

基于 GIS 的农业气候资源区域化问题研究 ——以甘肃省为例

封志明, 郑海霞, 杨艳昭

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:在农业气候资源研究中, 站点数据的区域化问题是进行资源优化配置和高效利用的一个重要环节。通过采用逐步回归分析与空间插值相结合的方法, 以甘肃省及其相邻省区的 112 个站点 1970~2001 年 31 年的月平均温度和降水数据以及计算得到的月平均太阳辐射和潜在蒸散量为数据源, 对甘肃省气候资源进行了区域化。对每种气象要素都采用了两种空间插值方法, 并对插值结果运用了绝对验证和相对验证两种方法进行了验证和对比。结果表明: 温度残差的平均绝对误差 (MAE) 是 Spline < IDW, 其值分别为: 0.744℃ 和 0.754℃, 平均相对误差 (RME) 分别为: 9.56% 和 9.66%。降水的平均绝对误差是 Kriging < IDW, 其值分别为: 5.39 mm 和 6.12 mm, 平均相对误差分别为: 20.61% 和 23.45%, 作物生育期 3~11 月分别为: 17.19% 和 20.01%。太阳辐射的平均绝对误差是 Spline < IDW, 其值分别为: 16.22 MJ 和 16.44 MJ, 平均相对误差分别为: 3.40% 和 3.44%。潜在蒸散量平均绝对误差也是 Spline < IDW, 其值分别为: 7.80mm 和 7.96mm, 平均相对误差分别为: 10.57% 和 10.65%。根据相对误差结果分析 4 种气象要素的区域化结果由好到差的排序是: 太阳辐射 > 温度 > 潜在蒸散量 > 降水, 但都达到了较高的精度。

关键词:气候资源; 区域化; 回归分析; 空间插值

中图分类号: P461 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2004)04-0444-08

由于水土资源的匮乏和粮食需求的增长, 近年来对农业气候资源的区域优化配置和高效利用成为当前研究的热点之一^[1,2], 对区域农业资源潜力的研究也需要区域化的农业资源数据。但是农业气候资源数据都来自国家气象局的站点观测数据, 存在着站点数据的区域化问题。因此, GIS 空间插值方法被广泛应用于农业气候资源的研究。

空间插值方法包括趋势面拟合 (Trend surface fitting)、距离权重反比法 (Inverse distance weighting)、梯度距离平方反比法 (Gradient plus inverse distance squared)、多项式插值方法 (Interpolating polynomials)、克里格法 (Kriging)、样条插值法 (Spline methods) 等^[3-6], 这些空间插值方法从多个方面考虑了点数据区域化问题, 每种方法都有其优越性和缺陷。由于每种气象要素都具有特殊的区域特征, 如何使气象要素的区域化与实际情况相符成为气候资源研究的难点, 而解决本问题的关键是如何在区域化过程中考虑到其它因子的影响。只有梯度距离平方反比法 (GIDS) 考虑了气象要素

与海拔高度和经纬度的关系, 但是根据笔者的研究气象要素与海拔高度和经纬度的关系并非都是如梯度距离平方反比法所给出的关系, 而是随时空的差异而发生变化。如何在区域化过程中考虑气象要素与影响因子的关系, 我们认为首先需要明确它们之间的关系。因此, 本文在气象要素区域化过程中首先采用逐步回归分析方法得到气象要素与海拔、经度和纬度的相关关系, 再根据它们之间的关系选择适合的区域化方法以考虑这些因素的影响。

1 资料来源与分析

1.1 资料来源与处理

本文应用的原始数据包括气象站点数据、DEM 和经纬度数据, 气象站点数据来源于国家气象局 740 站 1961~2001 年整编数据库。由于研究的需要, 温度和降水数据采用甘肃省及其周围相邻省区的 112 个站点 (图 1) 1970~2001 年 31 年的平均值。太阳辐射数据由各相同气象站点月均日照时数根据 FAO 提供的太阳辐射公式并用文献 [7]

收稿日期: 2003-06-18; 修订日期: 2003-08-16

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-333)

作者简介: 封志明 (1962-), 男, 河北平山人, 研究员, 博士生导师, 主要从事资源科学与资源开发研究。E-mail: Fengzm@igsnrr.ac.cn

提供的参数进行校正后计算得到。潜在蒸散量 (ET_0) 数据由 FAO 提供的 penman - monteith 方法计算得到。DEM 数据来自美国地质勘探局 (USGS) 的 GTOPO - 30 数据, 并经过拼接和重采样形成 1km 的栅格数据^[8]。经纬度数据由经纬度网格的 ARSCII 码数据内插形成。

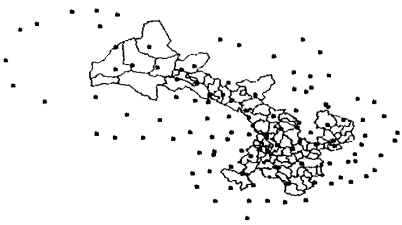


图 1 气象站点的空间分布图
Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations

1.2 数据分析

为了确定区域化过程中需考虑的因子, 首先要研究气象要素及其影响因子之间的关系。为此, 分别对温度、降水、太阳辐射和潜在蒸散量与海拔高度、经度和纬度的相关性进行分析。通过散点图发现温度与海拔高度、纬度具有明显的线性关系, 与经度也存在一定的关系。进一步对温度与海拔高度、经度、纬度进行逐步回归分析 (见表 1)。

由于忽略了地表植被和坡向、坡度等其它因子的影响, 降水与海拔高度、经度、纬度的复相关系数没有达到温度的相关性水平, 复相关系数最大为 0.882, 最小只有 0.681 (见表 2)。对于降水与海拔高度、经度、纬度的简单相关系数中, 各月降水与纬度都存在着负相关关系, 相关性最大的是 0.874, 最小的为 0.591, 并且随季节变化, 表现为冬季小,

表 1 各月平均温度与海拔高度、经度、纬度的逐步回归参数
Table 1 Coefficients and R values from stepwise linear regressions of monthly average air temperature against longitude, latitude and elevation

月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
R	0.970	0.973	0.971	0.977	0.977	0.975	0.975	0.977	0.975	0.981	0.978	0.971
RT_E	-0.679	-0.772	-0.873	-0.948	-0.966	-0.961	-0.965	-0.969	-0.962	-0.917	-0.814	-0.723
RT_LA	-0.579	-0.453	-0.250	-0.017	0.256	—	—	0.178	0.057	-0.199	-0.413	-0.536
RT_LO	0.568	0.500	0.414	0.324	0.160	0.220	0.249	0.260	0.315	0.464	0.552	0.596
CO_CONST	702.938	720.497	663.674	601.970	493.599	464.073	452.744	491.487	517.783	548.076	605.189	594.843
CO_E	-0.043	-0.045	-0.046	-0.051	-0.053	-0.054	-0.054	-0.053	-0.048	-0.046	-0.045	-0.042
CO_LA	-14.349	-12.145	-8.661	-5.126	-1.659	—	—	-1.033	-3.157	-6.886	-10.629	-12.715
CO_LO	-1.683	-2.207	-2.315	-2.261	-1.894	-1.780	-1.464	-1.643	-1.680	-1.354	-1.267	-1.040

注: 相关性为 95% 显著水平下逐步回归结果。R 为复相关系数, RT_LA、RT_LO、RT_E 为温度与纬度、经度和海拔的简单相关系数。“—”表示不具备显著相关关系。CO_CONST、CO_E、CO_LA、CO_LO 为回归常数、高度、纬度和经度回归系数。

夏、秋季大。降水与经度的相关性关系不稳定, 只有个别月份存在相关关系, 与海拔高度在 5 ~ 8 月的暖季不存在显著性相关, 在其它月份的相关性也极小, 除了 11 月和 12 月外都在 0.2 之下。

对太阳辐射和潜在蒸散量同样进行逐步回归分析, 发现各月太阳辐射和潜在蒸散量除 2 月份有些特殊外, 都仅与纬度存在线性相关, 而且相关性较小, 复相关系数最大分别为 0.629、0.572, 最小只有 0.268、0.261 (如表 2), 这主要是由于影响它们的因子除了经度、纬度和海拔高度外, 太阳辐射还受下垫面状况和云量等的影响, 潜在蒸散量则主要受辐射量、温度、湿度和风速的影响。

2 方法的选取

2.1 区域化方法的选取

根据上述相关关系分析可以看出, 不同的气象

要素受其它因子的影响也不同。因此, 对于不同的气象要素我们采用不同的区域化方法。

2.1.1 温度

从气象要素及其影响因子的相关分析可以看出, 温度与海拔高度、经度、纬度的关系十分密切, 复相关系数达到 97% 以上。因此, 对于温度的区域化, 本文采用回归分析与空间插值相结合的方法。首先利用站点的温度数据与海拔高度、经度、纬度数据的逐步回归分析结果, 得到各月气象要素的回归方程, 并利用 1km DEM 和经度、纬度的 GRID 数据运用 ARCGIS RASTER CALCULATOR 方法得到气象要素的理论值。然后, 用气象站点的实测值与回归理论值的差值作为残差, 再选择合适的空间插值方法进行插值。最后, 把二者进 5 行栅格叠加得到温度的区域化栅格数据。由于先去除了其它因子的影响再选择合适的插值方法对残差

表 2 降水与经度、纬度和海拔高度的复相关系数和简单相关系数

Table 2 coefficients and simple correlation coefficients of precipitation against longitude, latitude and elevation

	月 份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降 水	R	0.758	0.830	0.823	0.880	0.843	0.852	0.820	0.834	0.882	0.855	0.832	0.681
	$R_{P,LA}$	-0.730	-0.811	-0.753	-0.825	-0.843	-0.852	-0.799	-0.800	-0.874	-0.804	0.618	-0.591
	$R_{P,LO}$	-	-	0.636	-	-	-	0.578	0.620	-	-	-0.615	-
	$R_{P,E}$	-0.100	-0.059	-0.189	-0.189	-	-	-	-	-0.003	-0.176	-0.467	-0.253
太阳辐射	R	0.372	-	0.268	0.417	0.598	0.629	0.616	0.603	0.526	0.309	0.265	0.539
	$R_{S,LA}$	-0.372	-	-0.268	-0.417	-0.598	-0.629	-0.616	-0.603	-0.526	-0.309	-0.265	-0.486
	$R_{S,LO}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.452
	$R_{S,E}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
潜在蒸散量	R	0.459	0.293	0.347	0.536	0.562	0.572	0.565	0.573	0.532	0.261	-	0.291
	$R_{ETO,LA}$	-0.459	-	0.347	0.536	0.562	0.572	0.565	0.573	0.532	0.261	-	-0.291
	$R_{ETO,LO}$	-	0.107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$R_{ETO,E}$	-	0.224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

注: R 为复相关系数, $R_{P,LA}$ 、 $R_{P,LO}$ 、 $R_{P,E}$ 为降水与纬度、经度和海拔的简单相关系数, 其它类同。“-”表示不具备显著的相关关系。

进行空间插值,从而使区域化的结果更接近气象要素的实际数值。根据数据的实际特征和初步筛选采用距离权重反比法(IDW)和样条插值法(Spline)对温度残差进行空间插值,选择验证结果最好的方法。

2.1.2 降水

由上述分析可知,降水与经纬度、海拔高程的相关性较差,因此,对降水我们采用直接空间插值的方法,通过初步选择采用IDW和Kriging法进行插值,再根据空间插值结果与实际降水分布规律选择较为适合的一种方法。

2.1.3 太阳辐射和潜在蒸散量

太阳辐射和潜在蒸散量与海拔高度、经度、纬度的关系十分相似,都是仅与纬度相关,而且受小气候和局部地貌的影响不是很大。因此,可以选择空间插值方法直接进行区域化,对于这两个因子本文采用IDW和Spline两种方法进行对比研究。

2.1.4 空间插值方法

本文采用的空间插值方法包括距离权重反比法(IDW)、样条插值法(Spline methods, SP)和普通克里格法(Kriging)。IDW法是以插值点与样点间的距离为权重的一种加权平均法,其权重赋予是离插值点越近的点赋予的权重值越大^[3]。

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^p} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}$$

(1)

式中: Z 为所要估计的气象要素栅格点的值, Z_i 为第 i 个站点的值, d_i 为插值点到第 i 点的大圆距离, n 为用于插值的气象站点数目, p 为权重幂指数 IDW 方法可以通过幂指数 P 和邻域搜捕参数进行

优化。

SP 法是以最小曲率面来充分逼近各观察点,理论上采用高阶多项式进行插值估计可以得到高阶平滑结果,样条函数的详细内容参见文献[9]。

Kriging 法以“区域化变量”理论为依据,利用半变异函数对特定点或是给定搜索半径内的所有点进行拟合来估计每个点的值,对处理含有距离和方向上有偏差的数据尤为适用^[10]。本文采用普通克里格法(Ordinary Kriging, OK),其插值公式为:

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(X_i)$$

(2)

式中: λ_i 是赋予站点气象要素值 $Z(X_i)$ 的权重,用来表示各站点要素值 $Z(X_i)$ 对估计值 Z 的贡献。 λ_i 由半变异函数和和样点间的协方差决定,是 Kriging 插值的关键,详细内容见文献[11~12]。普通克里格法的优化包括邻域搜捕优化和半变异函数理论模型、块金方差、基台值、步长等方面。

2.1.5 检验方法

采用交叉验证(cross-validation)的方法来验证插值的绝对误差,选择平均误差(mean error, ME)、绝对平均误差(mean absolute error, MAE)及均方根误差(root mean squared error, RMSE)作为检验的标准。均方根误差的表达是为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{ai} - Z_{ei})^2}{n}}$$

(3)

式中: Z_{ai} 为第 i 个站点的实际观测值, Z_{ei} 为第 i 个站点的估计值, n 为检验的站点数目。

同时,由于绝对误差结果与插值站点观测值的

实际数据密切相关,如果原始数据值大,绝对误差也相应增大,其大小并不能反映插值精度的时间变化和气象要素间插值精度的比较。为此,本文引入了相对平均误差的概念,相对平均误差即为绝对平均误差与站点实测值的平均值的比例。另外,根据插值结果和地区实际情况辅佐考虑插值的极值范围。

3 结果分析

3.1 参数优化结果

3.1.1 幂指数优化

在用 IDW 和 Spline 方法对气象要素插值过程中都采用了幂指数优化,对于 Spline 方法气象要素优化后的参数 P 都接近于 0。对于 IDW 方法,幂指数 P 在 4 种气象要素的空间插值中都有较大的变化(见表 3)。总体上看,温度和太阳辐射的幂指数 P 较小,降水和潜在蒸散量的较大,反映了温度和太阳辐射在区域间变化的梯度较小,降水和潜在蒸散量变化的梯度较大。在季节变化上表现为冬季较大,夏季较小。另外,由于温度是残差参与插值,其幂指数不能反映季节的变化。

3.1.2 气象要素的各向异性

每种气象要素所选择的两种插值方法都能通过数据各向异性的调整实现更优的插值,但是由于每种方法的计算过程不同,其所反映的数据的各向异性也稍有不同,但整体上是一致的,两者可以相互印证(见表 4)。可以看出,降水的空间分布以经向条带状延伸大于纬向条带状,夏季表现更为明显,这反映了研究区域降水分布自东南向西北递减的总体规律,并且与甘肃西部降水极少和陇南、甘南降水较多相一致。太阳辐射一般是纬向地带性为主,由于本研究区域的特殊性,河西地区多晴朗少云天气,使该区域只有 9~11 月份纬向地带性较为明显,5~8 月太阳辐射以经向地带性为主,其它月份地带性不太明显。潜在蒸散量受地表植被、坡向等小地域因子的影响,地带性分布不太明显。

3.1.3 半变异函数优化

由于只有降水用 Kriging 空间插值方法更优于其它方法,半变异函数的优化仅仅对于降水而言。在运用 Kriging 方法的过程中,对半变异函数的各向异性、理论模型、步长等均进行了拟合。结果显

表 3 距离反比法优化的幂指数 P

Table 3 Optimize parameters in the IDW

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
温度	1.556	1.000	1.000	1.620	1.687	1.609	1.000	1.314	1.183	1.000	1.000	1.000
降水	4.269	3.384	2.705	2.806	3.371	2.250	1.806	2.300	2.000	3.568	2.000	3.024
太阳辐射	2.340	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	1.757	1.503
潜在蒸散量	4.269	3.384	2.705	2.806	3.371	1.000	2.260	2.300	2.000	3.568	2.000	2.000

表 4 气象要素空间分布的各向异性

Table 4 Anisotropy in spatial distribution of weather elements

	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
降水	IDW	1.000	1.000	1.193	1.000	1.000	0.515	0.515	1.000	1.000	1.000	1.000	0.677
	KRIGING	1.000	1.000	1.286	1.286	0.857	0.664	0.714	0.714	0.857	1.000	1.000	0.902
太阳辐射	IDW	0.837	1.000	1.000	1.000	0.837	0.837	0.674	0.674	1.000	1.000	1.000	1.000
	SP	1.000	1.000	0.810	1.000	0.840	0.840	0.810	0.670	1.480	1.480	1.480	1.000
潜在蒸散量	IDW	1.000	1.000	1.193	1.000	1.000	0.837	1.239	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	SP	0.810	0.840	1.190	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

示对降水适合的理论模型以指数模型(Exponential)为主,包括 1~5 月、9 月和 12 月都是指数模型拟合最佳。其次是球形模型(Spherical),有 6~8 月和 10~11 月。

3.2 区域化及验证结果

3.2.1 温度

温度的区域化分两步进行,理论统计值可以直接由栅格计算得出,主要取决于残差的插值方法。

对于温度的残差采用了 IDW 和 Spline 两种方法进行对比,其验证结果如表 5 和图 2。总体上看,验证结果 Spline 方法比 IDW 方法更优,其中反映总体区域插值效果的 ME 除 11、12 月等个别月份外, Spline 方法的误差均小于 IDW 方法; RMSE 除 11 月份以外都是 Spline 方法比 IDW 方法稍好,两种方法 RMSE 平均值分别为: 1.010℃ 和 1.027℃; MAE 也多数月份是 Spline 方法比 IDW 方法稍好,

表 5 温度残差交叉验证结果对比

Table 5 Cross-validation of remnant errors of temperature unit:0.1℃													
月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IDW	ME	-0.200	-0.128	-0.061	-0.120	-0.402	-0.714	-0.392	-0.480	-0.350	-0.292	-0.051	-0.159
	RMSE	12.640	11.370	10.960	10.710	10.450	9.799	9.979	9.241	8.798	8.214	9.543	11.490
	MAE	9.505	7.923	7.934	7.884	7.578	7.096	7.045	6.658	6.540	5.976	7.214	9.129
	SPME	0.162	0.014	-0.015	-0.040	-0.072	-0.139	-0.219	-0.179	-0.185	-0.296	-0.161	0.184
SP	RMSE	11.720	11.340	10.960	10.870	10.440	9.380	9.950	8.755	8.564	8.182	9.611	11.370
	MAE	8.758	7.923	7.951	8.000	7.512	6.907	7.057	6.555	6.495	6.012	7.304	8.854

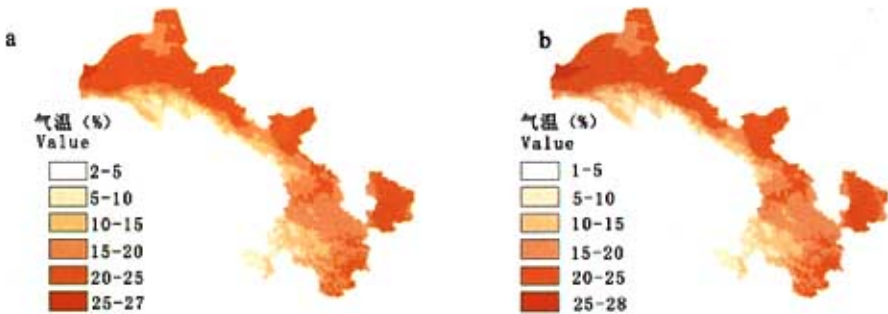


图 2 甘肃省 7 月平均温度栅格图(a 为 IDW 法,b 为 Spline 法)

Fig.2 Map of mean temperature in July in Gansu province with IDW (a) and spline (b)

误差平均值分别为:0.744℃和0.754℃。相对误差 RME 反映绝对误差相对于实测数据的情况,可以看出,两轴曲线的极值点和走向都不同,交叉验证结果所反映的绝对误差不能反映误差相对于月均温度的情况,绝对误差表现为冬季大、夏季小,这是由于冬季温度与经度、纬度和海拔高度的拟合较差,估计理论值与实测值相差较大,而使残差较大造成的。相对误差的极大值出现在 3 月和 11 月,这可能是由于这两个月份温度的区域差异较大,使插值误差增大造成的。Spline 和 IDW 两种方法的平均误差率分别为:9.56%和 9.66%,相差不大。

由图 2 可以看出两种方法都很好的反应了甘肃省温度的区域差异和实际状况。在北山、祁连山沿线、乌鞘岭和甘南高原形成全省温度的低值区,处于北山和祁连山之间的安敦盆地形成了全省温度的高值区。纵观全省,河西走廊高于黄土高原地区,不同地域之间小区域差异反映的也十分显著。IDW 方法温度插值的极值分别为 2℃和 27℃,Spline 则分别为 1℃和 28℃,IDW 方法插值趋于平均化。另外,IDW 插值的精度没有 Spline 高,我们趋向于选择 Spline 方法进行温度残差的插值。

3.2.2 降水

本文采用了 Kriging 和 IDW 两种方法对降水

进行了空间插值,从交叉验证结果看,Kriging 方法总体上优于 IDW 方法,RMSE 只有 1 月份 Kriging 大于 IDW,MAE 所有月份 Kriging 方法都小于 IDW,两种方法的 RMSE 平均值分别为:7.89 mm 和 8.70 mm,MAE 为 5.39 mm 和 6.12 mm,达到了较高的精度。两种方法相对误差极值范围分别为:0.1383~0.3780、0.1683~0.4038,平均相对误差率为:20.61%和 23.45%,误差较大。但是考虑到甘肃作物多是一年一熟制,处于生育期的 3~11 月平均相对误差率分别为:17.19%和 20.01%,Kriging 方法达到了较高的精度。

由图 3 可以看出,两种插值方法都较好的反映了甘肃省降水的空间变化,整体表现为由东南向西北递减,由高山高原向沙漠平原递减,河西干旱半干旱地区降水很少,在酒泉地区形成低值区,在甘南、陇南和陇东地区形成一个高值区

3.2.3 太阳辐射

太阳辐射采用的两种方法交叉验证结果总体上是 Spline 方法优于 IDW 方法,ME 只有 3 月份 Spline 方法大于 IDW, RMSE 只有 3 月和 7 月 Spline 方法稍大于 IDW, Spline 和 IDW 的平均 RMSE 分别为:21.78 mJ/m²和 22.15 mJ/m²,平均 MAE 分别为:16.22 和 16.44。相对误差验证结果

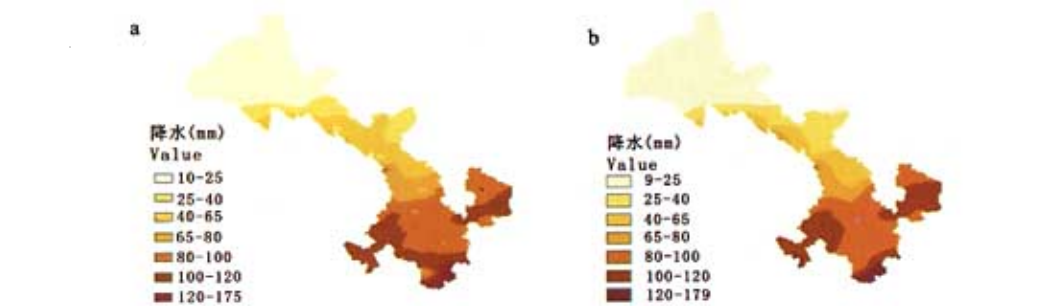


图 3 甘肃省 7 月平均降水栅格图(a 为 IDW 法,b 为 kriging 法)
Fig. 3 Map of monthly mean precipitation in July in Gansu province with IDW(a) and kriging(b)

表 6 降水的两种插值方法交叉验证结果

Table 6 Cross - validation errors of precipitation for the two Interpolation method													unit: mm
月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
KRG	ME	0.017	0.025	0.005	0.016	-0.008	-0.072	-0.002	-0.029	-0.008	-0.028	0.012	0.024
	RMSE	1.582	1.609	4.090	5.450	9.967	11.370	21.580	17.990	10.790	6.749	2.119	1.388
	MAE	1.057	1.098	2.706	3.658	6.561	7.897	15.484	12.768	7.251	3.857	1.472	0.906
IDW	ME	0.080	0.002	0.003	0.003	0.000	-0.108	0.859	0.551	0.063	0.000	0.020	0.062
	RMSE	1.619	1.758	4.524	6.209	11.360	14.020	22.470	19.132	11.490	7.582	2.842	1.464
	MAE	1.154	1.248	3.012	4.334	7.810	9.979	16.077	14.205	7.989	4.878	1.794	0.967

与绝对误差验证结果走向相反,冬季大,夏季小 (见表 7 和图 6)。

两种方法插值结果都较好的反映了太阳辐射空间变化(图 4),甘肃省太阳辐射呈东南向西北递增的趋势,这主要是由于甘肃省特殊的地形地貌造成的,东南部多高山高原和丘陵,地形复杂,阴雨天

表 7 太阳辐射交叉验证

Table 7 Cross - validation errors of solar radiation													unit:mJ/m ²
月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SP	ME	0.052	0.587	0.055	-0.389	-0.091	-0.018	0.134	-0.371	-0.255	-0.215	0.697	0.584
	RMSE	24.220	16.500	25.180	21.330	25.360	25.070	27.510	22.770	24.600	15.900	15.310	17.600
	MAE	15.648	11.946	17.202	16.405	19.318	19.959	21.868	18.419	16.844	12.862	11.781	12.360
IDW	ME	0.483	0.713	0.034	-0.597	-0.287	-0.176	0.152	-0.828	-1.557	-0.375	0.450	0.680
	RMSE	24.650	16.590	24.560	21.700	25.600	25.430	27.350	23.420	25.460	17.170	15.990	17.890
	MAE	15.645	11.826	17.145	16.608	19.638	20.201	22.001	18.914	17.374	13.307	12.136	12.477

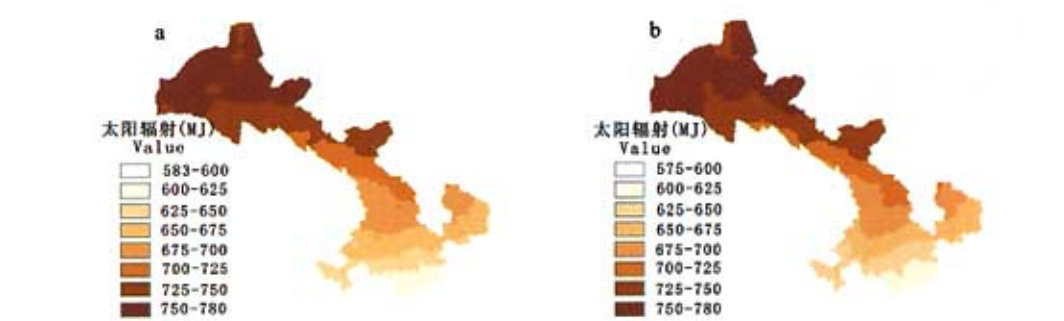


图 4 太阳辐射量 7 月平均栅格图(a 为 IDW 方法,b 为 Spline 法)
Fig. 4 Map of monthly mean solar radiation in July in Gansu province with IDW(a) and spline(b)

气较多,西北河西地区多晴朗无云,地势也较为平坦,太阳辐射的这种空间分布为河西地区灌溉农业的生产提供了良好的条件,从而使河西地区成为绿色走廊。由于 Spline 方法所得的极值范围更广,更能反映出区域渐变的过程,在此选用 Spline 方法进行太阳辐射插值。

3.2.4 潜在蒸散量

潜在蒸散量采用 IDW 和 Spline 两种方法进行插值,插值验证结果显示(见图 5 和表 8):总体上 Spline 方法优于 IDW 方法。ME 只有 1 月份 Spline

方法大于 IDW,平均 RMSE 分别为:11.91mm 和 12.07mm,MAE 为:7.80mm 和 7.96mm。相对误差范围为:0.0786~0.1899,0.0764~0.1997,平均相对误差率分别为:10.65%和 10.57%。两种方法插值的结果都很好的反映了甘肃省潜在蒸散量的空间差异,表现为从东南向西北递增,从高山、高原向平原递增,在甘南高原形成低值区,在西北的安、敦盆地形成高值区。两种插值结果只有部分小区域上的差异,表现为 IDW 方法在小区域范围内形成极点和同心圆,我们认为 Spline 方法更好一些。

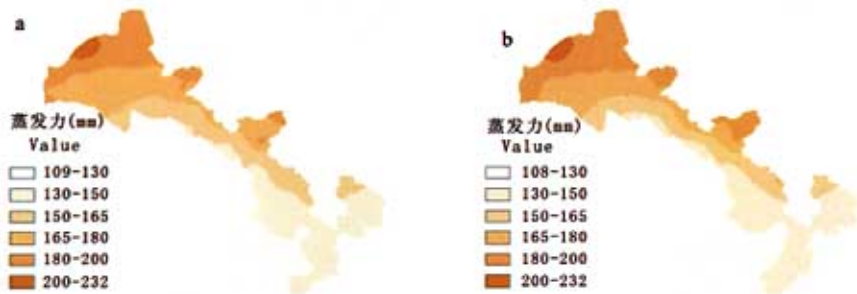


图 5 蒸散发潜力 7 月平均栅格图(a 为 ZDW 法,b 为 Spline 法)

Fig. 5 Map of monthly mean evapotranspiration potential in July in Gansu Province with 2DW (a) and Spline (b)

表 8 潜在蒸散量交叉验证结果

Table 8 Cross-validation errors of evapotranspiration potential unit:mm

	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IDW	ME	-0.010	-0.173	-0.450	-0.591	-1.669	-1.776	-0.970	-1.560	-1.640	-0.807	-0.189	0.066
	MAE	3.597	4.758	6.603	8.561	11.111	12.429	12.310	10.865	8.990	6.145	5.253	4.936
	RMSE	4.670	6.560	9.371	12.280	17.022	19.598	20.152	17.602	14.421	9.402	6.853	6.857
SP	ME	0.014	-0.112	-0.228	-0.435	-0.817	-0.904	-0.759	-0.772	-0.918	-0.284	-0.074	0.079
	MAE	3.687	4.802	6.528	8.762	10.802	11.647	12.005	10.471	8.636	6.074	5.270	4.955
	RMSE	4.776	6.636	9.252	12.470	16.790	19.050	19.510	17.190	14.170	9.445	6.855	6.816

4 结 论

通过对几种气象要素的区域化结果可以看出:
①对于温度采用回归分析与空间插值相结合的方法将使区域化结果更好,降水采用 Kriging 方法可以取得较好的效果,太阳辐射和潜在蒸散量都适合采用 Spline 插值方法。
②本文引入的相对平均误差的概念,可以很好的检验不同月份和不同气象要素间的区域化结果的优劣。
③4 种气象要素的区域化结果由好到差的排序是:太阳辐射>温度>潜在蒸散量>降水,但都达到了较高的精度。

参考文献:

[1] 石玉林,封志明. 开展农业资源高效利用研究[J]. 自然资源学报,1997,12(4):293~298.

[2] 马兴祥. 甘肃河西地区气候资源及其开发利用[J]. 资源科学,1998,20(3):61~67.

[3] 林忠辉,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.

[4] 王 珂,许红卫,史 舟. 土壤钾素空间变异性和空间插值方法的比较研究[J]. 植物营养与肥料科学,2000,6(3):318~322.

[5] 李 新,程国栋,卢 玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展,2000,15(3):260~265.

- [6] Price D T, Mckenney D W, nalder I A et al. A comparison of two statistical methods for spatial interpolation of Canadian monthly mean climate data [J]. Agriculture for meteorology. 2000, 101: 81~94.
- [7] 陈玉民, 郭国双. 中国主要作物需水量与灌溉 [M]. 北京: 水利水电出版社, 1995.
- [8] <http://eddaac.usgs.gov/gtopo30/gtopo30.html>
- [9] 邹 伦, 刘 瑜, 张 晶, 等. 地理信息系统—原理、方法和应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001. 178~180.
- [10] 李丽娟, 王 娟, 李海滨. 无定河流域降雨量空间变异性研究. 地理研究 [J], 2002, 21(4): 434~441.
- [11] 侯景儒, 尹镇南, 等. 实用地质统计学 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
- [12] 孙洪泉. 地质统计学及其应用 [M]. 北京: 中国矿业大学出版社, 1990.

Study on the Zonal Digitization of Agricultural Climate Resources Based on GIS —Case Study of Gansu Province

FENG Zhi-Ming, ZHENG Hai-Xia, YANG Yan-Zhao

(*institute of geographical sciences and natural resources reserch, the Chinese academy of sciences, beijing 100101*)

Abstract: In research of agricultural climate resources, the zonal digitization of climate data is very important for optimization, collocation and high efficient utilization of agricultural resources. Using 11-year of monthly mean air temperature, precipitation, solar radiation and evapotranspiration potential at 112 station in Gansu province and adjacent regions, we combined the methods of stepwise regression analysis and spatial interpolation to regionalize climate variables in Gansu province. Based on stepwise regression analysis, we chosen the methods of zonal digitization. The two methods of spatial interpolation were applied for every climate variables, and farther the results were validated and contrasted by absolute errors from cross-validation test and relative errors from proportion of mean absolute errors (MAE) and corresponding monthly mean climate variables. The results of mean absolute errors were ranked as Spline < IDW for the residual of air temperature, Spline gives lower mean absolute errors which averaged 0.744 °C and relative mean errors (RME) averaged 9.56%. The rank of precipitation is Kriging < IDW, Kriging gives lower mean absolute errors which averaged 5.39mm and relative mean errors averaged 20.61%, yet kriging had lower relative mean errors of 17.19% during crop growth seasons. The rank of solar radiation is Spline < IDW, Spline gives lower mean absolute errors which averaged 16.22MJ and relative mean errors averaged 3.40%. The results of mean absolute errors were also ranked as Spline < IDW for evapotranspiration potential, Spline gives lower mean absolute errors which averaged 7.80mm and relative mean errors averaged 10.57%. Compared with these methods of spatial interpolation, Spline is optimal to apply for interpolating remnant errors of monthly mean temperature, solar radiation and evapotranspiration potential, Kriging is suitable for monthly mean precipitation. On basis of relative mean errors, the four climate variables were ranked as solar radiation > air temperature > evapotranspiration potential > precipitation, but the zonal digitization of the four climate variables all achieved good precision.

Key words: climate resources; zonal digitization; regression analysis; spatial interpolation