

# 基于 DEM 聚焦分析的旬平均气温与 地面坡向相关性定量分析

杨凤海,郑涵菲,姜莹莹,张秋月,王思明,张 颖

(东北农业大学 资源与环境学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**在农业资源气候研究中,为促进旬平均气温的插值研究,基于 1997-2006 年黑龙江省旬平均气温和 DEM 数字高程模型数据,在 ArcGIS 的技术支持下,利用聚焦分析和相关分析的方法,对地面坡向进行 4 个阴阳坡分类,定量研究黑龙江省旬平均气温与地面坡向的相关性,为坡向作为旬平均气温插值的协同变量提供理论基础,使插值结果更准确。结果表明:黑龙江省旬平均气温与地面坡向具有较高的相关性,与 200 km 左右的邻域范围内坡向均值  $\text{mean}^2$ 、标准差  $\text{std}$  和  $\text{std}/\text{mean}$  的函数相关性比较大,并呈负相关趋势,说明旬平均气温与阴坡的相关程度更高,坡向越复杂,对旬平均气温影响越大,同时每旬的相关程度不同。在作物生长期,相关程度最高,最大相关系数在  $-0.747\ 6 \sim -0.365\ 6$ ,均值为  $-0.585\ 3$ 。

**关键词:**黑龙江省;旬平均气温;坡向;聚焦分析;相关分析;ArcGIS

**中图分类号:**S162 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)06-0129-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.06.0129

近年来,人们对气温变化的研究,更多的利用 GIS 等空间信息技术并结合坡度、坡向及高程等影响因子对气温进行空间插值和分析。然而研究这些影响因子与气温的相关程度的较少,特别是对坡度、坡向的研究。邱新法等基于地形、太阳辐射、长波有效辐射等因素对气温的影响并且利用统计模型来实现对重庆市月平均气温空间分布的模拟,模拟结果较细致地反映出了月平均气温的宏观分布趋势、局部分布特征和规律<sup>[1]</sup>。杨凤海等利用协同克里格(CoKriging)的方法,将高程、坡向等作为协同变量,对气温进行插值,研究黑龙江省近 10 年的气温时空变异<sup>[2]</sup>,同时利用插值结果建立旬平均气温空间数据库<sup>[3]</sup>。袁淑杰等应用 DEM 数据及气象站常规观测气象资料,计算了贵州高原复杂地形下各月及年的平均气温精细空间分布,发现坡度、坡向、地形遮蔽对平均气温的影响较大<sup>[4]</sup>。周婷婷等利用空间分析功能对数字高程 DEM 中的一些地形因子进行了几个标准的分类,构建坡度、坡向与温度之间的相关模型,表现出温度在坡向上的分布形式<sup>[5]</sup>,基于地形因子的影响,比较 MODIS 数据和气象观测数据的气温空间插值的精度,不同气象站点分布,不同方法对插值精度影响不同<sup>[6]</sup>。韩贵锋等由 Landsat

TM 影像反演地表温度,提取各坡向上的地表温度,进行方差分析,揭示了坡向对山地城市地表温度的影响<sup>[7]</sup>。李军等模拟不同空间尺度平均气温空间分布,发现微观地形因子(坡度和坡向)随着空间分辨率的变化产生显著变化,明显影响气温空间分布<sup>[8]</sup>。李月臣等通过对气温空间方法的归纳和对比,探讨各类方法的适用性和不足,得出要根据气温场的物理分布特征,结合 GIS 技术,考虑地形等更多的相关因子来提高气温插值的模拟精度<sup>[9]</sup>。以上研究多利用回归方程的方法建立不同时间尺度下气温与其影响因子的统计关系为主,进行两者之间量化的相关程度研究的很少,由于气象站点多分布在平坦开阔区域,因此,结果没有很好的物理解释,不利于进行对经验模型计算气温的精度定量考察。

旬平均气温及其变化对作物生产关系有重要影响,因此,本文基于坡向作为气温的一个重要影响因子,定量研究坡向与黑龙江省旬平均气温的相关程度,更加深入地了解局部地形地貌对气温空间变异的影响,以便于对利用地形因子的旬平均气温插值进行适当地修正,提高插值结果的准确性,同时为农业生产和土地利用等提供理论依据。

## 1 研究区域和数据源

### 1.1 研究区域

黑龙江省位于  $N43^{\circ}25' \sim 53^{\circ}33'$ ,  $E121^{\circ}11' \sim 135^{\circ}05'$ ,是我国最东北部,面积约为 46 万  $\text{km}^2$ ,地形复杂,西北部有大兴安岭山地,北部有小兴安

收稿日期:2016-04-23

基金项目:东北农业大学博士启动基金资助项目(2012 RCB67)

第一作者简介:杨凤海(1967-),男,山东省青岛市人,博士,教授,从事国土/气候资源信息化研究。E-mail: yfhneau@163.com。

岭山地,东南部有张广才岭、老爷岭和完达山等山地,西南有嫩江、松花江南北斜贯穿黑龙江省,形成东北部三江平原、西南部松嫩平原、东南还有兴凯湖。山地和平原的分布构成了黑龙江省西北部、北部和东南部高,东北部、西南部低的地势。

## 1.2 数据源及处理

收集 1997-2006 年黑龙江省 80 个气象站点的旬平均气温数据及地理信息位置以及全省  $1\text{ km}\times 1\text{ km}$  数字高程模型(DEM),对旬平均气温数据进行格式转化,与每个气象站点的空间地理位置相匹配,同时利用 ArcGIS 的地统计分析软件模块,对缺少的年旬平均气温数据的站点进行插值补充,将黑龙江省的数字高程模型(DEM)与行政区划图在 ArcGIS 中进行统一的投影坐标系的转换,统一采用的投影参数为:北京 54 参考系、中央经纬线为  $E128^\circ$ ,标准纬线 1 和标准纬线 2 分别为  $N46^\circ$  和  $N50^\circ$ 。

基于 ArcGIS 中的空间分析功能,对黑龙江省 1997-2006 年旬平均气温与全省数字高程模型(DEM)进行聚焦分析,再利用 Excel 中的相关分析等统计学分析方法,研究黑龙江省 80 个气象站点旬平均气温与地面坡向的定量关系和相关程度,为气温插值模型的选择和修正提供理论依据。

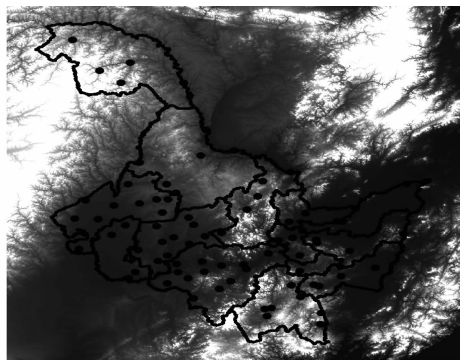


图 1 黑龙江省数字高程模型(DEM)与气象站点分布

Fig.1 The digital elevation model (DEM) and the distribution of the meteorological stations in Heilongjiang province

## 2 地面坡向的聚焦分析与信息提取

聚焦分析是使用类似卷积滤波的方法对图像数值进行多种分析,在预先设定的窗口范围内,选定目的函数,对窗口范围内的像元数据进行计算,得到新图像像元的值,从而达到图像增强的目的。

利用 ArcGIS 中栅格表面(Raster surface)的 Aspect,对 DEM 进行坡向分类,将坡向分为八个朝向:  $-1^\circ$  为平面,  $-22.5^\circ\sim 22.5^\circ$  为北向,  $22.5^\circ\sim 67.5^\circ$  为东北向,  $67.5^\circ\sim 112.5^\circ$  为东向,  $112.5^\circ\sim 157.5^\circ$  为东南向,  $157.5^\circ\sim 202.5^\circ$  为南

向,  $202.5^\circ\sim 247.5^\circ$  为西南向,  $247.5^\circ\sim 292.5^\circ$  为西向,  $292.5^\circ\sim 337.5^\circ$  为西北向。基于八个朝向,重新将坡向分为四类(见图 2):阴坡(北向、东北向、西北向)、半阴坡(东向)、阳坡(东南向、南向、西南向)、半阳坡(西向),并对其进行重新赋值(阴坡 value 值为 1、半阴坡 value 值为 2、半阳坡 value 值为 3、阳坡 value 值为 4),以便于将聚焦分析的结果用于坡向与旬平均气温的相关分析时,提高相关分析的准确度。对地面坡向栅格数据进行聚焦分析,其中,聚焦分析的函数类型有均值(mean)、极差(range)、众数(majority)、标准差(std)以及中值、极值等。经过对聚焦结果的统计和计算,旬平均气温与 mean 和 std 等的相关性相对较大。经过初步的判断,基于 ArcGIS 的邻域分析(Neighbour)选择以距离 50 km 分别进行 50、100、150、200、250 km 为半径的聚焦分析以及 DEM(相当于 0 km)的聚焦分析,进一步利用 ArcGIS 空间分析功能(Extraction)提取气象站点处的聚焦值,计算坡向的不同函数数据与旬平均气温的相关系数,其中与第 17 旬气温的相关系数见表 1。在第 17 旬,聚焦半径在 150~250 km 时,聚焦结果与旬平均气温的相关性较大,低于 150 km 时,相关性呈下降趋势,大于 250 km 相关性也呈下降趋势,其它旬也是如此。为进一步研究旬平均气温与坡向的相关性,在 150~250 km,以 10 km 的距离分别进行聚焦分析,从 DEM 及其聚焦分析结果中提取气象站点处地面坡向的 value 及其邻域内的 mean、majority、std 等数据。

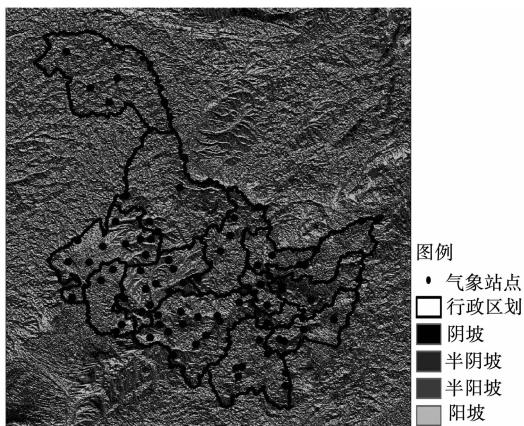


图 2 地面坡向图

Fig.2 The ground aspect figure

此外,为了便于寻找与旬平均气温相关性较高的坡向指标,将气象站坡向的  $\text{mean}^2$ 、 $\text{majority}^2$ 、 $\text{mean}\times\text{majority}$ 、 $\text{majority}/\text{mean}$ 、 $\text{majority}/\text{std}$ 、 $\text{mean}/\text{std}$  等近 50 余组包含坡向指标的数据信息,用于与旬平均气温及坡向相关系数计算。

表1 坡向指数与第17旬平均气温的相关系数

Table 1 Correlation coefficient between the aspect index and the average 10-day air temperature of seventeenth

聚焦类型 Aggregate type	半径/km Radius					
	0	50	100	150	200	250
value	0.4039	-	-	-	-	-
mean	-	-0.4866	-0.5363	-0.6429	-0.6975	-0.6154
majority	-	0.3269	0.3338	0.3762	0.5499	0.4756
std	-	-0.5760	-0.6286	-0.7043	-0.7007	-0.6973

3 地面坡向与旬平均气温的相关性分析

3.1 相关系数的计算和筛选

利用 Excel 表格软件对所提取的气象站点的坡向数据信息进行统计分析,逐一试算不同聚焦半径下的坡向指标与 36 个旬各气象站点旬平均气温的相关系数,再筛选出在不同空间尺度上相关系数最大值(见图 3)。

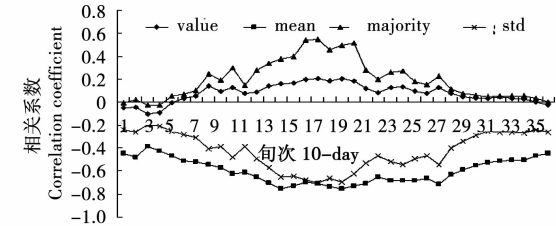


图3 旬平均气温与基本坡向指标的最大相关系数  
Fig. 3 The maximum correlation coefficient between the average 10-day air temperature and fundamental aspect index

进一步利用 Excel 的统计分析功能,分别试算由 mean、majority、value 和 std 等基本指标进行不同函数组合而成的相对综合的坡向指标与 36 个旬各旬平均气温的相关系数,并进行比较分析,结果表明  $mean^2$ 、std、std/mean 三个指标与旬平均气温的相关性最为显著(见图 4)。

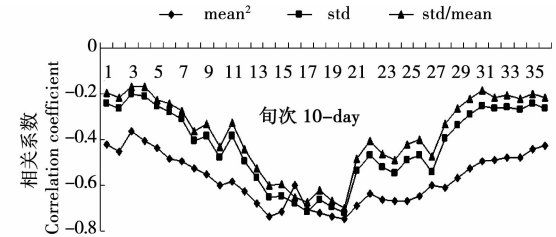


图4 旬平均气温与坡向显著指标的最大相关系数  
Fig. 4 The maximum correlation coefficient of the average 10-day air temperature and remarkable aspect index

从 mean、std、std/mean 三个指标进一步筛选出最大相关系数,用来反映旬平均气温与地面坡向的相关程度(见图 5)。同时,在不同空间尺度下,比较显著的地面坡向指标与旬平均气温的

相关程度见表 2。

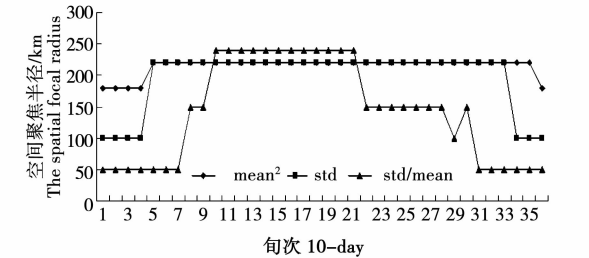


图5 最大相关性坡向指标与空间聚焦半径的对应关系  
Fig. 5 The relation between the maximum correlation aspect index and the spatial focal radius

3.2 相关性分析

区域气温的分布格局在时间上具有巨大的季节差异性,在空间上具有明显的纬向地带性,黑龙江省不同旬平均气温分布格局受不同的控制机制影响。我国高、低温度中心在不同季节与地形分布的关系<sup>[10]</sup>,从 15 旬到 21 旬(夏季),气温分布格局主要由地形控制;从 33 旬到下一年的第 3 旬(冬季),气温分布格局主要由纬度控制。本文从旬时间尺度上进行气温与地面坡向相关程度的探索,从统计相关数据中,可以得出:(1)旬平均气温与地面坡向具有相关性。其中,旬平均气温局部分异与其空间邻域地面坡向  $mean^2$ 、std 及 std/mean 呈负相关,尤其与  $mean^2$  的相关系数最为显著,表明旬平均气温与其一定空间区域内阴坡的相关程度越高,并与坡向复杂度呈现负相关的趋势。在 36 个旬中,旬平均气温在指标  $mean^2$  上与地面坡向的相关系数较大的有 34 个旬,占 94%;其它 2 个旬的旬平均气温在指标 std 上与地面坡向的相关较大。旬平均气温与坡向最大相关系数在  $-0.7476 \sim -0.3656$ ,均值为  $-0.5853$ 。(2)旬平均气温与地面坡向的相关系数具有时间上的变异性。在作物生长期各旬平均气温与坡向的相关系数较大,主要表现为 13~27 旬(5-9 月)的旬平均气温与地面坡向的相关系数在  $-0.7476 \sim -0.6005$ ,均值为  $-0.6741$ ,标准偏差为  $-0.0415$ ,而非生长期内相关系数相对较小。这一结果对农业生产具有重要作用,同时对于研究

农业气候资源中的气温插值具有指导意义。(3) 旬平均气温与地面坡向具有空间上的差异性。各旬平均气温在选定的不同空间尺度上与地面坡向呈现不同的相关性。旬平均气温在指标  $\text{mean}^2$  上与地面坡向最大相关系数的空间邻域范围集中于 150~250 km,最大相关系数稳定在 180 km 或 220 km。而坡向指标 std 的最大相关系数空间邻

域范围表现为:1~4 旬和 34~36 旬集中于 100 km,5~33 旬集中于 220 km。坡向指标 std/mean 的最大相关性指标空间邻域范围表现为:1~9 旬和 22~36 旬集中于 50 km 或 150 km,10~21 旬集中于 240 km 处。空间上的差异性表明,在作物耕种期,旬平均气温与地面坡向在大范围内相关程度更高。

表 2 旬平均气温与各指标最大相关系数

Table 2 Maximum correlation coefficient between the average 10-day air temperature and each index											
旬次 10-day	聚焦半径/km Focal radius	高程指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	旬次 10-day	聚焦半径/km Focal radius	高程指标 Index	相关系数 Correlation coefficient	旬次 10-day	聚焦半径/km Focal radius	高程指标 Index	相关系数 Correlation coefficient
1	180	$\text{mean}^2$	-0.4229	13	220	$\text{mean}^2$	-0.6808	25	220	$\text{mean}^2$	-0.6688
2	180	$\text{mean}^2$	-0.4551	14	220	$\text{mean}^2$	-0.7390	26	220	$\text{mean}^2$	-0.6489
3	180	$\text{mean}^2$	-0.3656	15	220	$\text{mean}^2$	-0.7145	27	220	$\text{mean}^2$	-0.6005
4	180	$\text{mean}^2$	-0.4032	16	220	std	-0.6774	28	220	$\text{mean}^2$	-0.6082
5	180	$\text{mean}^2$	-0.4387	17	220	std	-0.7143	29	220	$\text{mean}^2$	-0.5698
6	220	$\text{mean}^2$	-0.4853	18	220	$\text{mean}^2$	-0.7191	30	220	$\text{mean}^2$	-0.5249
7	220	$\text{mean}^2$	-0.4938	19	220	$\text{mean}^2$	-0.7357	31	220	$\text{mean}^2$	-0.4972
8	220	$\text{mean}^2$	-0.5261	20	220	$\text{mean}^2$	-0.7476	32	220	$\text{mean}^2$	-0.4870
9	220	$\text{mean}^2$	-0.5502	21	220	$\text{mean}^2$	-0.6892	33	220	$\text{mean}^2$	-0.4793
10	220	$\text{mean}^2$	-0.5992	22	220	$\text{mean}^2$	-0.6351	34	220	$\text{mean}^2$	-0.4791
11	220	$\text{mean}^2$	-0.5828	23	220	$\text{mean}^2$	-0.6650	35	220	$\text{mean}^2$	-0.4401
12	220	$\text{mean}^2$	-0.6264	24	220	$\text{mean}^2$	-0.6707	36	180	$\text{mean}^2$	-0.4255

4 结论

本文基于 ArcGIS 的空间分析工具,对 DEM 进行聚焦分析,提取不同空间领域的聚焦值,通过计算聚焦值与旬平均气温的相关系数,定量分析旬平均气温与地面坡向的相关性。结果表明,旬平均气温与坡向的相关程度在时间和空间上都具有差异性,在作物生长期,旬平均气温与坡向具有较高的相关性,并且代表坡向指标的  $\text{mean}^2$ 、std、std/mean 均呈负相关趋势,由此表明当坡向作为气温插值的影响因子时,阴坡处气温插值的精度更高,并且坡向复杂度越高,坡向气温插值的精度影响就越高,而在非作物生长期,相关性较弱;旬平均气温与坡向的相关程度在较大范围(150~250 km)内较高,而在 250 km 以外的范围内未进行聚焦分析,不能确定在 250 km 以外的范围内坡向与旬平均气温的相关程度以及更精确的最佳邻域半径大小等。

本研究在聚焦分析过程中耗时长,工作量大,而且对电脑配置要求较高,然而聚焦结果对于定量分析并筛选出与旬平均气温相关性较大的坡向指标具有重要作用,研究结果对完善传统气温插值模型、提高气温插值的精度具有重要的意义,同

时为进一步探讨农业生产随地面坡度变异做出空间布局与调整提供科学依据。

参考文献:

[1] 邱新法,仇月萍,曾燕.重庆山地月平均气温空间分布模拟研究[J].地理科学进展,2009,24(6): 621-628.

[2] 杨凤海,孙彦坤,于太义,等.近 10 年黑龙江省气温的时空变异分析[J].地球信息科学学报,2009,11(5): 5585-5596.

[3] 杨凤海,王帅,刘晓庆,等.基于 ArcGIS 的近 10 年黑龙江省旬平均气温插值与建库[J].黑龙江农业科学,2009(5): 120-124.

[4] 袁淑杰,谷晓平,缪启龙,等.基于 DEM 的复杂地形下平均气温分布式模拟研究[J].自然资源学报,2010,25(5): 859-867.

[5] 周婷婷.福州市地形与气温相关性及其气温模拟研究[J].中国科技信息,2010(3): 22-23.

[6] 周婷婷,陈文惠.基于 MODIS 数据和气象观测数据的气温空间插值方法比较[J].地理科学进展,2011,30(9): 1143-1151.

[7] 韩贵锋,叶林,孙忠伟.山地城市坡向对地表温度的影响——以重庆市主城区为例[J].生态学报,2012,34(14): 4017-4024.

[8] 李军,黄敬峰,游松财.不同空间尺度 DEM 对山区气温空间分布模拟的影响——以浙江省仙居县为例[J].地理科学,2012,32(11): 1384-1309.

[9] 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.

[10] 卢爱刚,康世昌,庞德谦,等.地形对中国气温季节分布格局的差异影响[J].生态环境,2008,17(4): 1450-1452.