

文章编号: 1008-2786-(2010)4-422-09

云南元谋干热河谷降水的数学统计预测模型

刘祖涵¹, 张斌¹, 刘刚才², 覃发超¹, 王莉莉³, 邓茂林⁴

(1. 西华师范大学国土资源学院, 四川 南充 637009; 2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041;
3. 成都理工大学信息管理学院, 四川 成都 610059; 4. 四川省煤田地质局 137队, 四川 达州 635000)

摘要: 干热河谷是横断山区的一类典型生态退化区域, 逐年分季节降水量 (SP) 的变化对其景观格局及农业生产活动具有重要影响。运用年际增量方法把南方涛动指数 (SOI) 与降水量联系起来, 建立了一个预测局地降水的新方法: 把 1958~2002 年分季节南方涛动指数年际增量 (SOI_{II}) 作为预测因子, 采用多元线性回归方法建立一个干热河谷分季节降水年际增量的预测模型, 模型通过了 F 检验、R 检验、T 检验和 DW 检验等显著性检验, 在 1958~2002 年的模拟及 2003~2008 年的后报中显示了很高的预测能力。因此, 此方法能显著地提高局地降水预测水平, 并具有潜在的应用价值。

关键词: 年际增量; 干热河谷; 南方涛动指数; 分季节降水量

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

云南元谋干热河谷位于滇中高原北部, 其西北侧是青藏高原, 西南侧是孟加拉湾和印度次大陆, 低纬高原邻近的热带地区气象常规记录稀少, 连续性差, 给用常规气象资料深入研究低纬高原气候问题带来了诸多困难^[1]。另外, 它受到季风活动的影响 (如东南亚夏季风^[2]、亚洲季风^[3]、孟加拉湾季风^[4]等), 同时还受到中低纬环流及其他系统 (如沃克环流、中高纬大气模态、赤道中太平洋海温、北太平洋涛动、西太平洋副热带高压、南亚高压、东亚阻塞形势、南极涛动、索马里急流等^[5-15]) 的影响, 并且局地的年际和年代际变化的预测信号不一致使预测难以决断。因此, 降水的短期预测是一个复杂且重要的研究课题。

南方涛动 (SO Southern Oscillation) 指南太平洋副热带高压与印度洋赤道低压之间气压变化的负相关现象 (或者跷跷板现象), 两者是热带太平洋大尺度海气相互作用的现象, 是一种循环过程, 即海气相互作用导致的大气和海洋耦合系统的一种规则振

荡, 它会引起全球大气环流、天气气候的异常, 南方涛动的范围, 其实也包括了印度洋的低纬海域。通常用南太平洋的塔希堤 (149°37'W, 17°33'S) 和澳大利亚的达尔文岛 (130°52'E, 12°26'S) 的海平面气压差经标准化处理后来表示南方涛动的振动和位相指数 (即南方涛动指数, SOI Southern Oscillation Index), 它与 El Niño (由秘鲁西海岸附近的海温引起的一种大气海洋现象) 指数的峰值或谷值反映全球范围大气环流的异常变化, 是定量描述 El Niño 系统强度的重要指标。南方涛动是一种显著的稳定的低频振荡, 它与沃克环流 (Walker Circulation)、哈得莱环流 (Hadley Circulation) 等大气环流有密切的关系, 并影响全球气候的年际变化, 其中包括研究区的气候, 这也是大气环流的遥相关。近年来, 南方涛动对云南地区降水影响的研究^[16-18]和在短期气候预测方法及气候模式预测订正等方面, 也取得了丰富的研究成果^[19-29]。

局地降水时空变化、效应及驱动力是近年来学

收稿日期 (Received date): 2009-10-03; 改回日期 (Accepted): 2010-03-01.

基金项目 (Foundation item): 国家支撑计划项目 (2006BA01A11) 国家重点基础研究发展计划 (973) (2007CB407206)。[Supported by Planning Projects of National Science and Technology of China (Grant No. 2006BA01A11) and State Key Development Program for Basic Research of China (973 Program) (Grant No. 2007CB407206).]

作者简介 (Biography): 刘祖涵, 男, 生于 1982 年, 硕士研究生。主要从事环境科学领域的研究。[Liu Zuhuan (1982-), male, Ph.D. Candidate, Being engaged in mostly research about environmental science.] E-mail: lz512@126.com

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

术界研究的重要方向。在区域时空变化方面, 有对西北 4 省春、夏、秋季降水的时空分布^[30]、东北地区近 50 年降水异常的气候特征^[31]、中国 132 个气象站 1951~2002 年降水时间序列的准周期行为及其时间稳定性^[32]、意大利 Emilia Romagna 地区夏季降水的时间变化特征^[33]等的研究。丁光美^[34]分析了各季节的 SO 与南海高压强度指数的时间序列的关系; 顾喆^[35]研究了 SO 与我国各季节降水的关系; 邵慧芝等^[36]运用 SO 来预测局地(六盘水市)降水量; 而范可等^[37, 38]通过预测降水的年际增量, 不但很好地反映长江中下游夏季和华北汛期降水距平百分率的年际变化, 而且还能再现实际降水量上升趋势和后报降水量的下降趋势, 这个新的预测方法显著地提高了长江中下游夏季和华北汛期降水的预测技术。那么, 能否运用年际增量法预测局地降水呢? 答案是肯定的。由于元谋降水量的多少与大气环流及西太平洋副热带高压的强度及位置有密切关系, 使统计中 SO 与降水量的相关关系比较显著, 因此可以作为参考预报, 并且通过筛选分析, 发现南方涛动指数与元谋降水量的关系确实比较好, 这将对我国局地降水短期气候预测有非常好的应用意义, 并可为局地地区制定合理的农业种植制度、开发利用乡土生物资源、推进生态恢复工作提供决策依据, 也是制定区域可持续发展战略需要解决的科学问题, 为区域农业生产及生态环境恢复治理提供帮助, 能有效提高我国局地降水的预测技术, 具有潜在的应用价值, 以期对降水预测提供客观的参考依据。

1 研究区概况

元谋干热河谷位于云南省滇中高原北部, 金沙江中游一级支流龙川江下游, 地理位置介于 $101^{\circ}35' \sim 102^{\circ}06' \text{E}$ $25^{\circ}23' \sim 26^{\circ}06' \text{N}$ 。县域中部元谋盆地 为断陷盆地, 海拔 980~1 400 m; 龙川江由南向北纵贯盆地; 东部山地高出盆地 1 200~1 400 m; 由山顶至盆地间呈阶梯状下降; 西部多山冈和丘陵, 呈圆坦状山顶及平等排列的长垄状山脊, 山顶高度一般 1 300~1 500 m; 南部山地海拔 1 400~2 600 m; 北部山地海拔 1 800 m 以上。境内元谋组地层广泛分布, 分为 4 段 28 层, 为河流相、湖沼相或河流交替相沉积, 层次表现为砂、粉砂、粘土、亚粘土及砂砾互层, 岩性松散, 易侵蚀。该区气候炎热, 干湿季分明, 年平均气温为 21.9°C , 最冷月(12 月)月均温为

14.9°C , 最热月(5 月)月均温为 27.1°C ; 年平均降水量为 613.8 mm; 雨季(5~10 月)降水量占年降水量 80% 以上; 年均蒸发量为 3 640.5 mm 为年均降水量的 5.9 倍; 年均相对湿度为 53%。海拔 1 600 m 以下主要生长稀树灌丛草原, 草本占大部分, 覆盖度 $>90\%$, 灌木少而稀, 乔木更少见; 1 600 m 以上主要为灌丛草地, 片状森林分布。区内地带性土壤为燥红土和红壤。由于特殊的自然地理条件和人类活动的干扰, 干热河谷生态系统严重退化。

2 研究与方法

在 Wang^[37] 和范可^[38, 39] 提出的大尺度场多因素大气环流模式降水预测模型的基础上, 本文对其进行了修订, 具体方法如下: (1) 定义年际增量 (II) 为当年的变量值减去前一年的变量值, 如 1998 年夏季降水年际增量 (PII) 是 1998 年降水量的值减去 1997 年的值, 夏季南方涛动指数年际增量 (SOIII) 是 1998 年夏季的 SO 减去 1997 年夏季的 SOI; (2) 建立干热河谷分季节的 PII 的预测模型, 预测出各季节的 PII; (3) 预测降水量 (当年的 PII 加上前一年的实际降水量)。这个预测方法的优势在于: 放大预测对象的预测信号使之更容易预测。干热河谷降水反映了一个年际变化的高频分量, 其方差大于干热河谷降水量 (例如, 在 1957~2000 年中干热河谷春季降水量的方差是 2.12 mm/d I 的方差是 3.54 mm/d)。

本文降水量资料采用 1957~2008 年元谋县气象站近 50 a 的 SP 资料。由于本方法是差量法, 1957 年的雨量资料无法作出模拟; 使用的 SO 资料来自气候预测中心 (CPC) “气候诊断公报” 所发布的序列资料。

3 结果分析

干热河谷分季节 与 的关系

通过相关分析 (表 1), 结果表明 SOIII 与 PII 具有较好的相关关系 ($\alpha_{0.05} \approx 0.321$), 信度达到 98.6%。各季节的 SOII 对 PI 影响程度的不同。春季 PI 与春、秋、冬季的 SOIII 呈负相关, 与夏季 SOIII 呈正相关, 若春季降水量增加 (减少), 那么春、秋、冬季会有微弱的 Elnino (La Nina) 现象, 夏季会有稍强的 La Nina (Elnino) 现象出现; 夏季 PII

与春季的 SOI 呈负相关, 与夏、秋、冬季 SOI 呈正相关, 若春季降水量增加 (减少), 那么春、秋、冬季会有 $EINi\dot{n}o$ ($La\ Ni\dot{n}a$) 现象, 夏季会有稍强的 $La\ Ni\dot{n}a$ ($EINi\dot{n}o$) 现象出现; 秋季 PI 与各季节的 SOI 都呈较强的负相关, 若秋季降水量增加 (减少), $EINi\dot{n}o$ ($La\ Ni\dot{n}a$) 现象非常明显; 冬季 PI 与春、夏季的 SOI 呈负相关, 与秋、冬季 SOI 呈正相关, 若冬季降水量增加 (减少), 那么春、夏季会有微弱的 $EINi\dot{n}o$ ($La\ Ni\dot{n}a$) 现象, 冬、秋季会有稍强的 $La\ Ni\dot{n}a$ ($EINi\dot{n}o$) 现象出现。

表 1 干热河谷分季节 PI 与 SOI 的相关系数表

Table 1 The correlation coefficient table of seasonal PI and SOI in dry-hot valley

对比值	春季 SOI	夏季 SOI	秋季 SOI	冬季 SOI
春季 PI	-0.351	0.478	-0.415	-0.457
夏季 PI	-0.635	0.635	0.569	0.617
秋季 PI	-0.605	-0.451	-0.631	-0.624
冬季 PI	-0.534	-0.625	0.525	0.463

云南是南亚和东亚两支季风影响最显著的地区之一。南方涛动通过影响西太平洋副高、东亚季风、印度季风、孟加拉湾季风等影响干热河谷降水, 主要表现为干热河谷雨季起迄的早晚。在 $EINi\dot{n}o$ 年, 干热河谷地区初夏降水容易偏少, 而秋季降水容易偏多, 该地区整个雨季有后移的可能性; 反之, 在 $La\ Ni\dot{n}a$ 年, 云南雨季有前移的可能性^[18]。 $EINi\dot{n}o$ 和 $La\ Ni\dot{n}a$ 事件与云南气候变化的关系, 主要从 ENSO 事件对控制云南夏季降水大气环流的影响, 另外由于副高偏强偏西, 不利于孟加拉湾低压或南支槽的发展, 切断了西南暖湿气流对云南的影响, $EINi\dot{n}o$

年表现为少雨, 而 $La\ Ni\dot{n}a$ 年作用正好相反而表现为多雨^[40]

预测模型及检验

本文确定 1958 ~ 2002 年分季节 SOI 作为预测因子, 用 \bar{x} 、 \bar{y} 、 \bar{z} 、 \bar{w} 分别表示春、夏、秋、冬各季节的 SOI 采用多元线性回归方法, 建立干热河谷近 50 a (1958 ~ 2008 年) 分季节 PI 的预测模型分别为

$$Y_{spring}=0.27-602\bar{x}+14.1\bar{y}-3.4\bar{z}-0.8\bar{w}$$
$$Y_{summer}=2.4-0.7\bar{x}-12.4\bar{y}+35.4\bar{z}-3.2\bar{w}$$
$$Y_{autumn}=-5.2-12.3\bar{x}+15.8\bar{y}-22.2\bar{z}-2.3\bar{w}$$
$$Y_{winter}=1.4-12.7\bar{x}+1.4\bar{y}+1.68\bar{z}+2.5\bar{w}$$

预测模型通过了 F 、 R^2 和 DW 等显著性检验, F 检验如表 2 (其他检验表略)。说明干热河谷分季节 PI 复相关方信程度均达到 0.05 以上, 回归效果非常显著, 可以用来预测。图 2 显示了干热河谷近 50 a 分季节 PI 的年际变化, 较好地体现准两年振荡特征 (TBO)¹⁾; 如果当年是正异常的 PI 那么后一年是负异常的 PI 。预测模型在模拟 (后报) 时段的 PI 的拟合率是分别为 76% (81%)、79% (80%)、82% (80%)、85% (83%)。有许多年份的季节, PI 的预测值和监测值 (实际值) 基本吻合, 如 1962 年、1991 年、2004 年的春季, 1964 年、1987 年、2006 年、2008 年的夏季, 1962 年、1980 年、1989 年、1997 年的秋季, 1958 年、1975 年、1999 年的冬季等, 并且预测模型还能成功地模拟出 PI 异常大的年份及季节, 如 2003 年的春季、1970 年和 1986 年的夏季、1985 年的秋冬季等, 降水变化态势与云南大部分地区的变化趋势一致。因此, 预测模型能很好地模拟和预测干热河谷分季节 PI 的年际变化。

为了进一步检验预测模型的性能, 下面再定义以下 6 个变量, 定量地评估预测模型的性能^[37-38]

表 2 干热河谷分季节预测模型的 F 检验

Table 1 F test of seasonal prediction model in dry-hot valley

对比值	F_{spring}	F_{summer}	F_{autumn}	F_{winter}
F 比	104.58	198.61	207.09	93.70
f_{α}	43			
结论	$F_{spring}>f_{\alpha}$ 通过	$F_{summer}>f_{\alpha}$ 通过	$F_{autumn}>f_{\alpha}$ 通过	$F_{winter}>f_{\alpha}$ 通过

1) TBO 即准两年周期振荡。这种长周期的变化并不与季节变化直接相联系, 而且具有一定程度的不规则性, 即其周期平均而言多为 27 个月, 例如前一年左右的时间吹东风, 而后一年左右的时间吹西风。

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

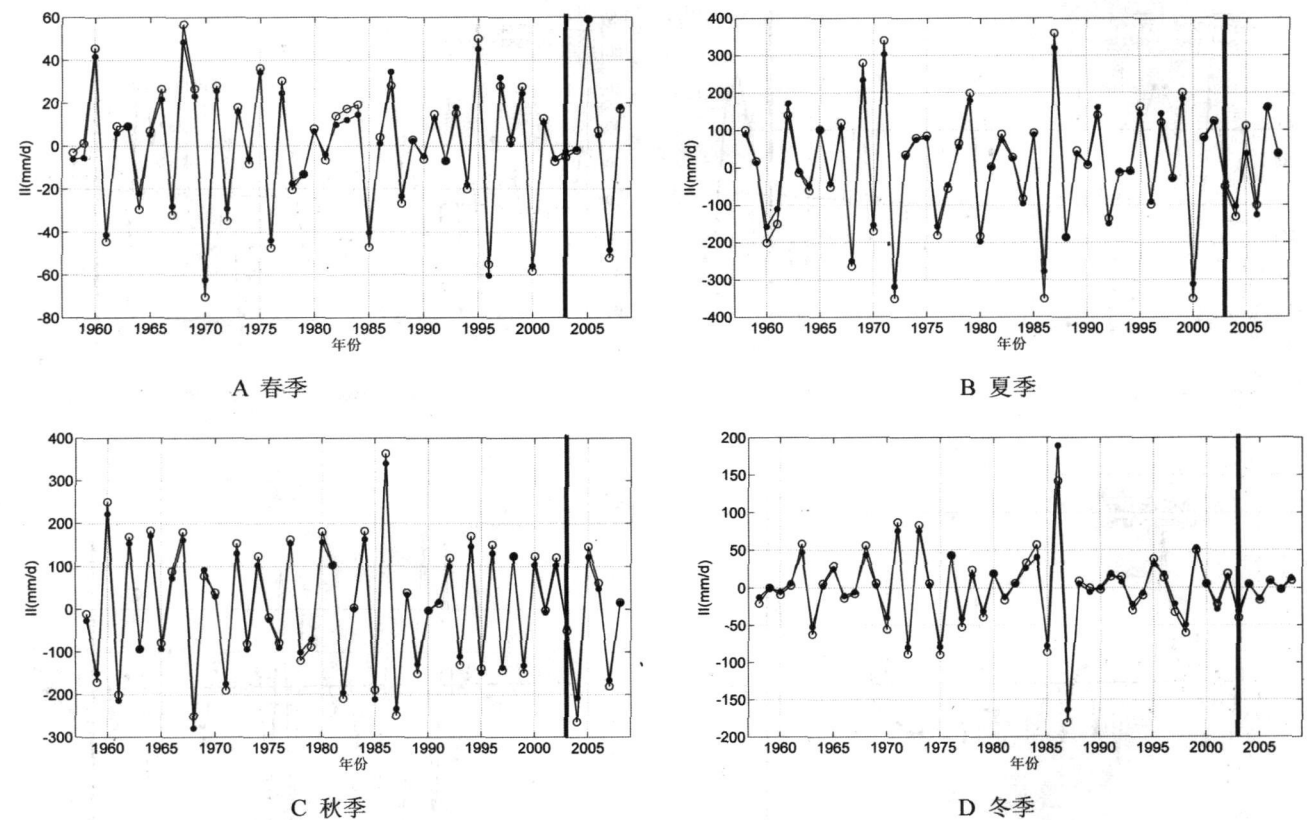


图 2 1958~2008年干热河分季节的 PI的实际(●)和模拟(○)的变化曲线

注: 黑竖线是模拟和后报的分界线

Fig 2 The change curve of practical and simulated seasonal PI during the period of 1958 to 2008 in dry-hot valley

1. 实际的降水距平百分率

$$APAP = \frac{\bar{y}_0 - \bar{y}}{\bar{y}} \times 100\%$$

2. 模拟的降水距平百分率

$$SPAP = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}}{\bar{y}} \times 100\%$$

3. 后报的降水距平百分率

$$HPAP = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}}{\bar{y}} \times 100\%$$

4. 后报相对误差百分率

$$HPEP = \frac{\bar{y}_2 - \bar{y}_0}{\bar{y}_0} \times 100\%$$

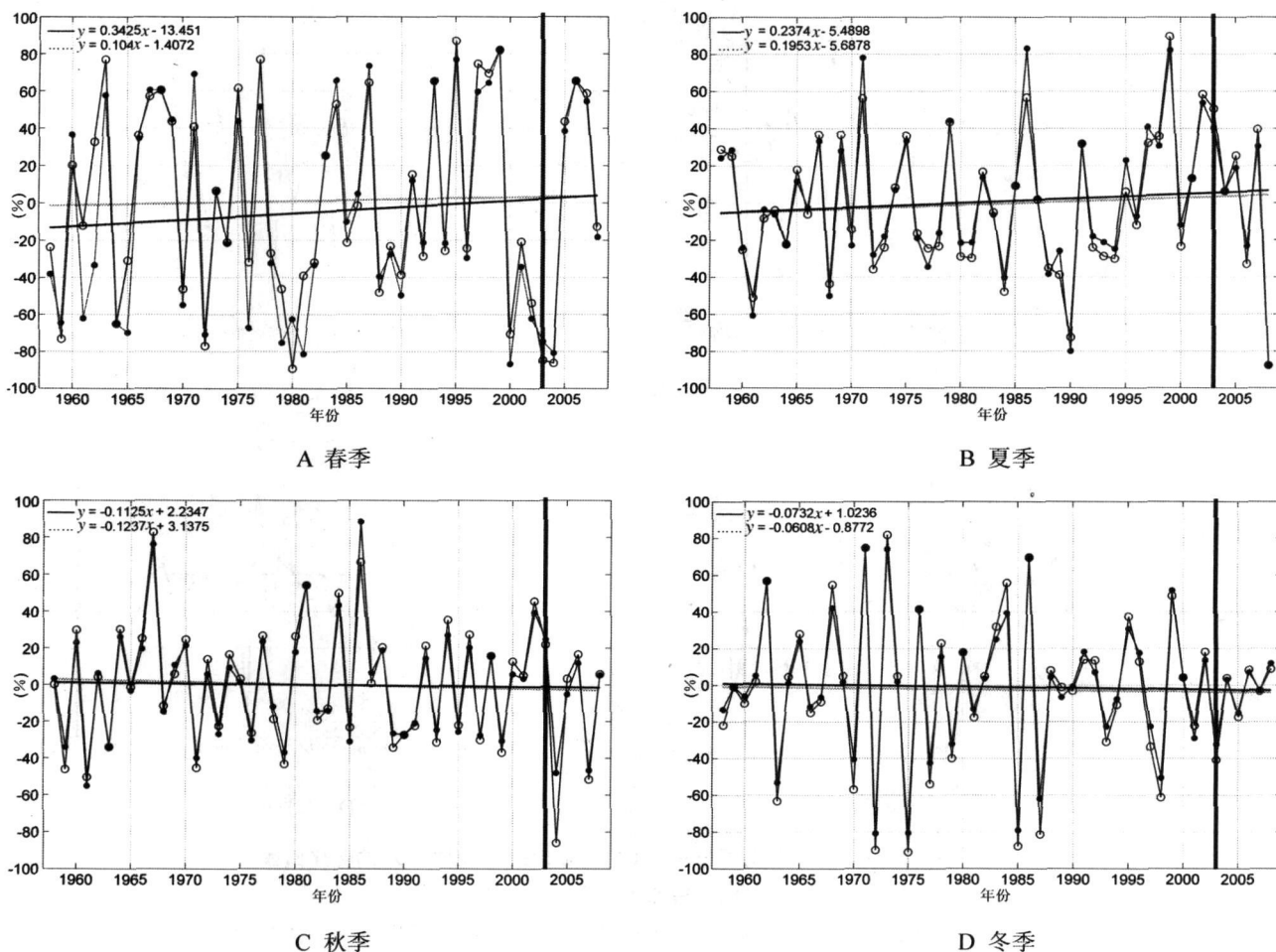
5. 模拟相对均方根误差

$$SPRE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_1 - \bar{y}_0)^2 / N}}{\bar{y}_0}$$

6. 后报相对均方根误差

$$HPRE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{y}_2 - \bar{y}_0)^2 / N}}{\bar{y}_0}$$

其中, \bar{y} 是监测的降水量, \bar{y}_1 是模拟时段的降水量, \bar{y}_2 是后报的降水量, \bar{y} 是 1958~2002 年期间监测的降水量的平均值。N 是样本的长度, 模拟时段是 45^a (1958~2002 年), 后报是 6^a (2003~2008 年)。图 3 中可见, 干热河谷近 50^a 降水距平百分率的年际变化: 春夏秋季有上升趋势, 冬季有微弱下降趋势, 其变化程度逐季节下降。4 个季节的实际监测和模拟的趋势线偏差仅为 0.226、0.041、0.112、0.012 弧度, 尤其是在雨季和旱季 (夏冬季), 其偏差更小, 因此在年际增量法非常有效地模拟出降水距平百分率的趋势。在许多年份, 模拟值和监测值非常接近, 如 1964 年、1968 年、1983 年、1993 年、1999 年、2006 年的春季, 1959 年、1964 年、1985 年、2001 年、2008 年的夏季, 1963 年、1981 年、1990 年、1998 年、2003 年、2008 年的秋季, 1959 年、1976 年、1980 年、1986 年、1999 年、2007 年的冬季等, 成功预测 2005 年春末夏初干热河谷出现了严重的干旱天气, 其春夏季的降水距平百分率预测值和实际值分别是 43.6%、25.5% 和 36.2%、18.9%, 预测的相对误差绝对值是都不超过 10%。



注:黑竖线是拟合时段与后报时段的分界线。实际和模拟趋势线分别用实线(—)和(---)虚线表示。

图 3 干热河谷 SP 的 APAP(●) 和 SPAP(○) 及 HPAP(○) 的变化曲线

Fig 3 The change curve of APAP(●), SPAP(○) and HPAP(○) in dry-hot valley

表 3 给出了后报时段 SP 的 HPER, 除了 2004 年秋季 (36.88%) 和 2003 年夏季 (-22.57%) 和冬季 (21.03%) 的预测状态与实际状态不符外, 其余季节的预测相对误差绝对值低于 20%, 即使这样, 误差较大的年份季节 (2004 年秋季) 的相对误差也低于 50%, 其他两个季节的相对误差非常接近于 20%。表 4 给出了 SP 预测模型的 SPRE 和 HPRE, 从表 4 更可以看出, 这个新的预测方法对干热河谷 SP 的预测是非常有效并有非常高的预测技巧, 是一种行之有效的办法, 能够用于今后实际的预测业务中, 具有潜在的应用价值。

运用预测模型对 2009 年干热河谷 SP 作出预测, 其 4 季 PII 分别是 -12.6 mm/d, 40.2 mm/d, -16.3 mm/d 和 -5.3 mm/d, 距平百分率分别为 -11.4%、26.5%、-6.4% 和 -0.7%, 因此 2009 年夏季降水量具有增加趋势, 而春秋季节减少, 冬季也有

微弱的减少趋势但大体保持不变, 因而雨季更丰、冬季更枯, 致降水的年内分配会更不均匀。

4 结论与讨论

运用年际增量方法, 把局地 (元谋干热河谷) 降水量与大尺度的气候异常现象 (南方涛动) 联系起来, 建立了一个分季节的降水预测模型, 进而预测元谋干热河谷近 50 年不同季节的降水增量及降水距平百分率的年际变化。预测模型很好地模拟出干热河谷 1958~2002 年在各年份季节的降水变化趋势, 在 2003~2008 年后报中对 SP 年际增量和降水距平都显示了较好的预测能力, 并成功预测出 2005 年春末夏初干热河谷出现了严重的干旱天气。HPAP 相对误差绝对值在 0.19%~18.83%, <20% 的预测季节占据到预测季节的 87.5%, 由于中长期水文预

表 3 模型对干热河谷 SP的 HPEP

Table3 The HPEP of model to SP in dry hot valley (%)		
年份	季节	相对误差百分率
2003	春季	- 15. 25
	夏季	22. 57
	秋季	4. 57
	冬季	- 21. 03
2004	春季	- 15. 77
	夏季	- 1. 47
	秋季	36. 88
	冬季	3. 43
2005	春季	12. 44
	夏季	0. 68
	秋季	4. 19
	冬季	- 11. 64
2006	春季	3. 69
	夏季	- 18. 83
	秋季	14. 58
	冬季	11. 37
2007	春季	1. 28
	夏季	16. 41
	秋季	- 14. 67
	冬季	0. 19
2008	春季	- 1. 22
	夏季	- 3. 88
	秋季	1. 19
	冬季	- 10. 76

报的复杂性,一般认为相对误差 $\leq 20\%$ 即可^[41]。与MVs、频谱分析法、RBF神经网络、区域气候等预报方法^[42-45]比较起来,精度提高不少:4个季节预测精度平均提高1.4、5.6、4.8、2.5个百分点,其中夏季降水量预测精度提高最为明显。因此年际增量法预报误差满足精度需要,证明本方法不管是定性上还是定量上进行分季节降水降水量的中长期预报是有效的。

最后,通过对2009年干热河谷各季节降水预测。由于元谋干热河谷区降水年内分配极不均匀,夏秋季降水占了全年的91.2%,春冬季分别仅占3.4%、5.4%,并且水资源为元谋干热河谷首要的生态限制因子,夏季降水量的增长有利于植物和农作物(如水稻)的生长,但春季趋旱不利于植物和农作物的播种,尤其是没有灌溉设施的情况下,故需要做好抗春旱的预防工作。秋季趋干将影响春小麦的播种、生长以及农田的蓄水保墒。作为云南省重要的蔬菜基地和中国的冬早“蔬菜之乡”,2009年秋冬春季的栽种可能会受到一定的威胁。

虽然干热河谷处于低纬山区,预报区域的尺度较小,雨量的时空分布随机性比较大,影响降水量的

表 4 模型对干热河谷 SP的 SPRE和 HPRE

Table4 The SPRE and HPRE of model to SP in dry hot valley (%)								
季节	春季		夏季		秋季		冬季	
时段	模拟	后报	模拟	后报	模拟	后报	模拟	后报
相对均方根误差	19. 25	15. 85	21. 23	18. 24	8. 18	9. 08	21. 76	10. 87

偶然因素很多,其物理机制也比较复杂,但是大尺度因素(如南方涛动)却有一定的确定性,短时间内不会有太大的变化,这将有作为检验和订正统计模型和气候动力模式预测效果的一个新的指标。

在这里只是通过物理统计进行分析预测,在制作预报方面作了一些探索和尝试,至于在做法上是否合理,南方涛动影响干热河谷的降水量物理机制等,还需要进一步深入探讨与研究,预报的准确性也有待于在实践中进行检验。

致谢 作者在此非常感谢河南许昌学院应用数学研究所田萍教授(北京工业大学概率论与数理统计专业博士)和湖南吉首大学史凯博士及西华师范大学许武成教授对本文提出的建设性修改意见。

参考文献 (References)

[1] Qin Jian, Ju Jianhua The weather and climate in Low latitude Plateau [M]. Beijing: Meteorological Press, 1997: 1~8[秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候[M]. 北京: 气象出版社, 1997: 1~8]

[2] Zhao Erxi, Lu Junmei, Ju Jianhua Impacts of onset of summer monsoon over southeast asia on the rainy season in Yunnan [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2006, 22(3): 209~216[赵尔旭, 吕俊梅, 琚建华. 东南亚地区夏季风爆发对云南雨季开始的影响[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 209~216]

[3] Yan Hongming, Qi Minghui, Xiao Ziniu Relationship between precipitation in may over Yunnan and the exchanges of tropical sea surface temperature and Asia monsoon [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2001, 12(3): 368~376[晏红明, 杞明辉, 肖子牛. 云南5月雨量与热带海温异常及亚洲季风变化的关系[J]. 应用气象学报, 2001, 12(3): 368~376]

[4] Yan Hongming, Xiao Ziniu, Wang Ling Activities of bay of bengal monsoon and beginning date of rain season in Yunnan [J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(6): 624~630[晏红明, 肖子牛, 王灵. 孟加拉湾季风活动与云南5月降水量[J]. 高原气象, 2003, 22(6):

- 624~630]
- [5] Zheng Jianmeng, Zhu Hongmei, Cao Jie. Research on the relationship between the May rainfall of Yunnan Province and the global sea surface temperature [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2007 29(2): 160~166 [郑建萌, 朱红梅, 曹杰. 云南5月雨量与全球海温的关系分析研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2007 29(2): 160~166]
 - [6] Liu Yu, Zhao Erxi, Huang Wei, et al. General Circulation Characteristic Before Beginning of Yunnan Rainy Season [J]. Arid Meteorology, 2007 25(3): 17~22 [刘瑜, 赵尔旭, 黄玮, 等. 春末初夏异常环流对云南雨季开始期的影响[J]. 干旱气象, 2007 25(3): 17~22]
 - [7] Liu Yu, Zhao Erxi, Peng Guifeng, et al. Severe drought in the early summer of 2005 in Yunnan and middle high latitudes circulation [J]. Arid Meteorology, 2007 25(1): 32~37 [刘瑜, 赵尔旭, 彭贵, 等. 2005年春末初夏云南异常干旱与中高纬度环流[J]. 干旱气象, 2007 25(1): 32~37]
 - [8] Yan Huasheng, Zhang Qing, You Wei. Effect of circulation variation on precipitation in May in Yunnan province and its long range forecast [J]. Plateau Meteorology, 1994 13(2): 217~223 [严华生, 张青, 尤卫红. 大气环流变化对云南5月雨量的影响及其预报[J]. 高原气象, 1994 13(2): 217~223]
 - [9] Liu Yu, Ma Zhenfeng, Tao Yun, et al. Circulation characteristic analysis on earlier onset time of Yunnan rainy season in 2002 [J]. Plateau Meteorology, 2003 22(Supplment): 102~109 [刘瑜, 马振锋, 陶云, 等. 云南2002年雨季偏早的环流特征分析[J]. 高原气象, 2003 22(增刊): 102~109]
 - [10] Tao Shiyun, Wei Jie. The westward northward advance of the subtropical high over the west Pacific in summer [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2006 17(5): 513~525 [陶诗言, 卫捷. 再论夏季西太平洋副热带高压的西伸北跳[J]. 应用气象学报, 2006 17(5): 513~525]
 - [11] Zhu Yimin, Yang Xiquan. Relationships between Pacific decadal Oscillation (PDO) and climate variabilities in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003 61(6): 641~653 [朱益民, 杨修群. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系[J]. 气象学报, 2003 61(6): 641~653]
 - [12] Wang H J, Fan K. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing Dynasty signal of the Antarctic [J]. Atmospheric Oscillation Geophys Res Lett, 2005 32: L24705 doi: 10.1029/2005GL024562
 - [13] Zhou B T, Wang H J. Relationship between the boreal spring Hadley circulation and the summer precipitation in the Yangtze River valley [J]. J Geophys Res, 2006 111: D16109 doi: 10.1029/JD070006
 - [14] Sun Jianqi, Wang Huijun. The relationship between Arctic Oscillation and Pacific Decadal Oscillation (PDO) [J]. Chinese Science Bulletin, 2005 50(15): 1648~1653 [孙建奇, 王会军. 北极涛动与太平洋年代际振荡的关系[J]. 科学通报, 2005 50(15): 1648~1653]
 - [15] Liu Yu. The Climatic Feature Analysis of Yunnan Rainy Season Early or Late Onset [J]. Meteorological Monthly, 2000 26(7): 45~49 [刘瑜. 云南雨季早迟的气候特征分析[J]. 气象, 2000 26(7): 45~49]
 - [16] Zhang Yunjin, Wang Zi. The effects of ENSO on the summer precipitation in Yunnan and its relation to the Indian summer monsoon [J]. Journal of Yunnan University (Natural Sciences Edition), 2008 (S1): 324~329 [张云瑾, 王梓. ENSO事件对云南夏季降水的影响及其中印度季风环流的作用[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008 (S1): 324~329]
 - [17] Zhang Xiaojing, Ju Jianhua, Wang Sanshan. ENSO impact on early summer precipitation in Yunnan [J]. Journal of Tropical Meteorology, 1999 (02): 168~176 [张小玲, 琚建华, 王三杉. ENSO对云南初夏降水的影响[J]. 热带气象学报, 1999 (02): 168~176]
 - [18] Ju Jianhua, Chen Liling. The influence of ENSO events upon Yunnan precipitation and its interdecadal variations [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2003 19(2): 191~196 [琚建华, 陈琳玲. ENSO对云南地区降水影响的年代际变[J]. 热带气象学报, 2003 19(2): 191~196]
 - [19] Wang H J, Matsuno T, Kunihara Y. Ensemble hindcast experiments for the flood period over China in 1998 by use of the CCSR/NIES atmospheric general circulation model [J]. J Meteorol Soc Jpn, 2000 78(4): 357~365
 - [20] Gao Xuejie, Zhao Zongji. The experiment of extraseasonal precipitation in China by OSU/NCC gm for flood season [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2000 11(2): 180~188 [高学杰, 赵宗慈. 利用 OSU/NCC模式进行我国汛期季度和年度短期气候预测试验[J]. 应用气象学报, 2000 11(2): 180~188]
 - [21] Duan Xu, You Weijiong, Li Yueqing. EOF iteration scheme with multitime historical data and its application to summer climatic prediction over Yunnan Province [J]. Plateau Meteorology, 2001 20(2): 220~224 [段旭, 尤卫红, 李跃. 多时次资料的 EOF迭代在云南夏季气候预测中的应用[J]. 高原气象, 2001 20(2): 220~224]
 - [22] Ding Yihui, Liu Yin, Song Yongjie, Li Qinquan, et al. Research and experiments of the dynamical model system for short term climate prediction [J]. Climatic and Environmental Research, 2002 7(2): 237~246 [丁一汇, 刘一鸣, 宋永加, 等. 我国短期气候动力预测模式系统的研究及实验[J]. 气候与环境, 2002 7(2): 237~246]
 - [23] Gao X J, Zhao Z C. Changes of extreme events in regional climate [J]. Adv Atmos Sci, 2002 19(5): 927~942
 - [24] Wang H J, Zhou G Q, Zhao Y. An effective method for correcting the seasonal interannual prediction of summer climate anomaly [J]. Adv Atmos Sci, 2002 17(2): 234~240
 - [25] Lang Xianmei, Wang Huijun, Jiang Dabang. Extraseasonal short-term prediction of summer climate with 10L-AGCM [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2004 47(1): 19~24 [郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 应用九层全球大气格点模式进行跨季度短期气候预测系统性试验[J]. 地球物理学报, 2004 47(1): 19~24]
 - [26] Wang Huijun. Preliminary Research on the Inner Atmosphere Originated Seasonal Climate Predictability [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2005 29(1): 64~70 [王会军. 来自大气内

- 部的季节气候可预测性初探 [J]. 大气科学, 2005 29 (1): 64 ~ 70]
- [27] Wang Huijun. A preliminary study on the uncertainty of short term climate prediction [J]. Climatic and Environmental Research, 1997 2 (4): 333 ~ 338 [王会军. 试论短期气候预测的不确定性 [J]. 气候与环境研究, 1997 2 (4): 333 ~ 338]
- [28] Li Weijiang, Chen Lijuan. Research on reexploration and reanalysis method of [Ldynamical extended range forecast products] J. Acta Meteorologica Sinica, 1999 57 (3): 339 ~ 345 [李维京, 陈丽娟. 动力延伸预报产品释用方法的研究 [J]. 气象学报, 1999 57 (3): 339 ~ 345]
- [29] Wang Huijun. Characteristics of the atmospheric general circulation in three flood years in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2000 11 (Supplement): 79 ~ 86 [王会军. 关于我国几个大水年大气环流特征的几点思考. 应用气象学报, 2000 11 (增刊): 79 ~ 86]
- [30] Jin Liya, Xu Xuran, Qin Ningshen, et al. The spatial and temporal distribution of anomalous temperature and precipitation in different seasons as well as their relationship with drought in Northwest China [J]. Journal of Desert Research, 1997 17 (3): 230 ~ 236 [靳立亚, 徐旭然, 秦宁生, 等. 西北四省区不同季节降水、气温异常的时空分布与干旱的关系 [J]. 中国沙漠, 1997 17 (3): 230 ~ 236]
- [31] Jia Xiaolong, Wang Qianqian, Zhou Ningfang. Analysis of climate features of precipitation anomalies in Northeast China in recent 50 years [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003 26 (2): 164 ~ 171 [贾小龙, 王谦谦, 周宁芳. 近 50 年东北地区降水异常的气候特征分析 [J]. 南京气象学院学报, 2003 26 (2): 164 ~ 171]
- [32] Hamann H, Becker S, King L. Quasi-Periodicities in Chinese precipitation time series [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2008 92: 155 ~ 163.
- [33] Tomazev R, Busutic A, Marletto V, et al. Detection of changes in the summer precipitation time series of the region Emilia Romagna Italy [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2000 67: 193 ~ 200.
- [34] Ding Guangmei, Ding Baoshan. The relationship and variation features between the Southern Oscillation Index and the South China Sea high pressure intensity index [J]. Journal of Guangxi Meteorology, 1990 (1): 14 ~ 21 [丁光美, 丁宝善. 南方涛动指数与南海高压强度指数的变化特点及其相互关系 [J]. 广西气象, 1990 (1): 14 ~ 21]
- [35] Gu Zhe. The space-time analysis of the Southern Oscillation Index and the anomalous summer precipitation in China [J]. Meteorological Education and Technology, 1993 31: 23 ~ 26 [顾喆. 南方涛动指数与我国夏季降水异常的时空分析 [J]. 气象教育与科技, 1993 31: 23 ~ 26]
- [36] Shao Huizhi, Cai SiPing. Try to make the city's ultra-long range forecast of precipitation with Southern Oscillation Index [J]. Journal of Guizhou Meteorology, 1991, 4: 29 ~ 33 [邵慧芝, 蔡思平. 试用南方涛动指数制作我市降水量的超长期预报 [J]. 贵州气象, 1991 4: 29 ~ 33]
- [37] Wang H J, Zhou G Q, Zhao Y. An effective method for correcting the seasonal interannual precipitation of summer climate anomaly [J]. Adv Atmos Sci, 2000 17 (2): 234 ~ 240.
- [38] Fan Ke, Wang Hhuijun. A physical and statistical Prediction Model of summertime precipitation in the Middle and Lower Yangtze River [J]. Chinese Science Bulletin, 2007 52 (24): 2900 ~ 2905 [范可, 王会军, Choi Young-Jean. 一个长江中下游夏季降水的物理统计预测模型 [J]. 科学通报, 2007 52 (24): 2900 ~ 2905]
- [39] Fan Ke, Lin Meijiang, Gao Yu. Apply with interannual increment method to forecast precipitation of the rainy season in the north of China [J]. Science in China (Series D: Earth Sciences), 2008 38 (11): 1452 ~ 1459. [范可, 林美静, 高煜. 用年际增量方法预测华北汛期降水 [J]. 中国科学 (D 辑: 地球学), 2008 38 (11): 1452 ~ 1459]
- [40] Chen Zongyu. Yunnan Climate General Map. Beijing: Meteorological Press, 2001: 123 [陈宗瑜. 云南气候总论 [M]. 北京: 气象出版社, 2001: 123]
- [41] Chen Shouyu. Theoretical Pattern of comprehensive analysis and method for mid and long term hydrology forecasts [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1997 (4): 15 ~ 21 [陈守煜. 中长期水文预报综合分析理论模式与方法 [J]. 水力学报, 1997 (4): 15 ~ 21]
- [42] Ashley Queen, Yang Zhang, Robert Gillian. Examining the sensitivity of MM5—CMAQ prediction to explicit microphysics schemes and horizontal grid resolutions Part I: Database evaluation protocol and precipitation predictions [J]. Atmospheric Environment, 2008 (42): 3842 ~ 3855.
- [43] Li Ping, Lu Wenxi, Wang Fulin. Application of frequency spectrum analysis in forecasting annual precipitation in Naolihe River Basin [J]. Journal of China Hydrology, 2007 27 (4): 25 ~ 27 [李平, 卢文喜, 王福林. 频谱分析法在挠力河流域年降水量预报中的应用 [J]. 水文, 2007 27 (4): 25 ~ 27]
- [44] Zhou Peiling, Tao Xiaoli, Fu Zhongqian, etc. Precipitation predicting based on improved Radial Basis Function Neural Networks [J]. Minimicro Systems, 2001 22 (2): 244 ~ 246 [周佩玲, 陶小丽, 傅忠谦, 等. 改进 RBF 神经网络用于降水量预测 [J]. 小型微型计算机系统, 2001 22 (2): 244 ~ 246]
- [45] Huang Jianbin, Zhu Jinhong, Li Zhenhua. Numerical simulations of summer precipitation in China during 1951—2000 using a regional climate model [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007 43 (3): 351 ~ 358 [黄建斌, 朱锦红, 李振华. 用区域气候模式对 1951 ~ 2000 年我国夏季降水的模拟 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2007 43 (3): 351 ~ 358]

A Mathematical Statistical Prediction Model of Precipitation in Yuamou Dry-hot Valley

LIU Zuhai¹, ZHANG Bin¹, LIU Gangcai², QN Fachao³, WANG Lili¹, DENG Maolin⁴

(1. Land and Resources College, China West Normal University, Nanchong 637002, Sichuan, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, Sichuan, China;

3. Information Management College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

4. No. 137 Geological Team, Sichuan Bureau of Coal Geology, Dazhou 635000, Sichuan, China)

Abstract: The dry-hot valley is a kind of special degradation ecosystem region in Hengduan mountains. The changes of seasonal precipitation (SP) have important influence on its landscape patterns and agricultural activities. It established a new prediction method of local precipitation through linking Southern Oscillation Index (SOI) and precipitation based on the method of annual increment (II). Through the forecast of annual increment of Seasonal Precipitation in dry-hot valley of Yuamou in Yunnan, then it predicted the precipitation. It has identified the annual increment of Seasonal Southern Oscillation index as predictors during 1958~2008, and adopted the method of multiple linear regression to establish a seasonal interannual increment precipitation forecast model of dry-hot valley. The forecast model passes the R test, F test, T test, DW test, such as tests of significance. It can not only reflect the T130 precipitation features and abnormal years and seasons, but also successfully simulate its the interannual change of rainfall anomaly percentage and the seasonal trend in dry-hot valley. So, the new method which it predicts predication through the forecast of the interannual increment precipitation, can significantly improve the level of local precipitation forecast, and provide the potential application value.

Key words: interannual increment; local precipitation; dry-hot valley; Southern Oscillation Index (SOI); seasonal precipitation