

1971 - 2010 年三江源地区干湿状况变化的空间特征^①

徐维新^{1,2}, 古松^{3,1}, 苏文将², 江莎³, 校瑞香², 肖建设², 张娟²

(1 中科院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2 青海省气象科学研究所, 青海 西宁 810001;
3 南开大学生命科学学院, 天津 300071)

摘要: 依据 1971 - 2010 年地面观测气象数据, 计算了三江源地区湿润指数。利用经验正交函数分解(EOF)和偏相关系数, 对近 40 a 三江源地区干湿状况变化的时空特征及其影响因素进行了分析。结果表明: 三江源地区干湿状况的变化在其北部与南部、东部与西部间存在明显反相位变化特征。北部和东部的部分区域分别在 20 世纪 90 年代和 21 世纪后表现出气候湿润化趋势, 其余大部地区的持续干旱化趋势始于 20 世纪 80 年代初, 其中南部与西部变干趋势显著, 其湿润指数线性趋势率达到 $-8\%/10\text{ a}$ 。虽然三江源地区干湿状况主要决定于降水量和相对湿度的变化, 但 20 世纪 90 年代中期后气温的显著上升, 使得气温也成为关键的影响因子之一, 即使在降水明显增加的背景下, 也引起三江源主体区域湿润指数的明显下降。气候变暖情景下, 北部和东部地区在近十几年暖湿化趋势明显, 其余大部地区表现为不同程度的暖干化趋势。

关键词: 三江源; 湿润指数; 气候变化

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 6060(2012)01 - 0046 - 10(46 ~ 55)

三江源是长江、黄河和澜沧江的源头区, 处于青藏高原腹地, 以高寒草甸为主构成的生态环境体系, 以其独特而脆弱的生态系统, 在全球气候变化及其响应研究中受到广泛关注^[1]。该区域近几十年出现了草地生产力下降、土壤裸露、严重沙化等显著退化现象^[2-6]。因此, 2003 年这里成立了我国最大的国家级自然保护区, 并陆续投入超过 100×10^8 元开展大规模的生态保护和建设工程。为改善区域干湿状况, 促进生态系统的恢复, 三江源地区的人工增雨工程被作为重要建设性措施而长期开展。全球气候变化背景下三江源地区近几十年出现了显著变暖趋势, 且其增温速率明显大于全球增幅^[7-10], 并可能进一步变暖^[11-12]。气候显著变化必将反映在和影响到干湿状况的变化中, 从而对生态环境系统产生直接的影响。因此, 作为气候变化的指示性因子和植被生态系统的影响因子, 三江源地区干湿状况的研究不仅具有重要的科学意义, 也具有很高的应用价值。

湿润/干燥指数作为热量与水分综合因子, 控

制陆地生态系统与大气之间能量和物质交换, 可以指示一地区能量和湿度从地面到大气的转换情况, 并直接影响到植被产量及水分需求^[13]。近几年, 我国基于湿润指数进行区域干湿状况变化的研究已取得大量成果^[14-19], 并就暖湿化和暖干化趋势进行了广泛的讨论^[20-24]。青藏高原湿润度的变化趋势也得到了—定的关注^[15-25], 但大多数研究基于区域或地区大尺度干湿状况变化的讨论, 有关三江源地区干湿状况的描述缺乏详细分析和专门的研究。李轶冰等人分析了 1961 - 2002 年三江源地区干湿状况的变化情况^[26], 但仅基于气温和降水数据, 忽略了风速和相对湿度等因子的计算结果不能更准确地反映实际干湿状况, 而气温、降水、风速等因子变化对干湿状况影响分析方面的不足也正是我们急需探讨的一个方面。此外, 20 世纪 90 年代后三江源地区气温显著变暖, 干湿状况出现明显变化^[16-17], 这种变化幅度和趋势在进入 21 世纪后表现更为突出。而目前的研究大多截止于 21 世纪初, 近 10 a 最新变化状况的研究尚未见报道。

① 收稿日期: 2011 - 05 - 18; 修订日期: 2011 - 07 - 27

基金项目: 国家自然科学基金项目(41061002); 高原气象开放基金项目(LPM20090005); 干旱气象基金项目(IAM200812)

作者简介: 徐维新(1973 -), 男, 博士研究生, 主要从事青藏高原气候变化及其对生态环境的影响。Email: Weixin.xu@163.com

三江源地区面积广阔,地形复杂,气候条件的空间差异明显,气候变化带有明显的空间地理属性差异⁽²⁷⁻²⁸⁾,干湿状况的研究必须重视空间分布的差异⁽²⁹⁾。因此,本文在湿润指数变化空间差异的分析基础上,重点讨论 1971 - 2010 年不同地域干湿状况变化特征,并进一步探讨气候变化对其干湿状况的影响以及热量与水分匹配状况的演变趋势。

1 研究区概况

三江源地区位于青藏高原腹地青海省南部,总面积 $30.25 \times 10^4 \text{ km}^2$,地理位置: $31^\circ 39' \sim 36^\circ 12' \text{ N}$,

$89^\circ 45' \sim 102^\circ 23' \text{ E}$ (图 1)。该区域是长江、黄河和澜公河的发源地。大部地区海拔在 4 000 m 以上,地势高耸、气候寒冷,年平均气温在 $-5.4 \text{ }^\circ\text{C} \sim 4.2 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间,年降水量由东南部的 770 mm 向西北逐渐递减至 260 mm,气候条件具有明显的区域分异特征。植被以高寒草甸和高寒草原为主要覆盖类型,生态系统非常脆弱,对气候变化敏感且响应迅速^(1,30)。2003 年 1 月,三江源自然保护区(国家级)正式成立。2005 年 8 月正式实施《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,在该区域开展包括生态移民、退牧还草、人工增雨等大规模生态保护和建设工程。

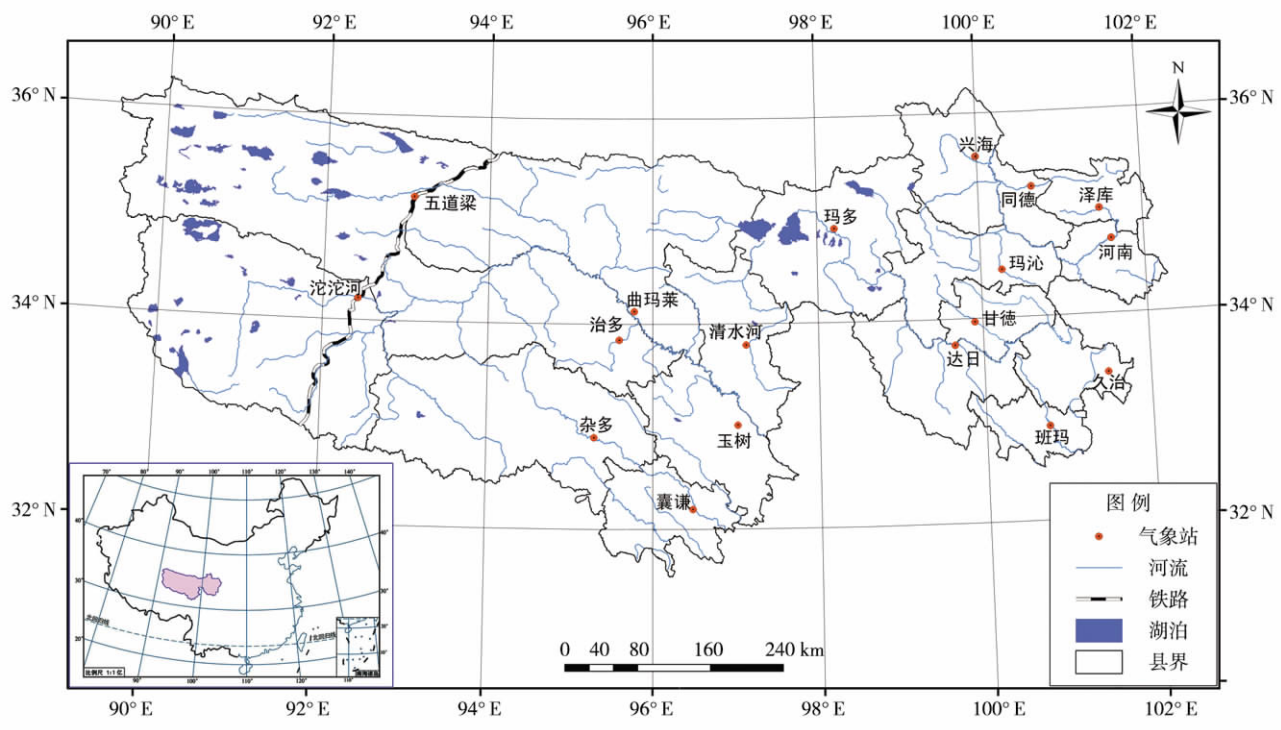


图 1 三江源地区地理位置及气象站点分布

Fig. 1 Illustration of study area and meteorological stations

2 数据与方法

采用经验正交函数分解(EOF)方法,进行三江源地区湿润指数的时空特征分解,并划分特征分区,讨论各分区空间分布及其时间变化特征。通过线性相关和偏相关分析方法,揭示不同区域湿润指数变化的影响因子。

2.1 数据

收集三江源地区 18 个气象站(见图 1) 1971 - 2010 年逐月气温、降水、气压、风速、相对湿度地面观测数据。数据来源于青海省气候资料中心。

2.2 方法

2.2.1 EOF EOF(Empirical Orthogonal Function)称为经验正交函数分解。可以对时空数据变量矩阵进行正交函数展开,并检测分解出该时空变量的空间变异特征及其随时间的动态变化状况,实现相似变化空间区域的划分。其计算方法和详细展开形式参阅文献⁽³¹⁻³²⁾。本研究 EOF 计算采用距平数据序列,并基于相关系数阵计算。

2.2.2 湿润指数(K) 湿润指数的计算基于下式:

$$K = R/ET \quad (1)$$

式中: R 为降水量, ET 为潜在蒸散量。

ET 的计算采用中国气象局推荐的生态气象监测标准中的计算方法⁽³³⁾, 该方法为刘多森和汪纵生提出的动力学模型的改进形式⁽³⁴⁾。

$$ET_i = \frac{22d_i(1.6 + U_i^{1/2})w_{oi}(1 - h_i)}{P_i^{1/2}(273.2 + t_i)^{1/4}}, \quad (2)$$

式中: i 为月份, d_i 为该月天数, U_i 为 10 m 高度月平均风速 (m/s), P_i 为月平均气压 (mb), t_i 为月平均气温 ($^{\circ}\text{C}$), w_{oi} 为温度为 t_i 时的饱和水汽压 (mmHg), h_i 为月平均相对湿度。

饱和水汽压 w_o (mmHg) 的计算, 区分两种条件:

当月平均温度 $0^{\circ}\text{C} < t \leq 30^{\circ}\text{C}$ 时:

$$w_o = 1.3694 \times 10^9 \exp\left[-\frac{5328.9}{273.2 + t}\right], \quad (3)$$

当月平均温度 $-40^{\circ}\text{C} \leq t < 0^{\circ}\text{C}$ 时:

$$w_o = 2.6366 \times 10^{10} \exp\left[-\frac{6139.8}{273.2 + t}\right], \quad (4)$$

由于该式计算过程中区分了不同温度条件, 包含了高海拔寒冷地区低温对潜在蒸散计算干扰的考虑, 相比于其他计算公式, 更接近高海拔寒冷地区的实际情况。

干湿状况的划分采用基于《联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约》⁽³⁵⁾ 制定的中国干湿气候分区标准。其中:

- $K < 0.03$ 极干旱气候区,
- $0.03 < K < 0.2$ 干旱气候区,
- $0.2 < K < 0.5$ 半干旱气候区,
- $0.5 < K < 1.0$ 半湿润气候区,
- $K > 1$ 湿润气候区。

2.2.3 偏相关分析 偏相关分析是在对其他变量的影响进行控制的条件下, 衡量多个变量中某两个变量之间线性相关程度的指标。即在排除了其他变量的影响下计算两变量间的相关系数。当变量间具有较高的自相关性时, 这种分析可以更合理、可靠地描述两个变量间实际的联系。本研究通过 SPSS11.3 软件进行偏相关系数的计算。

3 结果分析

3.1 三江源区干湿状况分布

从 1971 - 2010 年近 40 a 平均年湿润指数的空

间分布可以看出(图 2a 见 49 页)三江源地区总体处于湿润、半湿润气候区, 气候湿润状况自东南向西北方向由湿润向半湿润、半干旱气候区过渡。东南部的黄南南部、果洛南部地区气候湿润, 西部的可可西里西部地区处于半干旱区。但气候湿润状况年内分布差异明显, 气温高于 0°C 的夏半年(4 ~ 10 月)湿润指数均大于 1.0, 但气温低于 0°C 的冬半年气候干燥。

对比春、夏、秋、冬四季湿润指数空间分布特征(图略), 发现除冬季外, 其余时段湿润指数空间分布与年平均状况基本一致, 因此本文主要基于年平均湿润指数值的空间分布特征进行时空变化分析。

3.2 湿润指数变化的区域特征

1971 - 2010 年三江源地区 18 个气象站湿润指数 EOF 分解结果表明, 前 3 个特征向量场收敛很快, 其累计方差解释率达到 63.3%, 代表了三江源区干湿状况时空变化的最主要特征。第四向量场后收敛速度明显下降, 且方差解释率均低于 5%。因此, 本文主要分析 EOF 分解前 3 个特征向量场。

EOF 分解第一特征向量场 (EOF - 1) 方差解释率达到 37.4% (图 3a), 代表了三江源地区干湿状况变化的最主要特征, 主要指示了东部和中部主体区域近 40 a 干湿状况的变化特征, 说明三江源大部分地区干湿状况变化具有较强的一致性。第二特征向量场 (EOF - 2) 反映出三江源地区干湿状况的南北反相位变化特征(图 3c), 揭示了三江源地区干湿状况变化在南部和北部地理空间上所存在的显著差异。第三特征向量场 (EOF - 3) 则表明了三江源地区干湿状况变化的东西部差异(图 3e)。EOF - 2 和 EOF - 3 的空间分布特征清晰地表现了三江源地区干湿状况变化与地理位置的关系和依赖性, 客观认识其变化特征必须考虑其在地理空间分布上的差异。

3.3 干湿状况时间变化的区域差异

以 EOF 分解特征向量场各气象站点因子载荷 > 0.5 为中心区⁽³⁶⁾, 挑出前 3 个 EOF 分区中心区代表站点。其中: EOF - 1 区代表站点为: 曲麻莱、治多、清水河、玛多、兴海、同德、玛沁、达日、班玛和泽库 10 站; EOF - 2 区正值区以囊谦和玉树为代表站, 负值区为曲麻莱和兴海; EOF - 3 区囊谦代表正值区, 河南为负值区。图 3b, d, f 分别为前 3 个 EOF 分区正负中心区平均湿润指数三年滑动平均时间序列。

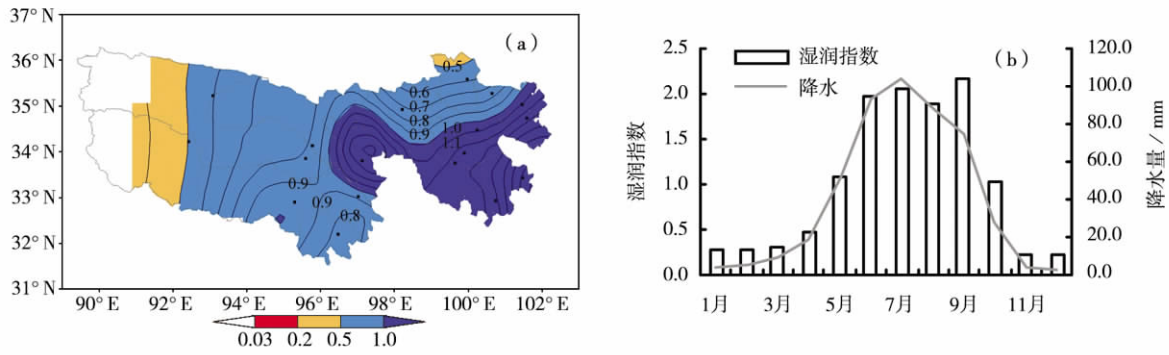


图2 1971 - 2010 年三江源地区湿润指数 40 a 平均的空间分布 (a) 及月变化 (b)
 Fig.2 Spatial pattern (a) and monthly variations of humidity index averaged for the period of 1971 - 2010 in Three-River Resource Region

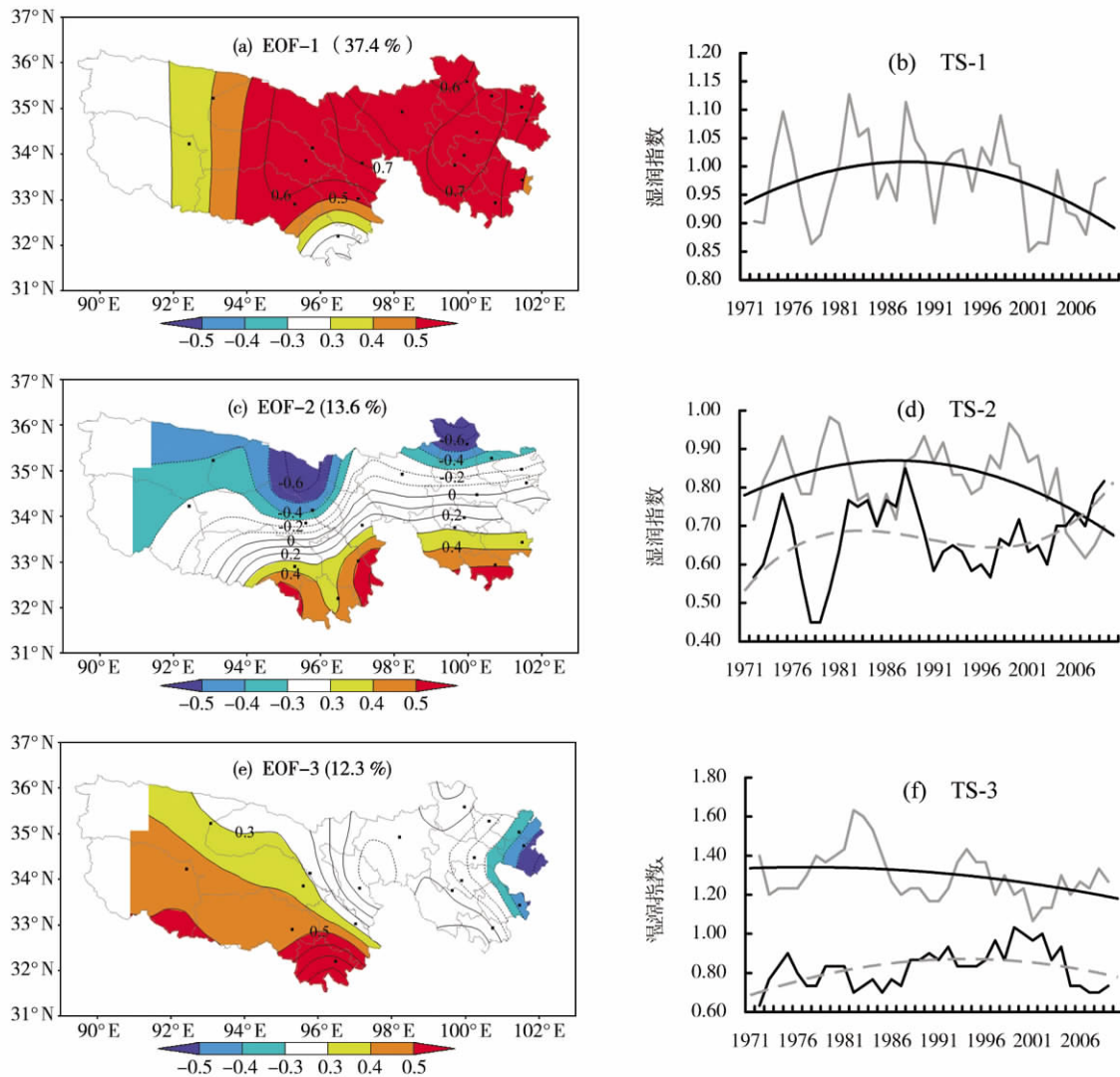


图3 三江源区湿润指数 EOF 分解前 3 个特征向量场 (a,c,e) 及其中心区 (b,d,f) 湿润指数 3 年滑动平均时间变化曲线
 实线代表正值区, 灰线代表负值区, 虚线为变化趋势

Fig.3 Spatial pattern of first three humidity index eigenvector field of EOF (a, c, e) and its temporal variations in a basic of 3-year-moving meaning humidity index in high value zone of EOF (b, d, f), where solid line shows the variations in positive zone and grey line is negative zone, dash line is its trend in (b), (d) and (f) respectively.

图 3b 指示三江源主体区域(EOF - 1) 湿润指数总体呈下降趋势, 其趋势约在 1982 年后表现更为明显, 呈持续明显下降趋势, 期间下降趋势百分率达到 $-5\%/10\text{ a}$ 。表明三江源大部地区在 20 世纪 80 年代初就进入一个持续干旱化的时期, 这种变化结果在 21 世纪初的几年表现最为明显, 湿润指数由高值向低值转换的幅度达到 0.25 左右。干湿状况也由 20 世纪 80 年代和 90 年代的湿润气候转变为半湿润气候。

EOF - 2 区指示的三江源南部区域湿润指数总体呈下降趋势(图 3d) , 且 1980 年后这种趋势更为明显, 其下降趋势百分率达到 $-5\%/10\text{ a}$, 但其半湿润气候特征没有改变; 而北部地区在 20 世纪 90 年代进入一个明显低值期, 其明显下降趋势也大约出现于 1982 年前后。与其他区域显著不同的是, 三江源北部地区在 20 世纪 90 年代后期直到 2010 年湿润指数呈明显上升趋势, 其上升趋势达到 $9\%/10\text{ a}$, 气候湿润化趋势明显。三江源西部区域湿润指数总体呈先升后降趋势(图 3f) , 值得注意的是进入 21 世纪后, 该区湿润指数迅速下降, 其值降低约 0.30 , 近 10 a 干燥化趋势明显; 东部区域总体呈下降趋势, 约在 1982 年后下降趋势特别明显, 趋势值达到 $-8\%/10\text{ a}$ 。但大致在 2001 年后湿润状况出现改善趋势。

总体而言, 三江源大部地区于 20 世纪 80 年代初出现较明显变干趋势, 但地理空间差异在北部与南部、东部与西部表现明显, 且呈明显反相位特征。进入 21 世纪的近 10 a 东部和北部变湿趋势明显, 南部和西部呈强烈变干趋势。

3.4 不同区域干湿状况变化的季节特征

由图 2b 可知三江源地区湿润指数季节差异明显。因此, 不同区域不同季节干湿状况的变化特征也值得进一步探讨。EOF 分解得到的 5 个特征区域春、夏、秋、冬四季湿润指数值的大小可以发现(图 4) , 三江源地区湿润程度的季节差异非常明显, 夏季和秋季气候湿润, 而冬季和春季则处于干旱或半干旱状况。

春季: 以河南县为代表的东部局部地区湿润指数大致介于 0.5 ~ 1.0(图 4e) , 其余地区湿润指数均在 0.5 左右波动。三江源大部地区近 40 a 总体呈下降趋势(图 4a) 20 世纪 80 年代和 90 年代处于偏湿润时期, 而 70 年代及 21 世纪则处于相对偏干

时期, 但变化幅度较小。北部和东部年代际变化幅度较大(图 4c, e) , 自 20 世纪 80 年代初, 表现出较明显的干燥化趋势。与此相反, 南部和西部湿润指数总体呈持续、明显的上升趋势(图 4b, d) , 湿润化趋势明显, 进入 21 世纪后达到并超过湿润状况最好的 70 年代。

夏季: 三江源各地区均处于湿润气候状况, 三江源主体区域及北部和东部地区干湿状况总体呈减少趋势, 其中东部地区下降趋势显著, 湿润指数自 20 世纪 80 年代的最高值至 21 世纪初下降了 1.0 , 但这些区域在经历了 2001 年的突然下跌后, 又表现出明显的恢复上升趋势(图 4a, c, e) 。南部和西部地区则表现出较为一致的年代际振荡特征(图 4b, d) , 20 世纪 70 年代末 ~ 80 年代初、80 年代末 ~ 90 年代初、90 年代末 ~ 21 世纪初为湿润指数相对偏高时期, 其余时期为相对偏低时期。但总体上南部呈弱下降趋势而西部呈增加趋势。

秋季: 东部地区经历了一个比较明显的先降后升变化趋势(图 4e) 20 世纪 70 年代 ~ 90 年代末为下降期, 其后进入一个持续上升期。其余地区则表现出较为一致的年代际波动特征, 呈弱的下降趋势, 但其相位却与夏季相反(图 4a, b, c, d) 。

冬季: 由于湿润指数值较小, 各区变化幅度小, 但东部地区有较明显的增加(图 4e) , 三江源主体区域和南部与西部地区呈下降趋势, 这种趋势更明显地表现在 20 世纪 90 年代中期至 21 世纪的这一时期。

3.5 湿润指数对气候因子响应的区域特征

为了分析不同区域湿润指数变化的主导气候因子, 我们计算了三江源区 EOF 特征分区代表站点湿润指数与气温、降水、风速、相对湿度间的线性相关系数, 由于以上 4 个气候因子间存在很强的自相关性, 为了避免多重共线性的影响, 进一步计算了偏相关系数(表 1) 。

简单相关系数表明, 降水和相对湿度是影响三江源地区湿润指数最主要的两个因子。但偏相关系数表明, 在考虑了因子间的相互作用后, 三江源主体区域(EOF - 1 区) 及东部地区(EOF - 3 负值区) 干湿状况的变化决定于降水、相对湿度、气温和风速的综合影响, 降水量的大小主导了这些区域干湿状况, 但气温和风速的增加将加大干旱的程度。在三江源南部(EOF - 2 正值区) 和西部区域(EOF - 3 正值区)

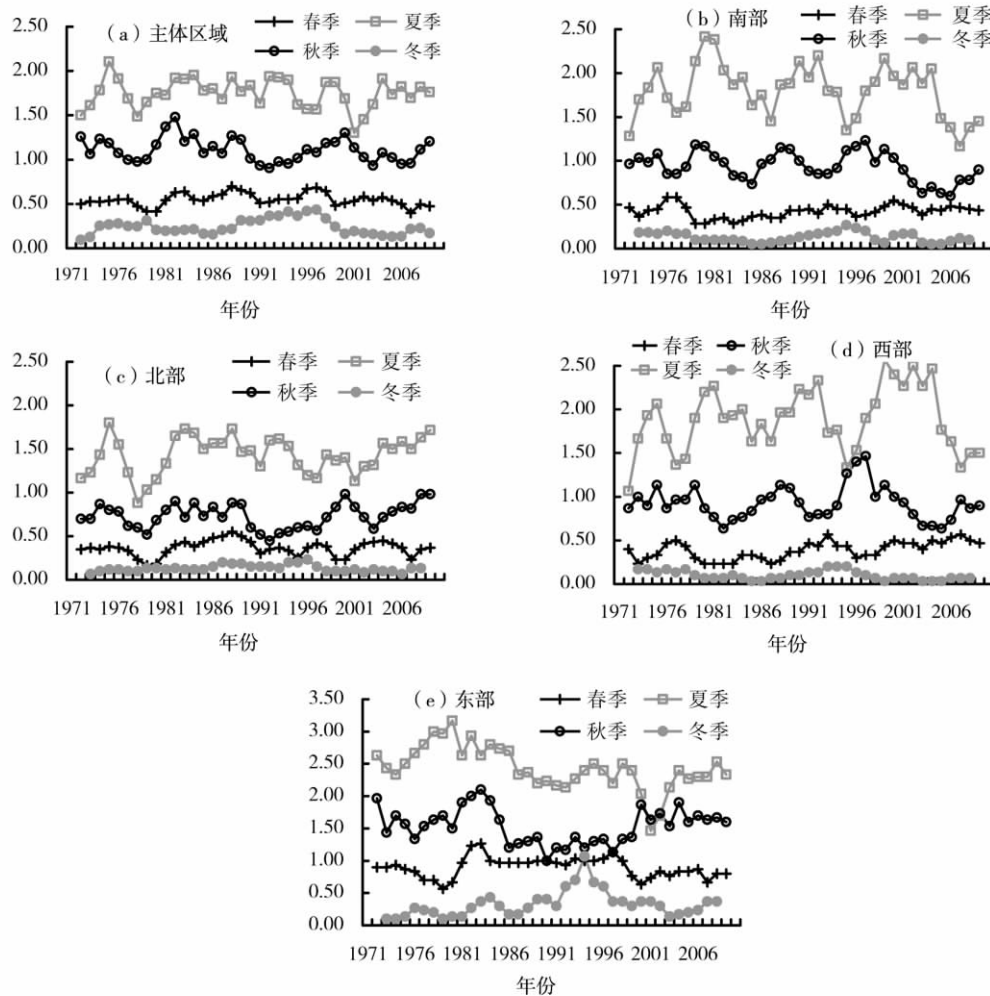


图4 三江源地区前三个 EOF 分解特征向量场代表站点 1971 - 2010 年春、夏、秋、冬季三年滑动平均湿润指数曲线
其中: (a) EOF - 1 区 (b) EOF - 2 正值区 (c) EOF - 2 负值区 (d) EOF - 3 正值区 (e) EOF - 3 负值区。

Fig. 4 Spring, summer, autumn and winter 3-year move meaning humidity index of sampling stations from 1971 - 2010 in first three eigenvector field of EOF. Where (a) indicate EOF - 1, (b) and (d) are positive zone of EOF - 2 and EOF - 3, (c) and (e) are negative zone of EOF - 2 and EOF - 3 respectively.

表 1 三江源区湿润指数与气候因子相关系数和偏相关系数

Tab. 1 linear and partial correlation coefficients between climate factors and humidity index in Three-River Resource Region

空间分区	相关系数				偏相关系数			
	气温	降水	风速	相对湿度	气温	降水	风速	相对湿度
EOF - 1 区	-0.247 9	0.719 6***	-0.075 3	0.638 4***	-0.517 4***	0.928 5***	-0.431 5**	0.770 0***
EOF - 2 正值区	-0.266 9	0.770 2***	-0.195 8	0.615 9***	-0.230 8	0.926 3***	-0.178 1	0.706 0***
EOF - 2 负值区	0.072 1	0.865 6***	-0.327 0	0.642 9***	-0.452 2**	0.905 9***	-0.313 8	0.534 8***
EOF - 3 正值区	-0.015	0.784 4***	-0.315 5	0.542 6***	-0.048 2	0.906 3***	-0.273 8	0.705 8***
EOF - 3 负值区	-0.247 4	0.740 5***	0.157 1	0.445 1**	-0.534 3***	0.921 9***	-0.333 8*	0.705 6***

注: * 表示相关系数通过 0.05 显著性检验水平, ** 为通过 0.01 显著性检验水平, *** 为 0.001 显著性检验水平。

降水量和相对湿度大小决定着湿润指数的高低。三江源北部地区(EOF - 2 负值区)降水量虽然仍是干湿状况变化的主导因素,但气温也具有重要影响。

选择各分区内偏相关系数通过 0.05 显著性检验水平的气候因子,将其与湿润指数距平百分率绘于图 5,以便对比和进一步揭示气候因子对三江源干

湿状况的影响。图 5a 表明,三江源主体区域 1971 - 2010 年湿润指数总体呈下降趋势,年际波动特征与降水在 20 世纪 90 年代初期前保持高度的一致性,但其后则与降水的变化差异明显,在年降水量明显增加的情形下,湿润指数仍表现出下降趋势。这表明,进入 20 世纪 90 年代后湿润指数受其他因子影响的比重加大。计算 90 年代前后两个时期各因子与湿润指数的相关系数发现,与降水的相关系数在 90 年代以前为 0.90,之后下降为 0.16,而气温的相关系数则由 0.11 变为 -0.49(通过 0.05 的显著性检验),风速的影响略有下降,相对湿度的影响则有所提高。90 年代后,气温表现出一个显著上升的趋势,相对湿度则在 90 年代中期后出现明显下降趋势,这说明气温的显著升高已经对三江源地区湿润状况带来直接影响,并已成为影响这一地区干湿状况的重要因子。气温显著上升和相对湿度的下降引

起 90 年代后湿润指数的下降,使得气候趋向暖干化发展。

三江源南部和西部地区湿润状况主要与降水和相对湿度的大小存在密切关系,该两区域湿润指数具有同位相的年代际波动特征,与 EOF - 1 区相同的是,本区湿润指数大致在 20 世纪 90 年代以前与降水保持非常高的一致性,但 90 年代后其干燥化趋势主要缘于相对湿度的贡献。三江源北部地区湿润指数近 40 a 与降水量的变化始终保持较高的一致性,该区域年平均降水量约 390 mm,明显低于其余地区,使得降水量的多少成为主导本区域湿润状况的决定性因子。但值得注意的是,进入 90 年代后气温呈明显升高趋势且与湿润指数的变化保持较一致的波动特征,在渡过了 80 年代明显湿润期并迅速进入 90 年代的相对干燥期后,本区域暖湿化特征明显。东部地区与北部区域具有较为相似的响应特

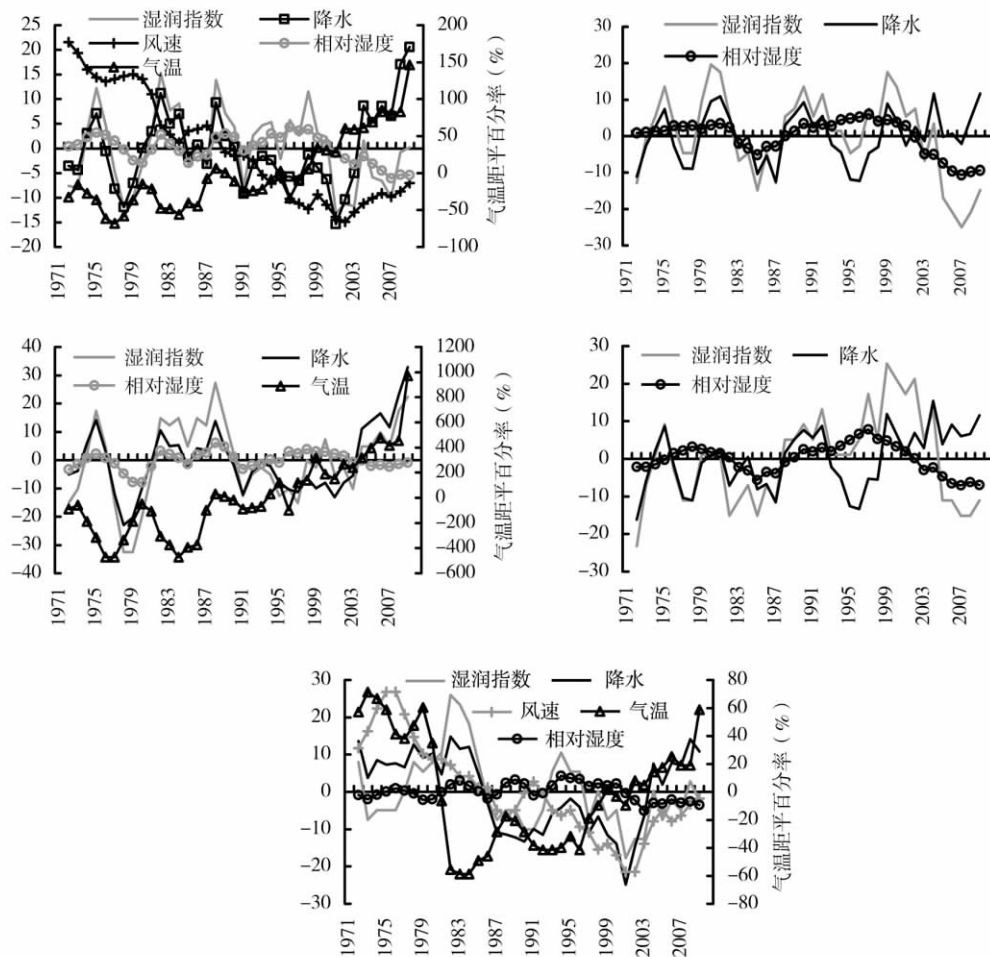


图 5 1971 - 2010 年三江源不同区域湿润指数及其高影响气候因子距平百分率

其中:(a) 为 EOF - 1 区 (b) 为 EOF - 2 正值区 (c) EOF - 2 负值区 (d) 为 EOF - 3 正值区 (e) EOF - 3 负值区

Fig. 5 Percentage of anomaly humidity index and climate factors which are closely relate to humidity index in zone of EOF (same as Fig. 4) in Three-River Resource Region

征,只是湿润状况对降水的依赖程度略有减弱,在经历了 80 年代和 90 年代持续的干燥化趋势后,进入 21 世纪也表现出较明显的暖湿化趋势。

4 结 论

三江源地区干湿状况的变化在北部与南部、东部与西部地区间存在显著的空间差异,并呈明显反相位变化特征,其余大部地区干湿状况的变化具有较强的一致性。其中北部和东部的部分区域分别在 20 世纪 90 年代和 21 世纪后表现出气候湿润化趋势,其余大部地区近 40 a 总体呈持续干旱化趋势,南部和西部呈显著变干趋势,湿润指数线性趋势率达到 $-8\%/10\text{ a}$ 。这些地区显著的干旱化趋势开始于 20 世纪 80 年代初。三江源大部地区属半湿润与湿润气候区,但季节差异明显,夏季和秋季气候湿润,而冬季和春季则表现为干旱或半干旱状况。近 40 a 南部和西部地区春季表现出较明显的湿润化趋势,其余地区则总体呈干旱化趋势。夏季,三江源西部地区湿润指数总体呈增加趋势,其余区域干旱化趋势延续,但值得注意的是,进入 21 世纪后,西部地区出现干旱化演变特征,而其余大部地区,则表现为湿润化趋势。秋冬季,东部地区有湿润化趋势,其余地区湿润指数则呈弱下降趋势。

三江源干湿状况主要决定于降水量和相对湿度的变化,但在东部和中部的地区气温和风速也是影响干湿状况重要因子。在三江源北部和东部区域,降水量的多少是主导干湿状况的决定因子,随着降水增多湿润指数增加,在气温升高的背景下,这些区域在近十几年呈较明显暖湿化趋势。中部和东部的地区,自 20 世纪 90 年代中期后,气温的显著上升已引起湿润指数的明显下降,并已成为影响这一地区干湿状况的关键因子之一,在降水明显增加的背景下,这些地区仍然表现出显著的暖干化趋势。而西部和南部地区则由于相对湿度的下降,表现出较的干燥化趋势。

参考文献 (References)

- (1) 赵新全. 高寒草甸生态系统与全球变化 (M). 北京: 科学出版社 2009. (ZHAO Xinquan. Alpine meadow ecosystem and global change (M). Beijing: Science Press 2009.)
- (2) 陈全功, 梁天刚, 卫亚星. 青海省达日县退化草地研究 (II): 退

- 化草地成因分析与评估 (J). 草业学报, 1998, 7(4): 44 - 48. (CHEN Quanguo, LIANG Tianguang, WEI Yaxing. Causes of grassland degradation in Dari County of Qinghai Province (J). ACTA Pratacul Turae Sinica, 1998, 7(4): 44 - 48.)
- (3) 刘纪远, 徐新良, 邵全琴. 近 30 a 来青海三江源地区草地退化的时空特征 (J). 地理学报, 2008, 63(4): 364 - 376. (LIU Jiyuan, XU Xinliang, SHAO Quanqin. The spatial and temporal characteristics of grassland degradation in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province (J). Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 364 - 376.)
- (4) 王根绪, 程国栋. 江河源区的草地资源特征与草地生态变化 (J). 中国沙漠, 2001, 21(2): 101 - 107. (WANG Gengxu, CHENG Guodong. Characteristics of grassland and ecological changes of vegetations in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers (J). Journal of Desert Research 2001, 21(2): 101 - 107.)
- (5) 张德铨, 刘林山, 摆万奇, 等. 黄河源地区草地退化空间特征 (J). 地理学报, 2006, 61(1): 3 - 14. (ZHANG Yili, LIU Linshan, BAI Wanqi, et al. Grassland degradation in the source region of the Yellow River (J). Acta Geographica Sinica, 2006, 61(1): 3 - 14.)
- (6) LIU Linshan, ZHANG Yili, BAI Wanqi. Characteristics of grassland degradation and driving forces in the source region of the Yellow River from 1985 to 2000 (J). Journal Geographical Sciences, 2006, 16(2): 131 - 142.
- (7) 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 中国气温变化研究最新进展 (J). 气候与环境研究, 2005, 10(4): 701 - 716. (REN Guoyu, CHU Ziyong, ZHOU Yaqing, et al. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China (J). Climatic and Environmental Research 2005, 10(4): 701 - 716.)
- (8) 李林, 李凤霞, 郭安红, 等. 近 43 年来“三江源”地区气候变化趋势及其突变研究 (J). 自然资源学报, 2006, 21(1): 79 - 85. (LI Lin, LI Fengxia, GUO Anhong, et al. Study on the climate change trend and its catastrophe over “San Jiang Yuan” region in recent 43 years (J). Journal Natural Resources 2006, 21(1): 79 - 85.)
- (9) LIN Z Y, ZHAO X Y. Spatial characteristics of changes in temperature and precipitation of the Qinghai - Xizang (Tibet) Plateau (J). Science China (Ser D), 1996, 39(442 - 448).
- (10) DUAN A M, WU G, ZHANG Q. New proofs of the recent climate warming over the Tibetan Plateau as a result of the increasing greenhouse gases emissions (J). Chinese Science Bulletin 2006, 51(11): 5.
- (11) 张英娟, 董文杰, 俞永强, 等. 中国西部地区未来气候变化趋势预测 (J). 气候与环境研究, 2004, 9(2): 342 - 349. (ZHANG Yingjuan, DONG Wenjie, YU Yongqiang, et al. A prediction of trend of the future climate change in the western China (J). Climatic and Environmental Research 2004, 9(2): 342 - 349.)
- (12) 丁一汇, 任国玉, 石广玉, 等. 气候变化国家评估报告 (I): 中国气候变化的历史和未来趋势 (J). 气候变化研究进展, 2006, 2

- (1): 4-8. (DING Yihui, REN Guoyu, SHI Guangyu, et al. National assessment report of climate change (I): climate change in China and its future trend (J). Advances in Climate Change Research 2006 2(1): 4-8.)
- (13) CHEN S, LIU Y, AXEL T. Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961-2000 (J). Climatic Change 2006 76(3-4): 291-319.
- (14) 张方敏, 申双和. 中国干湿状况和干湿气候界限变化研究 (J). 南京气象学院学报, 2008, 31(4): 574-579. (ZHANG Fangmin, SHEN S H. A study on dry/wet conditions and changes of dry/wet climate boundary in China (J). Journal of Nanjing Institute of Meteorology 2008 31(4): 574-579.)
- (15) 马柱国, 邵丽娟. 中国北方近百年干湿变化与太平洋年代际振荡的关系 (J). 大气科学, 2006, 30(3): 464-474. (MA Zhuguo, SHAO Lijuan. Relationship between the Pacific decade oscillation (PDO) and dry/wet variation in northern China during the last 100 years (J). Chinese Journal of Atmospheric Sciences 2006, 30(3): 464-474.)
- (16) 王菱, 谢贤群, 李运生, 等. 中国北方地区 40 年来湿润指数和气候干湿带界线的变化 (J). 地理研究, 2004, 23(1): 45-54. (WANG Ling, XIE Xianqun, LI Yunsheng, et al. Changes of humid index and borderline of wet and dry climate zone in northern China over the past 40 years (J). Geographical Research 2004 23(1): 45-54.)
- (17) 靳立亚, 李静, 王新, 等. 近 50 年来中国西北地区干湿状况时空分布 (J). 地理学报, 2004, 59(6): 847-854. (JIN Liya, LI Jing, WANG Xin, et al. The temporal and spatial distribution of surface dry-wet conditions over northwestern China in recent 50 years (J). Acta Geographica Sinica 2004 59(6): 847-854.)
- (18) 申双和, 张方敏, 盛琼. 1975-2004 年中国湿润指数时空变化特征 (J). 农业工程学报, 2009, 29: 11-15. (SHEN Shuanghe, ZHANG Fangming, SHENG Qun. Spatio-temporal changes of wetness index in China from 1975 to 2004 (J). Transactions of the CSAE 2009 29: 11-15.)
- (19) 马柱国, 符淙斌. 1951-2004 年中国北方干旱化的基本事实 (J). 科学通报, 2006, 51(20): 2428-2439. (MA Zhuguo, FU Congbin. Some evidences of drying trend over North China from 1951 to 2004, (J). Chinese Science Bulletin 2006 51(20): 2428-2439.)
- (20) 程国栋, 王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾变化趋势与对策 (J). 地学前缘, 2006, 13(1): 3-14. (CHENG Guodong, WANG Genxu. Changing trend of drought and drought disaster in northwest China and counter measure (J). Earth Science Frontier 2006 13(1): 3-14.)
- (21) 施雅风, 沈永平. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号! 影响和前景初探 (J). 资源环境, 2003, 2: 54-57. (SHI Yafeng, SHENG Yongping. Signal impact and outlook of climatic shift from warm-dry to warm-humid in northwest China (J). Science Technology Review 2003 2: 54-57.)
- (22) 刘波, 马柱国. 过去 45 年中国干湿气候区域变化特征 (J). 干旱区地理, 2007, 30(1): 7-15. (LIU Bo, MA Zhuguo. Area change of dry and wet regions in China in the past 45 years (J). Arid Land Geography 2007 30(1): 7-15.)
- (23) 蒲金涌, 姚小英, 马鹏里, 等. 甘肃黄土高原地表湿润状况时空变化特征 (J). 干旱区地理, 2010, 33(4): 588-592. (PU Jingyong, YAO Xiaoying, MA Pengli, et al. Characteristics of temporal and spatial distribution of surface humid conditions over Loess Plateau of Gansu (J). Arid Land Geography 2010 33(4): 588-592.)
- (24) 普宗朝, 张山清, 李景林, 等. 近 36 年新疆天山山区气候暖湿变化及其特征分析 (J). 干旱区地理, 2008, 31(3): 409-415. (PU Zongchao, ZHANG Shanqing, LI Jinglin, et al. Facts and features of climate change into warm th and damp in the Tianshan Mountains area in the recent 36 years (J). Arid Land Geography, 2008 31(3): 409-415.)
- (25) 毛飞, 唐世浩, 孙涵, 等. 近 46 年青藏高原干湿气候区动态变化研究 (J). 大气科学, 2008, 32(3): 549-507. (MAO Fei, TANG Shihao, SUN Han, et al. A study of dynamic change of dry and wet climate regions in the Tibetan Plateau over the last 46 years (J). Chinese Journal of Atmospheric Sciences 2008 32(3): 549-507.)
- (26) 李轶冰, 杨改河, 王得祥. 江河源区四十多年来干湿变化分析 (J). 西北农林科技大学学报, 2006, 34(3): 73-77. (LI Yibin, YANG Gaihe, WANG Dexiang. Dry and wet climatic changes in recent decades in the source regions of Yangtze, Yellow and Lantcang Rivers (J). Journal of Northwest Science Technical University, 2006 34(3): 73-77.)
- (27) XU X K, CHEN H, LEVY J K. Spatiotemporal vegetation cover variations in the Qinghai-Tibet Plateau under global climate change (J). Chinese Science Bulletin 2008 53(7).
- (28) ZHANG T R, YAN L D, ZHANG F, et al. The impacts of climate change on the natural pasture grass in Qinghai Province (J). Plateau Meteorology 2007 26(4): 8.
- (29) YIN Y, WU S, ZHENG D, et al. Regional difference of aridity/humidity conditions change over China during the last thirty years (J). Chinese Science Bulletin 2005 50(19): 2226-2233.
- (30) ZHANG J H, YAO F M, ZHENG L, et al. Evaluation of grassland dynamics in the Northern-Tibet Plateau of China using remote sensing and climate data (J). Sensors 2007 7(17).
- (31) RENCHER A C. Methods of multivariate analysis (M). New York: John Wiley & Sons, INC. Publication 2002.
- (32) 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 (M). 北京: 气象出版社, 2007: 105-124. (WEI Fengying. Statistical diagnosis and forecast in model Climate (M). edition, Second ed. Beijing: China Meteorological Press 2007: 105-124.)
- (33) 中国气象局. 生态质量气象评价规范 (M). 北京: 中国气象局, 2005. (China Meteorological Bureau. Meteorological assessment methods of ecological qualities (M). Beijing: China Meteorological

- Bureau 2005.)
- (34) 刘多森,汪纵生. 可能蒸散量动力学模型的改进及其对辨识土壤水分状况的意义 (J). 土壤学报, 1999, 33(1): 21 - 27. (LIU Duoseng, WANG Zongsheng. An improvement on the kinetic model of potential evapotranspiration and its sense to the identification of soil moisture regimes (J). Acta Pedologica Sinica, 1999, 33(1): 21 - 27.)
- (35) 中华人民共和国林业部防治荒漠化办公室. 联合国关于在发生严重干旱和/或荒漠化的国家特别是在非洲防治荒漠化的公约 (M). 北京: 中国林业出版社, 1994. (Office of Combat Desertification in Chinese Ministry of Forestry. United nations convention to combat desertification in those countries experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa (M). Beijing: China Forestry Publishing House, 1994.)
- (36) COLLANTES G O. Stakeholders' perspectives on hydrogen policy: a factor analysis (M). Institute of Transportation Studies 2005.

Spatial pattern and its variations of aridity/humidity during 1971 - 2010 in Three-River Source Region on the Qinghai - Tibet Plateau

XU Wei-xin^{1, 2}, GU Song^{3, 1}, SU Wen-jiang², JIANG Sha³, XIAO Rui-xiang²,
XIAO Jianshe², ZHANG Juan²

(1 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001 Qinghai, China;

2 Meteorological Institute of Qinghai Province, Xining 810001 Qinghai, China; 3 Nankai University, College of Life Sciences, Tianjin 300071, China)

Abstract: The Three-River Source Region (TRSR), the source region of Yangtze River, Yellow River and Mekong River, is located in the hinterland of the Qinghai - Tibetan Plateau. With a typical continental plateau climate and alpine vegetation ecosystem, the water and heat matching is a key to vegetation variation over region. In this study, monthly humidity indexes in TRSR were computed using ground-observed monthly air temperature, precipitation, wind speed, relative humidity and air pressure from 1971 - 2010, based on the method of Ecological and Meteorological Monitoring Standard which recommended by China Meteorological Bureau. The spatio-temporal variation of aridity/humidity conditions and its dominated factor were analyzed using the method of Empirical Orthogonal Function (EOF), linear correlation and partial correlation analysis. The results show a clear of opposite mode in the zone of northern toward southern and western toward eastern in TRSR. It was found that there is a wet tendency after 1990s and 21st century in the zone of northern and eastern respectively, but a continual dry tendency since 1980s, especially in the zone of southern and western with a remarkable decreased trend(-8% /10a), occurred in other area of TRSR. Aridity/humidity conditions are controlled by precipitation and relative humidity in generally, but the situation is changed evidently after Mid-1990s in the most area of TRSR due to a significant warming, and temperature plays a key of factor to dominate a decreased trend of humidity index even if precipitation increases markedly since then. Under a scenarios of climate warming, it shows a tendency of heat and wet obviously in the zone of northern and eastern and heat and aridity in a certain extent in most area of TRSR.

Key Words: Three-river Source region; humidity index; climate change