

基于 GIS 与草原综合顺序分类法对 甘肃省草地类型的划分初探

马轩龙, 李文娟, 陈全功

(兰州大学草地农业科技学院 农业部草地农业生态系统重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘要:基于改进的空间要素插值方法,使用 DEM 海拔高程数据作为修正,在要插值的空间数据与协同因子之间的相关性较高时,可以有效地提高插值结果的精度。对于年积温数据,其与 DEM 海拔高程之间的相关系数为 0.769,相关性较高,故使用 DEM 的协克里格方法可以有效地提高插值精度,4 种插值方法的 ME 值排序为 IDW<Spline<OK<CK。相比较 OK 法,CK 法的插值精度提高了 35% 以上,故使用 CK 法对年积温空间数据库进行插值;对于年降水数据,其与 DEM 海拔高程之间的相关系数为 0.372,相关性较低,故使用 DEM 的协克里格插值方法并不能有效地提高插值精度,4 种插值方法的 ME 值排序为 IDW<Spline<CK<OK。OK 法的插值精度最高,故使用 OK 法对年降水数据进行插值。在插值结果的基础上,利用 GIS 软件的叠加分析功能,计算出了甘肃省的湿润度 K 值空间数据库,依据草原综合顺序分类法的水热标准,对甘肃省草地类型的划分进行了初步的研究,并制作了甘肃省草地类型分布图。研究结果显示,甘肃省草地分为 18 个类,横跨了从寒冷到暖热 5 个热量级,极干到潮湿 6 个湿润度级。自陇东南向西北形成了森林—森林草原—典型草原—荒漠草原—草原化荒漠—半荒漠—荒漠等植被类型。山地系列自上而下,形成高山—亚高山—草甸—山地森林—草甸草原—典型草原等植被类型,基本上反映了甘肃天然草地发生规律和分布规律,并为后续的相关研究提供了理论基础。

关键词:GIS;综合顺序分类法;空间插值;天然草地类型

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2009)05-0007-07

*¹ 草原类型是草原资源实体的高度抽象概括,是合理开发利用草原的理论基础^[1]。综合顺序分类法是任继周等^[2]提出的草地分类方法,后几经改进。1995 年胡自治等^[3]对综合顺序分类法进行了新的改进,使该方法更趋完善。这一分类体系能够将全世界各个不同地区的草地类型纳入一个统一的分类系统。利用水热条件的定量指标使分类数量化,在很大程度上减少了人为的影响,在草地分类体系中具有一定的先进性和实用性。

我国地域辽阔,草地的变化很大,不仅有草地型、组的变化,而且会有草地类的变化^[4-5],各个草地类型之间的草地植被净初级生产力、生态状况以及经济价值之间差异非常大^[6-10]。基于综合顺序分类法的分类原则可以制作出草地类型图,然而目前可供使用的草地类型图在制作的过程中,空间数据库插值的方法过于简单,对于气象要素和影响它的其他诸要素之间的关系考虑的还不够

充分^[11]。有必要在 GIS 平台上,依据草原综合顺序分类法以及重新插值的气象要素空间数据库,制作出新的甘肃省草地综合顺序分类图,旨在了解甘肃省草地类型状况,为合理利用和开发草地资源提供合理依据。

利用遥感和地理信息系统等技术手段,使用反距离权重法等普通插值方法与基于 DEM 修正的协克里格插值方法,对甘肃省及其周边地区气象站点的 30 年平均年积温和年降水数据进行了空间插值,发现在相关性较高的情况下,使用高程作为辅助因子的协克里格插值方法,可以有效的提高插值精度。因此选用协克里格法生成了甘肃省的年积温空间数据库,用普通克里格法生成了

。 收稿日期:2008-05-20

基金项目:“863”计划数字农业技术课题(2006AA10Z241)

作者简介:马轩龙(1983-),男,甘肃徽县人,在读硕士生,主要从事遥感和地理信息系统应用研究。

E-mail: mxlsw@yahoo.com.cn

通信作者:陈全功 E-mail: chenqg@lzu.edu.cn

甘肃省的年降水空间数据库,并在此基础上,制作出了甘肃省草地类型分布图。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况 甘肃省位于东经 $92^{\circ}13' \sim 108^{\circ}46'$,北纬 $32^{\circ}31' \sim 42^{\circ}57'$,地处东部季风区,西北干旱、半干旱和青藏高原三大自然区交汇处。省域面积 45.4 万 km^2 ,省域平面形态呈北西—南东方向延伸的狭长带状或哑铃状,长 $1\,650 \text{ km}$,宽 $150 \sim 300 \text{ km}$ 。区域内有山地、丘陵、高原等,地貌类型多样,地形复杂。因位于青藏高原东北侧,受其影响,甘肃地势普遍向北倾斜。北部的北山山地由一系列雁形山脉组成,海拔 $1\,300 \sim 1\,600 \text{ m}$;阿拉善高原海拔 $800 \sim 1\,600 \text{ m}$,是我国除塔里木盆地外沙漠最为集中的地区;河西走廊海拔 $1\,400 \sim 2\,900 \text{ m}$;西南部的阿尔金山、祁连山海拔 $4\,000 \text{ m}$;中部和东部为广阔的黄土高原,海拔 $1\,400 \sim 2\,200 \text{ m}$;南部的甘南高原海拔 $3\,000 \sim 3\,500 \text{ m}$;陇南山地海拔 $2\,000 \sim 4\,000 \text{ m}$ 。甘肃省深居内陆,远离海洋,气候类型复杂多样,主要有河东气候类型、河西走廊内陆干旱气候类型和甘南高原及祁连山高寒气候类型。

1.2 数据来源 积温和降水数据来自甘肃及周边 162 个气象台(站),数据为 $1961-1990$ 年间各气象台(站) 30 年的均值。使用 ArcMap 软件将甘肃省空间数据转换成 Albers 等积投影。

DEM 海拔高程数据来自美国地质勘探局(USGS)的 GTOPO30 数据,其精度为 30 s (大约 1 km)。通过 ArcMap 软件从 DEM 中提取出气象站点的海拔数据,通过相关性分析,发现年积温与海拔的相关性较高,达到了 0.769 ,而年降水与海拔相关性较差,只有 0.372 。

2 研究方法与验证

2.1 空间数据库的插值方法

2.1.1 反距离权重法(Inverse Distance Weighting Method,简称 IDW) 反距离权重法是对采样点进行线性的加权来决定输出的栅格值,加权与距离成反比,输入点离输出栅格越远,它对输出栅格的影响越小。使用式(1)表示^[12]。

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^P} Z(x_i)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(d_i)^P}} \quad (1)$$

式中, Z 为待估计的气温栅格值, $Z(x_i)$ 为第 i ($i=1,2,\dots,n$) 个气象站点的数据, n 为用于气象数据插值的站点数目, d_i 为插值点到第 i 个气象站点的距离, P 为距离的幂。

2.1.2 样条函数法(Spline Method) 样条函数法是使用一种数学函数,对一些限定的点值,通过控制估计方差,利用一些特征节点,用多项式拟合的方法来产生平滑的插值曲线。这种方法适用于逐渐变化的表面,如温度、高程、地下水位高度或污染程度等。使用式(2)表示。

$$Z = \sum_{i=1}^n A_i d_i^2 \lg d_i + a + bx + cy \quad (2)$$

式中, Z 为待估值的栅格值, d_i 为插值点到第 i 个气象站点的距离, $a+bx+cy$ 为气温的局部趋势函数, x,y 为插值点的地理坐标, $\sum_{i=1}^n A_i d_i^2 \lg d_i$ 为一个基础函数,通过它可以获得最小化表面的曲率, A_i, a, b 和 c 为方程系数, n 为用于插值的气站站点的数目。

2.1.3 普通克里格法(Ordinary Kriging Method,简称 OK) 普通克里格法是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。使用式(3)表示^[13]。

$$Z = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

式中, Z 为待估值的气象数据栅格值, λ_i 为赋予站点气象数据的一组权重系数, n 为用于气象数据插值的站点数目, $Z(x_i)$ 为站点的气象数据值。

2.1.4 协克里格法(Co-Kriging Method,简称 CK) Dirks 等^[14]发现,当站网密度较高时,普通克里格法的插值效果与其他常用方法相比并无多大优势。但是,通过分析气象站点的数据,发现随着高程的增加,年积温呈减少的趋势,相关系数达 0.769 。因此,采用协克里格法,并将高程作为第 2 影响因素引入到对年积温的空间插值中。

对多个具有空间相关性的空间变量进行估计的克里格方法可以归类为协克里格方法。借助这

类方法,可以利用几个空间变量之间的相关性,对其中的1个变量或多个变量进行空间估计,以提高估计的精度和合理性。

考虑高程影响的协克里格估值方法可用公式(4)表示。

$$Z^*(x)=\sum_{i=1}^n\lambda_iZ_{ui}+\lambda[y(x)-m_Y+m_Z]\quad(4)$$

式中, $Z^*(x)$ 为 x 点处插得的气象数据, Z_{ui} 为第 i 个站点的实测数据, $y(x)$ 为 x 点处的高程, n 为实测气象站点的数量, m_Y 、 m_Z 分别为高程和气象数据的全局平均值, λ 为协克里格插值权重系数。

2.1.5 插值方法的检验标准 采用交叉验证法(cross-validation)来验证插值的效果^[15]。即首先假定每个站点的气象要素值未知,都用周围站点的值来估算,然后计算所有站点实际观测值与估算值的误差,以此来评判插值方法的优劣。采用平均误差(Mean Error,ME)与均方根误差(Root-Mean-Square Error, RMSE)来作为评估几种插值方法的插值效果的标准。选择ME和RMSE相对最小的插值方法来建立甘肃省气象数据的栅格空间数据库。ME反映总体估计误差的大小, RMSE反映利用样点数据的估值灵敏度和极值效应。

$$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n(Z_{a,i}-Z_{e,i})^2}{n}}\quad(5)$$

式中, $Z_{a,i}$ 为第 i 个站点的实际观测值, $Z_{e,i}$ 为估计值。 n 为用于检测的站点数目。

2.2 综合顺序分类法 在生物气候要素中,热量与水分居于首要地位。因此草原综合顺序分类法,根据水热条件组合的草原学表现,制定了草原的热量级和湿润度指标^[2]。

2.2.1 草原热量级指标 热量级是以0℃以上的年积温为指标,作出热量级等值线,与草原生态及自然地理实际情况相对照,将全世界热量级分为:寒冷(年积温<1 300℃),相当于自然地带的寒带;寒温(年积温1 300~2 300℃),相当于自然地带的温带较冷部分;微温(年积温2 300~3 700℃,相当于自然地带的温带较暖部分);暖温(年积温3 700~5 300℃,相当于自然地带的暖温带);暖热(年积温5 300~6 200℃,相当于自然地带的亚热

带);炎热(年积温高于8 000℃,相当于自然地带的热带)(见表1)。

表1 草原各大类的热量级及其相当的自然带

热量级	年积温(℃)	相当的热量带
寒冷	<1 300	寒带
寒温	1 300~2 300	寒温带
微温	2 300~3 700	中温带
暖温	3 700~5 300	暖温带
暖热	5 300~6 200	北亚热带
亚热	6 200~8 000	南亚热带
炎热	>8 000	热带

2.2.2 草原湿润度指标 水分条件在综合顺序分类法中用草原湿润度 K 值来表示。

$$K=r/0.1\sum\theta$$

式中, r 表示全年降水量(mm), $\sum\theta$ 表示>0℃的年积温。

参考现有的自然地理、动物、植物、土壤、农牧业生产特点,特别是草原学有关资料作出 K 值等值线,从而将湿润度分为极干、干旱、微干、微润、湿润、潮湿6类,每类都有其对应的自然景观(表2)。

表2 草地湿润度K值及其相应的自然景观

湿润度	K 值	相应的自然景观
极干	<0.28	荒漠
干旱	0.29~0.85	半荒漠
微干	0.86~1.18	典型草原、干生阔叶林、稀树草原
微润	1.19~1.45	森林、森林草原、草甸草原、稀树草原
湿润	1.45~1.82	森林、草甸
潮湿	>1.82	森林、草甸、冻原

3 研究结果

3.1 气象要素空间数据库

3.1.1 插值精度评估 对甘肃及其周边地区162个气象台(站)1961—1990年年平均降水量和年积温数据,用4种空间插值方法模拟了其分布情况,使用全交叉验证法对这几种插值方法的精度进行了评估。验证结果如表3所示。对于年积温数据来说,由于加入的高程变量和年积温之间存在较高的相关关系,所以CK法的精度要明显优于其他3种方法,ME和RMSE分别为-0.987和1.169。因此对于年积温数据,宜采用协克里格方法来进行空间数据库的制作。

表 3 甘肃省年积温和年降水量数据 4 种插值方法的交叉验证结果

检验标准	年积温				年降水量			
	IDW	SPLINE	OK	CK	IDW	SPLINE	OK	CK
ME	-2.363	-2.011	-1.529	-0.987	-1.845	-1.542	-0.878	-1.163
RMSE	3.803	2.774	1.861	1.169	2.649	2.336	1.217	1.354

而对于年降水量数据,由于高程和降水量之间的相关性较小,使用 CK 法并不能有效地提高插值精度,4 种方法在 ME 上的排序为:OK>CK>SPLINE>IDW,因此对于甘肃年降水空间

数据库,宜采用 OK 法来制作。
3.1.2 空间数据库的生成 最终生成的甘肃省 1 km×1 km 年降水和年积温空间数据库如图 1 和图 2 所示。

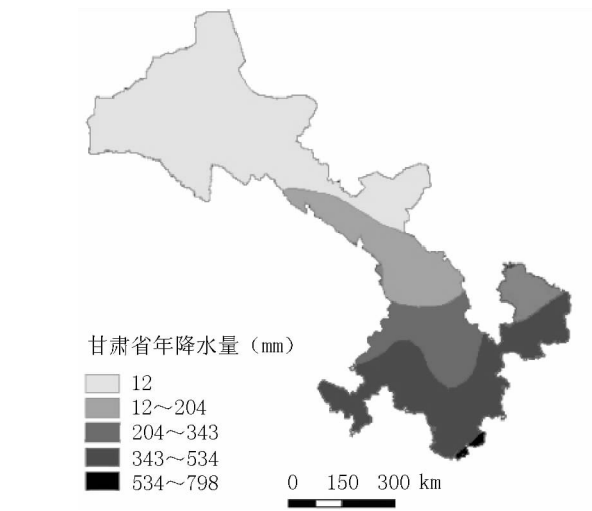


图 1 甘肃省年降水分布图

在众多影响植被的气候因子中,表征热量的年积温,表征水分条件的年降水量,以及表征水热状况组合的湿润度,是用来进行气候植被分类的主要指标^[16]。从图 1 可以看到,甘肃省的年降水量分布呈现东南到西北逐渐减少的趋势。位于南部的陇南及甘南地区,年降水量在 350 mm 以上,最高的地方达 798 mm,而最西北的河西走廊干旱地区,年降水量不足 12 mm。

从图 2 可以看出,甘肃省的年积温分布和年降水量分布趋势大体一致,存在着显著的纬度地带性。大部分地区位于 2 300~3 700 ℃的微温带,相当于地理学上的温带地区。甘南地区由于海拔较高,年积温低于 1 300 ℃。陇南地区年积温为 3 700~5 900 ℃,处于地理学上的暖温带和亚热带地区。

3.1.3 湿润度 K 值空间数据库 通过草原湿润

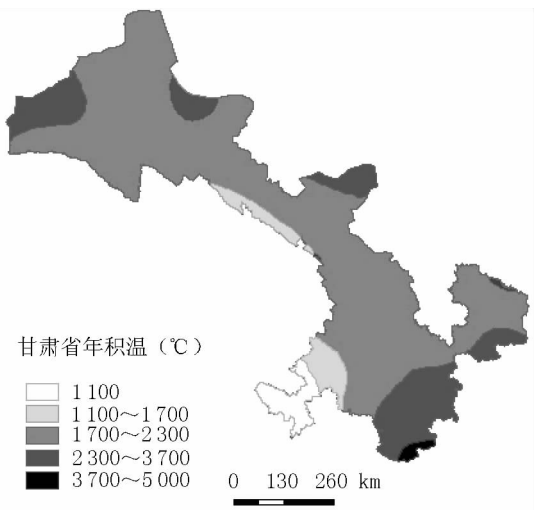


图 2 甘肃省年积温分布图

度公式 $K=r/0.1\sum\theta$,在 GIS 软件下通过对甘肃省年降水量和年积温数据库进行叠置计算,得到了甘肃省湿润度 K 值的空间分布图,如图 3 所示。

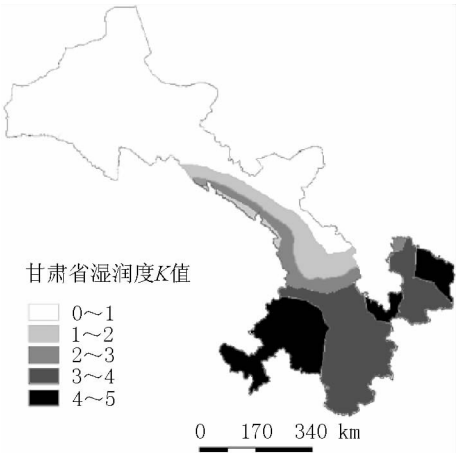


图 3 甘肃省草地湿润度 K 值空间分布图

3.2 甘肃省草地类型图 基于甘肃省年积温数据库和甘肃省湿润度 K 值数据库,将 7 个热量级指标与 6 个湿润度指标进行计算,得到了甘肃省草地类型图。如图 4 所示,甘肃省共有从寒冷

极干高山荒漠类到暖热极干亚热带荒漠类共 18 个大的综合顺序类,横跨了从寒冷到暖热 5 个热量级,极干到潮湿 6 个湿润度级。

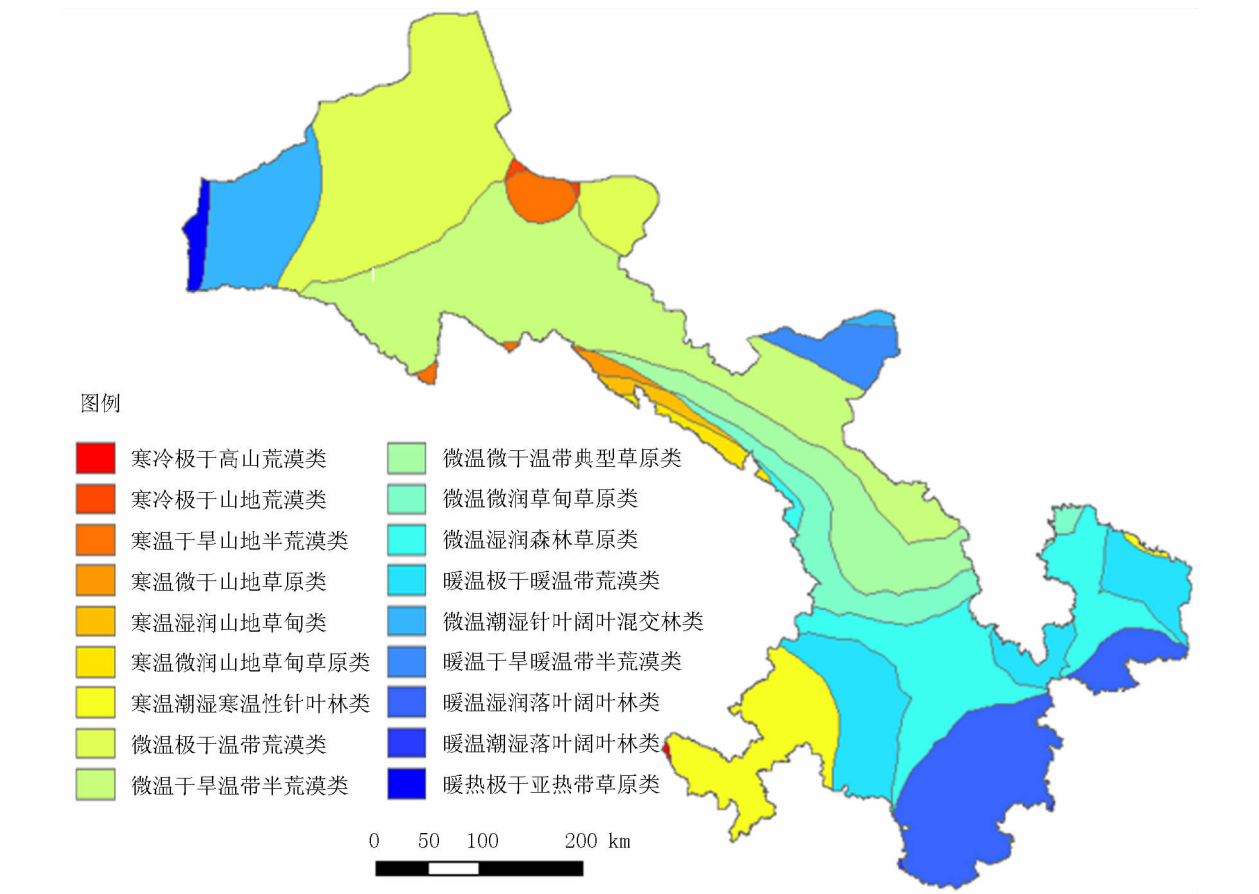


图 4 甘肃省草地综合顺序分类图

4 结论

4.1 气象要素插值方法的比较 在甘肃省草地类型图的制作中,对年积温和年降水量这 2 种气象要素在 GIS 软件下进行了空间插值。通过使用 DEM 海拔高程数据作为修正,协克里格法可以有效地提高年积温数据的插值精度。而对于年降水量数据,由于其和海拔相关性较小,使用协克里格法并不能提高插值精度,而普通克里格插值方法的精度最高。空间数据库的插值精度,直接影响到草地类型图的精度,因此通过对插值方法的改进,可以使甘肃省草地类型图能够更加准确反映草地的真实分布情况。

4.2 甘肃省草地类型的特点 甘肃省草地类

型共有 18 个类。西北以微温干旱温带荒漠和半荒漠草地为主。东南以微温湿润森林草原类和暖温湿润落叶阔叶林类为主。西南主要是微温潮湿寒温性针叶林类和微温潮湿针叶林阔叶混交林类。陇东主要是微温湿润森林草原类。由于甘肃的这种特殊形状,经历了从亚热带到寒温带等数个自然地理带,气候条件和土壤类型差异非常显著,草地植被类型丰富多样,区系成分复杂。自陇东南向西北形成了森林—森林草原—典型草原—荒漠草原—草原化荒漠—半荒漠—荒漠等植被类型。山地系列自上而下,形成高山—亚高山—草甸—山地森林—草甸草原—典型草原等植被类型,基本上反映了甘肃天然草地发生学规律和分

布特征。这种丰富的植被类型状况,无疑决定了甘肃在草地资源利用与开发模式上也应该具有多样性,不能千篇一律采取一种模式。

5 讨论

5.1 研究在 GIS 软件的支持下,依据综合顺序分类法的分类标准制成了甘肃省草地类型空间数据库。在每一点(1 km×1 km)范围内可以进行查询,得到坐标点的草地类型、年积温、年降水量、草地湿润度 K 值、土壤类型、草地植被型、适宜栽培牧草和行政区划等一系列信息^[17-19]。通过叠加新的数据层,譬如人文社会数据和其他生态学数据,与草地类型进行协同分析,可以对甘肃草地资源的时空格局获得更加深刻的认识。

5.2 甘肃省天然草地面积广阔,地形复杂,相对高差大,但是气象台(站)的分布相对稀疏,分布也不均匀(只在县城及个别地区),对使用综合顺序分类法对草地进行分类造成了一定的困难。如果能够结合与气象因素相关较大的其他影响因子,如坡度、坡向、下垫面状况等,将会有效提高气象数据的插值精度^[20-21],为草原学研究提供更加准确的基础数据。

5.3 目前的数据和方法,还不足以对综合顺序分类法类的下一级单位——型的分布进行 GIS 表述。型是具有一定显著特征植被的类群。各个型在草产量和生境条件方面差异非常大。要达到精确预测草地承载能力及评定放牧超载的目的,必须依托 RS 和 GIS 技术等先进手段的支持,获得草地型的空间分布数据,这是未来的研究方向。

参考文献

- [1] 任继周,胡自治,牟新待,等. 草原的综合顺序分类法及其草原发生学意义[J]. 中国草地学报,1980(1):12-24.
- [2] 胡自治,高彩霞. 草原综合顺序分类法的新改进 I: 类的划分指标及其分类的检索图[J]. 草业学报,1995,4(3):1-7.
- [3] 胡自治. 草原分类学概论[M]. 北京:中国农业出版社,1997:225-240.
- [4] 陈全功,卫亚星,梁天刚. 使用 NOAA/AVHRR 资料进行牧草产量及载畜量监测方法的研究[J]. 草业学报,1994,3(4):50-60.
- [5] 陈全功. 中国草原监测的现状与发展[J]. 草业科学,2008,25(2):29-38.
- [6] 毛飞,侯英雨,唐世浩,等. 基于近 20 年遥感数据的藏北草地分类及其动态变化[J]. 应用生态学报,2007(8):1745-1750.
- [7] 赵慧颖,王广生,魏学占. GIS 支持下的天然牧草产草量区域预报模型研究[J]. 草业学报,2007,16(4):100-106.
- [8] 崔霞,冯琦胜,梁天刚. 基于遥感技术的植被净初级生产力研究进展[J]. 草业科学,2007,24(10):36-42.
- [9] 严建武,李春娥,袁雷,等. EOS—MODIS 数据在草地资源监测中的应用进展综述[J]. 草业科学,2008,25(4):1-9.
- [10] 韩兰英,王宝鉴,张正偲,等. 基于 RS 的石羊河流域植被覆盖度动态监测[J]. 草业科学,2008,25(2):11-15.
- [11] 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.
- [12] Jill M, Kevin J. Using ArcMap Spatial Analyst [M]. CA USA:Redlands,2001:136-148.
- [13] Kevin J, Jay M H, Konstantin K, *et al.* Using ArcMap Geostatistical Analyst [M]. CA USA: Redlands,2001:116-162.
- [14] Dirks K N, Hay J E, Stow C D, *et al.* High resolution studies of rainfall on Norfolk Island. Part II: interpolation of rainfall data[J]. J. Hydrol., 1998, 208(3/4):187-193.
- [15] Holdaway M R. Spatial modeling and interpolation of monthly temperature using Kriging[J]. Clim. Res., 1996, 24:1835-1845.
- [16] 李镇清,刘振国,陈佐忠,等. 中国典型草原区气候变化及其对生产力的影响[J]. 草业学报,2003,12(1):4-10.
- [17] 陈全功,任继周,王珈谊. 中国草业开发与建设专家系统[M]. 北京:电子工业出版社,2006:2.
- [18] 李春娥,马轩龙,严建武. 网络版“中国草业开发与生态建设”数据库的更新[J]. 草业学报,2008,17

- (1):100-106.
- [19] 袁雷,李春娥,储少林,等. 牧草病害诊断系统的知识表示——《中国草业开发与生态建设》专家系统病害诊断[J]. 草业科学,2008,25(1):95-99.
- [20] 李新,程国栋,卢玲. 空间内插方法比较[J]. 地球科学进展,2000(3):260-265.
- [21] 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(1):47-56.

Preliminary exploration of native grassland classification of Gansu Province based on GIS and comprehensive and sequential grassland classification method

MA Xuan-long, LI Wen-juan, CHEN Quan-Gong

(Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystem, Ministry of Agriculture, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on improved spatial interpolation method, DEM data was used as cofactor. when the correlativity between the cofactor and the spatial data was relatively high, the precision of interpolation could be increased effectively. For the annual accumulated temperature data, the correlation coefficient between DEM elevation and the annual accumulated temperature was 0.769, and the relativity was high, so the precision of interpolation can be increased effectively with DEM elevation. The ME of four interpolation methods in turn are: IDW<Spline<OK<CK, comparing with the Ordinary Kriging method, the interpolation precision of Co-kriging method had a significant increasing from 1.861 to 1.169, a 35% raising, hence used the CK method to generate the annual accumulated temperature spatial database. For the annual average precipitation data, the correlation coefficient between DEM elevation and the annual average precipitation was 0.372, relativity was low, and the precision of interpolation can not be increased effectively with DEM elevation. The ME of four interpolation methods in turn are: IDW<Spline<CK<OK, the OK method had highest interpolation precision, accordingly used the OK method to create the annual average rainfall spatial database. Based on the interpolation results and the standards of integrated classification system, with the map overlay analysis function of GIS software, the moisture index (K) spatial database and the distribution map of grassland types of Gansu province were regenerated. From this map, it can be seen that there are totally 18 grassland types in Gansu province, bestriding 5 heat levels from cold to warm and hot, 6 humidity grades levels from extreme arid to humid. Formed several vegetation cover types which are forest, forest-steppe, typical steppe, desert-steppe, semi-desert and desert from southeast to northwest of Gansu, and alpine, sub-alpine, meadow, mountainous forest and meadow steppe from hilltop to foot of mountain. The disciplines of genesis and distribution of native grassland of Gansu province was reflected basically, and useful basic theory was provided for continuous study.

Key words: GIS; comprehensive and sequential classification; spatial interpolation; native grassland types