

草地理论载畜量调查数据空间化方法及应用

廖顺宝^{1,2,3}, 秦耀辰^{1,2}

(1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004; 2. 黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要:以20世纪80年代全国草地资源调查的理论载畜量数据和同时期的全国1:25万土地覆被数据为基础,按省区构建理论载畜量与不同草地类型面积之间的关系模型。根据属性数据空间化思路,利用模型计算与残差修正相结合的技术方法,将80年代的全国草地理论载畜量调查数据从市县单元转换到公里网格尺度上,同时计算2005年全国公里网格尺度的草地理论载畜量。在此基础上,从公里网格和省级行政区划两个尺度上分析全国草地理论载畜量在近30年间(20世纪80年代-2005年)的变化。结果表明,近30年来中国草地生态系统正在退化、萎缩,草地总生产力下降。为实现中国社会经济的可持续发展,必须加强对草地生态系统的保护,保持草地生态系统的健康、良性发展和草地资源的合理开发利用。

关键词:草地资源;载畜量;调查数据;空间化;时空变化;中国

DOI: 10.11821/dljy201401016

1 引言

草地是最大的陆地生态系统之一,全球陆地总面积大约25%为天然草地,草地为反刍家畜提供了大约70%的饲草^[1]。中国草地资源总面积 $392 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 占国土面积的41%,仅次于澳大利亚,是世界第二草原大国^[2]。调查是进行草地资源研究和评价的基础和基本手段,包括实地野外调查和通过遥感等现代信息技术调查。通过调查,可以摸清草地资源的自然条件、类型、数量、质量、空间分布范围、经营现状及存在的问题等,为草地生态系统的保护和草地资源的可持续利用奠定基础。草地资源的调查成果一般表现为草地资源专题图件和数据。在草地资源的调查成果中,草地载畜量是评定草地生产能力的一项重要指标,其重要性在于不仅能指导草地管理,科学地确定放牧强度避免超载过牧,同时也是经济合理地利用草地,提高草地生产能力的有效途径^[3]。因此,草地载畜量和合理放牧率历来是草地生态系统的研究热点^[4]。

近年来,国内外不少学者就草地载畜量及承载状况进行了许多研究和探讨^[5-9]。关注的重点主要集中在如何估算载畜量本身上,如基于灰色-马尔科夫残差预测模型的草地载畜量预测^[10]、气候变化对草场载畜量的影响^[11]、载畜量与植被指数NDVI之间的关系^[12]、产草量与载畜量的遥感估算^[13]、根据草地净生产力(NPP)计算草地的理论载畜量并与实际载畜量进行对比^[14]、将草地载畜量分为天然草地载畜量、栽培草地载畜量、农作物秸秆载畜量和饲草载畜量分别计算^[15],等等。而对于如何将调查得到的基于行政区划单元的草地

收稿日期: 2012-12-21; 修订日期: 2013-06-10

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项-应对气候变化的碳收支认证及相关问题(XDA05050000); 环保公益性行业科研专项-我国土壤环境功能区划方法与关键技术研究(201209030)

作者信息: 廖顺宝(1966-),男,四川德阳人,博士,教授,博士生导师,主要从事遥感与GIS应用以及属性数据空间化方面的教学与研究工作。E-mail: liaosb@igsnrr.ac.cn

载畜量数据转换到更细的尺度上,尚无人研究。虽然已有人进行草地资源空间分布格局及其变化的研究^[16],但并不涉及草地载畜量方面。

在一般的草地资源调查成果中,载畜量数据一般表现为以行政区划单元(如市、县)为记录的表格数据。用这种数据来表达草地载畜量的空间分布格局时存在两个方面的主要问题。一是空间精度不高。因为每个行政区只有一个数据,虽然可以对这些数据进行可视化展示,但当行政区划发生变动时,不同时期的载畜量难以直接进行比较。二是数据的完整性难以保证。草地资源调查一般主要在草地资源丰富的地区进行,而草地资源匮乏的区域则可能没有载畜量调查数据(但事实上这些地区是有载畜能力的,只不过载畜能力较低)。例如,在20世纪80年代开展的全国草地资源调查成果中,全国仅有1953个市县有理论载畜量调查数据,显然,其他一些市县因草地资源匮乏而没有被调查。因此,这样的数据是不完整的。

本研究以20世纪80年代全国草地资源调查成果数据为基础,以20世纪80年代和2005年的全国土地覆被数据为参数,首先利用属性数据空间化技术将理论载畜量调查数据从市县单元转换到公里网格尺度上,然后对比两个时期的理论载畜量变化,以展示和分析近30年来全国草地理论载畜量的时空格局及其变化。所谓属性数据空间化,是指将地学矢量目标(主要是点和多边形)中的属性要素向同要素更细栅格目标转化的过程,但属性数据空间化不是简单的矢量数据栅格化^[17]。近10年来,属性数据空间化已经成为地理学、生态学、环境科学、社会科学中的研究热点,主要包括自然要素的空间化和社会经济要素的空间化,如气象观测要素的空间化^[18-22]、人口统计数据空间化^[23-26]、国民经济各行业产值数据的空间化^[27],等等。

2 数据来源

本研究使用的数据主要由以下三部分构成:

(1) 20世纪80年代全国县级草地理论载畜量调查数据 该数据是全国草地资源调查的重要成果之一。20世纪80年代,为摸清全国草地资源状况,国家在中国科学院和中国农业科学院分别设立了南方草场资源调查科技办公室和北方草场资源调查办公室,对全国草地资源调查进行技术指导和协调。此次调查属于详查,北方按《重点牧区草地资源调查大纲和技术规程》、南方和华北农区按《中国南方草场资源调查方法导论及技术规程》,采用常规调查和遥感调查相结合的方法,以县(旗)为单位开展调查。最终完成了《1:100万中国草地资源图集》、《中国草地资源》、《中国草地资源数据》、《1:400万中国草地资源图》、《中国草地植物资源》等中国第一批较完整的草地资源成果^[28]。其中,县级草地资源调查的指标包括天然草地面积、可利用面积、理论载畜量等指标。本文所说的载畜量均指草地的理论载畜量。

(2) 20世纪80年代和2005年全国1:25万土地覆被图 全国1:25万土地覆被制图工作由国家科技基础条件平台—地球系统科学数据共享网提供资助。其基本制图流程是:利用2005年1:10万比例尺的全国土地利用数据作为图像分析判读基础数据,充分利用目视解译的精确性和自动分类的快速性,在高精度目视解译数据提供的基本覆盖类型及其位置、边界的控制下,以250 m分辨率的2005年MODIS植被指数产品为遥感分类信息源,获取主要类型的详细分类信息,并结合人机交互判读分析与相关资料的综合运用,实现2005

年全国土地覆被遥感制图。在此基础上,通过历史资料恢复重建的方法完成20世纪80年代的土地覆被制图。该全国1:25万土地覆被图的总体准确率为91%,各类型准确率达89%以上^[29]。

(3) 全国县级行政区划图 全国县级行政区划图主要用于草地载畜量调查数据的空间匹配,同时也用作分省区模型运行时的分区控制参数,包括县级行政区划界线图矢量数据以及行政区名称、行政区划代码、行政单元面积等属性数据。

3 数据预处理

数据预处理的目的是为数据分析与空间化建模进行数据准备,主要包括以下内容:

(1) 统计各市县不同草地类型的面积。具体步骤包括:①在地理信息系统软件ArcGIS中将全国县级行政区划的多边形矢量数据转换为栅格数据,用县级行政区划代码作为栅格单元的属性值;②用县级行政区划栅格数据对不同草地覆被类型的栅格图层进行区域统计运算,得到每个区域(市县单元)内不同草地类型的面积,即得到一个包括市县名称、市县代码、不同草地类型(草甸草地、典型草地、荒漠草地、高寒草甸、高寒草原和灌丛草地,其分类信息及依据见表1)面积等信息的二维属性表。

表1 全国1:25万土地覆被分类系统(草地部分)
Tab. 1 The grassland classification system of land cover of China at a scale of 1:250000

一级类型	二级类型	编码	分类依据
草地	草甸草地	21	覆盖度>30%,以草本植物为主的各类草地
	典型草地	22	覆盖度在10-30%,以旱生草本为主的草地
	荒漠草地	23	覆盖度在5-10%,以强旱生植物为主的草地
	高寒草甸	24	覆盖度在>20%,以高海拔寒生植物为主的草地
	高寒草原	25	覆盖度在>20%,以高海拔旱生植物为主的草地
	灌丛草地	26	草地中灌丛覆盖度<40%,灌丛高度<2 m

(2) 将各市县草地理论载畜量与不同草地类型的面积进行匹配。根据市县名称和市县代码一致的原则,将各市县的草地理论载畜量调查数据匹配到上一步形成的二维表中。由于全国县级行政区划的变动(县改市、县改区、市县合并与拆分等),有些名称一致或代码一致的市县并不表示同一个区域,因此需要甄别每个市县的确切含义。

首先根据名称和代码同时一致的原则进行匹配;其次根据名称一致(这种情况只包括县,不含改成市的县)的原则匹配;第三,删除名称、代码均不一致的记录,特别是县级市升格为地级市,原来的县级市成为新的地级市的市辖区的情况。需要特别说明的是,这种删除对后续的数据分析没有影响,因为各市县的数据主要用于分析和建模,因此不需要全部市县的数据。事实上,通过匹配并删除不匹配的数据后,全国仍保留了1953条记录。

4 数据分析与建模

4.1 数据总体分析

草地载畜量是指在一定放牧时期内,在不影响草地生产力及保证家畜正常生长发育的同时,一定草地面积上所能容纳放牧家畜的数量^[30-31]。因此,只有在有草地分布的地方才

可能有草地载畜量。以全国各市县草地理论载畜量为因变量、不同草地类型（草甸草地、典型草地、荒漠草地、高寒草甸、高寒草原和灌丛草地等6个二级类）的面积为自变量，分别进行多元线性回归分析，令常数项为0（因为无草地则无载畜量），得到的线性回归方程为：

$$y = 145.45x_1 + 85.42x_2 - 5.53x_3 + 77.94x_4 + 7.99x_5 + 379.27x_6 \tag{1}$$

式中： y 表示草地理论载畜量，单位：羊单位/年； x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 分别表示不同草地类型的面积，单位： km^2 。该回归方程的复相关系数 $R = 0.7442$ ，显著性检验临界值 $F = (0.7442 / (1 - 0.7442^2) \times ((1593 - 6 - 1) / 6)) = 440.97$ ， $F > F_{0.005} = 3.09$ ，因此，复相关达到极显著水平。

图1表示根据方程（1）预测的草地载畜量与实际调查载畜量之间的相关关系。从图（1）可以看出，虽然载畜量与土地覆被中的不同草地类型面积已达到统计上的显著相关，然而，利用这个方程来预测各市县的草地载畜量仍然存在比较大的问题。因为分析样本主要集中在载畜量比较低的区域，而且这个区域的散点图非常发散。因此，在全国范围内构建一个统一的载畜量模型是不科学的，在实际应用中也是不准确的，特别是将模型用于空间化数据产品的加工。分区建模是解决这一问题的有效手段。

4.2 分省区载畜量模型

由于地形、地貌、土壤以及水热等自然条件的差异，在不同区域，载畜量与各种不同草地类型面积之间的关系也不尽相同。本研究使用的载畜量数据以行政区划为记录单元，因此，分区建模以省级行政区划界线作为分区的界线。采用与分析全国数据一样的方法对各省区的数据进行分析，结果见图2。从图2不难看出，按省分区以后，全国各市县预测载畜量与实际调查载畜量的相关系数（ R^2 ）从0.4454上升到0.6773，且绝大部分省区的相关系数明显提高。

根据上述分析可以得到这样一个结论：不同草地类型的分布面积能较好地反映一个区域的草地载畜量。但从模型预测的载畜量与实际

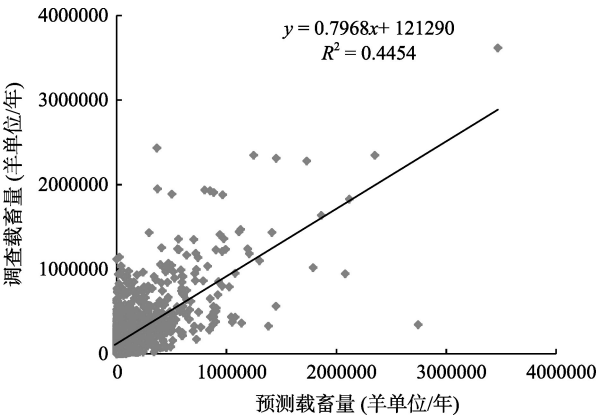


图1 根据不同草地类型面积预测的载畜量与实际调查载畜量之间的关系（全国模型）
Fig. 1 The relationship between actual and predicted stock-carrying capacity by area of various kinds of grassland (national model)

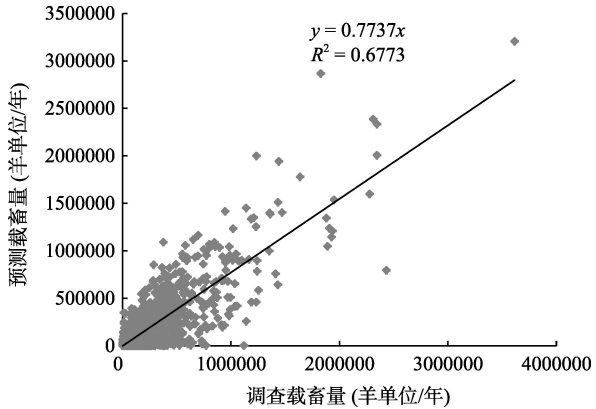


图2 根据不同草地类型面积预测的载畜量与实际调查载畜量之间的关系（分省区模型）
Fig. 2 The relationship between actual and predicted stock-carrying capacity by area of various kinds of grassland (provincial models)

调查的载畜量之间的相关系数以及散点图的分布情况(图1、图2)看,分省区建立的载畜量估算模型比利用全国数据建立的载畜量估算模型效果明显要好。因此,本研究利用分省区建模的方法进行全国草地载畜量调查数据的空间化。

5 草地载畜量调查数据空间化

全国草地载畜量调查数据的空间化由模型计算和残差修正两步完成。

5.1 模型计算

(1) 土地覆被参数提取。全国1:25万土地覆被数据分为6个一级类、25个二级类。因此,基于1:25万土地覆被数据生成的全国公里网格产品由25个栅格图层组成,每个栅格图层表示一种二级土地覆被类型,栅格单元的属性值表示该二级土地覆被类型面积占整个栅格单元面积的比例^[32]。因此,理论上讲,对于同一个地表栅格单元,可能会同时包括这25个土地覆被二级类型。如果将25个栅格图层求算术和,则每个栅格单元的25类属性值之和为100%。此外,草地载畜量只可能出现在有草地分布的地方,而不可能分布在非草地的土地覆被类型中。因此,在进行载畜量计算时,只需从25个图层中选择属于草地一级类型中的6个二级草地类型(即草甸草地、典型草地、荒漠草地、高寒草甸、高寒草原和灌丛草地)作为输入参数,而不必使用全部25个数据层。

(2) 草地载畜量计算。在地理信息系统软件ArcGIS中,以6个二级草地类型栅格图层作为输入参数,以省级行政区划栅格数据作为模型选择的控制参数,利用4.2节所建立的分省区模型逐个栅格计算草地载畜量。其中,贵州省无载畜量调查数据,计算时采用西南地区(二省一市)模型。台湾、香港、澳门也无载畜量调查数据,分别采用福建省和广东省的模型。计算结果如图3所示。

5.2 残差修正

根据图2可以明显发现,几乎所有通过计算得到的载畜量与实际调查的载畜量都不相等(即不在1:1线上,这在统计上也是很正常的),它们之间存在残差。总体上看,虽然各分区模型比较好地反映了全国草地载畜量与各草地二级类型面积之间的关系,但如果直接用这些模型的计算结果作为最终的空间化结果,则必然与实际情况有较大的出入。有些栅格上的值甚至为负数,有些栅格上的值很大(图3)。因此,必须对模型的计算结果进行修正。

修正的基本思路是将模型计算结果与残差求和。其基本依据是,在统计上,回归方程的预测值与残差相加正好等于样本的实际观测值。但是,这里存在两个技术问题:①模型计算是逐个栅格进行的,理论上,模型计算得到的每个栅格的值都是不一样的,而回归分析的残差对应的是每个县级行政单元(因为模型是以县级行政单元为样本构建)。虽然可以把每个县级行政单元的残差平均分配到该县级行政单元的每一个栅格单元上,但这种平均分配的理由并不充分。因为不能把残差分配到不包含草地类型的栅格单元上。②如果将残差平均分配到县级行政单元的每个栅格单元上,则在相邻县级行政单元边界处可能会出现残差的阶梯状突变。

解决上述问题的有效方法是将残差仅仅分配到有草地类型分布的栅格单元上,且以草地占栅格单元面积的比例为权重进行分配。具体处理步骤是:

(1) 统计各市县各类草地的总面积(A_i);

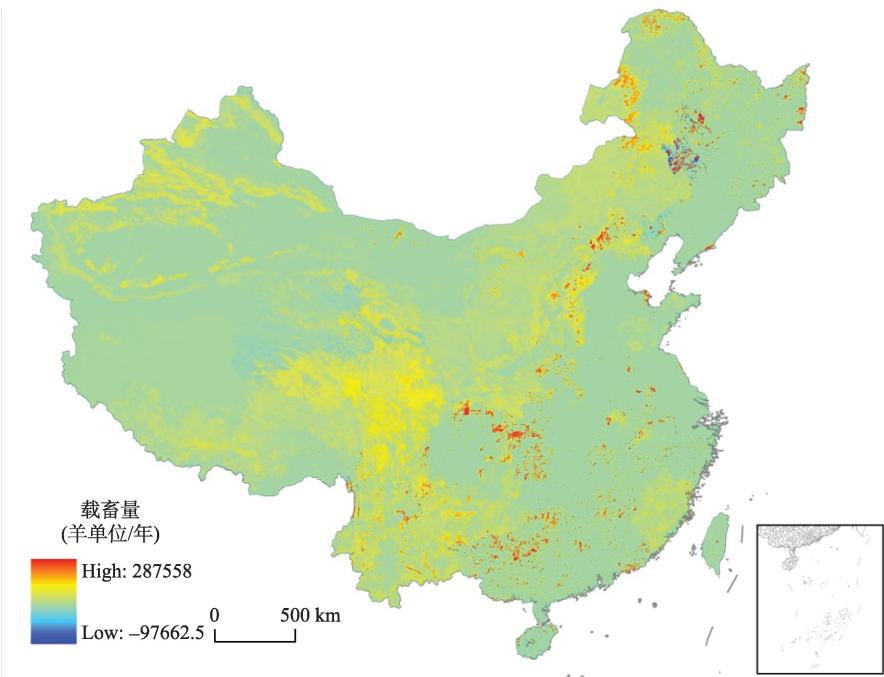


图3 根据分省区模型计算的全国草地载畜量分布图

Fig. 3 Distribution of stock-carrying capacity in China by provincial models

(2) 用各市县残差除以该市县草地总面积 (A_i)，得到该市县单位草地面积的残差 (R_i)；

(3) 以 R_i 为栅格化属性代码，对县级行政区划多边形数据进行栅格化，形成以市县为单元的残差系数栅格图 (Grid_{R_i})。因台湾、香港、澳门无载畜量调查数据，残差修正系数均设为0，即不进行残差修正；

(4) 对各二级草地类型栅格图求算术和，得到每个栅格单元上不同草地类型的总面积 (Grid_g)；

(5) 用 Grid_{R_i} 乘以 Grid_g ，得到所有有草地分布的栅格单元上的残差（无草地分布的栅格单元上的残差为0），结果如图4所示。

5.3 空间化结果的后处理

理论上，将分省区模型的计算结果（图3）与处理后的残差（图4）求和即可得到最终的载畜量空间化结果。但有两类问题需要进一步处理：

(1) 载畜量为负值的栅格单元的处理。统计表明，载畜量为负值的栅格单元总面积仅占全国国土总面积的3.02%，比例很小，因此，直接将这些栅格单元的载畜量设为0。

(2) 载畜量过高的栅格单元的处理。从图3可以发现，有些栅格单元的载畜量值特别高，这是模型计算难以避免的，但又很难人为设定载畜量的最高值。图5是空间化结果中一部分栅格单元的载畜量与相应的栅格单元数量分布情况。从图中可以看出，当载畜量大于300（羊单位/年）时，栅格单元的数量基本接近于0。根据二者之间的拟合关系式进一步计算得到，当载畜量等于329（羊单位/年）时，栅格单元的数量为0。据此，将329（羊单位/年）设定为草地载畜量的最高值。事实上，空间化结果中，载畜量大于329（羊单位/年）的栅格单元总面积仅占国土总面积的0.25%。因此，这种处理对空间化结果的影

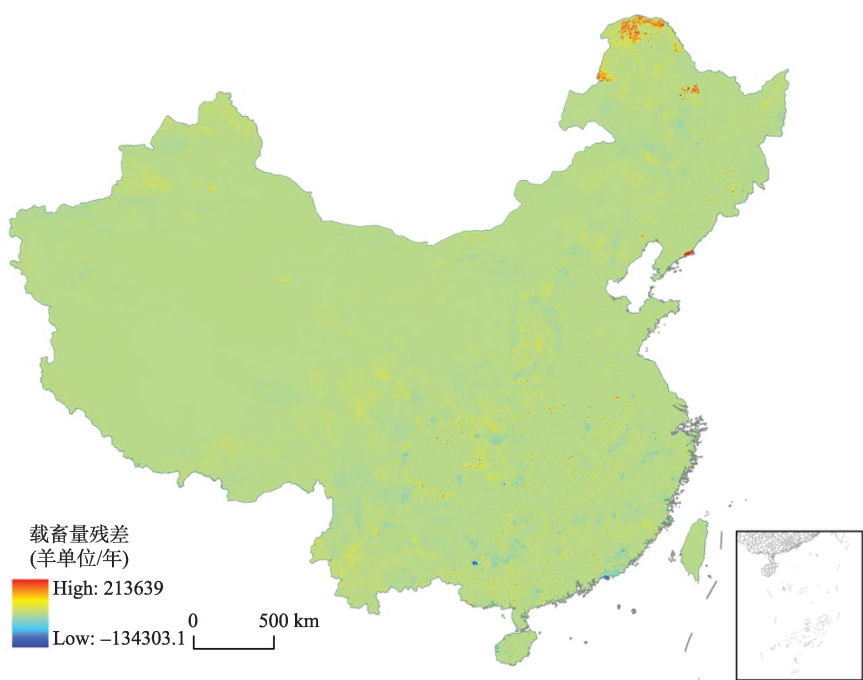


图4 全国草地载畜量残差分布图

Fig. 4 Distribution map of residuals of stock-carrying capacity in China

响不大。图6是经过上述处理后得到的最终的载畜量空间化产品。

6 全国草地载畜量时空格局变化

利用第4节中构建的分省区载畜量模型，以2005年的土地覆被数据（同样只利用其中的草地数据）为参数进行计算，并经过与20世纪80年代数据类似的处理，可以得到全国公里网格尺度2005年的草地理论载畜量数据。通过二者之间的对比分析，可以发现近30年以来中国草地载畜量的时空格局变化。

(1) 公里网格尺度上载畜量的变化

图7反映了近30年来全国草地载畜量在公里网格尺度上的变化情况。从图中可以看出，全国大部分地区的草地载畜能力出现下降趋势（蓝色栅格单元）。其中，下降比较明显的地区包括新疆、海南、东北、福建、河南、山东等省区。这些变化说明，可能是这些地区的草地面积在减少，也可能是单位草地面积的载畜量在下降（因草地类型、草地产草量发生变化）。同时，也有部分地区的载畜能力出现增加（红色栅格单元）的趋势，主要发生在晋陕蒙接壤地区、内蒙东部、黑龙江西北部、陕西南部、川西高原、安徽南部等地

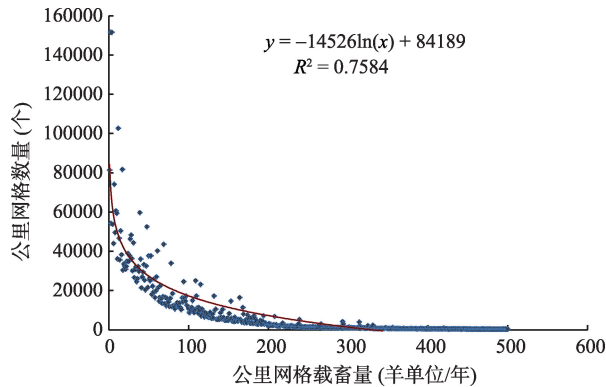


图5 公里网格载畜量与相应网格数量分布情况

Fig. 5 The relationship between stock-carrying capacity of grid cells and number of the corresponding grid cells

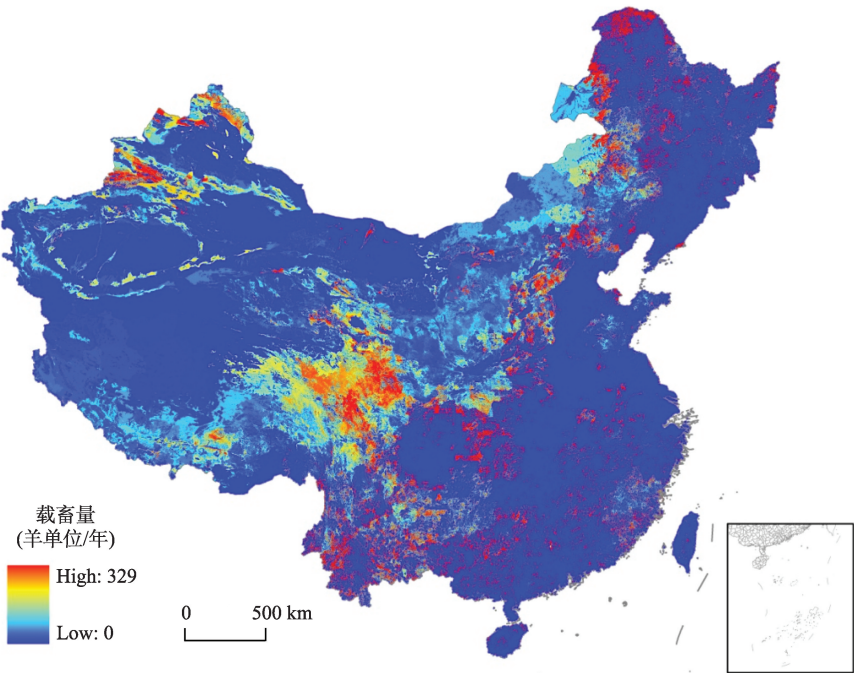


图6 20世纪80年代中国公里网格草地载畜量分布图

Fig. 6 Distribution of stock-carrying capacity of China at 1 km by 1 km in the 1980s

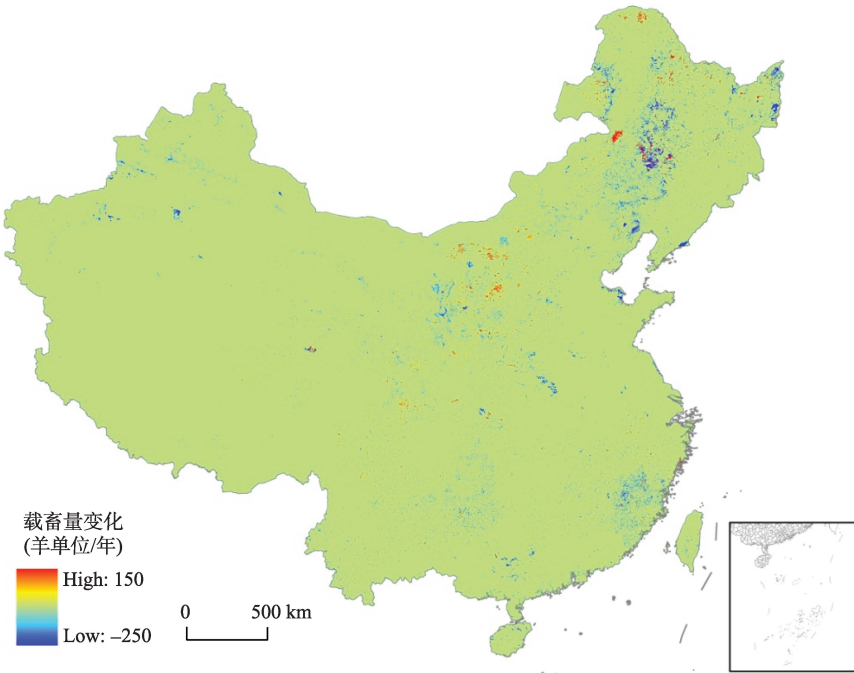


图7 20世纪80年代-2005年中国公里网格尺度上草地载畜量变化

Fig. 7 Difference of stock-carrying capacity of grassland in China between 1980s and 2005 at a scale of 1 km by 1 km

区。说明这些地区的草地面积增加或是单位草地面积的载畜能力在提高。

(2) 载畜量在全国及省区尺度上的变化

通过对全国各省区20世纪80年代和2005年两个时期的载畜量求和汇总、比较,得到全国各省区近30年以来总载畜量的变化。从全国总体情况看,载畜量减少了11254737羊单位/年,载畜能力降低了3.11%。在全国34个省级行政区域中,有27个出现载畜量下降。其中,载畜能力下降明显的主要包括辽宁、上海、海南、吉林、山东、江苏、天津、福建、河南和黑龙江,均超过10%;载畜能力微弱上升的省区有6个,包括浙江、四川、陕西、山西、湖北和甘肃。载畜量下降的主要原因可能与这些地区的经济发展有关,载畜量下降最明显的10个省区都是经济发展比较快速的地区,由于经济发展对土地的占用,导致草地面积大量减少和草地质量下降,致使载畜量下降。

7 结论与讨论

本文基于属性数据空间化的思路,以20世纪80年代全国草地资源调查成果数据和全国20世纪80年代、2005年两期土地覆被数据为基本参数,构建载畜量与不同草地类型面积之间的模型,并利用模型计算结果与残差修正相结合的技术方法,实现了载畜量调查数据的空间化。在此基础上,分别在公里网格尺度和省区尺度分析了全国草地载畜量的时空格局变化,得到以下结论:

(1) 属性数据空间化是进行草地载畜量时空格局变化分析的基本数据处理方法。通过对草地载畜量调查数据的空间化,一方面将载畜量数据从区域尺度(市县)细化到公里网格尺度,另一方面也弥补了部分区域缺乏调查数据的不足,保证了数据在全国范围内的完整性。只有通过属性数据空间化技术方法、形成空间化的数据产品,才使得网格尺度上时空变化分析成为可能。

(2) 近30年以来,全国草地资源载畜能力总体上出现下降趋势,总体下降3.11%。其中,载畜量下降最严重的10个省区包括辽宁、上海、海南、吉林、山东、江苏、天津、福建、河南和黑龙江,均超过10%;有6个省区的载畜能力出现了微弱的增加。这是我国草地生态系统退化、萎缩、生产力下降的重要信号。因此,为实现我国社会经济的可持续发展,必须加强对草地生态系统的保护,保持草地生态系统的健康、良性发展和合理开发利用。

(3) 由于目前无法获得全国2005年左右的分县草地载畜量调查数据,因此,基于20世纪80年代的数据(载畜量、土地覆被)构建的草地载畜量模型被用于2005年的载畜量计算。其基本依据是,载畜量模型反映的是载畜量与草地资源数量(面积)和质量(不同草地类型)之间的关系,而这种关系不会因时间的不同发生大的变化。也就是说,基于80年代的数据构建的模型被用于2005年的载畜量计算不会产生大的误差,但前提是计算所使用的参数必须是2005年的土地覆被数据。

事实上,在本文的数据分析过程中,作者也曾用20世纪80年代的载畜量数据与2005年的土地覆被进行相关性分析,结果显示,虽然二者的时期不同,但它们之间仍然存在极显著的复相关关系。这一结果表明,载畜量与各种草地类型面积之间的相关关系是固有的,不会因时间的变化发生大的变化。因此,利用80年代的载畜量模型和2005年的土地覆被参数计算得到2005年的草地载畜量,其结果是完全可信的。

(4) 饲养方式变化对载畜量的影响。本文计算得到的全国2005年草地载畜量与20世纪80年代的载畜量是一个口径,即没有考虑饲养方式变化对载畜量的影响。而实际情况是,从80年代到2005年的20多年间,一些地方的牲畜饲养方式已经发生了变化,一些农区、半牧区(特别是农区)饲养牲畜都有补充饲料来源,如青贮、粮食、饲料等。显然,这种饲养方式的变化对载畜量的测算是影响的。但限于相关资料获取的困难,本文目前没有考虑这种影响,作者将在后续研究中做进一步探讨。

参考文献(References):

- [1] 金晓明, 韩国栋. 贝加尔针茅草地基况评价及载畜量估算. 东北师大学报(自然科学版), 2010, 42(1): 117-122. [Jin Xiaoming, HAN Guodong. Evaluation of rangeland condition and estimation of grazing capacity in *Stipa baicalensis* steppe. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2010, 42(1): 117-122.]
- [2] 皇甫江云, 毛凤显, 卢欣石. 中国西南地区的草地资源分析. 草业学报, 2012, 21(1): 75-82. [Huangfu Jiangyun, Mao Fengxian, Lu Xinshi. Analysis of grassland resources in southwest China. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(1): 75-82.]
- [3] 朝克图, 那亚, 那松乌力吉, 等. 载畜量的研究进展概述. 内蒙古草业, 2010, 22(1):12-14. [Chao Ketu, Na Ya, Nasong Wuliji et al. Progress of study on the carrying capacity of grassland. Inner Mongolia Prataculture, 2010, 22(1): 12-14.]
- [4] 林波, 谭支良, 汤少勋, 等. 草地生态系统载畜量与合理放牧率研究方法进展. 草业科学, 2008, 25(8): 91-99. [Lin Bo, Tan Zhiliang, Tang Shaoxun et al. Research progress in methodologies for carrying capacity and proper stocking rate in grassland ecological system. Pratacultural Science, 2008, 25(8): 91-99.]
- [5] Jagtap S, Amissah-Arthur A. Stratification and synthesis of crop-livestock production system using GIS. GeoJournal, 1999, 47, 573-582.
- [6] Sangaré M, Fernández-Rivera S, Hiernaux P, et al. Influence of dry season supplementation for cattle on soil fertility and millet (*Pennisetum glaucum* L.) yield in a mixed crop/livestock production system of the Sahel. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 62: 209-217.
- [7] 闫瑞瑞, 辛晓平, 杨桂霞, 等. 呼伦贝尔谢尔塔拉牧场草地资源及载畜状况分析. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 155-160. [Yan Ruirui, Xin Xiaoping, Yang Guixia et al. Analysis on grassland resources and livestock carrying capacity in Xieertala Ranch of Hulunbeir. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(11): 155-160.]
- [8] Millar J, Connell J. Strategies for scaling out impacts from agricultural systems change: the case of forages and livestock production in Laos. Agric Hum Values, 2010, 27: 213-225.
- [9] Thuranira-McKeever C, Shaw A, Machila N, et al. Seasonal influences on livestock keeping in a sedentary crop-livestock system. Agric Hum Values, 2010.42: 705-717.
- [10] 赵有益, 林慧龙, 张定海, 等. 基于灰色-马尔科夫残差预测模型的甘南草地载畜量预测. 农业工程学报, 2012, 28(15): 199-204. [Zhao Youyi, Lin Huilong, Zhang Dinghai et al. Forecasting of grassland carrying capacity of Gannan based on Grey-Markov residual error models. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(15): 199-204.]
- [11] 赵学堂, 王国元, 张伟亮, 等. 山区草场的生长与载畜量的研究. 中国西部科技, 2010, 9(29): 33-34. [Zhao Xuetang, Wang Guoyuan, Zhang Weiliang et al. Study on growth and the carrying capacity of mountain pastures. Science and Technology of West China, 2010, 9(29): 33-34.]
- [12] 花立民. 玛曲草原植被NDVI与气候和载畜量变化的关系分析. 草业学报, 2012, 21(4): 224-235. [Hua Limin. Study the change of NDVI and climate factors and carrying capacity and their correlation in Maqu County, Gansu. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(4): 224-235.]
- [13] 徐斌, 杨秀春. 东北草原区产草量和载畜平衡的遥感估算. 地理研究, 2009, 28(2): 402-408. [Xu Bin, Yang Xiuchun. Calculation of grass production and balance of livestock carrying capacity in rangeland region of Northeast China. Geographical Research, 2009, 28(2): 402-408.]
- [14] 秦泗国, 钟国辉, 王景升. 那曲草地气候格局对草地NPP的影响及载畜量研究. 干旱区资源与环境, 2010, 24(7): 159-164. [Qin Siguo, Zhong Guohui, Wang Jingsheng. The influence of climate patterns on grassland NPP and the study on livestock carrying capacity in Nagqu. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(7):

- 159-164.]
- [15] 辛有俊, 杜铁瑛, 辛玉春, 等. 青海草地载畜量计算方法与载畜压力评价. 青海草业, 2011, 20(4): 13-22. [Xin Youjun, Du Tieying, Xin Yuchun, et al. The evaluation of carrying capacity of grassland in Qinghai. Qinghai Prataculture, 2011, 20(4): 13-22.]
- [16] 巴图娜存, 胡云锋, 艳燕, 等. 1970 年代以来锡林郭勒盟草地资源空间分布格局的变化. 资源科学, 2012, 34(6): 1017-1023. [Batunacun, Hu Yunfeng, Yan Yan, et al. The variations and its spatial pattern of grassland changes in Xilinguole from 1975 to 2009. Resources Science, 2012, 34(6): 1017-1023.]
- [17] 廖顺宝, 张赛. 属性数据空间化误差评价指标体系研究. 地球信息科学学报, 2009, 11(2): 176-182. [Liao Shunbao, Zhang Sai. Study on error evaluating index for spatialisation of attribute data. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(2): 176-182.]
- [18] 廖顺宝, 李泽辉. 基于 GIS 的定位观测数据空间化. 地理科学进展, 2003, 22(1): 87-93. [Liao Shunbao, Li Zehui. A methodology of spatialization of observed data based on GIS. Progress in Geography, 2003, 22(1): 87-93.]
- [19] 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. [Liao Shunbao, Li Zehui. Study on methodology for rasterizing accumulated temperature data. Geographical Research, 2004, 23(5): 633-640.]
- [20] 孔云峰, 全文伟. 降雨量地面观测数据空间探索与插值方法探讨. 地理研究, 2008, 27 (5): 1197-1108. [Kong Yunfeng, Tong Wenwei. Spatial exploration and interpolation of the surface precipitation data. Geographical Research, 2008, 27(5): 1197-1108.]
- [21] 于贵瑞, 何洪林, 刘新安, 等. 中国陆地生态信息空间化技术研究 (I): 气象/气候信息的空间化技术途径. 自然资源学报, 2004, 19(4): 537-544. [Yu Guirui, He Honglin, Liu Xinan, et al. Study on spatialization technology of terrestrial eco-information in China (I): The approach of spatialization in meteorology/climate information. Journal of Natural Resources, 2004, 19(4): 537-544.]
- [22] 何洪林, 于贵瑞, 刘新安, 等. 中国陆地生态信息空间化技术研究 (II): 太阳辐射要素. 自然资源学报, 2004, 19(5): 679-687. [He Honglin, Yu Guirui, Liu Xinan et al. Study on spatialization technology of terrestrial eco-information in China (II): Solar radiation. Journal of Natural Resources, 2004, 19(5): 679-687.]
- [23] 廖顺宝, 孙九林. 基于 GIS 的青藏高原人口统计数据空间化. 地理学报, 2003, 58 (1): 25-33. [Liao Shunbao, Sun Jiulin. GIS based spatialization of population census data in Qinghai-Tibet plateau. Acta Geographica Sinica, 2003, 58 (1): 25-33.]
- [24] 廖顺宝, 李泽辉. 基于人口分布与土地利用关系的人口数据空间化研究: 以西藏自治区为例. 自然资源学报, 2003, 18(6): 659-665. [Liao Shunbao, Li Zehui. Study on spatialization of population census data based on relationship between population distribution and land use---Taking Tibet as an example. Journal of Natural Resources, 2003, 18(6): 659-665.]
- [25] 廖一兰, 王劲峰, 孟斌 等. 人口统计数据空间化的一种方法. 地理学报, 2007, 62(10): 1110-1119. [Liao Yilan, Wang Jinfeng, Meng Bin, et al. A method of spatialization of statistical population. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(10): 1110-1119.]
- [26] 闫庆武, 卞正富, 王红. 利用泰森多边形和网格平滑的人口密度空间化研究: 以徐州市为例. 武汉大学学报 (信息科学版), 2011, 36(8): 987-990. [Yan Qingwu, Bian Zhengfu, Wang Hong. Census spatialization based on Thiessen polygons and grids smoothing: A case study in Xuzhou. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(8): 987-990.]
- [27] 刘红辉, 江东, 杨小唤, 等. 基于遥感的全国 GDP 1km 格网的空间化表达. 地球信息科学, 2005, 7(2): 120-123. [Liu Honghui, Jiang Dong, Yang Xiaohuan, et al. Spatialization approach to 1 km grid GDP supported by remote sensing. Geo-information Science, 2005, 7(2): 120-123.]
- [28] 中国经历的草地资源调查 http://www.igsnr.ac.cn/kxcb/dlyzykpyd/zybk/cyzy/200708/t20070828_2155481.html, 2012 年 10 月. [Survey of grassland resources undergone in China, http://www.igsnr.ac.cn/kxcb/dlyzykpyd/zybk/cyzy/200708/t20070828_2155481.html, 2012.10.]
- [29] 张增祥, 汪潇, 王长耀, 等. 基于框架数据控制的全国土地覆盖遥感制图研究. 地球信息科学学报, 2009, 11(2): 216-224. [Zhang Zengxiang, Wang Xiao, Wang Changyao, et al. National land cover mapping by remote sensing under the control of interpreted data. Journal of Geo-information Science, 2009, 11(2): 216-224.]
- [30] 任继周. 草地资源的属性、结构与健康评价. 见: 中国草地科学进展. 北京: 中国农业大学出版社, 1996. [Ren Jizhou. Attributes, structure and health evaluation of grassland resources, In Progress of Grassland Science in China,

Beijing: China Agricultural University press, 1996.]

- [31] 黄富祥, 高琼, 赵世勇. 生态学视角下的草地载畜量概念. 草业学报, 2000, 9 (3): 48-57. [Huang Fuxiang, Gao Qiong, Zhao Shiyong. The concept of carrying capacity on ecological angle of view. Acta Prataculturae Sinica, 2000, 9 (3): 48-57.]
- [32] 白燕, 廖顺宝. 矢量数据属性信息无损栅格化的实现方法: 以全国 1:25 万土地覆被数据为例. 地球信息科学学报, 2010, 12(3): 385-391. [Bai Yan, Liao Shunbao. Implement Method of vector data rasterization without attribute information loss: A case study of 1:250000 land cover data of China. Journal of Geo-information Science, 2010, 12(3): 385-391.]

A spatialization method for survey data of theoretical stock-carrying capacity of grassland in China and its application

LIAO Shunbao^{1,2,3}, QIN Yaochen^{1,2}

(1. College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China;

2. Key Lab. of Geospatial Technology for Middle & Lower Yellow River Regions of Ministry of Education, Kaifeng 475004, Henan, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Firstly, the provincial relation models between theoretical stock-carrying capacity and area of various kinds of grassland were established based on grassland survey data and land cover in China in the 1980s. Then the surveyed theoretical stock-carrying capacity in the 1980s was spatialized from county level administrative divisions to a scale of 1 km by 1 km based on idea of spatialization of attribute data with the method of combining model computation with residuals rectification, and the theoretical stock-carrying capacity in 2005 was calculated with these models. On the basis of the above research work, changes of national theoretical stock-carrying capacity from the 1980s to 2005 were analyzed at a scale of 1 km by 1 km and provincial level respectively. Comparison of theoretical stock-carrying capacity between the 1980s and 2005 at a scale of 1 km by 1 km showed that theoretical stock-carrying capacity decreased in most areas, and the regions where theoretical stock-carrying capacity decreased significantly occurred in Xinjiang, Hainan, Northeast China, Fujian, Henan and Shandong. The result from analysis at provincial level demonstrated that national theoretical stock-carrying capacity decreased generally with a rate of 3.11%. The areas where theoretical stock-carrying capacity decreased significantly include Liaoning, Shanghai, Jilin, Shandong, Jiangsu, Tianjin, Fujian, Henan and Heilongjiang. The theoretical stock-carrying capacity in these areas decreased at a rate of more than 10%. There were only 6 provinces where theoretical stock-carrying capacity increased slightly, and increasing rate of five out of them was less than 1%. The above analysis results indicate that grassland eco-system has been deteriorating and shriveled, and productive forces of grassland has been declining in China over the past 30 years. It is extremely urgent to strengthen protection of grassland eco-system, to keep grassland eco-system healthy and to maintain rational development and utilization of grassland resource for socioeconomic sustainable development.

Key words: grassland resource; stock-carrying capacity; survey data; spatialization; spatial-temporal changes; China