

近 50 年来云南气候带的变化特征

程建刚¹, 王学锋², 范立张², 杨晓鹏², 杨鹏武²

(1. 云南省气象局, 昆明 650034; 2. 云南省气候中心, 昆明 650034)

摘 要:利用云南 115 个气象观测站 1961–2006 年逐日平均气温求算稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温, 并对积温资料按年代建立与海拔、经度和纬度相关联的小网格推算模型, 再应用地理信息系统(GIS)订正到 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 网格点, 得出云南 5 个不同年代细网格积温分布。在此基础上划分 7 个气候带地理分布图, 并分别计算其面积。据此分析, 近 50 年来云南气候带总体上呈现热带亚热带范围扩大、温带范围减少的变化趋势, 其中以北热带增加最明显, 增幅达到 90.2%; 而南温带减少最明显, 减幅为 12.5%。在年代际变化上, 1960–1970 年表现出热带亚热带范围减小, 温带范围增加; 从 1970 年后则呈现热带亚热带范围快速增加, 温带范围减小的趋势, 而 1990 年代以来是气候带变化最大的时期。

关 键 词: 气候带; 时空分布; 地理信息系统; 云南

1 引言

在全球气候变暖的背景下, 云南的气温变化与全球、北半球、中国的变化趋势基本一致^[1], 虽然在金沙江沿岸一带小区域内气温呈下降趋势^[2], 但观测资料显示, 云南大部地区是增温的。有研究表明, 气候变暖对农业的影响将会越来越明显, 且云南的主要粮食作物水稻和玉米对气候变化的敏感性和脆弱性都将加大^[3,4]。气候变化还对农作物品种分布和种植界限产生影响^[5,6], 这种影响会直接表现在气候带变化方面。例如气温升高会带来气候带北移^[7], 气温平均升高(降低) 1°C , 亚热带北界要向北(南)移 1 个纬度^[8]。由于气候带的调整和面积的增减将引起农业种植结构的调整与变化, 对生态系统也将产生深刻的影响。因此, 分析气候变暖背景下气候带变化规律对于云南可持续发展具有重要意义。

对于云南气候带的划分, 前人已做过许多工作, 例如有研究表明, 由于年较差较小, 云南积温的有效性明显比国内其他地区偏高, 因此在我国的气候带划分中, 被视为一个特殊地域加以分类^[9–11]; 除经度、纬度因素外, 云南气候带分布还与低纬高原山地气候特征密切相关, 存在着从北温带到北亚热带 7 种气候带^[12,13], 并呈海拔高低而分布; 有学者^[14]

对云南热区的热量指标进行了研究, 认为作为气候带划分重要因素的热量指标的空间分布非常复杂。但在过去的研究中, 云南气候带的划分往往是根据常规气象观测站的气候统计记录来进行的, 在以山地为主的区域确定气候带分布的过程中, 仅以较为稀疏的气象观测站点观测资料为依据来划分气候带存在较大的粗放性。而在气候带的变化方面研究甚少。

本文采用气象要素与海拔高度、纬度和经度的关联建立推算模型, 并用地理信息系统(GIS)推算出云南地区 $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ 小网格稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温分布, 据此划分出云南气候带的空间分布, 计算了各气候带的区域面积, 并对近 50 年来的变化进行分析研究, 得到一些有价值的结论。类似方法在气温和积温的山地区域分布研究方面, 已经被许多学者所采用, 均取得较好的效果^[15–19]。实践证明, 这种方法对于精细分析云南气候带的分布及变化具有明确的科学性和可操作性。

2 资料及分析方法

2.1 基础资料

本文所采用的基础资料为云南 125 个气象观

收稿日期: 2008–10; 修订日期: 2008–12.

基金项目: 云南省自然科学基金重点项目“云南重大气候灾害形成机理研究”(2003D0014Z); 云南省气象局多轨道业务研究专项“动力模式产品在云南短期气候预测的应用研究”。

作者简介: 程建刚(1960–), 男, 云南人, 高级工程师, 主要研究方向为气候和气候变化。E-mail: cjjg20012001@yahoo.com.cn

通讯作者: 王学锋, E-mail: wxf.yncc@yahoo.com.cn

测站 1961–2006 年逐日平均气温记录,据此计算出各年稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温。在使用上述资料时,为减少由于观测环境变化所引起的随机误差,剔除了因观测站搬迁造成气温变化较为明显的站点资料,实际使用的资料站点数为 115 个,其分布如图 1。站点较均匀地分布于全省各地,能够较好地代表整个区域的状况。

2.2 推算模型

由于云南的地形地貌复杂,山地特征明显,故本文在进行气象要素小网格空间分析时,对基本数据进行了海拔、纬度和经度的订正。具体方法是,将积温(J)看成是纬度(φ)、经度(λ)和海拔(h)的函数,即 $J=f(\varphi, \lambda, h)$,采用多元回归方法建立模型:

$$J=a_0+a_1\varphi+a_2\lambda+a_3h$$

再将经度、纬度和海拔代入即可得到网格点积温的拟合值。

因本文研究的重点是年代际变化,而且气候带的求算也以一定的时间尺度为基础。故首先将各站点的年积温按年代求平均(其中 2000 年代值取 2001–2006 年平均值),再对所获得数据按 1971–2000 年气候平均时段和 1960–2000 年 5 个年代各

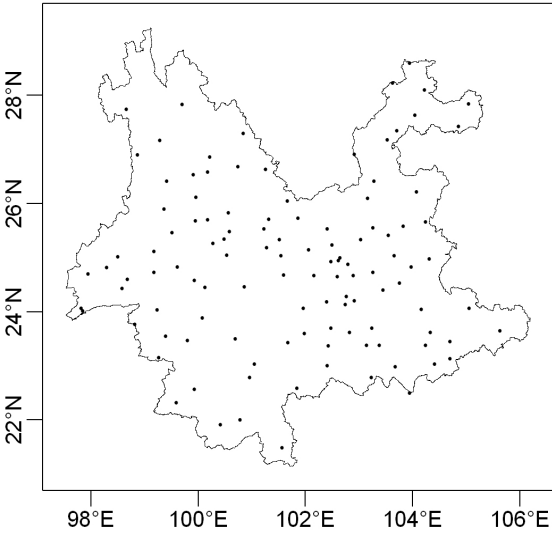


图 1 云南 115 个测站位置分布

Fig.1 Distribution of 115 meteorological stations in Yunnan

115 个样本按上述方程建立多元回归模型(表 1),最后利用 GIS 获取的地理信息,用该回归模型将云南省范围内按纬向和经向上均取 0.01° 建立小网格数据集,求得各年代稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温总计约 7.8×10^5 个网格点数据。

表 1 云南稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温小网格推算模型

Tab.1 The small grid model of accumulated temperature in Yunnan ($\geq 10^{\circ}\text{C}$)

时段	回归方程	复相关系数	置信度
1971-2000 年	$J=30121.79551-239.218304\varphi-154.366676\lambda-2.06557332h$	0.937291	95%
1960 年代	$J=28057.71137-229.7105548\varphi-136.2662811\lambda-2.081331795h$	0.927807	95%
1970 年代	$J=28328.37381-211.6772479\varphi-143.9201447\lambda-2.061523855h$	0.933303	95%
1980 年代	$J=29518.94012-230.2211596\varphi-150.7911627\lambda-2.060172363h$	0.932262	95%
1990 年代	$J=32518.0726-275.7565046\varphi-168.3887206\lambda-2.07502374h$	0.940591	95%
2000 年代	$J=30933.64388-250.8079002\varphi-156.5345309\lambda-2.128916231h$	0.944964	95%

2.3 误差分析

采用 2.2 节给出的回归方程对 115 个站点的 30 年平均稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温进行推算,并用推算值与 30 年实测值比较,结果表明,有 58 个站点(占 50.43%)相对误差在 $\pm 5\%$ 之间,93 个站点(占 80.87%)相对误差在 $\pm 10\%$ 之间,只有 5 个站点(占 4.35%)相对误差超过了 $\pm 20\%$ 。

在区域分布上,滇中大部误差在 5%以内,而相对误差在 $\pm 15\%$ 以上的区域主要集中在云南西北部(与西藏相接)、北部(金沙江河谷,与四川相接)、东北部(与四川、贵州相接)、西部(与缅甸相接)的边缘地

区,并且以上区域的地理空间分布是孤立的,对本文的研究对象影响在可以接受的范围内。

因此,可认为采用本方法推算结果是可信的。

2.4 气候带划分指标的选取

由于低纬高原地区气温年较差小的气候特点,在相同的年平均气温条件下,云南稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温和持续日数、最冷月平均气温等指标与国内其他地区相比是偏高的,即积温的有效性高,因而在确定气候带界限温度时比全国的标准偏低。本文采用的气候带划分标准为文献[20]给出的以积温为主导的指标,持续日数仅作为参考指标(表 2)。

表 2 云南气候带的划分标准

Tab.2 Division standard for climatic zones in Yunnan

气候带	北温带	中温带	南温带	北亚热带	中亚热带	南亚热带	北热带
≥10℃积温(℃)	<1600	1600~3200	3200~4200	4200~5000	5000~6000	6000~7000	>7500
≥10℃持续日数(d)	<100	100~160	160~220	220~240	240~300	300~350	350~365

3 气候带分布和变化特征

3.1 云南气候带的空间分布特征

按照积温随纬度增加而递减的规律,云南的气候带从南向北呈现从北热带至北温带过渡的主流分布趋势。除纬度因素外,影响云南气候带的另一个主要因素是海拔高差,且海拔因素的影响甚至超过了纬度因素。在海拔的空间分布上,云南地势北高南低,也支持了气候带分布随纬度的排列。但由于云南的山地气候特征,气候带的空间分布较为复

杂,并不完全按照纬度均匀分布。

图 2 给出了 1971–2000 年 30 年云南 7 个气候带分布图,可以表征一个气候时段的平均状态。分析可知,热带和南亚热带多分布于滇南、滇西低纬度低海拔地区和元江、澜沧江河谷地带,滇中一带以中亚热带和北亚热带为主,南温带和中温带大部位于滇中东部和北部、滇东北地区,而北温带则主要位于滇西北与西藏接壤的高海拔区域和滇东北高海拔山区,海拔均在 3000m 以上,这也是这一气候带又被称为高原气候区的原因^[12]。

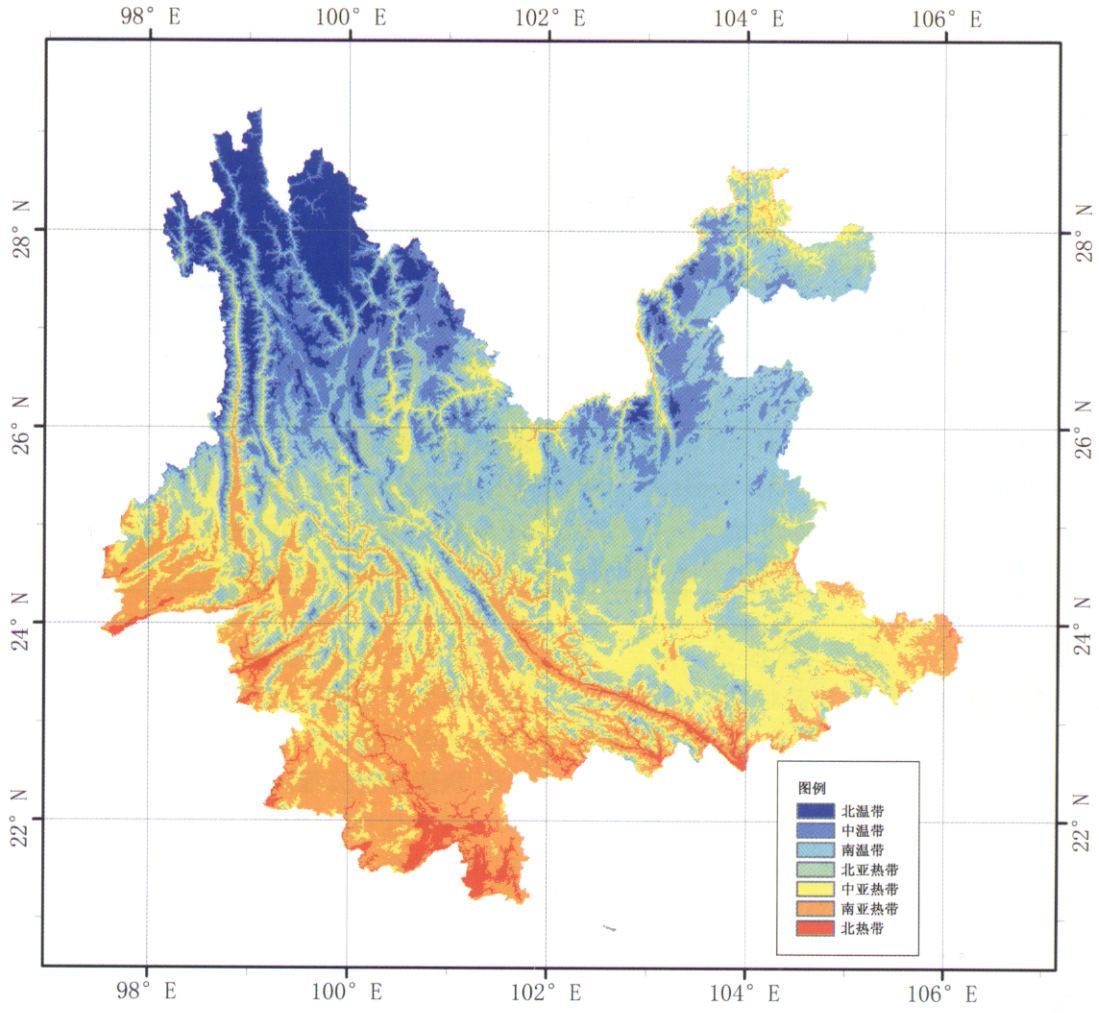


图 2 1970–2000 年云南气候带分布

Fig.2 Distribution of climatic zones in Yunnan (1971–2000)

云南气候带分布的另一特点是分散性。与山地垂直气候密切相关, 云南的气候带显得十分破碎, 而且分布也较零散。在云南南部的高山中有温带区域存在, 而在云南北部河谷地区地带也有南亚热带区域分布。

3.2 云南气候带分布的年代际变化

对比分析表明,从 1960–1970 年代气候带的变化是温带区域扩大, 北热带和亚热带区域缩小。1970 年代以后,则呈现北热带和南、中亚热带区域

逐渐扩大,北亚热带和温带区域减小的趋势,这种趋势在 1990 年代以后更加明显, 气候带的分布在气候变暖形势下呈现出整体向高海拔扩张和向高纬度北移的趋势。

本文分析的重点是气候变暖背景下云南气候带变化情况, 因而选择 2000 年代气候带分布情况与 1960 年代进行比较。图 3 给出 2000 年代云南气候带分布和 1960 年代热带或亚热带区域合成图。

以上区域中,以北热带的变化最为明显(图 3a),

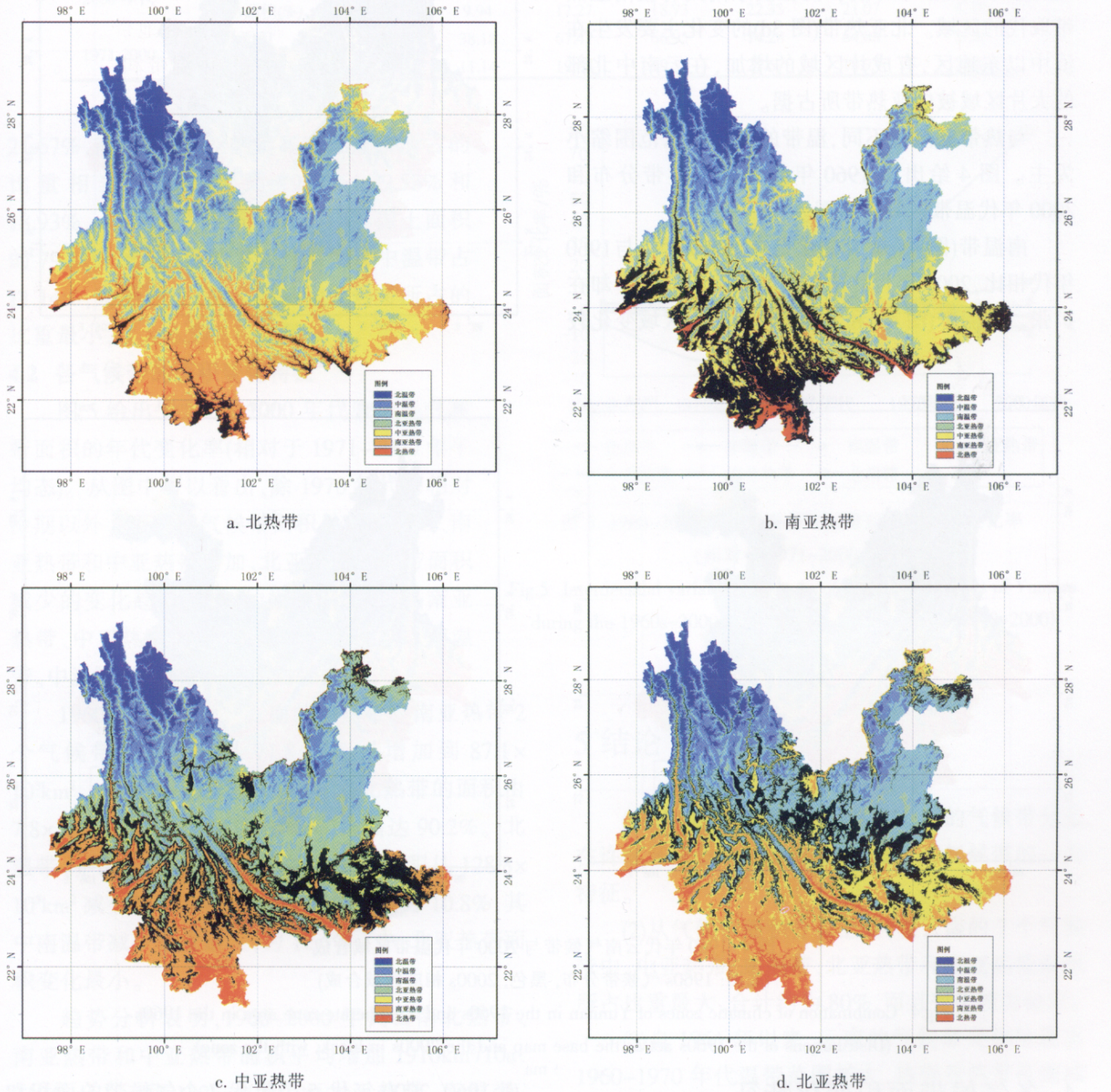


图 3 2000 年代云南气候带与 1960 年代热带亚热带区域合成
(底图 2000 年代气候带分布, 黑色区域: 1960 年代相应区域合成)

Fig.3 Combination of climatic zones of Yunnan in the 2000s and tropical and subtropical areas in the 1960s
(Distributions of the 2000s act as the base map and the 1960s in black, with the zone)

2000 年代与 1960 年代相比, 在云南南部和西部分布范围更广, 有多块新增区域, 怒江河谷也有大面积新增区, 而在元江河谷北热带北界的位置北移显著。

南亚热带分布变化不大(图 3b), 突出的变化是在东南部蒙自坝区和北部与四川接壤的金沙江流域上各有一块范围较大的新增连片区域, 而南部的部分区域被北热带所取代。中亚热带(图 3c)在滇中和滇西北有向北扩张的块状区域, 最明显的块状区域北移了约 0.5 个纬度, 而在滇东南则有被南亚热带取代的区域。北亚热带(图 3d)的变化主要发生在滇中以东地区, 有成片区域的增加, 在云南中北部的大片区域被中亚热带所占据。

与热带亚热带不同, 温带的变化则以范围缩小为主。图 4 给出了 1960 年代云南气候带分布和 2000 年代温带区域合成图。

南温带(图 4a)最大变化是在滇东地区, 与 1960 年代相比, 2000 年代其南界明显北移, 而北界却在扩张。中温带(图 4b)和北温带(图 4c)的区域变化较

小, 从图中只能看到其范围的缩小, 这两个气候带主要分布区域的滇西北和滇东北的高山上, 中温带海拔在 2400m 以上, 北温带海拔一般更达到 3000m 以上, 而且地势较为陡峭, 不大容易出现区域上大面积的位移, 分布变化体现在向高海拔区的扩展。

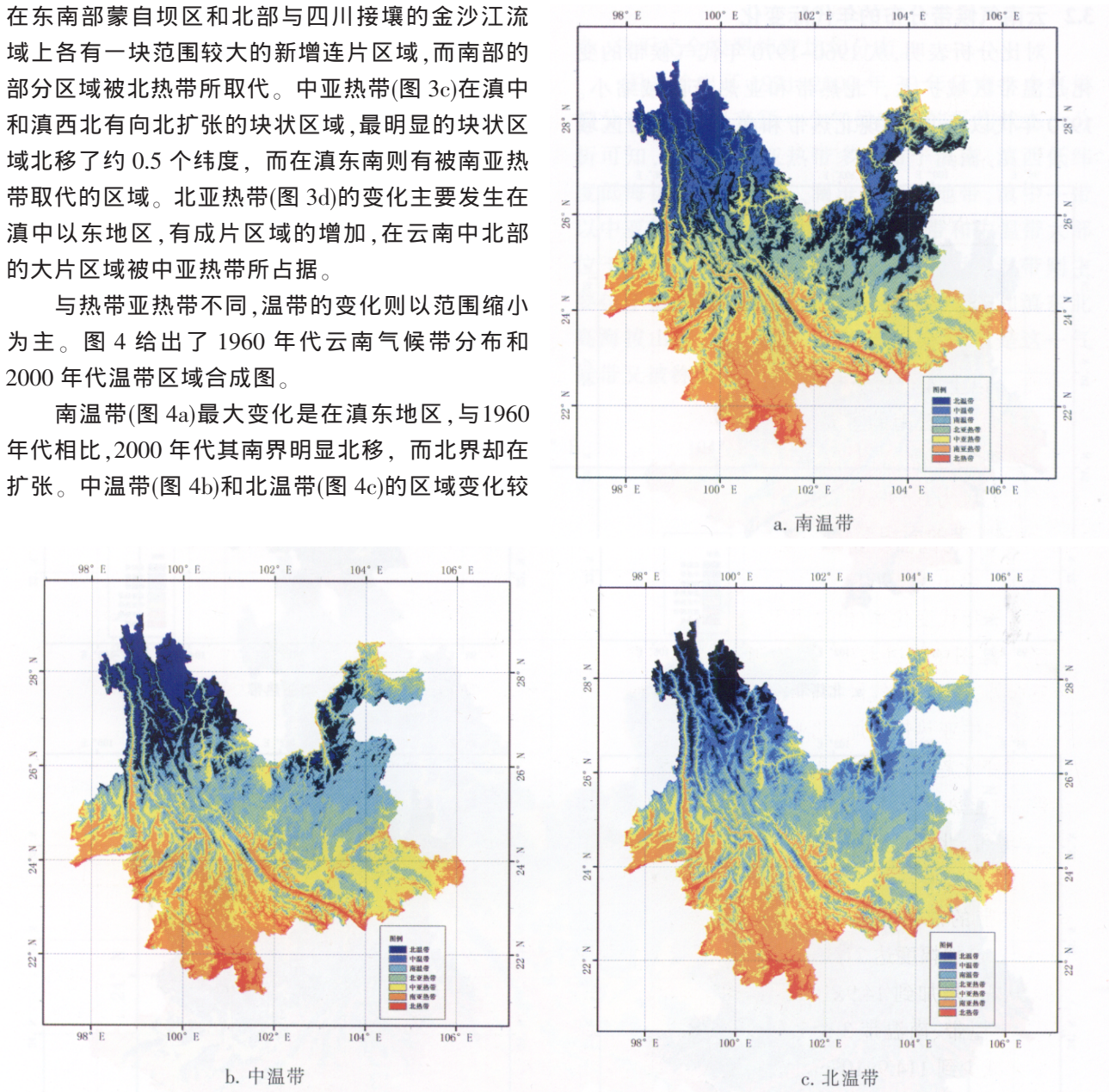


图 4 1960 年代云南气候带与 2000 年代温带区域合成
(底图: 1960s 气候带分布, 黑色: 2000s 相应区域合成)

Fig.4 Combination of climatic zones of Yunnan in the 1960s and a temperate zone area in the 1960s
(Distributions of the 1960s act as the base map and the 2000s in black, with the zone)

4 各气候带面积变化特征

4.1 各气候带面积和所占的比重

表 3 给出了经地理信息系统客观统计出的云

南 1960–2000 年代 5 个年代 7 个气候带的面积和所占比重。表中 1971–2000 年 30 年平均状况可以表征一个气候时段的平均态。从表中可知, 云南的 7 个气候带中, 中亚热带所占的比重最大, 达

表 3 云南 1960–2000 年代各气候带面积(10³km²)
Tab.3 Areas of seven climatic zones in Yunnan during the 1960s–2000s (10³ km²)

年代	面积	北温带	中温带	南温带	北亚热带	中亚热带	南亚热带	北热带
1960 年代	面积	23.20	37.96	67.69	66.89	75.19	63.72	7.84
	占总面积(%)	6.77	11.08	19.75	19.52	21.94	18.66	2.29
1970 年代	面积	22.39	38.22	69.65	68.74	74.82	62.48	6.44
	占总面积(%)	6.53	11.15	20.32	20.05	21.83	18.22	1.88
1980 年代	面积	22.36	37.98	67.82	67.64	74.76	64.41	7.77
	占总面积(%)	6.52	11.08	19.79	19.74	21.81	18.79	2.27
1990 年代	面积	23.02	38.49	65.01	64.35	73.43	67.03	11.34
	占总面积(%)	6.72	11.23	18.97	18.77	21.43	19.56	3.33
2000 年代	面积	21.58	34.09	59.21	64.21	76.54	72.21	14.91
	占总面积(%)	6.29	9.94	17.27	18.73	22.33	21.07	4.35
1971–2000	面积	22.60	38.18	67.47	66.95	74.28	64.88	8.38
	占总面积(%)	6.59	11.14	19.68	19.53	21.67	18.93	2.45

21.67%,南温带、北亚热带和南亚热带所占的比重相当, 分别达到 19.68%、19.53%和 18.93%, 以上 4 个气候带共占全部国土面积的 79.81%, 是云南的主要气候带。中温带占 11.14%, 列第 5 位; 而北温带和北热带所占的比重最小, 仅为 6.59%和 2.46%。

4.2 各气候带的面积变化特征

图 5 给出了 1960–2000 年代云南各气候带面积的年代变化率(相对于 1971–2000 年平态)。从图中可以看出, 除 1970 年代的相对冷期以外, 云南的气候带面积呈现北热带、南亚热带和中亚热带增加、北亚热带和温带面积减少的变化趋势, 增加的幅度以北热带、南亚热带、中亚热带为序, 而减少的幅度则以南温带、中温带、北温带和北亚热带排列。

1960–2000 年代, 云南的北热带、南亚热带 2 个气候带的总面积从 71.8×10³km² 增加到 87.1×10³km², 增加幅度达 21.3%, 其中北热带的面积由 7.8×10³km² 增加到 14.9×10³km², 增幅达 90.2%。北温带、中温带、南温带 3 个气候带总面积从 128.8×10³km² 减少到 114.9×10³km², 减少幅度为 10.8%, 其中南温带减少幅度最大, 为 12.5%。中、北亚热带面积变化最小。

趋势分析表明, 1960–2000 年代云南北热带、南亚热带和中亚热带面积平均增加 1910km²/10a、2104km²/10a 和 132km²/10a, 而北亚热带、南温带、中温带和北温带面积平均减少 977km²/10a、2160 km²/10a、748km²/10a、262km²/10a。

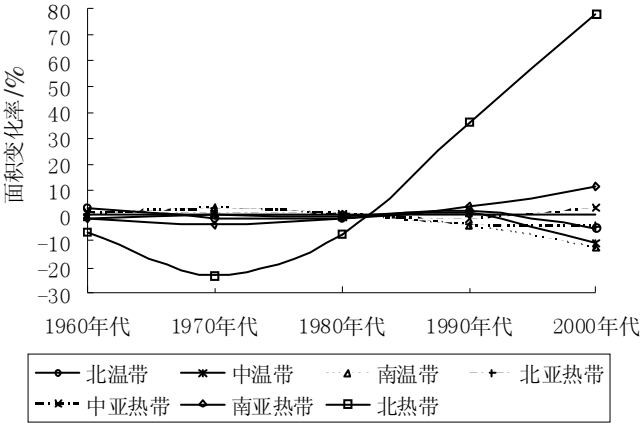


图 5 1960–2000 年代云南各气候带的面积年代变化率
(相对于 1971–2000 年)

Fig.5 Interdecadal variability in areas of the climatic zones of Yunnan during the 1960s–2000s (as compared to the period 1970–2000)

5 结论

- (1)由于山地气候特征显著, 云南的气候带分布在许多区域显得较为破碎, 这是云南气候带的一大特征。
- (2)从气候带面积分布上看, 在云南的 7 个气候带中, 中亚热带、南温带、北亚热带和南亚热带面积所占比重最大, 合计约为 80%, 而且变化较为稳定。
- (3)自 1961 年以来, 云南的气候带变化呈现出 1960–1970 年代温带范围扩大、热带亚热带范围减少的趋势, 1970 年代以后则呈现热带亚热带范围快速增加, 温带范围减小的趋势, 而 1990 年代以来是气候带变化最大的时期。

(4)由于云南的低纬高原地势,气候带的区域分布变化呈现出向高海拔地区的扩展比北移的趋势更加明显,即海拔因素大于纬度因素。

(5)气候带面积变化以北热带和南亚热带增加最明显,南温带、中温带和北温带减少最明显,这种变化趋势与气候带的热量指标具有很好的关联性。

(6)用建立 GIS 回归模型的方法分析山地气候带划分能够很好地模拟出山地气候特征,应用效果良好。但对一些边缘地带和极端值的模拟上还存在一定误差,实际应用中需进一步订正。

参考文献

- [1] 程建刚, 解明恩. 近 50 年云南区域气候变化特征分析. 地理科学进展, 2008, 27(5): 19~26.
- [2] 丁一汇, 任国玉, 石广玉 等. 气候变化国家评估报告 (): 中国气候变化的历史和未来趋势. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 1~8.
- [3] 杨修, 孙芳, 林而达. 我国水稻对气候变化的敏感性和脆弱性. 自然灾害学报, 2004, 13(5): 85~89.
- [4] 杨修, 孙芳, 林而达. 我国玉米对气候变化的敏感性和脆弱性研究. 地域研究与开发, 2005, 24(4): 54~57.
- [5] 徐斌, 辛晓平, 唐华俊 等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及对策. 地理科学进展, 1999, 18(4): 316~321.
- [6] 郝志新, 郑景云, 陶向新. 气候增暖背景下的冬小麦种植北界研究——以辽宁省为例. 地理科学进展, 2001, 20(3): 253~260.
- [7] 朱维民, 黄世祥, 范东光. 江淮地区气候转暖与气候带北移. 应用气象学报, 1992, 3(4): 511~512.
- [8] 沈雪芳, 丁裕国, 石明生. 全球变暖对我国亚热带北界的影响. 南京气象学院学报, 1996, 19(3): 370~373.
- [9] 张家诚, 林之光. 中国气候. 上海: 上海科学技术出版社, 1985, 472~473.
- [10] 庞庭颐. 中国热带、亚热带西部地区热量带的划分. 地理学报, 1996, 51(3): 224~229.
- [11] 王宇等. 云南省农业气候资源及区划. 北京: 气象出版社, 1990, 203~206.
- [12] 秦剑, 琚建华, 解明恩. 低纬高原天气气候. 北京: 气象出版社, 1997. 18~20.
- [13] 何大章, 何东. 我国热带气候的北界问题. 地理学报, 1988, 43(2): 177~183.
- [14] 陈宏伟, 郭立群, 刘勇 等. 云南热区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 年积温及日数的分布规律研究. 高原气象, 2007, 26(2): 396~401.
- [15] 钱锦霞, 张建新, 王果静 等. 基于 City Star 地理信息系统的农业气候资源网格点推算. 中国农业气象, 2003, 24(1): 47~50.
- [16] 杜军, 胡军, 索朗欧珠. 青藏高原农业气候界限温度的变化特征. 地理学报, 2005, 60(2): 289~298.
- [17] 甄计国, 赵军. 区域积温插值的 GIS 方法. 冰川冻土, 2005, 27(4): 591~597.
- [18] 郑海霞, 封志明, 游松财. 基于 GIS 的甘肃省农业生产潜力研究. 地理科学进展, 2003, 22(4): 400~408.
- [19] 廖顺宝, 李泽辉. 基于 GIS 的定位观测数据空间化. 地理科学进展, 2003, 22(1): 87~93.
- [20] 王宇. 云南山地气候. 昆明: 云南科技出版社, 2006. 51~55, 98~99.

Variations of Yunnan Climatic Zones in Recent 50 Years

CHENG Jiangang¹, WANG Xuefeng², FAN Lizhang², YANG Xiaopeng², YANG Pengwu²

(1. Yunnan Provincial Meteorological Bureau, Kunming 650034, China; 2. Yunnan Climate Center, Kunming 650034, China)

Abstract: Using 1961–2006 daily average temperature from 115 meteorological observation stations in Yunnan Province, the accumulated temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) was calculated. This paper built the small reckon model by the altitude, longitude and latitude difference with a decade, and revised into the $0.01^{\circ} \times 0.01^{\circ}$ grid points by GIS. We obtain the distribution of the small grid accumulated temperature in five decades. Then we divided Yunnan into seven climatic zones, and calculated their area. The study has been conducted on seven climatic zones in Yunnan during five periods since the 1960s, which shows increasing/decreasing trends in the size of tropical and subtropical/temperate zones as a whole. It is distinct that North Tropical/South Temperate Zone experienced an increase of 90.2%/a decrease of 12.5%. As far as interdecadal variability is concerned, it shows a decreasing/an increasing trend in the size of tropical and subtropical/temperate zone during the 1960s–1970s. It has a significant increasing/decreasing trend in the size of tropical and subtropical/temperate zone after the 1970s, and especially marked change has happened since the 1990s.

Key words: climatic zones; spatial and temporal distributions; GIS; Yunnan