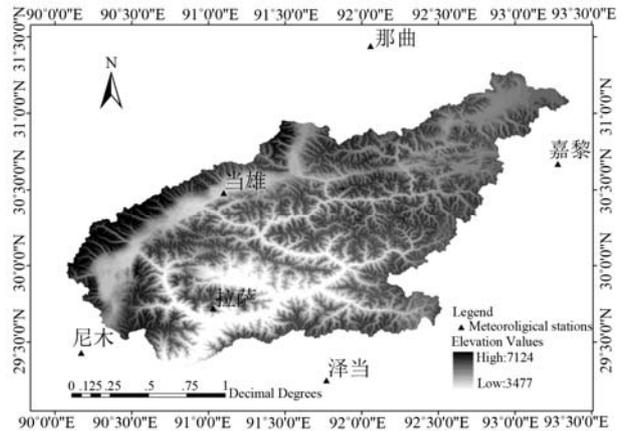


Figure 1. Lhasa River Basin and the locations of meteorological stations

图 1. 拉萨河流域及气象站点分布

Table 1. Information for selected meteorological stations
表 1. 气象站点信息

站名	经度	纬度	高程(m)	开始年份	年平均降水量(mm)
那曲	92.07	31.48	4507.0	1961	429.48
当雄	91.10	30.48	4200.0	1962	468.86
尼木	90.17	29.43	3809.4	1973	341.14
拉萨	91.03	29.72	3658.0	1961	434.97
泽当	91.77	29.25	3551.7	1961	389.08
嘉黎	93.28	30.67	4488.8	1961	707.15

量较少。流域上世纪 60 年代为多雨时期, 70~80 年代经历了明显的下降趋势, 90 年代有所回升(图 2)。降水在年内分配上也极为不均, 主要集中在 6~10 月份, 一般占全年降水量的 90%左右, 11 月到翌年 5 月不到全年的 10%^[6,7]。拉萨河流域内植被多为山地灌丛草原、高山草原、草甸及垫状植被等, 土壤以山地灌丛草原土、高山草甸土及亚高山草甸土为主, 分布规律具有明显的垂直带谱特点, 土地利用类型多为牧草地。

3. 基本数据

气象站点实测数据选用国家气象站点覆盖在拉萨河流域内与流域周边 6 个站点的日降水量数据, 站点相关信息详见表 1。GCM 选用 IPCC AR4 提供的大气环流模式 MIROC3.2_medres(以下简称 Medres)。Medres 是由日本东京大学气候系统研究中心、Frontier 全球变化研究中心和国家环境研究所联合开发的大尺度全球气候模型, 模型空间网格尺度为 2.8° × 2.8°。

研究表明 Medres 在能够较好地模拟中国区域气候的环流模式与变化趋势, 具有较好的适应性^[8,9]。论文选取 1961~2000 年为基准期, 用于率定和验证模型。未来输出情景选用 IPCC 排放情景报告(SRES)中, 包括 SRES A1B(中等强度排放情景)、A2(高强度排放情景)和 B1(低强度排放情景)三种情景。分别在 2046~2065 年与 2081~2100 年两个时间段上, 考察 21 世纪中期与末期流域的降水变化。选用可获取的 20 个地面和高空变量作为 ASD 模型的预报因子(表 2)。数据来源于 IPCC 数据中心(<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk>)。由于 GCM 历史强迫数据只是真实大气强迫的近似值, 并不一定能真正代表当前气候条件。因此, 建立预报量与预报因子之间的统计关系需要借助于反应实际气候状态的再分析资料。本文选用在东亚地区有较好适应性的 ERA-40 再分析资料^[10-13], 探求其在拉萨河流域的模拟能力。

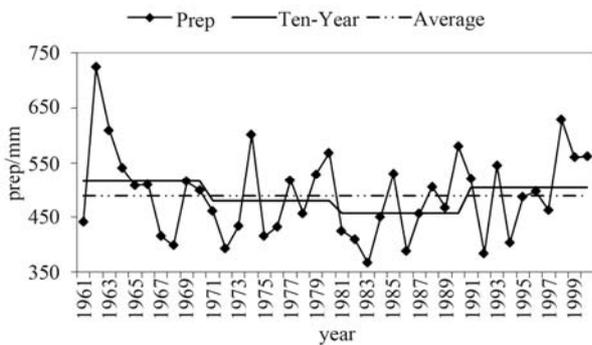


Figure 2. Annual precipitation series in the Lhasa River Basin
图 2. 拉萨河流域年降水序列

Table 2. Information for the used predictors
表 2. ASD 预报因子

序号	变量	序号	变量
1	300 hpa 比湿	11	200 hpa 纬向风速
2	40 hpa 比湿	12	300 hpa 纬向风速
3	50 hpa 比湿	13	400 hpa 纬向风速
4	地面降雨	14	500 hpa 纬向风速
5	海平面气压	15	地面纬向风速
6	200 hpa 气温	16	200 hpa 经向风速
7	300 hpa 气温	17	300 hpa 经向风速
8	400 hpa 气温	18	400 hpa 经向风速
9	500 hpa 气温	19	500 hpa 经向风速
10	地面气温	20	地面经向风速

模型应用前, 分别对 ERA-40 和 Medres 数据进行标准化处理, 其中 Medres 未来输出数据用 Medres 当前情景的均值与标准差进行标准化处理。

4. 降尺度方法

ASD 降尺度模型是在 Statistics Downscaling Model(SDSM)^[14,15]的基础上, 由 Hessami 等^[16]在 Matlab 环境下开发的降尺度模型。与 SDSM 相比, ASD 界面更加友好, 操作更为简洁, 并且克服了 SDSM 在选取预报因子时的主观性。ASD 提供了向后逐步回归和偏相关系数两种方法来选择最佳的预报因子。在进行回归分析时, ASD 有多元线性回归与岭回归两种选择。本文选用向后逐步回归与多元线性回归两种方法, 在 95%的置信水平上对拉萨河流域日降水量进行模拟。最大预报因子设定为 5。为了保证模拟序列的稳定性, 模拟次数设定为 100 次。

对水文气象变量进行模拟时, ASD 模型可采取条件模拟和无条件模拟。降水一般采用条件模拟, 其计算公式如下:

$$O_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j p_{ij} \quad (1)$$

$$R_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j p_{ij} + e_i \quad (2)$$

式中: O_i 为日降水发生概率; R_i 为日降水量; p_{ij} 为预报因子; α, β 为预报因子的数量; α, β 为模型参数; e_i 为模型误差, 并假设其服从高斯分布:

$$e_i = \sqrt{\frac{VIF}{12}} Z_i S_e + b \quad (3)$$

式中: Z_i 是服从正态分布的随机数; S_e 是模拟系列标准差; b 为模型的模拟误差; VIF 为方差放大因子。利用 ERA-40 预报因子率定模型时, b 和 VIF 分别取 0 和 12。将建立的模型应用到 GCM 排放情景时 b 和 VIF 计算公式如下:

$$b = M_{obs} - M_d \quad (4)$$

$$VIF = \frac{12(V_{obs} - V_d)}{S_e^2} \quad (5)$$

式中: V_{obs} 和 V_d 分别为实测和模拟系列在率定期内的方差; M_{obs} 和 M_d 分别为实测和模拟系列的均值。

5. 结果分析

5.1. 模型评价

表3列举了ASD模型在拉萨河流域各气象站点模拟日降水量时优选的预报因子、解释方差(R^2)和均方根误差(RMSE)。受流域复杂地形影响,区域气候环流的影响因子差别也较大,因此,各站点选用的预报因子不尽相同。区域环流因子对流域日降水量的解释方差相对较低,在13%~22%之间,考虑到高原地形的复杂性与降水的随机性,这样的解释方差也是很难得的^[16],与前人的研究成果较为一致,这也体现出了降水模拟的复杂性,需要进一步深入研究降水的影响因子,优化降尺度模型结构。可以看出,尼木、拉萨、泽当三个站点的解释方差较那曲、当雄、嘉黎小,这可能与气象站点的高程有关。ERA-40与GCM模型高程一般较地面实际高程高,而尼木、拉萨、泽当三个站点高程较低,低洼地区增加了模型模拟站点气候要素的误差。所有站点降水的RMSE较小,一般在0.1 mm/d以内,表明模型在一定程度上较好地反映了日降水量的总体情况。

为了在空间上分析ASD模型的模拟情况,使用泰森多边形方法,将站点数据空间插值到流域面上求其平均状态。图3是ASD对拉萨流域日降水量的模拟效果。从流域整体状态来看,ASD模型可以较好的模拟降水。ERA-40和Medres对日降水量的均值、标准差、湿日概率、以及最大连续干旱日数的模拟效果都较好。其中均值的平均误差ERA-40为-0.013 mm/d, Medres平均误差为0.036 mm/d,最大误差分别0.089 mm/d与0.233 mm/d;标准差的平均误差ERA-40为

Table 3. Selected predictors, explain variance (R^2) and root mean square error (RMSE)

表3. 气象站点选用预报因子与解释方差(R^2)和均方根误差(RMSE)

站名	高程	Predictors	R^2	RMSE
那曲	4507.00	7, 8, 9, 11, 18	0.22	0.248
当雄	4200.00	3, 7, 13, 15, 19	0.19	0.072
尼木	3809.40	5, 9, 12, 14, 15	0.13	0.094
拉萨	3658.00	8, 10, 13, 18, 20	0.14	0.096
泽当	3551.70	6, 7, 9, 17, 19	0.15	0.097
嘉黎	4488.80	1, 8, 9, 16, 19	0.22	0.146

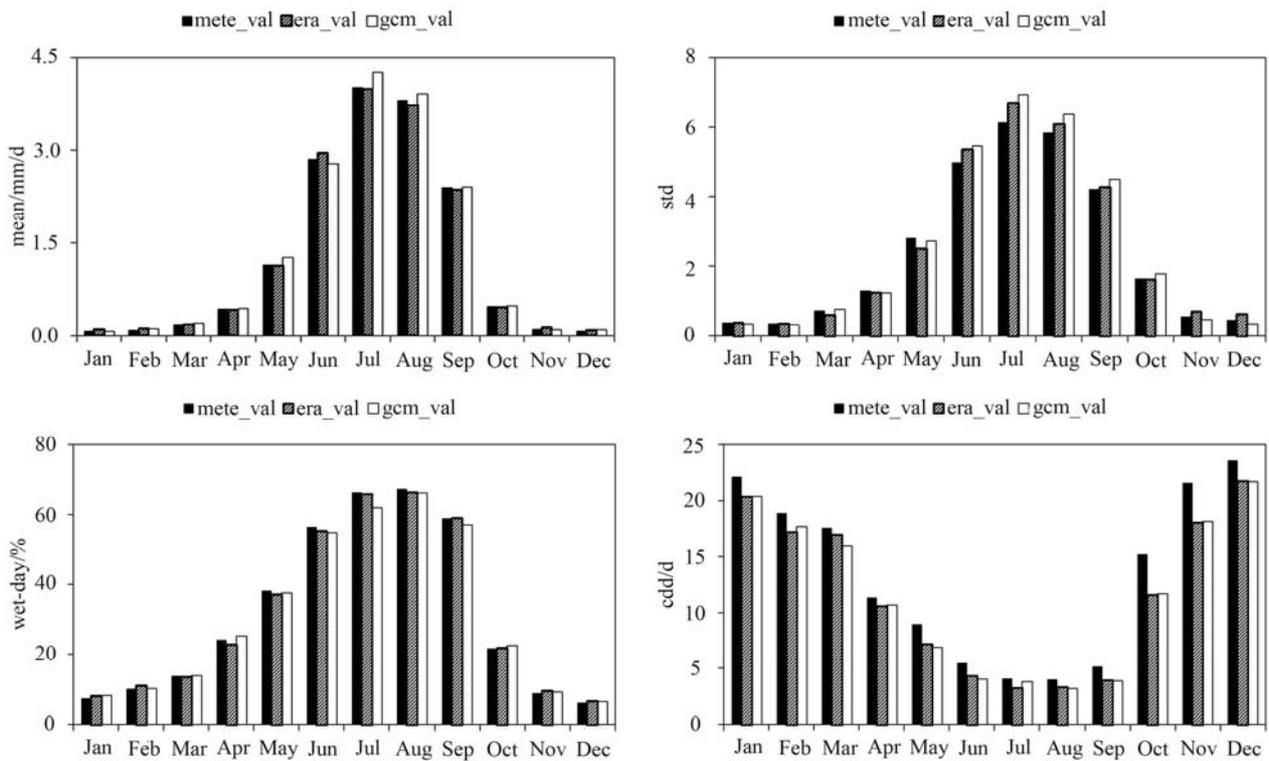


Figure 3. Calibration results for daily precipitation
图3. 日降水量率定结果

0.085, Medres 平均误差为 0.154, 最大误差分别 0.586 与 0.799; 湿日概率的平均误差 ERA-40 为-0.142%, Medres 平均误差为-0.485%, 最大误差分别-1.124% 与-4.23%; 最大连续干旱日数的平均误差 ERA-40 为-1.653, Medres 平均误差为-1.651, 最大误差分别-3.693 与-3.549。

将 Medres 验证期数据输入率定好的降尺度模型, 以检验 ASD 模型的模拟能力。由表 4 可以看出, 拉萨河流域 6 个气象站点降水的模拟值与实测值的偏差大多控制在 15% 以内, 最小偏差为 0.83%。其中, 尼木站的偏差最大(-23.92%), 这可能与尼木站点的实测序列较短有一定关系。拉萨河流域实测年平均降雨量为 506.08 mm, Medres 输出为 520.86 mm, 误差仅为 2.92%。各站点的 RMSE 都较小, 控制在 0.344~0.527 以内, 其中全流域的 RMSE 为 0.43。

实测日降水量、ERA-40 与 Medres 输出在验证期的模拟效果参见图 4。可以看出, ERA-40 与 Medres 输出的日降水量的均值、标准差、湿日发生概率以及最大连续干旱日数与实测值比较, 都表现出较好的模拟效果。与实测值的月统计量的误差在各个月份都很

小。其中均值的平均误差 ERA-40 与 Medres 分别为 -0.152 mm/d 与 -0.078 mm/d, 最大误差分别为 -0.784 mm/d 与 0.909 mm/d; 标准差的平均误差 ERA-40 与 Medres 分别为 -0.026 与 0.13 mm/d, 最大误差分别为 1.18 与 1.501; 湿日发生概率的平均误差 ERA-40 与 Medres 分别为 -2.389% 与 1.747%, 最大误差分别为 -7.196% 与 -6.995%; 最大连续干旱日数的平均误差 ERA-40 与 Medres 分别为 -0.473 与 -0.864, 最大误差分别为 -1.705 与 -2.597。

Table 4. Meteorological stations results during validation period
表 4. 站点验证期结果

站名	mete(mm)	gcm(mm)	bias(%)	RMSE
那曲	439.91	506.37	15.11	0.416
当雄	478.85	531.55	11.01	0.490
尼木	389.63	296.43	-23.92	0.433
拉萨	461.37	424.98	-7.89	0.344
泽当	408.94	412.34	0.83	0.527
嘉黎	729.67	767.26	5.15	0.364
全流域	506.08	520.86	2.92	0.43

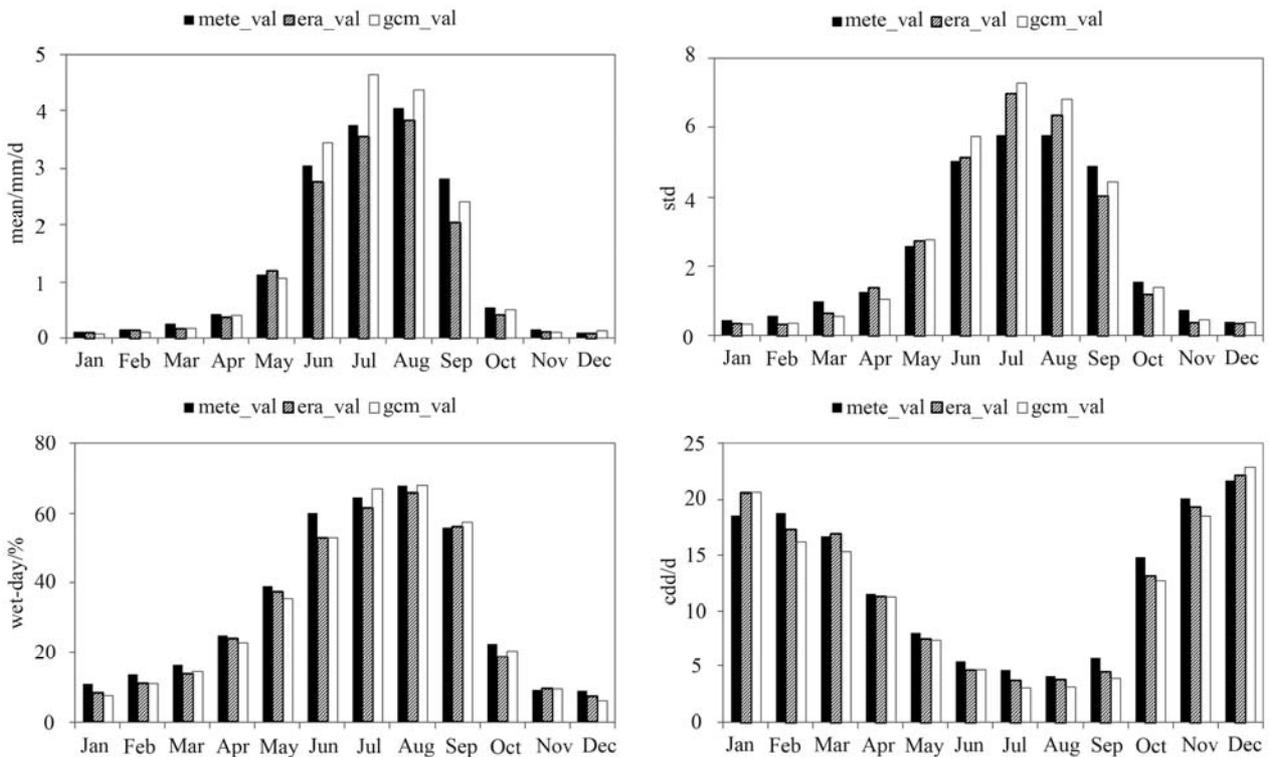


Figure 4. Validation results for daily precipitation
图 4. 日降水量验证结果

综合分析率定期与验证期的降水模拟效果可知, 通过 ERA-40 再分析资料与气象站点实测资料建立统计关系, 使用 ASD 构建的降尺度模型, 能够较好地 将 Medres 模型的大尺度环流因子降尺度到气象站点上, 对拉萨河流域的日降水量降尺度效果较好。

5.2. 未来降水输出

图 5 给出了拉萨河流域 12 个月份在未来两个时期 A1B、A2、B1 情景下的降水变化趋势, 可以看出, 在未来几十年内拉萨流域降水都将发生显著变化, 相比于 21 世纪中期, 21 世纪末期的变化更为剧烈。三个情景对比, B1 情景的变化趋势最小, A1B 情景次之, A2 情景最为明显, 这与 IPCC SRES 假定的增量情景强度是一致的。在月尺度上, 流域七月与八月的月降水量占全年比重最大, 未来降水的绝对变化也最为显著, 在未来两个时间段内三个情景都表现出强烈的增加趋势, 最大增幅为 21 世纪末期的 A2 情景输出, 增量为 3.65 mm/d, 最小增幅为 21 世纪中期的 B1 情景输出, 增量也达到了 1.1 mm/d。流域五月、六月、九月的降水量较为充足, 未来绝对变化与相对变化都不是很明显。全年其他月份降水少, 未来降水绝对变化较小, 但相对变化却很显著, 基本都表现出强烈的减少趋势, 其中最大减少量出现在 21 世纪末期的 A1B 情景输出, 变化量为-70.32%。

在季节尺度上, 春、秋、冬三个季节的降水量显著减少, 夏季降水量增加明显(图 6)。21 世纪中期, 春季与秋季变化最小的为 B1 情景, 分别为-18.43%、-23.02%, 最大的为 A2, 分别为-25.94%、-30.03%; 冬季变化幅度最小与最大的是 A1B 与 B1, 分别为

-29.04%与-31.25%; 而夏季增加幅度最小的是 B1 情景, 增加了 19.03%, 最高为 A2 情景, 增加了 32.03%。在 21 世纪末期, 春、秋、冬三个季节减小幅度最大都是 A2, 其变化量分别是-36.47%、-34.5%与-40.93%; 夏季 A2 情景增加最显著, 增加了 59.02%。在年尺度上, 流域未来两个时段降水呈减少趋势, 21 世纪中叶 A1B、A2、B1 情景分别减少了 13.49%、13.54%与 13.42%; 到 21 世纪末期时, 变化量分别为-10.55%、-13.22%与-17.25%。

6. 结论与讨论

选取拉萨河流域 6 个气象站点 40 年的实测降水资料以及 ERA-40 与 Medres 大尺度网格数据, 采用 ASD 统计降尺度模型, 对流域当前与未来降水进行了降尺度模拟。主要结论如下:

- 1) ASD 降尺度模型能够较好地应用到拉萨河流域, 输出降水序列较好地反应了实测降水序列的基本特征, 模拟降水的解释方差达到 13%~22%, 率定期的均方根误差在 0.25 以内, 验证期也控制在 0.53 以内。
- 2) 流域未来两个时间段降水都将发生较大变化, 与 21 世纪中期相比, 21 世纪末期更为显著。年尺度上, A1B、A2、B1 三个情景未来两个时间段都表现出减少趋势, 减少幅度为 10.55%~17.25%; 季节尺度上, 未来降水分配将发生显著变化, 夏季表现出增加趋势, 最大增幅为 59.02%, 而春秋冬三季呈现出减少趋势, 最大减幅为 40.93%; 月尺度上, 七月与八月降水绝对变化与相对变化都很显著。
- 3) 拉萨流域径流年内分配十分集中, 夏季

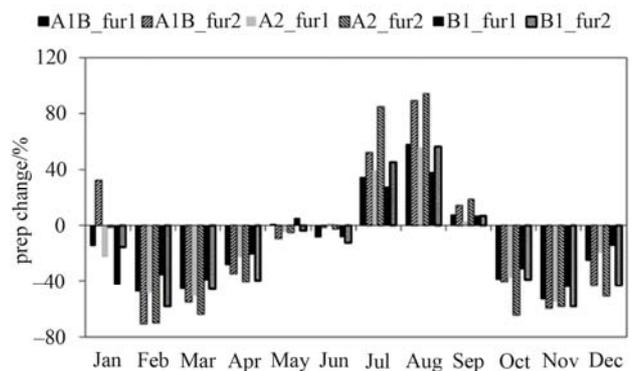
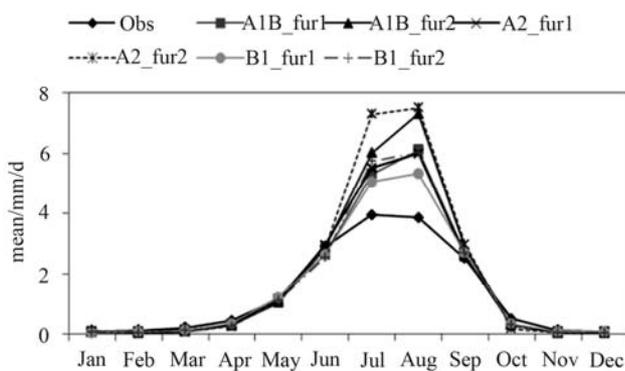


Figure 5. Monthly precipitation changes during future periods (fur1 = 2046-2065, fur2 = 2081-2100)
图 5. 未来月降水变化情景(fur1 = 2046~2065, fur2 = 2081~2100)

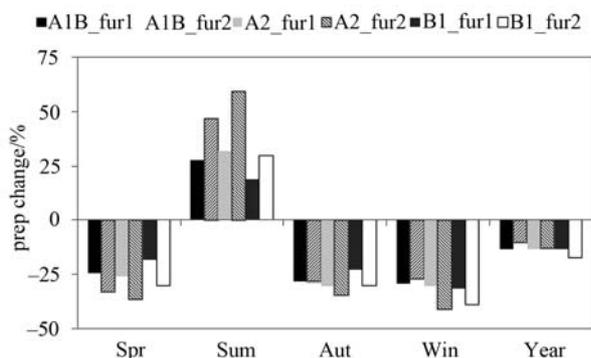


Figure 6. Seasonal precipitation changes during future periods
图 6. 未来降水季节变化情景

(6~10月)地表径流占年径流量的84.1%, 春秋冬三季(11~次年5月)只占15.9%^[7], 加之流域径流主要受降水控制^[17,18], 因此, 在未来降水显著变化的格局下, 流域汛期径流将加大, 而枯期径流进一步减小, 使得流域水资源利用形势变得更为严峻。

4) 拉萨河流域农、林、草用水高峰时期主要集中在春节(3~5月), 而这段时间的降水量仅占全年的4%~8%^[6,7], 未来几十年内流域春季降水的显著减小将给流域的经济发展与生态系统健康带来极大的挑战。

参考文献 (References)

- [1] 关志华, 陈传友, 区裕雄, 等. 西藏河流与湖泊[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
GUAN Zhihua, CHEN Chuanyou, QU Yuxiong, et al. Rivers and lakes in Tibet. Beijing: Science and Technology Press, 1984. (in Chinese)
- [2] 宋敏红, 马耀明, 张宇, 等. 雅鲁藏布江流域气温变化特征及趋势分析[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(6): 760-766.
SONG Minkong, MA Yaoming, ZHANG Yu, et al. Analyses of characteristics and trend of air temperature variation along the Brahmaputra Valley. Climatic and Environmental Research, 2011, 16(6): 760-766. (in Chinese)
- [3] 洛珠尼玛, 王建群, 徐幸仪. 拉萨河流域水循环要素演变趋势分析[J]. 水资源保护, 2012, 28(1): 51-54.
LUOZHU, N. M., WANG Jianqun and XU Xingyi. Variation trend of water cycle factors in Lhasa River Basin. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 51-54. (in Chinese)
- [4] 蔺学东, 张镡锂, 姚治君, 等. 拉萨河流域近 50 年来径流变化趋势分析[J]. 地理科学进展, 2007, 26(3): 58-68.
LIN Xuedong, ZHANG Yili, YAO Zhijun, et al. Trend analysis of the runoff variation in Lhasa River Basin in Tibetan Plateau during the last 50 years. Progress in Geography, 2007, 26(30): 56-68. (in Chinese)
- [5] 张圣微, 雷玉平, 姚琴, 等. 土地覆被和气候变化对拉萨河流域径流量的影响[J]. 水资源保护, 2010, 26(2): 39-44.
ZHANG Shengwei, LEI Yuping, YAO Qin, et al. Runoff re-
- [6] 吕勇平, 穆晓涛. 拉萨河流域的气候特征[J]. 气象, 1986, 7: 24-25.
LV Yongping, MU Xiaotao. Meteorological characteristics in the Lhasa River Basin. Meteorological Monthly, 1986, 7: 24-25. (in Chinese)
- [7] 王建林. 雅鲁藏布江及其支流中部流域地区水文特性分析[J]. 水土保持通报, 1994, 14(2): 54-58.
WANG Jianlin. Analyse of hydrological characteristics of central section valley area of Yalu Zangbu River and the tributary of Lasa River and Nianchu River. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1994, 14(2): 54-58. (in Chinese)
- [8] 孙颖, 丁一汇. IPCC AR4 气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 765-780.
SUN Yi, DING Yihui. Validation of IPCC AR4 climate models in simulating interdecadal change of East Asian summer monsoon. Acta Meteorologica Sinica, 2008, 66(5): 765-780. (in Chinese)
- [9] ZHOU, T. J., YU, R. C. 20th century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models. Journal of Climate, 2006, 19(22): 5843-5858.
- [10] LIU, Z. F., XU, Z. X., YAO, Z. J., et al. Comparison of surface variables from ERA and NCEP reanalysis with station data over eastern China. Theoretical and Applied Climatology, 2012, 107 (3-4): 611-621.
- [11] 赵天保, 符淙斌, 柯宗建, 等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展[J]. 地球科学进展, 2010, 25(3): 242-254.
ZHAO Tianbao, FU Congbin, KE Zongjian, et al. Global atmosphere reanalysis datasets: Current status and recent advances. Advances in Earth Science, 2010, 25(3): 242-254. (in Chinese)
- [12] 黄刚. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化[J]. 气候与环境研究, 2006, 11(3): 310-320.
HUANG Gang. The assessment and difference of the interdecadal variations of climate change in Northern Part of China with the NCEP/NCAR and ERA40 reanalysis data. Climatic and Environmental Research, 2006, 11(3): 310-320. (in Chinese)
- [13] 李建, 宇如聪, 陈昊明, 等. 对三套再分析资料中国大陆地区夏季降水量的评估分析[J]. 气象, 2010, 36(12): 1-9.
LI Jian, YU Rucong, CHEN Haoming, et al. Evaluation and analyses of summer rainfall over Mainland China in three reanalysis datasets. Meteorological Monthly, 2010, 36(12): 1-9. (in Chinese)
- [14] WILBY, R. L., WIGLEY, T. M. L., CONWAY, D., et al. Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods. Water Resources Research, 1998, 34(11): 2995-3008.
- [15] WILBY, R. L., DAWSON, C. W. and BARROW, E. M. SDSM: A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Environmental Modelling & Software, 2000, 17(2): 147-159.
- [16] HESSAMI, M., GACHON, P., OUARDA, T. B., et al. Automated regression-based statistical downscaling tool. Environmental Modelling & Software, 2008, 23(6): 813-834.
- [17] LIN, X. D., ZHANG, Y. L., YAO, Z. J., et al. The trend on runoff variations in the Lhasa River Basin. Journal of Geographical Sciences, 2008, 18(1): 95-106.
- [18] NING, A. F., LIU, T. C., YIN, G., et al. Study on the water environment and composition of Lhasa River. Science in China, Series E: Technological Sciences, 2001, 44(Suppl): 96-100.