

近 30a 三峡库区(重庆段)城镇化发展的气温响应图谱诊断^{*1}

汪洋 王力力 祁鹏卫 高鑫 闵婕

(重庆师范大学地理与旅游学院, GIS 应用研究重庆市重点实验室, 重庆 4001331)

【摘要】:城镇化发展是区域气候变化的重要影响因素之一。以 LandsatTM 影像数据、多期土地利用类型数据、城镇化率数据、DEM 数据、气象站点时空数据为基础,通过城镇发展指数法、气温变异指数法,以图谱方式对三峡库区(重庆段)近 30a 城镇化发展格局、气温变异格局进行可视化,运用一元线性回归模型,建立了重庆三峡库区城镇发展的气温响应模型。研究表明:(1)研究区全域城镇建设用地增长 3.83 倍,城镇化发展指数年增长率为 4.56%,总量呈现出西南高东北低格局。(2)气温变异指数从 20 世纪 90 年代后期开始迅速增加,2005~2014 保持在高指数状态,库区蓄水对气温变异指数增长的影响未达显著性水平。(3)从城镇发展的气温响应状况看,呈较强正相关性且拟合精度较高,绝大部分区县 t 概率值(p 值)达到 0.05 的显著性水平。分析表明,库区下垫面物质环境的改变和人类活动的增加对区域气温的长期同向变化具有较强解释力。

【关键词】:三峡库区(重庆段);城镇化发展;气温变化;信息图谱

【中图分类号】:P208 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1004-8227(2017)09-1397-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201709012

IPCC 第五次气候变化评估报告指出:20 世纪中期以来,几乎全球所有地区均经历了升温过程^[1]。中国近百年来气温变化总体趋势与全球相似,但呈现出区域特征^[2]。气候变化具有很强的地域特征,在全球气候变暖的大背景下,各地气候变化趋势与强度并不完全一致^[3]。全球气候变化是由自然影响因素和人为影响因素共同影响,人类活动是 20 世纪中期以来全球气候变暖主要原因的可能性极大^[1]。气温作为热量特征的重要表征之一,广泛应用热岛效应、城市化过程等各个领域^[4~7],是气候变化的显著指标。快速城市化导致城市景观形态随经济增长和城市人口不断变化,使低空气温下垫面的物理属性变化显著,从而影响了区域热环境的空间格局^[8~10]。城镇化已成为气候变化的主导因素,对整个城市社会经济发展有重要影响。三峡库区(重庆段)地处长江上游的末端,是长江流域生态屏障的咽喉^[11],三峡水利工程及相关人类活动导致库区生态系统结构和功能快速变化,并使这一地区形成独特的生态系统^[12]。作为典型的生态敏感区,环境脆弱,人多地少,生态退化,三峡库区的城镇化面临着人与环境冲突的严峻挑战^[13, 14]。研究库区城镇化发展的气温响应具有重要的理论与现实意义。

¹ 收稿日期:2016-12-27;修回日期:2017-03-20

基金项目:国家自然科学基金项目(51308575, 41571419, 41601149, 41501582) [Project of National Natural Science Foundation of China(51308575, 41571419, 41601149, 41501582)];重庆市基础与前沿研究计划项(cstc2013jcyjA00012) [Chongqing Foundation and Advanced Research Project(cstc2013jcyjA00012)];重庆师范大学博士启动基金项目(13XLB019)共同资助 [Chongqing Normal University Doctoral Start up Fun Project(3XLB019)]

作者简介:汪洋(1978~),男,副教授,博士,硕士生导师,主要从事区域与城市规划及 GIS 应用研究。

E-mail:cqwangyang@foxmail.com

近些年已有学者对各个区域尺度的气候变化尤其是气温变化进行了相关研究,韩翠华等^[2]通过 623 个测站分析得到,1951~2010 年中国气温变化区域特征明显。班军梅等^[15]通过研究西南地区 1951~2000 年气温变化特征发现,西南地区在 1960s 到 1980s 中后期经历了一个由暖变冷的过程后,1990s 初期才开始呈现明显上升趋势。周浩等^[3]利用重庆 34 个地面气象观测站 1960~2005 年气温数据,发现 1960~1989 年为降温阶段,1989~2001 年为升温阶段,2001~2005 年为降温阶段,气温变化具有明显的阶段性特征。王梅华等^[16]选取库区 15 个气象站分析,表明了各站的温度变化在同时段一致性较好,表现出正态分布的特点。廖要明等^[17]利用 5 个气象站分析了库区 1951~2006 年间夏季平均气温和最高/低气温的变化,表明其代际变化特征显著。张天宇等^[18]利用库区 17 个站点资料来分析气候变化特征,表明库区增温始于 20 世纪 80 年代中后期,且有加快趋势。陈鲜艳等^[19]研究了三峡库区局地气候,表明近 20a 来三峡库区年平均气温上升趋势明显,且变幅明显增大。以往研究多是对时间序列的气温变化进行简单统计分析和语言描述,缺乏一套用于表达研究对象基本性质与变化规律的图示化符号^[20]。本文引入人居环境信息图谱理论^[20~22]用 20 世纪 80 年代以来 6 期土地覆被中城市用地的变化数据及城镇化率及相关时期的气温数据,对近 30a 三峡库区(重庆段)城镇化发展的气温响应进行图谱诊断分析,以期三峡库区城市建设的科学规划、气温变化规律等研究工作提供参考依据。

1 研究区概况

三峡库区(重庆段)主要包括重庆市的巫山、万州、渝北、沙坪坝等 22 个区、县,约占整个三峡库区面积的 85.6%(图 1)。库区地处中纬度中亚热带湿润地区,属亚热带季风气候,多年均温 18.4℃,气温年较差和日较差大,具有冬暖春早、夏热秋迟的特点^[23, 24]。2014 年,库区内城市建设用地的总量为 1267.42km²,2014 年末总人口为 1989.31 万人^[23],城镇化率达到 66.11%。

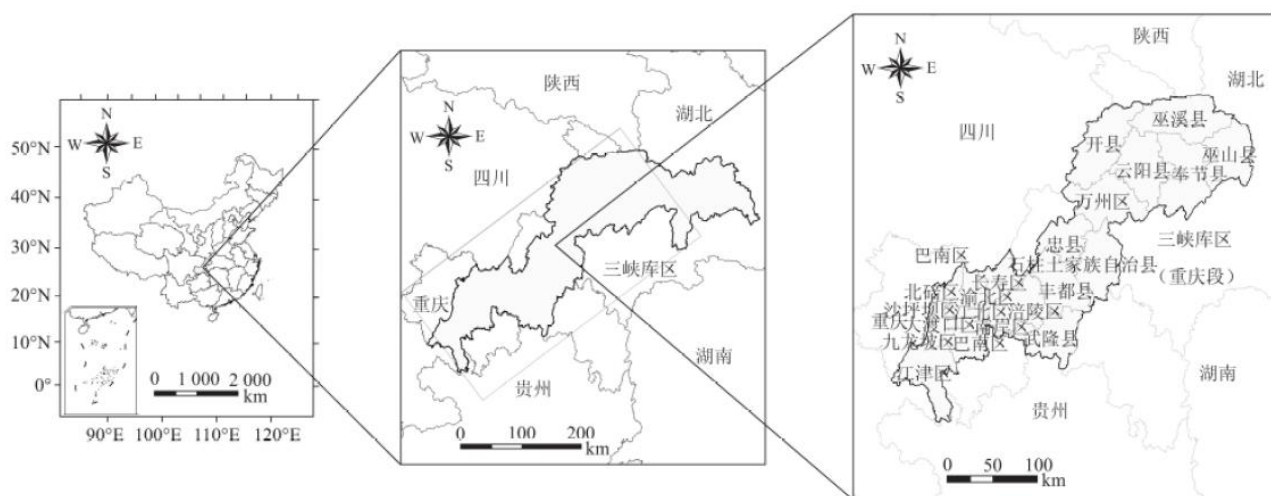


图 1 研究区区位

Fig. 1 Location of Study Area

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究所用 Landsat TM 影像数据和 DEM 数据来自中国科学院计算机网络信息中心-科学数据中心地理空间数据云。土地覆被数据,来自国家科技基础条件平台-国家地球系统数据共享平台-西南山地科学数据中心,包括 1986 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2014 年 6 期土地覆被数据及行政界线数字线划图。研究所用气象站实测气温数据,来自重庆市气象局和中国气象科学数据共享服务网,包括 1980~2014 年研究区内 17 个气象站点各月温度数据。城镇化率来自重庆统计信息网《重庆市统计

年鉴》^[25]。

2.2 研究方法

通过综合指数法构造城镇发展指数，其由标准化后的三峡库区(重庆段)各区县城镇建设用地面积和城镇化率通过加权叠加得到。鉴于此，本研究引入变异系数确定权重的方法构造城镇发展指数，其优点在于能客观地反应各指标的相对重要程度，避免菲尔德法的主观性且能削弱极值指标对结果的影响。考虑到研究区域气象站点分不均，个别区县无气象站点，且直接应用气象站点数据只能表征站点周围小范围的气候状况，故本文利用气象站点数据和 DEM 数据，通过基于地形因子的普通克里格插值方法进行站点观测数据的气温空间化并进行精度检验，对提取的每个区县的气温进行标准化并构建气温变异指数^[26, 27]。利用一元线性回归模型观察城镇化发展指数(UDI)与气温变异指数(ATCI)两个变量间依存的变化关系，并进行显著性检验。运用图谱方法可视化表达城镇发展指数格局、气温变异指数格局及城镇发展的气温响应诊断信息等，见表(1)。

表 1 数据与方法

方法	数据来源	名称	计算表达式	指标含义
指数 计算 方法	Landsat TM 影像数据 多期土地利用类型图 行政界线数字线划图 统计年鉴数据	变异系数	$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{x}_i} \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$	V_i 是第 i 项指标的变异系数； σ_i 是第 i 项指标的标准差； $\bar{x}_i$ 是第 i 项指标的平均数
		权重	$W_i = \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i}$	W_i 为第 i 指标的权重
		城镇发展指数	$UDI = W_m \times C_i + W_n \times P_i$	UDI 为城镇发展指数； W_m 为城镇建设用地面积的权重； C_i 表示区县城镇建设用地面积标准化后的值； W_n 表示该区县城镇化率的权重； P_i 表示该区县城镇化率标准化后的值
		多元回归模型	$T_r = aH + bX + cY + dS + eA + F$	T_r 由地形因子回归得到的温度； X 为经度； Y 为纬度； H 为海拔高度； S 为坡度； a, b, c, d, e 为回归系数； F 为常数项
标准化 方法	气象站点数据 DEM 数据	气温变异指数	$ATCI = T_r + T_{residual}$	ATCI 是最终得到的气温变异指数； T_r 为栅格化的地形要素回归温度值； $T_{residual}$ 为空间化的残差，是对回归残差插值得到
	城镇发展指数 气温变异指数	min - max 标准化	$x^* = \frac{x - \min}{\max - \min}$	$\max$ 为样本数据的最大值； $\min$ 为样本数据的最小值
	气温变异指数	平均绝对误差 精	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ABS(T_o - T_e)$	T_o 为站点观测值； T_e 为站点预测值； n 为站点数

度检验			
数据	均方根误差精度	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_o - T_e)^2}$	
分析	一元线性回归	$y = a + bx$	6 为线性趋势;a 为回归常数
方法	显著性检验	$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2 - 2\gamma\sigma_{x_1}x_2}{n-1}}}$ $\bar{x}_1$ 和 $\bar{x}_2$ 分别为两样本平均数; $\sigma_{x_1}^2$ $\sigma_{x_2}^2$ 分别为两样本方差; γ 相关样本的相关系数	
	城镇发展指数 气温变异指数		

3 结果分析

3.1 城镇发展指数格局图谱

城镇建设用地作为经济发展的载体，对推进城市发展及人居环境建设起了很大作用。从 20 世纪 80 年代开始到 2014 年，三峡库区(重庆)城镇建设用地总量急剧增长。1986 年，库区内城市建设用地的总量为 262.23km²，2014 年，其总量增长到 1267.42km²，增加了 1004.79km²，增长了 3.83 倍，年均增长 35.89km²。从空间分布看，位于主城九区为主的江北区、渝北区和沙坪坝区等区县城镇建设用地增加量最为显著，其次是涪陵区、江津区和长寿区，巫溪县、巫山县以及武隆县等县区城镇建设用地增加量较少。说明库区内部(重庆段)城市建设发展分布格局呈西南高东北低格局分布。但从增长速度看，位于渝东北的奉节县、云阳县、巫溪县、巫山县和渝东南武隆县、石柱县等各县区增长速度迅猛，增长倍数均超过了 3.83 的全域平均水平，增长动力强劲(表 2)。

表 2 城镇建设用地与城镇发展指数统计表

区域	1986 年建设 用地（km²）	2014 年建设 用地（km²）	建设用地 增长倍数	1986 年城 镇发展指数	2014 年城 镇发展指数	城镇发展 指数年增长率
全域	259.227 7	1 267.417 9	3.83	0.158 0	0.359 7	4.56%
北碚	11.829 1	62.781 9	4.31	0.090 7	0.326 0	9.26%
沙坪坝	33.579 4	106.546 8	2.17	0.203 3	0.517 0	5.51%
江津	18.659 9	106.452 1	4.70	0.326 8	0.652 5	3.56%
忠县	3.631 3	40.156 8	10.06	0.169 0	0.316 5	3.11%
石柱	2.500 9	22.658 7	8.06	0.068 7	0.164 5	4.98%

渝北	9.161 8	188.546 8	19.58	0.148 7	0.886 7	17.73%
巴南	23.904 1	65.514 2	1.74	0.212 4	0.388 0	2.95%
长寿	11.793 2	60.154 7	4.10	0.180 2	0.369 0	3.74%
涪陵	8.434 2	58.456 9	5.93	0.196 8	0.413 5	3.93%
丰都	4.192 1	22.132 8	4.28	0.131 3	0.217 3	2.34%
武隆	1.112 4	29.547 8	25.56	0.050 9	0.163 5	7.91%
万州	12.902 2	64.589 4	4.01	0.312 1	0.549 8	2.72%
开县	6.168 4	38.548 2	5.25	0.254 6	0.441 7	2.63%
云阳	3.245 1	24.548 6	6.56	0.206 7	0.327 5	2.09%
巫溪	1.458 4	14.658 9	9.05	0.073 2	0.135 1	3.02%
奉节	4.848 9	25.012 8	2.19	0.174 5	0.274 4	2.04%
巫山	2.352 6	21.254 6	8.03	0.085 1	0.177 9	3.89%
大渡口	12.004 2	31.254 3	1.60	0.039 6	0.138 1	8.89%
南岸	24.197 3	81.354 8	2.36	0.131 5	0.399 5	7.28%
江北	19.561 8	72.135 4	2.69	0.105 2	0.352 1	8.38%
九龙坡	26.774 7	110.854 6	3.14	0.162 0	0.549 3	8.54%
渝中	16.915 7	20.256 8	0.20	0.152 2	0.154 4	0.05%

就城镇发展指数来看，上升趋势亦非常明显，年均增长率为 4.56%，在时间尺度表现出明显阶段性增长特征，1986～2000 年，城镇发展指数年均增长率为 2.12%，2000～2014 年，城镇发展指数年均增长率为 5.40%，由此可见，重庆直辖以来特别是进入 2000 年以后，得益于国家宏观政策倾向及社会经济的高速发展，整个库区城镇化发展呈现出井喷的现象。从空间上看，主城九区城镇发展指数增长率明显高于其它县区，渝北区城镇发展指数年增长率最高为 17.73%，主城其它县区如北碚、大渡口、南岸、江北、九龙坡等城镇发展指数年增长率均超过 7%。说明无论从人口地理集中度还是经济地理集中度等城市发展综合水平来看西南高东北低格局分布格局明显(图 2)。

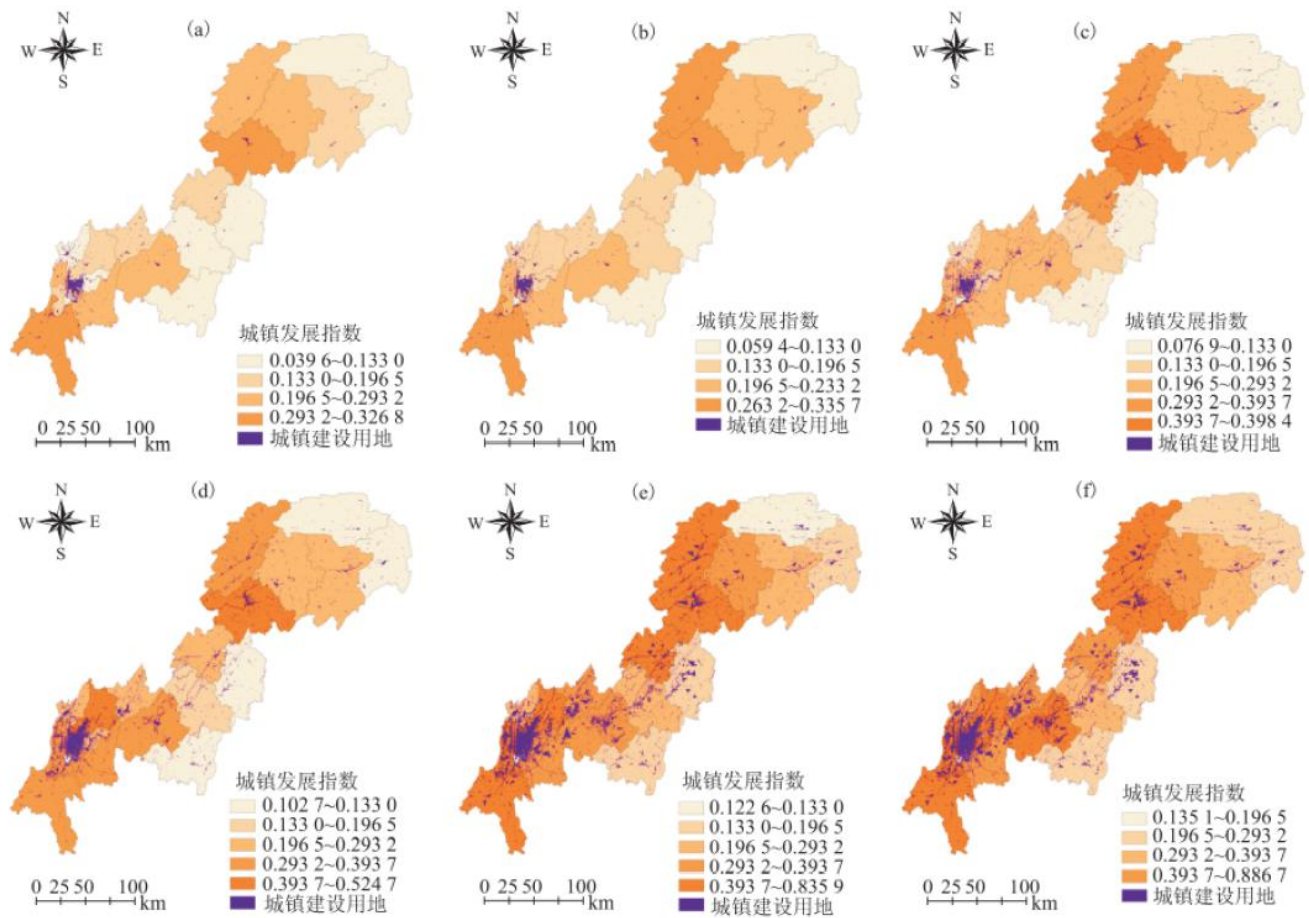


图 2 城镇化发展指数格局图谱
Fig. 2 UDI Pattern Geo-info Spectrum

3.2 气温变异指数格局图谱

气温变异指数表征一个地方的热状况特征。本文运用与土地覆被数据相对应年份的前后共 3a 的气温变异指数平均值代替对应年份的值, 可以看到, 近 34a 来三峡库区的气温变异指数上升趋势显著, 气温变异指数的平均值为 0.5844。1986 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年、2014 年气温变异指数的分别为 0.4965、0.5231、0.5947、0.6514、0.6365、0.6523。可以看到, 从 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期气温变异指数虽略有上升, 但上升幅度不大。从 90 年代后期开始, 上升幅度明显加大, 特别 2005 年到 2014 年间气温变异指数维持在一个较高水平。从空间尺度看, 气温变异指数除石柱呈振荡起伏外其余区县均呈上升趋势, 主城九区的增温比其周围其它区县增温效果显著。位于渝东北的忠县、巫溪两县增温相对于该区域的其他区县增温幅度较缓慢(图 3)。

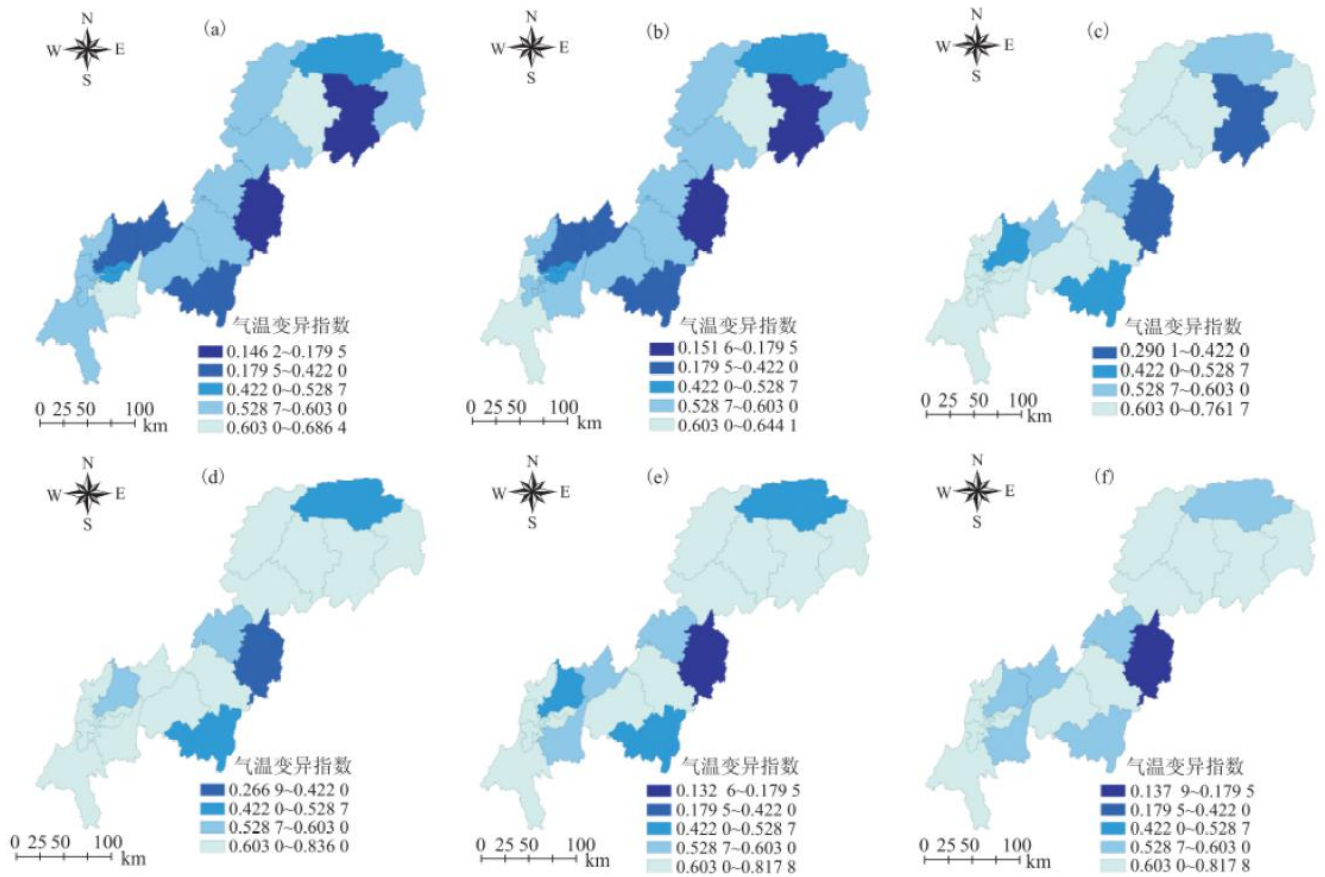


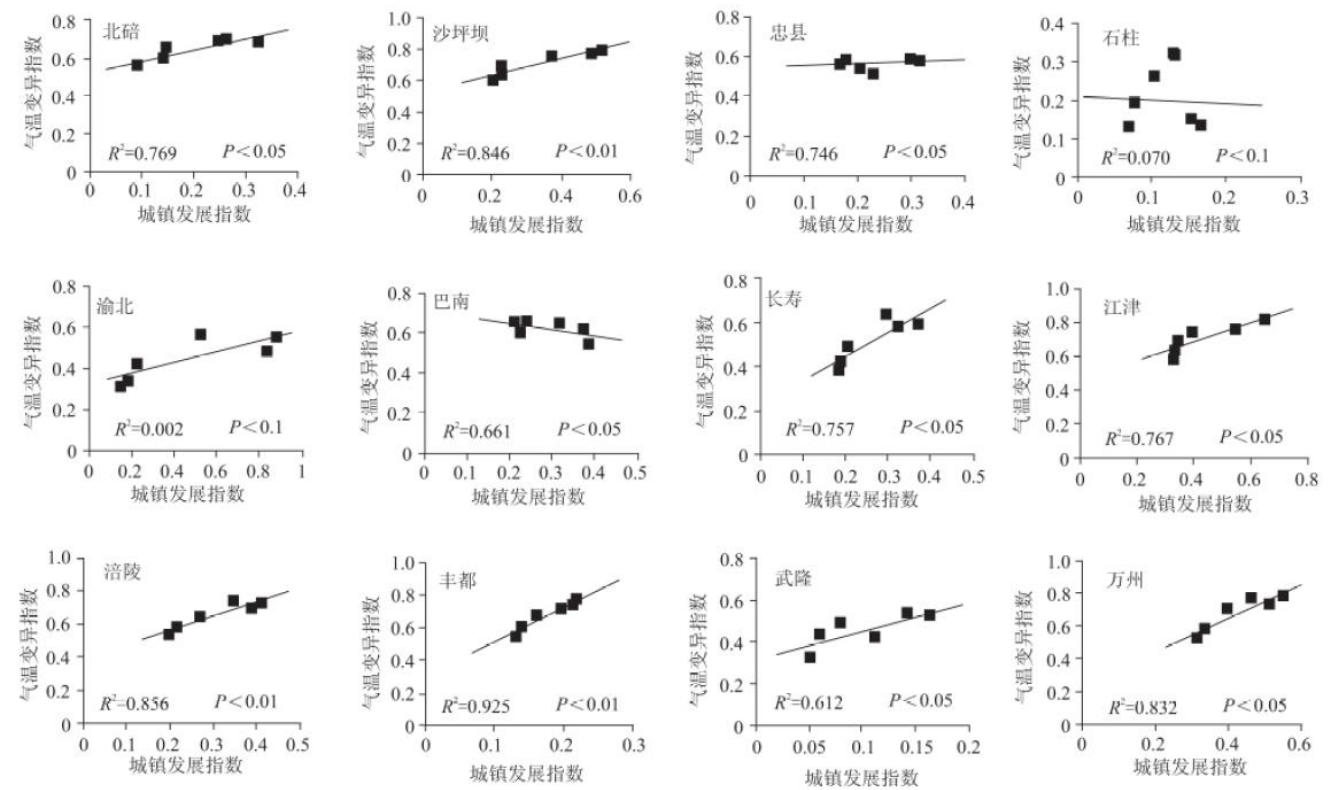
图3 气温变异指数格局图谱
Fig. 3 ATCI Pattern Geo-info Spectrum

作为一个特殊的研究区域，三峡工程的气候效应，特别是三峡库区蓄水后对区域气温变化的影响引起了广泛关注。李艳等^[28]通过控制试验与改变三峡库区水体结构的理想试验，分析了三峡库区蓄水后可能引起的区域气候效应。张天宇等^[18]通过对比近库区与远库区气象站点研究三峡水库局地效应。以上研究均表明三峡大坝的水体扩展对库区区域气温变化的影响微弱，三峡水利工程建设并未导致库区附近地区气温出现明显变化。中国气象局国家气候中心在对三峡水利工程气候效应分析与评估中指出，库区蓄水只对库区附近 20km² 范围内气温变化产生微弱影响。

3.3 城镇发展的气温响应诊断图谱

图(4)分别给出了三峡库区(重庆)各县区近 30a 城镇发展的气温响应情况，可以看出除石柱、巴南两县区拟合方程斜率为负外，其余县区气温变异指数与城镇化发展指数均呈正相关，表明绝大部分县区随城镇化发展指数的增加，气温呈上升趋势。有 15 个县区的拟合效果达到显著水平($P < 0.05$)，沙坪坝、涪陵、丰都 3 个县区 t 概率(p 值)达到了 0.01 的显著性水平。经过查阅气象站点历史资料，发现巴南和石柱两气象站点均进行过迁站，虽然迁站后会进行气象资料的均一化处理，但其造成的数据误差在所难免。结果表明大规模的人口集聚和城市建设用地的快速增长可导致气温升高。究其原因，首先城市化建设改变了城市中大气动力学特征和下垫面的热交换性质，造成地表覆被和土地利用的迅速改变，因为每种土地利用类型的热学特征、辐射特征、人为热不同，水泥、建筑物、道路等城市用地类型人为释放热量大、温度高，而以土壤为主的裸地、植被以及水体等温度低。其次，随着城市化的快速推进，城市规模不断扩大，导致人口高度集中，人口生活方式发生了极大的变化，如私家车、生活电器保有量等呈指数增长，导致温室气体的大量排放，从而起到增温效果。快速城镇化亦会导致产业结构的重大调整，二三产业占比大大提高，其往往伴随着更高代价的碳排放。以上因素均对城镇发展的气温正向变异有较强解释能力。通过与更多区

域尺度气温变化情况的对比发现，三峡库区(重庆段)气温的变化趋势与其它区域尺度并不完全一致。虽然这种升温趋势由自然因素和人类活动共同造成，但最近 50a 来的变化主要由人类活动造成^[29]。



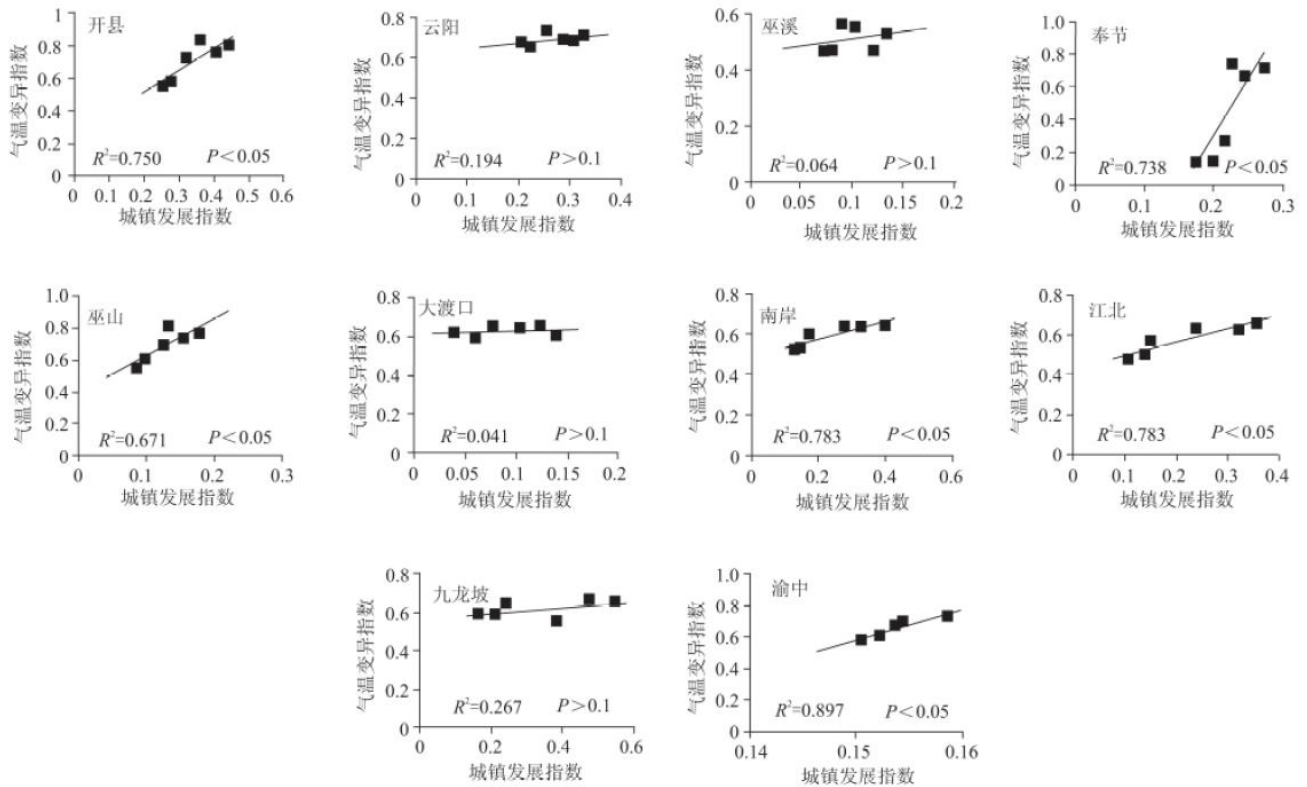


图 4 城镇发展的气温响应诊断图谱

Fig. 4 Geo-info Spectrum of Temperature Response Sequence and Pattern Corresponding to Urbanization Development

4 结果与讨论

通过三峡库区(重庆段)1980~2014年6期土地利用类型数据、行政界线数字线划数据、气象站点数据、DEM和统计年鉴等数据分析,运用图谱可视化方法,分别分析了三峡库区(重庆段)城镇化发展指数格局、气温变异指数格局的变化特征,以及城镇发展的气温响应诊断情况,得到以下结论:

(1)三峡库区(重庆段)城镇建设用地和城镇化发展指数均呈增高趋势。研究区城镇建设用地从1986年的262.23km²增长到2014年的1267.42km²,增长3.83倍。城镇发展指数年均增长率为4.56%,且2000年以后增长加快。空间上呈现出西南高东北低格局。

(2)就气温指数来看,从20世纪80年代中期到90年代中期气温变异指数上升幅度不大,从90年代后期开始,上升幅度明显加大,特别年到2014年间气温变异指数维持在一个较高水平,库区蓄水对气温变异指数的影响未达到显著水平。

(3)从城镇发展的气温响应情况来看,有20个区县城镇发展指数和气温变异指数呈正相关关系,15个区县正相关拟合度高,t概率值(p值)达到了0.05的显著性水平。快速城镇化进程中的土地利用类型、生活方式和产业结构的变化对区域气温正向变异具有较强解释力。且通过与更多尺度的气温变化情况对比分析发现,三峡库区(重庆段)气温变异指数的上升更多来自库区快速城镇化的影响。

需要指出的是,区域气温的变化受全球大气候、气象站点周围环境等众多因素影响。虽然温度变化与城镇化发展的关系已越来越多地被认识,要理清影响城市气温变化的机理,还需更多的资料和数据来进行验证。

致谢:刘睿老师、李军老师、贺正洋同学以及国家地球系统数据共享平台—西南山地科学数据中心和重庆市气象局的数据支撑,在此表示谢忱。

参考文献:

[1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis:Summary for Policymakers.

[2] 韩翠华,郝志新,郑景云. 1951—2010年中国气温变化分区及其区域特征[J]. 地理科学进展,2013,32(06):887—896.

【HAN C H, HAO Z X, ZHENG J Y. Regionalization of temperature changes in China and characteristics of temperature in different regions during 1951—2010 [J]. Progress in Geography, 2013, 32(06): 887—896.】

[3] 周浩,杨宝钢,程炳岩. 重庆近46年气候变化特征分析[J]. 中国农业气象,2008,29(01):23—27.

【ZHOU H, YANG B G, CHENG B Y. Analysis of characteristics of climate change over last 46 years in Chongqing. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(01): 23—27.】

[4] 戴晓燕,张利权,过仲阳. 上海城市热岛效应形成机制及空间格局[J]. 生态学报,2009,29(7):3995—4004.

【DAI X Y, ZHANG L Q, GUO Z Y. Mechanism of formation of urban heat island effect and its spatial pattern in Shanghai [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3995—4004.】

[5] 林学椿,于淑秋. 北京地区气温的年代际变化和热岛效应[J]. 地球物理学报,2005,48(1):39—45.

【LIN X C, YU S Q. Interdecadal changes of temperature in the Beijing region and its heat island effect[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(1): 39—45.】

[6] WILLMOTT C J. On the Evaluation of model performance in physical geography [M]. Spatial Statistics and Models. Springer Netherlands, 1984: 443—460.

[7] 林德生,吴昌广,周志翔. 三峡库区近50年来的气温变化趋势[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(9):1037—1043.

【LIN D S, WU C G, ZHOU Z X. Trends of air temperature variations in Three Gorges Reservoir area from 1960 to 2006 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(9): 1037—1043.】

[8] CUI L, SHI J. Urbanization and its environmental effects in Shanghai [J]. China Urban Climate, 2012, 2(2): 1—15.

[9] KATO S, YAMAGUCHI Y. Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM+ Data: Separation of anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux [J]. Remote Sensing of Environment,

2005, 99(1-2) : 44-54.

[10] WONG N H, JUSUF S K, TAN C L. Integrated urban microclimate assessment method as a sustainable urban development and urban design tool [J]. *Landscape & Urban Planning*, 2011, 100(4) : 386-389.

[11] 李月臣, 刘春霞, 闵婕. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 [J]. *生态学报*, 2013, 33 (1) : 168-178.

【LI Y C, LIU C X, MIN J. RS /GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir Area(Chongqing section) [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(1) : 168-178. 】

[12] MITSCH W J, LU J, YUAN X, et al. Optimizing ecosystem services in China. [J]. *Science*, 2008, 322 (5901) : 528 -528.

[13] 杨培峰. 恢复生态学视角下生态脆弱地区的城镇化问题思考——以重庆三峡库区为例 [J]. *山地学报*, 2010, 28(2) : 183-190.

【YANG P F. The study on Eco-flimsily areas urbanism on the angle of resumptive ecological view: example on Chongqing Sanxia Reservoir area [J]. *Journal of mountain science*, 2010, 28 (2) : 183-190. 】

[14] 闵婕, 杨庆媛, 唐璇. 三峡库区农村居民点空间格局演变——以库区重要区万州为例 [J]. *经济地理*, 2016, 36(2) : 149-158.

【MIN J, YANG Q Y, TANG X. Spatial pattern evolution of rural settlement in the Three Gorges Reservoir area: a case in Wanzhou County [J]. *Economic Geography*, 2016, 36 (2) :149-158. 】

[15] 班军梅, 缪启龙, 李雄. 西南地区近 50 年来气温变化特征研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2006, 15 (03) :346 -351.

【BAN J M, MIAO Q L, LI X. Analysis of characteristics of temperature variations in southwest china in recent 50 years [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2006, 15(03) : 346-351. 】

[16] 王梅华, 刘莉红, 张强. 三峡地区气候特征 [J]. *气象*, 2005, 31(7) : 68-72.

【WANG M H, LIU L H, ZHANG Q. Climatic characteristics in Sanxia area [J]. *Meteorol Month*, 2005, 31(7) : 68-72. 】

[17] 廖要明, 张强, 陈德亮. 1951-2006 年三峡库区夏季气候特征 [J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(6) : 368-372.

【LIAO Y M, ZHANG Q, CHEN D L. Summer climate characteristics in the Three Gorges Area during 1951-2006 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3 (6) : 368 -372. 】

[18] 张天宇, 范莉, 孙杰. 1961 ~ 2008 年三峡库区气候变化特征分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19 (z1) :52

【ZHANG T Y, FAN L, SUN J. Characteristics of climate change in the Three Gorges Reservoir Area during 1961—2008 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(z1) : 52—61. 】

[19] 陈鲜艳, 宋连春, 郭占峰. 长江三峡库区和上游气候变化特点及其影响[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(11) : 1466—1471.

【CHEN X Y, SONG L C, GUO Z F. Climate change over the Three Gorge Reservoir and upper Yangtze with its possible effect [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22 (11) : 1466—1471. 】

[20] 赵万民, 汪洋. 山地人居环境信息图谱的理论建构与学术意义 [J]. 城市规划, 2014, 38(4) : 9—16.

【ZHAO W M, WANG Y. Theoretical construction of mountain human settlements info-spectrum and its academic significance [J]. City Planning Review, 2014, 38(4) : 9—16. 】

[21] 汪洋, 赵万民. 人居环境研究的信息论科学基础及其图谱意象系统 [J]. 地理学报, 2012, 67(2) : 253—265.

【WANG Y, ZHAO W M. Information theory for human settlements research and its info-spectrum images system [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(2) : 253—265. 】

[22] 陈菁, 罗家添, 吴端旺. 基于图谱特征的中国典型城市空间结构演变分析 [J]. 地理科学, 2011, 31 (11) :1313—1321.

【CHEN J, LUO J T, WU D W. The evolution of special structure of typical cities in China on the basis of graph spectral features [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31 (11) :1313—1321. 】

[23] 李月臣, 刘春霞, 赵纯勇. 三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价及其空间分异特征 [J]. 生态学报, 2009, 29(2) : 788—796.

【LI Y C, LIU C X, ZHAO C Y. Assessment and spatial differentiation of sensitivity of soil erosion in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2) : 788—796. 】

[24] 刘春霞, 李月臣, 杨华. 三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价 [J]. 地理学报, 2011, 66(5) : 631—642.

【LIU C X, LI Y C, YANG H. RS and GIS-based assessment for Eco-environmental sensitivity of the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(5) : 631—642. 】

[25] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1980—2014.

[26] 许民, 王雁, 周兆叶. 长江流域逐月气温空间插值方法的探讨 [J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21 (3) :327—334.

【XUN M, WANG Y, ZHOU Z Y. Discussion of methods of spatial interpolation for monthly temperature data in The Yangtze River basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(3) : 327—334. 】

[27] 李月臣, 何志明, 刘春霞. 基于站点观测数据的气温空间化方法评述 [J]. 地理科学进展, 2014, 33 (8) : 1019—1028.

【LI Y C, HE Z M, LIU C X. Review on spatial interpolation methods of temperature data from meteorological stations [J]. Progress in Geography, 2014, 33(8) : 1019—1028. 】

[28] 李艳, 高阳华, 陈鲜艳, 等. 三峡下垫面变化对区域气候效应的影响研究 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 2011, 47(03) : 330—338.

【LI Y, GAO Y H, CHEN X Y, etc. The impact of the land use change associated with the Three Gorges Dam on regional climate change [J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences), 2011, 47(03) : 330—338. 】

[29] 秦大河, 丁一汇, 苏纪兰, 等. 中国气候与环境演变评估(I) : 中国气候与环境变化及未来趋势 [J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(01) : 4—9.

【QIN D H, DING Y H, SU J L. Assessment of climate and environment changes in China (I) : climate and environment changes in China and their projection [J]. Adv Clim ChangRes, 2005, 1(01) : 4—9. 】