

黄河流域积温数据栅格化方法优选

张燕卿^{1,2,3}, 刘 勤^{2,3,*}, 严昌荣^{2,3}, 何文清^{2,3}, 刘 爽^{2,3}

(1. 沈阳农业大学, 沈阳 110161; 2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

3. 农业部旱作节水农业重点开放实验室, 北京 100081)

摘要:在获得黄河流域 109 个气象站点 45a 的逐日平均气温、各气象站的经纬度以及海拔高度数据和中国数字高程模型的基础上, 采用 Cokriging、积温垂直递减和“回归分析计算 + 残差插值”3 种方法对黄河流域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温栅格化进行了探讨, 结果表明: 相关性为“回归分析计算 + 残差插值” > 积温垂直递减 > Cokriging, T 检验的双尾显著性概率 Sig.: “回归分析计算 + 残差插值” < 积温垂直递减 < 0.05 < Cokriging, Cokriging 方法结果差异不显著, “回归分析计算 + 残差插值”方法比积温垂直递减差异性更显著, 比较分析可知“回归分析计算 + 残差插值”是最适合的。

关键词:栅格化; 积温; 黄河流域

文章编号: 1000-0933(2009)10-5580-06 中图分类号: Q141 文献标识码: A

Methodology for rasterizing accumulated temperature data in the Yellow River Basin

ZHANG Yan-Qing^{1,2,3}, LIU Qin^{2,3,*}, YAN Chang-Rong^{2,3}, HE Wen-Qing^{2,3}, LIU Shuang^{2,3}

1. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China

2. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, Beijing 100081, China

3. Key Laboratory of Dryland Farming and Water-saving Agriculture, MOA, Beijing 100081, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(10): 5580 ~ 5585.

Abstract: Based on the average temperature from 1961 to 2005, longitude and latitude, height above sea level of 109 meteorological stations in the Yellow River Basin (YRB), and China DEM, accumulated temperature data were rasterized using different methods, viz, Cokriging, accumulated temperature vertically descending and “model based computation result plus spatialized residues”. The results show that the magnitudes of the correlation coefficients can be ranked in the following order, “model based computation result plus spatialized residues” > accumulated temperature vertically descending > Cokriging. But also, the magnitudes of the T -test Sig. can be ranked in the following order, “model based computation result plus spatialized residues” < “model based computation result plus spatialized residues” < 0.05 < Cokriging. Therefore, “model based computation result plus spatialized residues” has the highest accuracy.

Key Words: rasterizing; accumulated temperature; Yellow River Basin

黄河是我国第二大河, 流经 9 个省市, 流域面积约 79.5 万 km^2 , 黄河流域的农业是我国重要的生态屏障, 对整个国民经济发展具有举足轻重的作用。热量是农作物生长发育重要的气象因素, 与农作物生长发育有着密切的关系, 通常以 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温作为衡量热量资源的重要指标。积温作为重要的气候资源, 与其它资源的区别在于存在很大的地域差异和时间变化^[1]。关于积温空间变化及其分布已有一些相关的研

基金项目: 国家“十一五”“863”资助项目(2006AA100220); 国家科技支撑计划资助项目(2006BAD29B01)

收稿日期: 2009-04-21; 修订日期: 2009-08-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuq@ieda.org.cn

究^[2-5],但对黄河流域,如何高精度对其栅格化的研究很少。黄河流域跨 9 个省,地面起伏较大,国家气象站只有 70 多个,因此利用有限气象站的积温资料,探讨最优的栅格化方法对生成黄河流域积温数据产品以便与其他数据进行综合分析是很必要的。本文以经纬度和海拔高度为积温的主要影响因子并尽可能考虑其他影响因素,探讨最优的黄河流域积温栅格化方法。

1 研究区概况

黄河流域幅员辽阔($95^{\circ}53' \sim 119^{\circ}05'E$, $32^{\circ}10' \sim 41^{\circ}50'N$),地形地貌差别很大。从西到东横跨青藏高原、内蒙古高原、黄土高原和黄淮海平原 4 个地貌单元。黄河流域全流域多年平均降水量 456mm,年降水总量约 $3630 \times 10^8 m^3$;气温分布地区差异较大,垂直变化明显,多年平均气温介于 $-3.94 \sim 14.68^{\circ}C$ 之间。气温的地区分布特点是由南向北、由东向西逐渐降低,气温年际变化较大;蒸发能力很强,年平均蒸发量为 1100mm,且空间分布与降水量相反,由东南向西北递增。

2005 年黄河流域约有耕地面积 1500 万 hm^2 ,所涉及的 9 个省(区)粮食作物总播种面积约占全国粮食作物总播种面积的 35.7%,粮食总产量为约占全国粮食总产量的 33.1%。

2 资料来源和方法

2.1 资料

气温资料为 109 个气象点 1961 ~ 2005 年 45a 的逐日平均气温,以及各气象站的经纬度以及高程数据。89 个点用于插值模型,20 个点用于模型的验证(图 1),这其中包括为提高插值精度选择的黄河流域以外周边临近的点。DEM 数据空间分辨率为 3"(约 100m)。

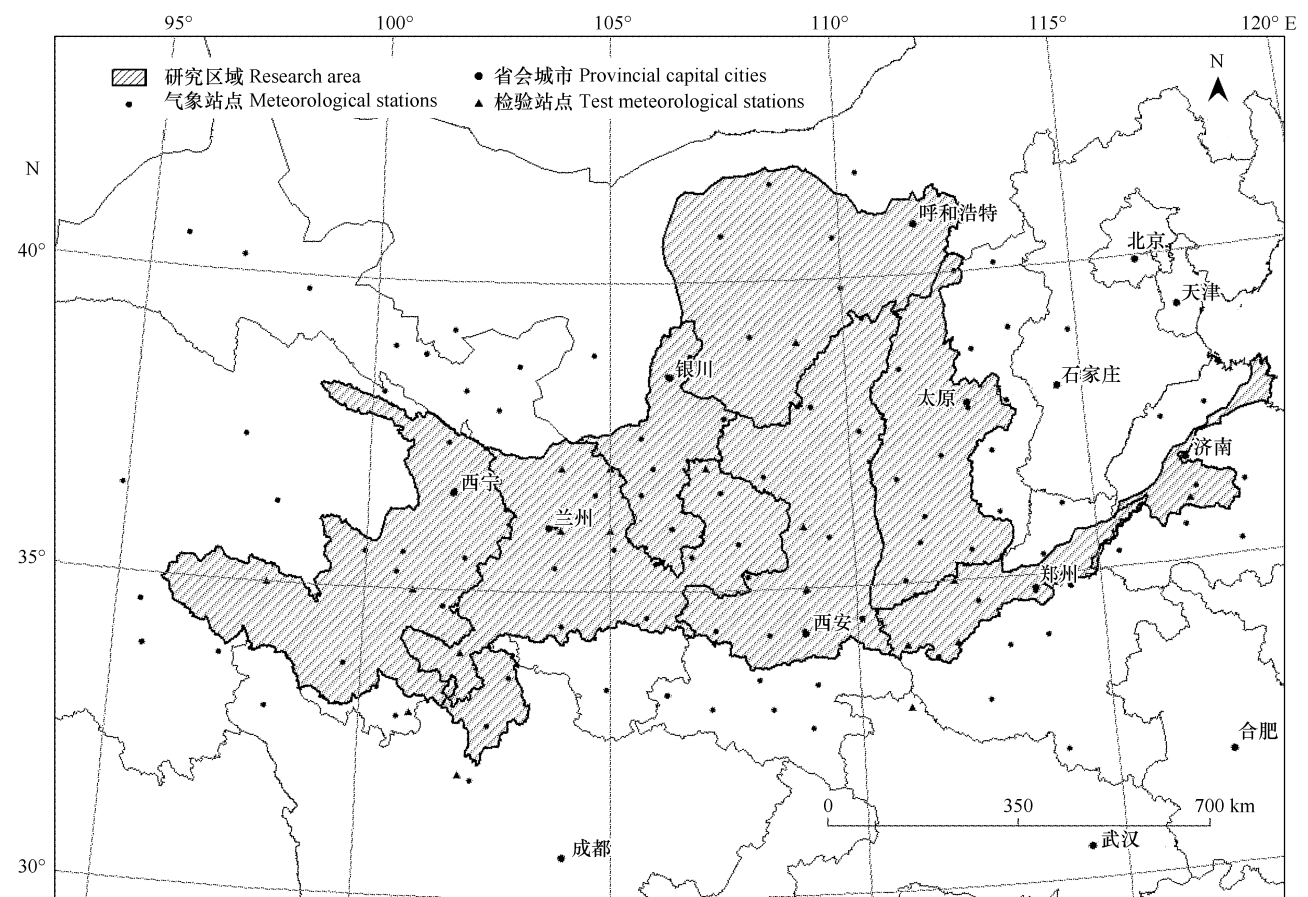


图1 研究区的位置和气象站点分布情况

Fig.1 The distribution of meteorological stations in YRB

2.2 方法

常规方法无法实现对空间中所有点进行观测,但可以通过获得一定数量的空间样本,这些样本反映了空间分布的全部或部分特征,并可以据此预测未知地理空间的特征^[6]。积温栅格化不同于其他气象要素,它除受经纬度影响外,还与海拔高度和地形要素有关^[5,7,8]。利用区域内气象站点的资料,研究气象要素的空间分布的方法很多^[9~15],本文在考虑海拔高度基础上,对比分析 Cokriging、积温垂直递减和“回归分析计算+残差插值”3种栅格化方法的精度。

2.2.1 Cokriging 插值法

Cokriging 插值的基本原理与 Kriging 相同,但它通过考虑一个以上变量而优化估计,插值由于考虑了变量之间的关系而得到改善。例如,在估计温度、降水等气候变量时,海拔高度是附加的重要变量。Cokriging 插值包括以下过程:(1)确定多个观测值之间空间相关的特征;(2)借助于变异函数和交叉变异函数,对相关建模;(3)利用这些函数估计内插值。

2.2.2 积温垂直递减

在对流层范围内,气温随海拔的升高而降低,海拔每升高 100m,气温平均降低 0.65℃。根据气温的垂直变化规律,首先将不同经纬度和海拔高度上的年均积温值根据海拔高程和投影到虚拟海平面上,即:

$$T_0 = T_h + 0.0065 \times h \times n \quad (1)$$

式中, T_h 为某点的实际计算积温(℃), T_0 为某点对应在虚拟海平面上的积温(℃), h 为气象站的 DEM 高度(m), n 为该站点 $\geq 0^\circ\text{C}$ 天数的多年平均值。

积温栅格化的具体方法是采用常用的插值方法 IDW 在虚拟海平面上进行插值,然后根据 DEM 数据和积温垂直递减率进行栅格代数运算得到最终的积温栅格面。

2.2.3 “回归分析计算+残差插值”

以参与计算气象站的积温值为输出变量,以气象站的经度、纬度和 DEM 高度为输入变量进行多元回归分析,得到回归方程。由于气象站点的经纬度和海拔高度都是 GIS 的栅格面,把每个栅格值代入回归方程得到积温的初步栅格面,这时气象站点初步栅格面上的模拟值与实测计算值不一致,它们的差即残差;对每个气象站的气温残差采用 IDW 进行空间插值,再加上回归方程的计算结果即得到积温栅格面。

2.3 数据处理

(1)计算黄河流域内的 75 个气象站和黄河流域临近的 34 个气象站 1961~2005 年的 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的年均积温值,通过 ACCESS 建立了黄河流域及临近省份 109 个气象站点的 45a 的年均积温数据库。加载插值气象站点,最终生成 shp 文件,气象站点的经纬度决定了它们的空间位置,点层的属性数据里包含每个站点的年均积温数据。

(2)以参与计算气象站的积温值为输出变量,以气象站的经度、纬度和 DEM 高度为输入变量进行多元回归分析,得到回归方程。

$$y = -1.32x_1 - 65.86x_2 - 115x_3 + 16789.48 \quad (2)$$

式中, x_1 、 x_2 、 x_3 分别代表经度、纬度和 DEM, y 为年均积温值, r 为相关系数。

3 结果与分析

3.1 3种方法的结果

图 2 为用三种方法得到的黄河流域 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温栅格化图(空间分辨率为 3",约 100m),由 Cokriging 插值和积温垂直递减得到的 a、b 呈现明显的由南到北,由东向西减少的变化趋势,分界线也很明显,只是 b 出现了“牛眼”;“回归分析计算+残差插值”得到的栅格化图失去了明显的分界线。

3.2 方法验证

利用 GIS 环境中的取值工具分别获取 20 个验证点在 3 个栅格面上的值,结合它们实际计算的积温值,组成 3 组配对样本,进行配对样本的 T 检验,分析结果见表 1~表 2。

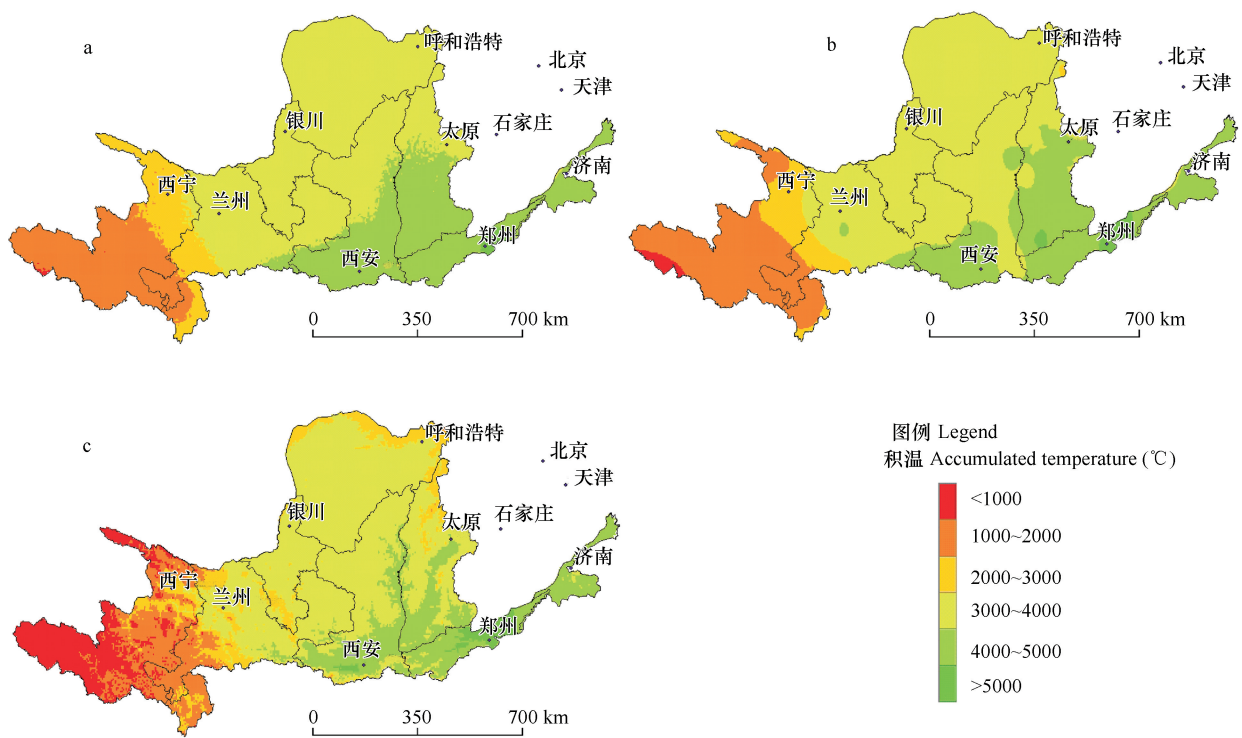


图2 a、b、c 分别为 Cokriging、积温垂直递减和“回归分析计算 + 残差插值”得到的黄河流域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温的栅格化图
Fig. 2 a, b and c are grid surfaces conducted using cokriging, accumulated temperature vertically descending and “model based computation result plus spatialized residues” methods in YRB

表 1 配对样本的相关性检验

Table 1 Paired samples correlations

方法 Methods	样本 Samples	N	相关系数 Correlations	Sig.
Cokriging	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	20	0.862	0.000
积温垂直递减 Accumulated temperature vertically descending	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	20	0.912	0.000
“回归分析 + 残差插值” “Model based computation result plus spatialized residues”	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	20	0.915	0.000

表 2 配对样本的 T 检验

Table 2 Paired samples test

方法 Methods	样本 Samples	配对差分 Paired Differences				t	自由度 df	Sig. (双侧)
		标准差 Std. Deviation	均值的 标准误 Std. error mean	差分的 95% 置信区间 95% C. I of the Difference				
				下限 Upper limit	上限 Lower limit			
Cokiging	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	661.12	147.83	-349.95	268.88	- .27	19	0.79
积温垂直递减 Accumulated temperature vertically descending	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	112.82	112.82	-506.42	-34.17	-2.40	19	0.03
“回归分析 + 残差插值” “Model based computation result plus spatialized residues”	实测值与模拟值 Measured value & simulation value	111.50	111.50	-534.48	-67.72	-2.70	19	0.01

表 1 中的 Correlations(相关系数),显示 3 组配对样本的相关性为“回归分析计算 + 残差插值” > 积温垂直递减 > Cokriging,而且 T 检验的双尾显著性概率 Sig.:“回归分析计算 + 残差插值” < 积温垂直递减 < 0.05 < Cokriging, Cokriging 方法结果差异不显著,“回归分析计算 + 残差插值”方法比积温垂直递减差异性更显著,说明“回归分析计算 + 残差插值”方法精度最高。

4 结论与讨论

本文利用研究区内及临近的 109 个气象点 1961 ~ 2005 年 45a 的逐日平均气温,以及各气象站的经纬度以及高程数据,在考虑海拔高度影响下,选用了 Cokriging、积温垂直递减和“回归分析计算 + 残差插值”3 种方法进行了黄河流域 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温栅格化试验,主要结论如下:

Cokriging、积温垂直递减和“回归分析计算 + 残差插值”3 种栅格化方法中,经验证“回归分析计算 + 残差插值”精度是最高的,原因是“回归分析计算 + 残差插值”得到的残差同时包括了海拔高度和地形的影响,而 Cokriging 仅把 DEM 当作了插值分析其中的一个变量,积温垂直递减是先把积温值根据海拔高程和气温垂直递减率投影到虚拟海平面上进行插值运算,再根据 DEM 数据经栅格代数运算得到积温栅格面,这两种方法都没有考虑地形的影响。

本文所采用的栅格化方法中所涉及到的气象站海拔高度都是根据经纬度从 DEM 上获取的,而气象站点有自己实测的海拔高度数值,这两者是有差距的^[4];栅格化方法完全采用 DEM 上的数据,就是为了避免海拔差异带来的误差进行传播,最后影响栅格化的精度。

$T_0 = T_h + 0.0065 \times h$ 是海拔对气温的修正公式,不能直接应用于对积温的修正,由于在计算中 T_0 、 T_h 实际积温和模拟积温的累加,所以引入了 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 天数的多年平均值 n ;利用 $T_0 + T_h + 0.0065 \times h \times n$ 公式进行海拔对积温的修正,这种修正方式影响了积温垂直递减的精度,更精确的修正公式有待进一步探讨。

农业是受气候变化影响最敏感的领域之一,气候变暖导致中高纬度地区热量资源的改善、 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温及其持续天数的增加、喜温作物生育期的延长及其界限的北移^[17]。因此,在气候变暖背景下,研究 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温的动态变化规律、揭示热量资源分配的新格局,将是未来研究的方向。

References:

- [1] Yu R H, Sun M M. The classification of heat resources and accumulated temperature in Heilongjiang. *Heilongjiang Meteorology*, 1997(1):26-34.
- [2] Zhang H X, Zhang Y. Preliminary discussion on the response of active accumulated temperature of China to climate warming. *Acta Geographica Sinica*, 1994, 49(1):27-36.
- [3] Mao H Q, Wan H. Study on the change of the accumulated temperature in North China and Northeast China. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2000, 21(3):1-6.
- [4] Gu W, Shi P J, Liu Y, Xie F, Cai X P. The characteristics of temporal and spatial distribution of negative accumulated temperature in Bohai Sea and north Yellow Sea. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(2):168-173.
- [5] Liao S B, Li Z H. Study on methodology for rasterizing accumulated temperature data. *Geographical Research*, 2004, 23(5):633-640.
- [6] Li X, Cheng G D, Lu L. Comparison of spatial interpolation methods. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(3):260-265.
- [7] Zhang L W, Qin B Y. Study on the regionalization of $\geq 10^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature in Jilin. *Jinlin Meteorology*, 2000, 1:12-15.
- [8] You S C, Li J. Study on error and its pervasion of temperature estimation. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(1):140-145.
- [9] Liao S B, Li Z H. Some practical problems related to rasterization of air temperature. *Meteorological Science and Technology*, 2004, 32(5):352-356.
- [10] Fang S M, Qin J W, Li Y F, Yang T B. Method of spatial interpolation of air temperature based on GIS in Gansu Province. *Journal of Lanzhou University(Natural Science Edition)*, 2005, 41(2):6-9.
- [11] Yue W Z, Xu J H, Xu L H. A study on spatial interpolation methods for climate variables based on geostatistics. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(6):974-980.
- [12] Ji R P, Zhang Y S, Feng R, Chen P S, Zhang S J. Characteristics of geographical distribution of negative accumulated temperature in Liaoning Province. *Meteorological Science and Technology*, 2005, 33(4):360-362.

- [13] Cai F, Yu G R, Zhu Q L, He H L, Liu X N, Li Z Q, Guo X B. Comparison of precisions between spatial methods of climatic factors: a case study on mean air temperature. *Resources Science*, 2005, 27(5):173—179.
- [14] Liu Y, Chen P Q, Zhang W, Hu F. A spatial interpolation method for surface air temperature and its error analysis. *Chinese Journal Atmospheric Sciences*, 2006, 30(1):146—152.
- [15] Li J, You S C, Huang J F. Spatial interpolation method and spatial distribution characteristics of monthly mean temperature in China during 1961—2000. *Ecology and Environment*, 2006, 15(1):109—114.
- [16] Shao X M. Study on the regional characteristics of key problems of water-saving agriculture in the Yellow River Basin. Beijing: the Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, CAAS, 2005. 38—41.
- [17] Ju H, Xu Y L, Xiong W. The influence of climate change on agricultural of China. *Environmental Protection*, 2007(11):71—73.

参考文献:

- [1] 于荣环,孙孟梅. 黑龙江省热量资源及积温带的划分. *黑龙江气象*, 1997(1):26~34.
- [2] 张厚瑄,张翼. 中国活动积温对气候变暖的响应. *地理学报*, 1994, 49(1):27~36.
- [3] 毛恒青,万晖. 华北、东北地区积温的变化. *中国农业气象*, 2000, 21(3):1~6.
- [4] 顾卫,史培军,刘杨,谢峰,蔡雪鹏. 渤海和黄海北部地区负积温资源的时空分布特征. *自然资源学报*, 2002, 17(2):168~173.
- [5] 廖顺宝,李泽辉. 积温数据栅格化方法的实验. *地理研究*, 2004, 23(5):633~640.
- [6] 李新,程国栋,卢玲. 空间内插方法比较. *地球科学进展*, 2000, 15(3):260~265.
- [7] 张立伟,秦步云. 吉林省 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温的分区研究. *吉林气象*, 2000, 1:12~15.
- [8] 游松财,李军. 海拔误差影响气温空间插值误差的研究. *自然资源学报*, 2005, 20(1):140~145.
- [9] 廖顺宝,李泽辉. 气温数据栅格化的几个具体问题. *气象科技*, 2004, 32(5):352~356.
- [10] 方书敏,秦将为,李永飞,杨太保. 基于 GIS 的甘肃省气温空间分布模式研究. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2005, 41(2):6~9.
- [11] 岳文泽,徐建华,徐丽华. 基于地统计方法的气候要素空间插值研究. *高原气象*, 2005, 24(6):974~980.
- [12] 纪瑞鹏,张玉书,冯锐,陈鹏狮,张淑杰. 辽宁省负积温地理分布特征与模拟. *气象科技*, 2005, 33(4):360~362.
- [13] 蔡福,于贵瑞,朱青林,何洪林,刘新安,李正泉,郭学兵. 气象要素空间化方法精度的比较研究——以平均气温为例. *资源科学*, 2005, 27(5):173~179.
- [14] 刘宇,陈泮勤,张稳,胡非. 一种地面气温的空间插值方法及其误差分析. *大气科学*, 2006, 30(1):146~152.
- [15] 李军,游松财,黄敬峰. 中国 1961~2000 年月平均气温空间插值方法与空间分布. *生态环境*, 2006, 15(1):109~114.
- [16] 邵晓梅. 黄河流域节水农业关键问题的区域特征研究. 北京:中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 2005. 38~41.
- [17] 居辉,许吟隆,雄伟. 气候变化对我国农业的影响. *环境保护*, 2007(11):71~73.