

基于 ArcGIS 的近 10 年黑龙江省旬平均气温插值与建库

杨凤海, 王 帅, 刘晓庆, 沈能展
(东北农业大学, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要:以 ArcGIS Geostatistical Analyst 为支撑, 利用高程、坡向数据作为辅助, 采用协同克里格(Cokriging)方法, 对黑龙江省近 10 年旬平均气温进行空间插值, 36 个旬平均气温插值结果均误差、平均标准差和均方根标准差的平均值分别为 0.0024℃、0.0006 和 1.124。基于全部旬平均气温插值结果及其相关数据, 建立旬平均气温 Geodatabase 空间数据库, 为气温变化监测、农业区划和实现千亿斤粮食的作物估产等研究奠定基础。

关键词: 黑龙江省; 气温; 插值; 数据库; ArcGIS

中图分类号: S127 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2009)05-0120-05

The Spatial Interpolation and GeoDatabase Foundation of Average 10-day Air Temperature of Heilongjiang Province in Recent 10 Years Based on ArcGIS

YANG Feng-hai, WANG Shuai, LIU Xiao-qing, SHEN Neng-zhan
(Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

Abstract: All of 10-day period of average air temperature in recent 10 years were interpolated spatially with CoKriging method supported by ArcGIS Geostatistical Analyst software, using ground elevation and aspect assisted, while the averages of mean error, mean standardized error and mean root-square standardized error was 0.0024℃, 0.0006 and 1.124 s respectively. On the basis of 10-day period of air temperature surfaces interpolated and data relating to them, an spatial air temperature database based on geodatabase model had been established in order to lay a foundation to study air temperature change monitoring, agricultural regionalization and crop yield estimation.

Key words: Heilongjiang province; air temperature; interpolation; database; ArcGIS

近些年, 随着地理信息系统(GIS)等空间信息技术的迅速发展, 气候资源信息化工作得到强有力的技术保障, 气候以及土壤、地形、土地等多种相关资源的空间数据库^[1-3]得以建立, 同时, 以这些数据为基础, 可以进行气候资源的评价、监测和变化分析等研究。

黑龙江省是中国重要的农业大省和商品粮生产基地, 气候变化和自然灾害对全省的农业生产影响较大, 研究气温变化尤其是旬际气温的变化, 可以及时把握全省气候、物候的波动与变化^[4-5], 对农业生产中作物的气候区划、种植制度的调整、作物品种的选择与改良、耕作措施的调整, 以及对作物产量和生产潜力等相关研究都有较大的作用和支撑。

很多学者对黑龙江省的气温插值做过一些研究^[6-7], 探讨过全省多年气温变化, 反映了全省气温变

化的长期变化程度与趋势。气温插值的研究大都采用反距离权重(IDW)、样条函数等方法^[8-12]对气温进行插值, 关于局部微观因素对气温的影响考虑较少, 反映气温局地差异方面不免会有一定的局限。本文以 ArcGIS 软件为支撑, 通过 1997~2006 年 10 年间气象站点的温度数据, 利用协同克里格法(CoKriging)^[13], 考虑高程和坡向的影响^[14-15], 兼顾气温的全局变化趋势和局部分异, 插值出全省 1 km×1 km 的旬平均气温栅格数据, 建立旬平均气温空间数据库。

本文研究的重点是探讨近 10 a 黑龙江省旬际气温分布与变异, 为相关研究及当前农业生产、经营和管理提供短期和近期的决策支持。

1 研究区概况

黑龙江省土地面积 45.26 万 km²。境内自西北至东南分布有大小兴安岭、张广才岭、完达山脉, 海拔在 500~1 400 m, 是温度、降水的界线。江河湖泊众多, 主要有黑龙江、乌苏里江、松花江、嫩江、绥芬河五大水系和兴凯湖、镜泊湖、五大连池等湖泊。中西部的松嫩平

收稿日期: 2009-01-22
基金项目: 东北农业大学创新团队基金项目(CXT003-4-2)
第一作者简介: 杨凤海(1967-), 男, 山东省青岛市人, 博士, 副教授, 主要从事国土/气候资源信息化研究。E-mail: yfhnau@163.com。

原和东北部的三江平原, 平均海拔 50~200 m。

黑龙江省气候为温带大陆性季风气候。从 1961~1990 年 30 a 的平均状况看, 全省年平均气温多在 -5~5℃, ≥10℃积温在 1 800~2 800℃, 年降水量全省多介于 400~650 mm, 全省年日照时数多在 2 400~2 800 h。

2 数据来源及处理

本文应用的数据包括 1997~2006 年气温数据, 高程、坡向等地形数据以及省行政区划数据等。

2.1 数据来源

气温数据采用黑龙江省气象部门 1997~2006 年全省 80 余个气象观测站点旬平均气温数据, 全省行政区划数据采用黑龙江省国土资源部门的行政区划图, 高程及坡度等地形数据采用黑龙江省测绘部门的 1:100 万等高线数据及其处理派生的数据。

2.2 数据处理

来自气象部门的站点旬平均气温数据为 ASCII 文本数据, 经数据格式转换以及分类汇总等计算, 并导出关系型数据库表格数据, 在 ArcMap 中与站点空间数据相连接。利用 ArcGIS Geostatistical Analyst 地统计分析软件的空间插值功能, 对个别站点年旬气温数据缺少的数据进行插值补充, 在此基础上再计算各站点 10 年旬平均气温值。

行政区划图、高程和坡向等地形数据都采用或经投影变换转换为 Albers 投影。主要投影参数为: 北京 54 椭球, 中央经线经度为 128°E, 标准纬线 1 和标准纬线 2 分别为 46°N 和 50°N(见图 1)。

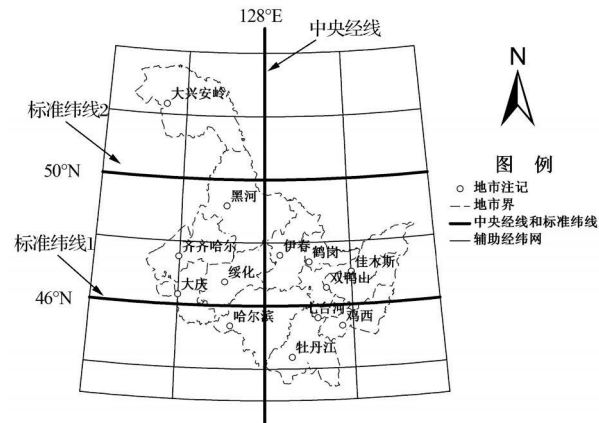


图 1 黑龙江省地图投影示意图

原始等高线数据经过 ArcGIS 的三维分析(3D analyst)软件模块转换成数字高程模型 DEM^[19], 然后, 生成坡向图, 以供气温插值时作为辅助数据, DEM 和坡向图分别见图 2 和图 3。

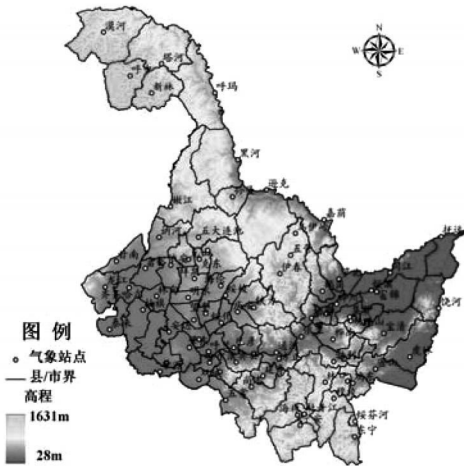


图 2 黑龙江省高程图

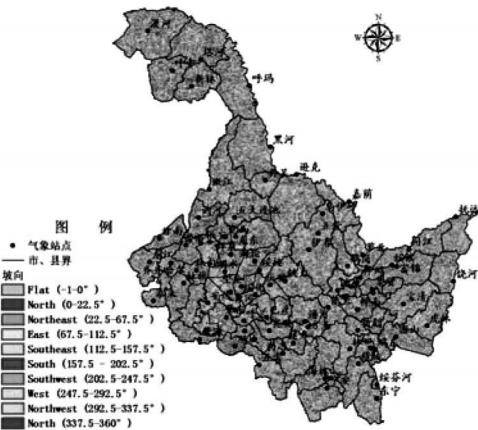


图 3 黑龙江省坡向图

3 气温数据插值方法

由 ArcGIS 9.2 软件, 以气象站点的旬平均气温为样点数据, 辅以高程、坡向数据为协同数据, 利用协同克里格(Cokriging)方法, 对黑龙江省的站点旬平均气温进行网格插值分析, 将全省的旬平均气温进行空间网格化插值 得到近 10 年黑龙江省 1 km×1 km 网格旬平均气温数据。

3.1 协同克里格插值原理

克里格(Kriging)方法又称空间局部插值法, 是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点, 由已知样点值 通过空间插值(内插或外推), 对未知点进行线性无偏、最优估计。协同克里格是利用两事物属性间存在的相关关系, 借助一个属性去实现对另一属性的空间插值。该方法中空间变异分析的主要技术指标是区域化随机变量(旬均温)的协方差和半变异值, 两个指标的函数表达式分别见公式(1)和公式(2)。

$$C(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - \bar{Z}(x_i)] [Z(x_i + h) - \bar{Z}(x_i + h)] \tag{1}$$

式中, $C(h)$ 为变量样本间的协方差; $Z(x)$ 为区域化随机变量(旬均温), 其空间分布规律不因位移而改变; h 为两样本点空间分隔距离; $Z(x_i)$ 为 $Z(x)$ 在空间点 x_i 处的样本值; $Z(x_i+h)$ 为 $Z(x)$ 在 x_i 处距离偏离 h 的样本值 [$i=1, 2, \dots, N(h)$]; $N(h)$ 是分隔距离为 h 时的样本点对总数; $\bar{Z}(x_i)$ 和 $\bar{Z}(x_i+h)$ 分别为 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 的样本平均数。一般情况下, $\bar{Z}(x_i) \neq \bar{Z}(x_i+h)$ (特殊情况下可以认为近似相等)。

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \quad (2)$$

式中, $r(h)$ 为变量样本间的半变异值, 其它参数的含义同公式(1)。

当两事物彼此距离较小时, 它们是相似的, 因此协方差值较大, 而半变异值较小; 反之, 协方差值较小, 而半变异值较大。这就是克里格方法进行变量空间插值的理论依据。在判断半变异函数和协方差函数值有效性的基础上, 对变量进行空间插值。协同克里格插值模型如公式(3)。

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n a_i Z(x_i) + \sum_{j=1}^m b_j Y(x_j) \quad (3)$$

式中, $Z(x)$ 为空间变量(如气温)估计值, $Z(x_i)$ 为插值变量, $Y(x_j)$ 为协同变量, a_i 和 b_j 分别是两个区域化变量的权重值。

本研究是通过已知黑龙江省各气象站(样点)旬平均气温值, 并考虑已知样点与未知点间的空间方位及其与高程、坡向间的相关性, 再参考变异函数提供的结构信息之后, 对未知点旬平均气温进行的一种线性无偏最优估计。

3.2 旬平均气温插值

ArcGIS Geostatistical Analyst 空间插值过程中, 要求样本数据符合正态分布以及存在某种趋势等, 而这些方面是否成立, 则要通过探索性数据分析(Explore Data)功能判断, 对空间数据进行检测。当数据满足插值的前提后, 就可利用地统计分析向导(Geostatistical Wizard)等完成地统计分析, 创建完善的气温表面预测图。

3.2.1 旬平均气温数据检验 利用 Histogram(直方图)、Normal QQPLOT(正态 QQPLOT 分布图)、Trend Analysis(趋势分析)、Semivariogram/Covariance Cloud(半变异/协方差函数云)、Crosscovariance Cloud(正交协方差函数云)等探索性空间数据分析工具对数据视图, 提供用户用多种方式检测空间数据, 数据检测结果如表 1, 其中分布和趋势方向如图 4 所示。

探索性分析结果发现各气象站点旬平均气温观测数据都呈正态分布, 都满足 Cokriging 插值的条件。旬气温变化的主要趋势为南—北方向和东南—西西北方

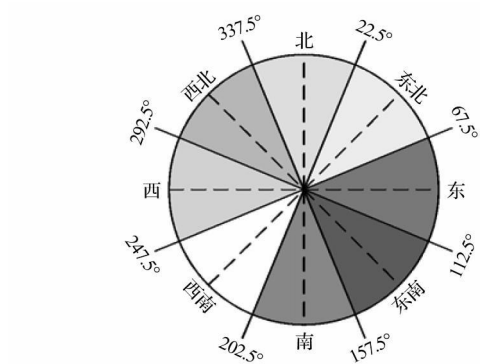


图 4 旬平均气温表面模型拟合

向, 南—北方向和东南—西西北方向分别占 20 旬和 16 旬, 各占旬总数的 56%和 44%。旬平均气温在第 5~21 旬(春夏)变化主要表现为南—北方向上的连续性, 其它旬(秋冬)的温度变化主要表现为东南—西西北方向上的连续性。

表 1 黑龙江省近 10 a 旬平均气温数据探索性分析结果

旬次	主趋势	方向角 /°	旬次	主趋势	方向角 /°	旬次	主趋势	方向角 /°
1	S-N	158	13	SE-NW	157	25	S-N	160
2	SE-NW	157	14	S-N	160	26	S-N	158
3	SE-NW	156	15	S-N	159	27	SE-NW	156
4	SE-NW	157	16	SE-NW	156	28	SE-NW	157
5	S-N	158	17	S-N	161	29	SE-NW	156
6	S-N	158	18	S-N	162	30	SE-NW	156
7	S-N	160	19	SE-NW	153	31	SE-NW	153
8	S-N	162	20	S-N	160	32	S-N	160
9	S-N	159	21	S-N	160	33	SE-NW	157
10	S-N	161	22	SE-NW	152	34	S-N	158
11	S-N	160	23	SE-NW	157	35	SE-NW	157
12	S-N	158	24	SE-NW	157	36	S-N	158

3.2.2 旬平均气温表面模型拟合 利用一系列已知气象站点的旬平均气温值, 选择内插模型、评估内插精度, 完成表面预测(模拟)和误差建模, 进行插值生成全省旬平均气温表面图(见表 2)。

当均误差和标准化均误差接近 0, 均方根标准差接近 1, 均方根误差和平均标准差尽可能小并彼此接近时, 插值精度是较高的。从表 2 中看出, 36 旬中前 8 旬和后 9 旬的插值精度相对更高。

3.2.3 旬平均气温表面插值结果 利用协同克里格方法插值生成黑龙江省 36 个旬的旬平均气温表面, 其中 13~27 旬(5~9 月)的旬平均气温表面如图 5 所示。

从插值结果(见表 2)看, 一年中的前 12 个旬和后 9 个旬的变化相对较大, 尤其是春夏之交和秋冬之交的时间波动更大, 而 13~27 旬(年中)即黑龙江省作物生长期的气温变化相对较小, 这一点对作物生长发育比较有利。

表 2 1997~2006 年黑龙江省旬平均气温插值交叉验证数据

旬次	均误差 /℃	均方根误差 /℃	平均标准差 /℃	标准化均 误差	均方根标 准差	旬次	均误差 /℃	均方根误差 /℃	平均标准差 /℃	标准化均 误差	均方根标 准差
1	0.0051	1.029	0.940	0.0044	1.077	19	0.0006	0.663	0.557	-0.0016	1.153
2	0.0143	1.115	1.088	0.0100	1.061	20	-0.0001	0.597	0.498	-0.0003	1.169
3	0.0180	1.239	1.164	0.0102	1.034	21	0.0057	0.571	0.492	0.0111	1.138
4	0.0079	1.276	1.138	0.0040	1.104	22	-0.0055	0.591	0.431	-0.0090	1.311
5	0.0123	1.041	0.986	0.0089	1.045	23	0.0060	0.637	0.515	0.0110	1.201
6	0.0101	0.909	0.846	0.0069	1.058	24	-0.0011	0.608	0.481	-0.0053	1.232
7	0.0045	0.938	0.879	0.0032	1.052	25	-0.0037	0.711	0.571	-0.0054	1.206
8	0.0001	0.713	0.589	-0.0017	1.172	26	-0.0034	0.727	0.569	-0.0045	1.222
9	0.0003	0.635	0.497	0.0022	1.237	27	0.0017	0.735	0.653	-0.0004	1.111
10	-0.0020	0.634	0.570	-0.0030	1.104	28	-0.0049	0.616	0.576	-0.0097	1.063
11	0.0102	0.604	0.549	0.0144	1.087	29	-0.0044	0.575	0.526	-0.0093	1.077
12	-0.0096	0.747	0.602	-0.0138	1.204	30	-0.0014	0.562	0.503	-0.0021	1.101
13	0.0009	0.722	0.633	-0.0006	1.119	31	-0.0068	0.683	0.622	-0.0112	1.088
14	0.0005	0.687	0.608	-0.0024	1.104	32	-0.0009	0.751	0.730	-0.0015	1.024
15	0.0036	0.712	0.588	0.0014	1.169	33	-0.0036	0.767	0.689	-0.0044	1.102
16	-0.0004	0.716	0.597	-0.0036	1.159	34	0.0096	0.867	0.823	0.0098	1.046
17	-0.0060	0.666	0.574	-0.0103	1.112	35	0.0089	0.946	0.855	0.0107	1.085
18	-0.0013	0.720	0.599	-0.0042	1.161	36	0.0216	1.159	1.074	0.0180	1.063

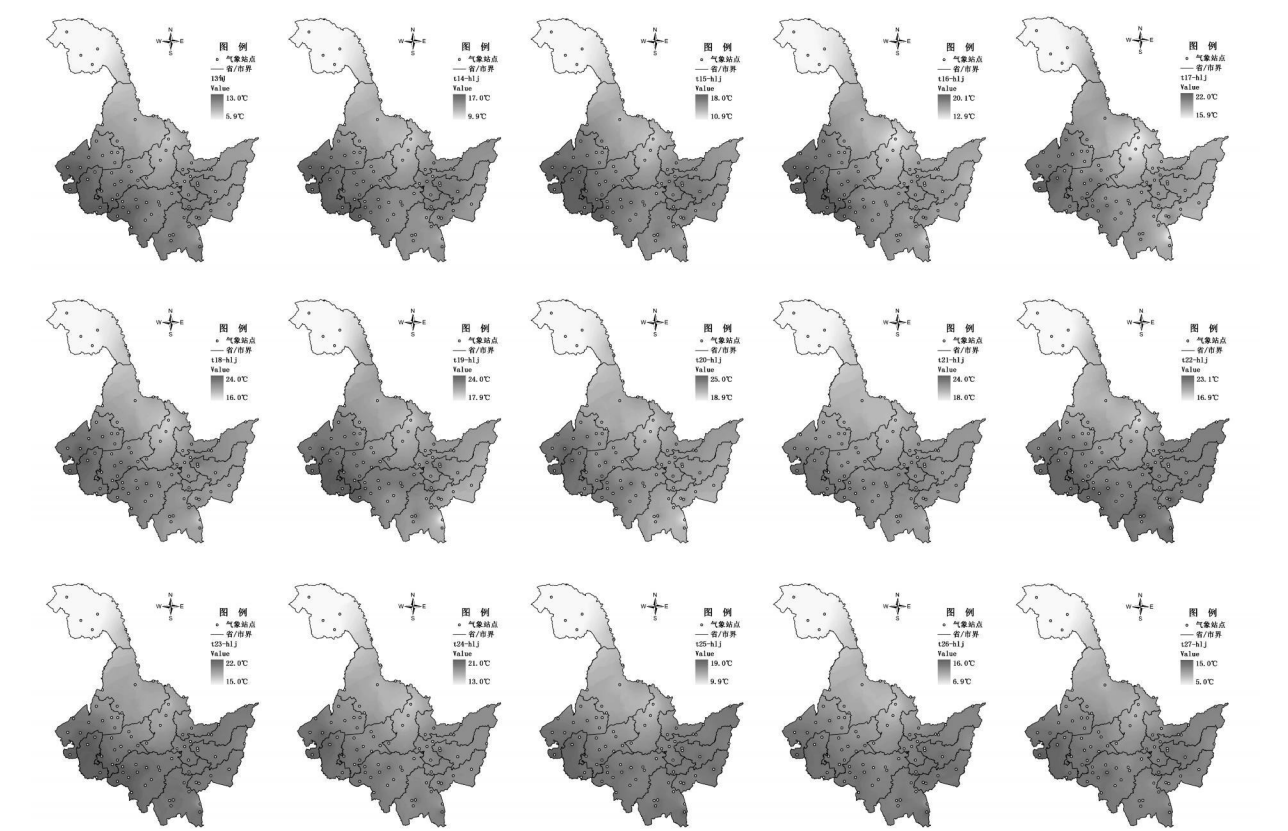


图 5 近 10 年黑龙江省 13~27 旬平均气温插值结果

4 气温空间数据库的创建

经过插值得到了黑龙江省旬平均气温的栅格数据,为使这些数据以及与其它密切相关的气象站点、行政区划等数据能得以有序和高效管理,这里利用 ArcCatalog 建立 Geodatabase 空间数据库,按照一定的模型和规则组合地理要素集,提供对要素类及其空间和非空间关系的支持,将这些数据分类、分层次组织存放在

数据库中,实现 GIS 应用软件和一般的关系型数据库(RDBMS)之间进行数据共享,为农业科学研究和农业生产服务。

建立黑龙江省旬平均气温数据库的过程方法如下:

4.1 旬平均气温空间数据库文件的建立

通过 ArcCatalog 创建地理空间数据库 HljTenday-

Temp.gdb 以便在其中创建有关气温的要素数据集 (Feature Dataset)、要素类 (Feature Class)、栅格数据编目 (Raster Catalog) 等。

4.2 旬平均气温数据入库

在 HljTendayTemp.gdb 中创建气温栅格编目 Temp, 由 Load Data 调入 36 个旬的平均栅格数据。

4.3 地形数据入库

在 HljTendayTemp.gdb 创建栅格编目 Terrain, 调入 DEM、坡度和坡向等相关栅格数据。

4.4 站点和区划数据入库

利用数据处理时所采用的地图投影参数, 创建要素数据集 (Feature Dataset) WeaStat 和 Region, 分别调入站点和行政区划矢量要素类。

建成的黑龙江省旬平均气温空间数据库的框图和软件操作界面分别如图 6 和图 7 所示。

旬平均气温空间数据库

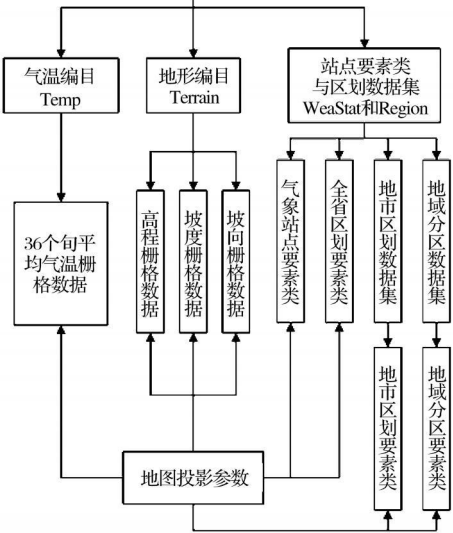


图6 旬平均气温空间数据库数据组织框图

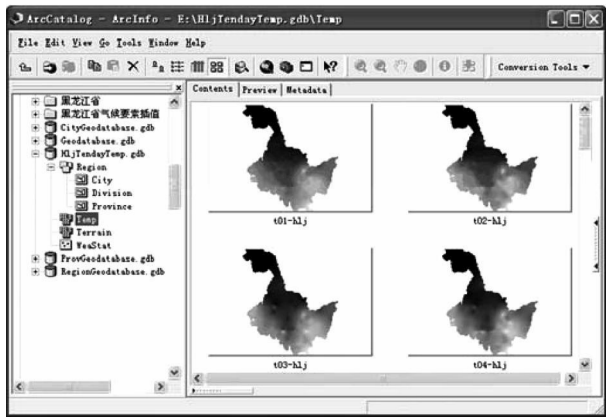


图7 ArcCatalog 中旬平均气温空间数据库构建

5 结语

本文充分考虑了海拔高度、坡向和特有的地形条

件等因素对黑龙江省旬平均气温的影响, 利用协同克里格方法, 建立离散气象站点的气温数据与区域地面高程、坡向等因素的关系, 通过量化气温与高程、坡向间的函数关系, 在旬平均气温趋势化空间插值过程中进行局地分异修正, 避免仅通过简单函数拟合产生的较大误差, 以求得到较准确的气温空间表面数据, 为在空间信息技术条件下进一步研究气温空间变化奠定基础。通过研究, 较高精度地插值出全省 1 km×1 km 网格的旬平均气温空间分布数据, 并建立以 ArcGIS 为支撑的 Geodatabase 旬气温空间数据库, 为进一步揭示近 10 a 全省区域间旬平均气温的空间分异等奠定基础。本研究成果如果结合光照、降水、土壤等相关研究成果, 会对作物气候区划、种植制度调整、农作物产量预测等起到空间信息技术支撑作用。但是, 由于数据资料的时序较短, 在研究气温的长期变化趋势方面不免存在一定局限。

参考文献:

[1] 黄浩辉, 刘锦奎, 陈新光. 地理信息系统在广东省农业气候资源分析中的应用[J]. 广东气象, 2001(4): 26-28.

[2] 卢剑波, 王兆骞. GIS 支持下的青石山小流域农业生态信息系统 (QWAEIS) 及其应用研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(5): 703-706.

[3] 袁小华, 沈根祥, 高秀梅等. GIS 技术支持下的上海市土壤环境质量数据库之建立与应用[J]. 上海农业学报, 2002, 18(4): 97-100.

[4] 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象, 2004, 23(2): 238-244.

[5] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19-26.

[6] 陈莉, 李帅, 王阳. 黑龙江省气温变化的研究[J]. 黑龙江气象, 2001(3): 29-31.

[7] 潘华盛, 张桂华. 黑龙江气候变暖的时空变化特征[J]. 黑龙江气象, 2002(3): 3-11.

[8] 林志辉, 莫兴国, 李宏轩等. 中国陆地区域气象要素的空间插值[J]. 地理学报, 2002, 57(1): 47-56.

[9] 朱会义, 刘述林, 贾绍凤. 自然地理要素空间插值的几个问题[J]. 地理研究, 2004, 23(4): 425-432.

[10] 岳文泽, 徐建华, 徐立华. 基于地统计方法的气候要素空间插值研究[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 974-980.

[11] 朱求安, 张万昌, 余钧辉. 基于 GIS 的空间插值方法研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2004, 28(2): 183-188.

[12] 李军龙, 张剑, 张丛等. 气象要素空间插值方法的比较分析[J]. 草业科学, 2006, 23(8): 6-11.

[13] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 105-121.

[14] 游松财, 李军. 海拔误差影响气温差值误差的研究[J]. 自然资源学报, 2005, 20(1): 140-144.

[15] 张洪亮, 倪绍祥, 邓自旺等. 基于 DEM 的山区气温空间模拟方法[J]. 山地学报, 2002, 20(3): 360-364.

[16] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改等. ArcGIS9 地理信息系统应用与实践(上、下册)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.