

# 新疆天山北坡干旱区 GDP 时空模拟

黄莹<sup>1,2,3</sup>, 包安明<sup>1,4</sup>, 陈曦<sup>1</sup>, 刘海隆<sup>1</sup>, 杨光华<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049;  
3. 西华师范大学, 南充 637002; 4. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

**摘要:**针对资源环境研究领域对空间型社会经济数据的需求,本文以新疆天山北坡为试验区,在分析区域经济发展特征的基础上,根据分县控制、分产业建模的思路,建立基于土地利用的1 km 栅格 GDP 空间化模型对统计型经济数据进行空间分布仿真模拟。对第一产业产值采用面积权重的方法进行拟合;对第二产业建立基于道路的反距离加权模型;第三产业则以城镇规模为基础,通过引入城市边缘距离概念建立多中心的距离衰减加幂指数模型。结果表明,天山北坡 GDP 空间分布模拟在分产业和分县水平上具有较高精度,模拟值与真实值间的相对误差均在1%以内。从研究区 GDP 的空间分布来看,高值区主要集中在米泉至沙湾一线,以乌鲁木齐市、石河子市以及克拉玛依市为核心向周围地区辐射;城市内部 GDP 密度由城市中心向外围递减,建成区 GDP 密度明显高于城郊及农村地区。1995、2000 和 2007 年三期 GDP 模拟结果的对比真实地反映了区域经济发展的历程,对准确把握区域经济动态具有一定的实用价值。

**关键词:** GDP; 干旱区; 土地利用; 距离衰减规律; 城市边缘距离; 天山

随着全球变化过程研究的深化,人类活动与地球环境变化间的相互作用机制受到越来越多的关注<sup>[1]</sup>,人口、经济等人文数据对于全球、洲际以及区域尺度上人与环境交互作用研究的重要性被广泛认知<sup>[2]</sup>。然而长期以来,人文地理学与自然地理学分别采取不同的空间单元进行数据的收集、存储和分析。前者主要以行政单元为主,后者则基于自然单元,空间单元上的不重合使人类活动与环境的交互作用分析变得十分困难<sup>[3]</sup>,成为阻碍全球变化研究进展的重要因素之一<sup>[4]</sup>。因此,迫切需要建立一个高分辨率的基础地理单元,将人文数据与自然数据转化到一个方便操作、分析的数据平台。人文数据空间化就是最好的解决方法之一,即将统计型人文数据展布到一定尺寸的地理格网上,从而构建较高分辨率的人文空间数据库,便于与生态环境背景数据等自然要素数据联合应用,为全球变化的区域模型建立和可持续发展研究服务<sup>[5]</sup>。

国内外对社会经济数据的空间化研究已做了大量工作。最初地理学家提出用点值法来进行统计数据的模拟,但由于在布点时含有较多主观性而不

易操作。随后制图学家试图利用格网生成技术将社会经济数据配置到规则的格网上,但当格网变得很小时,传统制图法已无法满足要求<sup>[6]</sup>。随着遥感及 GIS 技术的引入,采用栅格数字模拟技术进行社会经济数据的空间分布模拟成为研究热点,并形成一系列研究成果<sup>[7-11]</sup>。如国际上较有影响力的 GPW<sup>[7]</sup>、LandScan<sup>[8]</sup>等全球性人口数据和美国 CIESIN 的全球人均 GDP 数据<sup>[9]</sup>等。此外,刘纪远等建立的基于重力模型和格点生成算法的 PSDM 模型<sup>[10]</sup>和杨小唤等根据土地利用类型与人口间的相关关系建立的 PSM 模型<sup>[11]</sup>等在国际上也产生了一定的影响。上述研究对社会经济数据的空间化多在全球或国家尺度上进行,对其影响因素往往进行简化处理,且研究对象主要集中在人口数据方面,对经济数据的研究较少。近年来,国内学者开始尝试将区域 GDP 与土地利用相关联,依靠各地类面积数据实现 GDP 的空间分布模拟<sup>[12-14]</sup>。这种分配方式虽然在宏观尺度上初步实现了经济数据的空间化,但同一地类上仍为平均分配,淹没了区域经济发展的特征信息。特别是在我国广大的西北干旱地区,由于自然条件

收稿日期:2009-01; 修订日期:2009-04.

基金项目:国家 973 重点研究项目(2009CB421301);国家科技支撑计划项目(2007BAH12B03);新疆主体功能区区划项目。

作者简介:黄莹(1984-),女,在读硕士,主要从事遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: huangying5349@163.com

通讯作者:包安明, baoam@ms.xjb.ac.cn

的限制,人类活动集中在水土资源较为丰富的绿洲之上,不同地区相同地类产生的经济效益差异更为明显。鉴于此,本文选取我国典型的干旱区新疆天山北坡为实验区,在综合分析干旱区经济发展规律的基础上,建立适用于干旱区的GDP空间模型,以真实反映该地区的经济发展状况。

1 研究区概况

天山北坡经济带地处欧亚大陆腹地,是形成于天山北麓冲—洪积扇上的条带状绿洲城镇经济带。

全区东起木垒县,西至温泉县,行政区划包括乌鲁木齐、克拉玛依、石河子等17个县市及生产建设兵团的农六师、农七师,农八师、农十二师和建工师,总面积 $1.496\times10^5\text{ km}^2$ ,占新疆国土面积的6.56%。该区域自然资源相对丰富、区位条件优越,是新疆经济最为发达的地区,聚集了全疆21.7%的人口和50.2%的GDP。随着交通等基础设施的逐步完善,形成了以北疆铁路、312国道以及高速公路为轴线的独具干旱区特点的“临路型”城市群。由于兵团边界较为破碎,本文的研究范围仅涉及自治区的17个县市,不包括兵团各师(图1)。

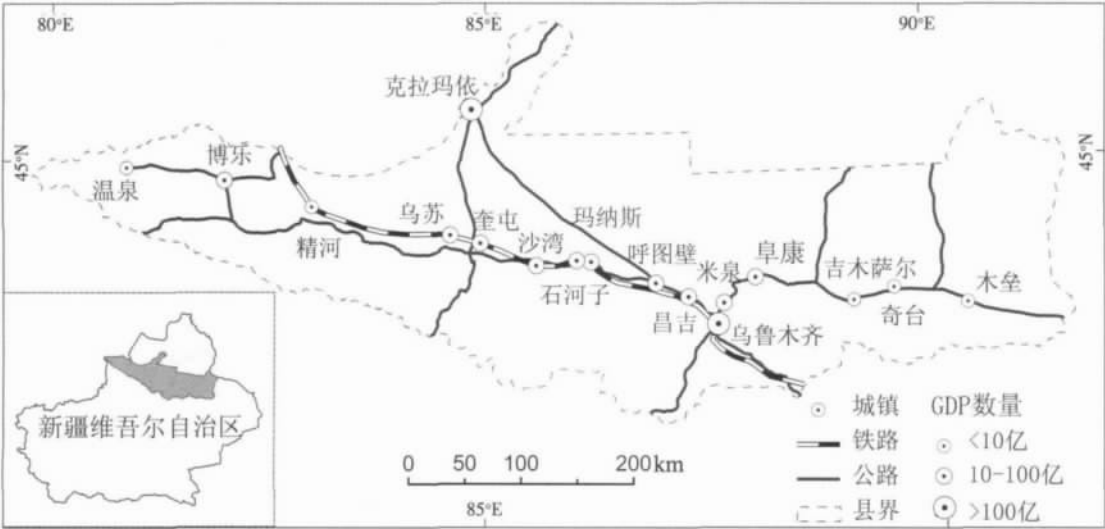


图1 研究区示意图  
Fig. 1 Map of the study area

2 干旱区经济发展与土地利用

制约区域经济空间分布的因素主要包括自然地理环境和社会环境两大类,已有研究证明影响经济发展的高度、坡度、气温、河流等自然地理环境和人口、道路、城市等社会环境与土地数据间有着紧密的联系<sup>[6]</sup>。为了进一步验证干旱区土地利用与区域经济发展间的相关关系,本研究以新疆天山北坡1955–2000年的土地利用数据和地区生产总值数据为依据,采用跨部门的相关分析法<sup>[15]</sup>对其经济结构演进与土地利用结构变化之间的相关性进行描述,以体现干旱区土地利用与经济发展间的相关性(图2)。图2显示,天山北坡土地利用结构变化与经济结构演进间存在较高的依存关系,其经济发展过程正是土地利用结构的变化历程。在社会发展初期,干旱区由于自然条件的限制,土地利用结构系

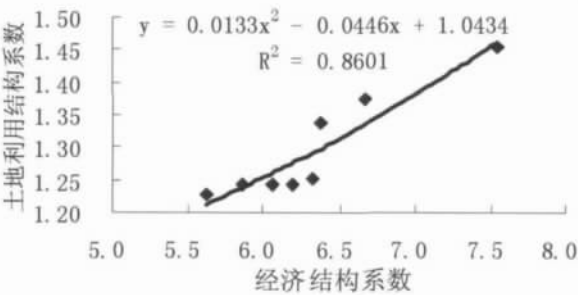


图2 天山北坡经济发展与土地利用的关系  
Fig.2 Correlation between economic development and land use change on the northern piedmont of the Tianshan Mountains

数和经济结构系数均偏低,农业在国民经济中占较大份额,经济的增长很大程度上依赖于耕地面积的增加;随着二、三产业的兴起,区域经济飞速发展,工业化和城镇化水平不断提高,区域内耕地、草地、林地以及未利用地等地类逐渐向建设用地转化,使

得土地利用在数量和结构上不断发生变化,土地利用结构系数逐年上升。天山北坡经济结构系数与土地利用结构系数间的显著相关关系表明,干旱区土地利用状态是区域经济发展的外在表现形式,区域经济的发展是决定其土地利用转换的关键所在。因此,对于干旱区 GDP 的空间分布模拟可以用其土地利用/土地覆被信息为基础来进行。

### 3 干旱区 GDP 空间化方法

#### 3.1 建模思路

国内生产总值(GDP)是衡量一个国家或地区经济实力的重要指标。根据社会生产活动历史发展的顺序对产业结构的划分,把 GDP 分为 3 个产业,直接依赖自然界部门的产业称为第一产业(包括种植业、林业、牧业和渔业);对初级产品进行再加工的部门为第二产业(包括工业和建筑业);为生产和消费提供各种服务的部门称为第三产业(除第一、第二产业以外的其他各业)。

在对干旱区 GDP 的公里网格模拟建模中,主要考虑三条原则。分县控制:根据各县市的经济状况差异进行控制,避免不同地区间 GDP 再分配。分产业建模:各产业受不同因素的影响,各产业分别建模,可以防止统一建模时由于模型和参数的处理不当而使各产业 GDP 在区域内的分布趋于平均化。基于土地利用状况:土地利用格局是众多自然和社会因素长期共同作用的结果,最能体现经济的分布规律。

#### 3.2 数据来源及其处理

研究所需资料包括天山北坡分县各产业国内生产总值数据,来自新疆统计局<sup>[16-18]</sup>;1:10 万土地利用数据源于中国科学院科学数据库及其应用系统中的新疆自然与生态环境数据库,在对其进行严格的精度评价的基础上,参考 Landsat ETM+ 影像图、1:10 万居民点图对城乡居民地数据进行修正,并按地类进行成分栅格化处理,得到研究区 1 km×1 km 的栅格土地利用图;DEM 数据源于美国国家航空航天局的 SRTM 数据集(90 m 分辨率),经投影转换及重采样,生成研究区 1 km×1 km 的栅格数据;1995、2000 和 2007 年的公路、铁路数据来源于 1995 年新疆维吾尔自治区测绘局编制的《新疆维吾尔自治区地图集》<sup>[19]</sup>、2000 年西安地图出版社出版的《新疆维吾尔自治区地图册》<sup>[20]</sup>、2007 年中国地图出版社出版的《新疆维吾尔自治区地图册》<sup>[21]</sup>。

### 3.3 干旱区 GDP 空间化方法

#### 3.3.1 第一产业产值的空间化

从产业结构的定义可知,第一产业包括农、林、牧、渔等依赖于自然界部门的产业,故其与耕地、林地、草地以及水域密切相关<sup>[13]</sup>。已有研究对第一产业的空间分布模拟多利用产业产值与相应地类的面积建立空间关联<sup>[12-14]</sup>。然而对于第一产业而言,产值的分布不仅与地类有关,同时还受土地质量等级的制约,包括土壤质量、水资源匹配等,土地质量的差异使得不同县市相同地类单位面积上的产值相差悬殊。故在综合考虑土地类型和质量的基础上,可对各县市分别求取一产产值系数,与相关地类面积进行线性关联,从而实现第一产业的空间化。考虑到研究区特殊的绿洲经济特征,将不能产生经济效益的永久性冰川、雪地、滩涂、滩地以及低覆盖草地予以舍弃。第一产业产值模拟模型:

$$GDPI_{ij} = G_{nj} + G_{lj} + G_{mj} + G_{yj} \quad (1)$$

$$Gk_{ij} = \sum_{i=1}^n (g_{ik} \times A_{ij}) \quad (2)$$

式中: $GDPI_{ij}$  表示第  $i$  行政区第  $j$  个栅格的一产产值; $G_{nj}$ ,  $G_{lj}$ ,  $G_{mj}$ ,  $G_{yj}$  分别表示一产中农、林、牧、渔业的产值; $g_{ik}$  为该县市第  $k$  种土地利用类型上单位面积的产值; $A_{ij}$  为第  $j$  个栅格中第  $k$  种土地利用类型所占的面积。

#### 3.3.2 第二产业产值的空间化

第二产业包括工业和建筑业,其发展以土地利用类型中的城乡建设用地作为产业的空间或活动场所。将天山北坡各县市 2000 年的城乡建设用地面积与第二产业产值进行相关分析,二者的相关系数达到 0.8391,在 1% 水平上显著,因此可以建立建设用地基础上的二产产值空间分布模型。

根据经济地理学原理<sup>[22]</sup>,工业生产活动场所的确定主要取决于生产成本的大小,其中运费是影响空间成本的重要因子之一,交通条件的好坏直接制约着产业的发展。为分析第二产业与道路间的关系,利用天山北坡 2000 年的道路数据做缓冲区分析,以每 5 km 从内向外建立 10 个缓冲区,分别统计各区内的建设用地面积(表 1)。结果表明,随与道路空间距离的增加,天山北坡的建设用地面积逐渐减少,道路距离与建设用地面积间的拟合关系符合距离衰减规律,间接说明第二产业产值与道路距离之间的幂函数关系。二产产值与道路间的相互作用,即二者在空间上的距离衰减规律,可通过式(3)



来定量描述<sup>[14]</sup>:
$$I_{ij}=D_{ij}^{-k} \tag{3}$$
式中: $I_{ij}$ 是第*i*个县市第*j*个栅格与距离最近道路间的空间相互作用水平; $D_{ij}$ 是其间的空间距离; $k$ 是经验系数,计算时可假设距离道路最远的栅格与道路间的相互作用水平最低,为0.1,从而得到各栅格对应的*k*值。由以上分析可知,统计型第二产业产值可以建设用地为基础,采用距离衰减原理来进行空间化模拟。根据式(3),利用县域内各栅格距离主要道路的远近,获得其间的相互作用水平,作为二产分布系数,并利用下式对二产产值进行模拟:

$$GDP2_{ij}=GDP_{2i} \times \frac{I_{ij}}{\sum_{j=1}^m I_{ij}} \tag{4}$$

式中: $GDP2_{ij}$ 是第*i*个县市第*j*个栅格上分布的第二产业产值; $GDP_{2i}$ 为该县市第二产业产值; $I_{ij}$ 为第*i*个县市第*j*个栅格的二产产值分布系数,在数值上等于该栅格与距离最近道路间的空间相互作用水平; $m$ 为第*i*个县市中居民点所占的栅格数。

3.3.3 第三产业产值的空间化

第三产业的发展 and 空间分布与城市的扩张进程紧密相关<sup>[23]</sup>。图3分别为天山北坡各县市2000年第三产业产值与建成区面积以及建设用地面积与市中心的相关关系分析。可以看出,研究区第三产业的发展与城镇的规模成正比,城市规模越大,第三产业越发达。在城镇建成区内部,第三产业的空间分布与城镇人口密度的分布一样存在很大的差异性,表现出从城市中心向四周辐射递减的趋势。根据第三产业与城镇人口分布规律的相似性,可得到第三产业产值分布的加幂指数模型:

$$D(r)=D_0e^{-br^\sigma} \tag{5}$$

式中: $D(r)$ 为与市中心距离为*r*处的第三产业产值分布密度; $D_0$ 为城市中心处的GDP分布密度;参数*b*为距离衰减效应的速率,受城市影响半径影响;*r*为某点到城市中心的距离; $\sigma$ 为反映第三产业产值空间变化信息熵的约束参数。

以上对第三产业产值的模拟是以城镇单中心发展为前提的,即第三产业产值的空间分布由唯一城市中心向周围呈同心圆方式递减。然而,随着现代城市的高速发展,很多大城市已出现多中心发展的情况,这时应用以上模型进行模拟势必会偏离实际情况。为此,本研究引入城市边缘距离概念<sup>[27]</sup>,定义城市边缘距离为城市内某处到城市边缘的最近距离,城市边

表1 道路缓冲距离与建设用地面积的关系  
Tab.1 Relationship between the road buffer distance and construction land

缓冲距离/km	居民点面积/km <sup>2</sup>	拟合关系
5	915.11	Y=32712X <sup>-2.0464</sup> (R <sup>2</sup> =0.8377)
10	255.16	
15	123.73	
20	89.44	
25	56.55	
30	44.67	
35	41.89	
40	32.94	
45	14.17	
50	2.06	

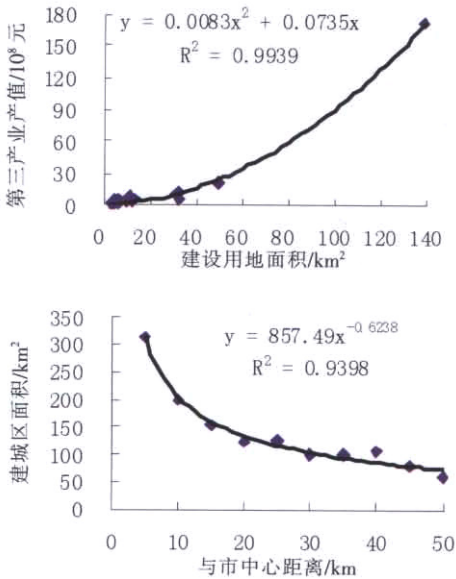


图3 天山北坡第三产业产值与城市规模关系  
Fig.3 Correlation between the output of tertiary industry and the scale of city

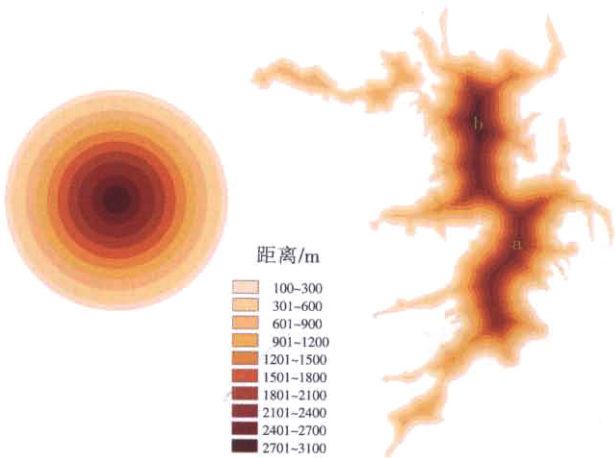


图4 虚拟的同心圆城市和乌鲁木齐市城市边缘距离  
Fig.4 The virtual concentric city and the distance from the edge of the city of Urumqi

界的城市边缘距离  $0$ ，中心则是具有最大城市边缘距离  $r'_{\max}$  的位置。以乌鲁木齐市为例(图 4)，可以看  $a$  和  $b$  所指向的均为根据边缘距离计算得到的城市中心，这样可以表征不规则形状建成区的多中心情形，比起城市单中心假设更为合理。

根据城市边缘距离，城市最大边缘距离  $r'_{\max}$  等于同心圆城市的最大半径  $R$ ，城市边缘距离为  $r'$  的点到城市中心的距离为  $r=R-r'=r'_{\max}-r'$ ，于是可得到改进的第三产业产值空间分布模型：

$$D(r)=D_{(r'_{\max})}\cdot e^{-b(r'_{\max}-r')^{\sigma}} \tag{6}$$

由于城市中心的 GDP 密度不易取得，而城市规模与第三产业的发展水平有明显的正相关关系，同时城市的影响力也受城市规模的影响，因此，在式(6)的基础上构建基于城镇面积的第三产业产值分布系数模型：

$$W_{ij}=A_j\times\ln A_i\times\exp\left[-\left(\frac{r'_{\max}-r'_j}{r'_{\max}}\right)^{\sigma}\right] \tag{7}$$

式中： $W_{ij}$  为第  $i$  个城镇中第  $j$  个栅格的三产产值分布系数； $A_j$  表示  $j$  栅格中的城镇用地面积； $A_i$  表示第  $i$  个城镇的面积； $r'_{\max}$  表示城市边缘到城市中心的最大距离； $r'_j$  表示第  $j$  个栅格中心至城镇边缘的距离；参数  $\sigma$  反映城镇的不同发展阶段，根据城市发展的基本理论，城市发展要经历成长、成熟和老年阶段，干旱区城镇虽然经过多年的发展，但仍然处于发展阶段<sup>[24-25]</sup>，故可取  $\sigma$  值为 1。

在得到各栅格上的第三产业产值分布系数的基础上可用下式对其产值的空间分布进行模拟：

$$GDP3_{ij}=GDP_{3i}\times\frac{W_{ij}}{\sum_{j=1}^mW_{ij}} \tag{8}$$

式中： $GDP3_{ij}$  是第  $i$  个县市第  $j$  个栅格上分布的第三产业产值； $GDP_{3i}$  为该县市第三产业产值； $W_{ij}$  为第  $i$  个县市第  $j$  个栅格的三产产值分布系数； $m$  为第  $i$  个行政区中居民点所占的栅格数。

4 天山北坡 GDP 空间化模拟实证

本研究以新疆天山北坡为试验区，根据各县市 1995、2000 以及 2007 年的 GDP 统计数据、土地利用、道路和城市规模等空间数据分别对第一、二、三产业产值进行公里格网化模拟，并最终实现天山北坡三个时期的 GDP 空间化。

4.1 精度检验

检查 GDP 空间化数据精度最直接有效的方法就是利用一定数量的乡镇级数据来进行<sup>[12]</sup>，但其数据的获取较为困难。因此，本文尝试从分产业和分县两个尺度上对其精度进行检验，以期对统计型经济数据的空间化结果进行验证。

表 2 即为天山北坡 GDP 及各产业产值真实值与模拟结果间的对比分析。可以看出，研究区 3 个时期 GDP 的模拟效果均较好，模拟值与真实值间的相对误差均在 0.1% 以内。其中，第一产业产值误差相对较大，而二、三产业产值的模拟效果较好，除 2007 年第二产业相对误差为 0.07% 外，其他均未超过 0.05%。

表 2 天山北坡 GDP 模拟结果分产业精度检验  
Tab.2 The error analysis of simulation results in industries

年份		天山北坡 GDP	第一产业产值	第二产业产值	第三产业产值
1995	模拟值/10 <sup>4</sup> 元	3984218.23	656241.24	1739280.00	1588697.00
	统计值/10 <sup>4</sup> 元	3987049.00	659611.00	1739069.00	1588369.00
	相对误差/%	-0.07	-0.51	0.01	0.02
2000	模拟值/10 <sup>4</sup> 元	6646554.70	952851.26	3027966.64	2665736.79
	统计值/10 <sup>4</sup> 元	6650345.83	958164.83	3027157.00	2665024.00
	相对误差/%	-0.06	-0.55	0.03	0.03
2007	模拟值/10 <sup>4</sup> 元	19662159.86	1986357.46	10047177.43	7628624.98
	统计值/10 <sup>4</sup> 元	19656641.00	1987059.00	10040357.00	7629225.00
	相对误差/%	0.03	-0.04	0.07	-0.01

由于本研究采用分县控制的思路对研究区 GDP 的空间分布进行模拟，因此将县域内 GDP 的统计值与模拟值进行对比，验证模拟结果的可靠性。将天山北坡各县市 3 个时期的模拟值与统计值进行对比分析，由于篇幅限制仅列出 2000 年各县市模拟值与统计值进行表示(表 3)。如表 3 所示，天山北坡所包括的 17 个县市其 GDP 的模拟值与统计值间相对误差均较小，其中相对误差最小的几乎

表3 天山北坡 GDP 模拟结果分县精度检验

Tab.3 The error analysis of simulation results in counties

地区	模拟值/10 <sup>4</sup> 元	统计值/10 <sup>4</sup> 元	残差/10 <sup>4</sup> 元	相对误差/%	地区	模拟值/10 <sup>4</sup> 元	统计值/10 <sup>4</sup> 元	残差/10 <sup>4</sup> 元	相对误差/%
博乐市	126579.90	126586.87	6.97	0.0055	米泉市	156152.37	156309.49	157.12	0.1005
昌吉市	325297.28	326696.61	1399.33	0.4283	木垒县	53198.18	53268.93	70.75	0.1328
阜康市	164995.12	165545.10	549.98	0.3322	奇台县	119522.05	119678.09	156.04	0.1304
呼图壁县	154118.55	154675.97	557.42	0.3604	沙湾县	334427.67	334785.68	358.01	0.1069
吉木萨尔县	84233.43	85050.78	817.35	0.9610	石河子市	259890.17	260142.92	252.75	0.0972
精河县	77555.22	78035.57	480.35	0.6156	温泉县	36284.01	36323.54	39.53	0.1088
克拉玛依市	1389478.72	1389595.55	116.83	0.0084	乌鲁木齐市	2798394.57	2798456.35	61.78	0.0022
奎屯市	102907.00	102907.02	0.02	0.0000	乌苏市	178798.74	178820.61	21.87	0.0122
玛纳斯县	283199.29	283466.75	267.46	0.0944					

为0,最大的也不超过1%,总体精度较高。

由以上分析可知,本研究对于研究区的GDP空间分布模拟在分县、分产业以及整体水平上保证了一定的正确性,对于以天山北坡为代表的干旱区GDP的空间化模拟具有一定的合理性。

4.2 结果分析

4.2.1 分产业空间分布结果

本研究通过对各产业分别建立模型实现干旱区GDP的空间分布模拟,各产业产值的空间分布图能够较好反映各产业的空间分布特征。

以天山北坡2000年各产业产值的空间分布模拟图为例(图5),第一产业产值呈连片分布的特征,高值区主要分布于中部的米泉至沙湾一线,西部的精河、博乐也有部分区域产值较高。这与各地区的气候条件、水资源状况等对农牧业的适宜性以及各地生态价值的重要性相一致。如玛纳斯河流域的中部地区,在玛纳斯河、塔西河、宁家河、金沟河、巴音沟河等5条河流的冲击作用下形成冲洪积平原,水土资源较好,利于农牧业的生产<sup>[28]</sup>;而西北部的克拉玛依市,受地理位置的制约,绝大部分地区为戈壁滩,一产产值极低。第二产业产值的空间分布具有沿交通线分布,在主要节点上聚集的特征。如乌鲁木齐市、石河子、奎屯、克拉玛依等均为天山北坡铁路、公路干线的枢纽城市,便捷的交通使其建筑、油气矿产加工等产业具有明显优势<sup>[29]</sup>。研究区第三产业产值呈串珠状分布,区域间的差异较大,城市规模越大,单位面积上的三产产值越高。三产产值的高值区主要分布在乌鲁木齐市、克拉玛依市和石河子市,它们依靠区位优势和资源禀赋,工业发展稳定快速,人口密度不断增大,城市化水平逐年上升,从而带动了第三产业的快速发展<sup>[30]</sup>。

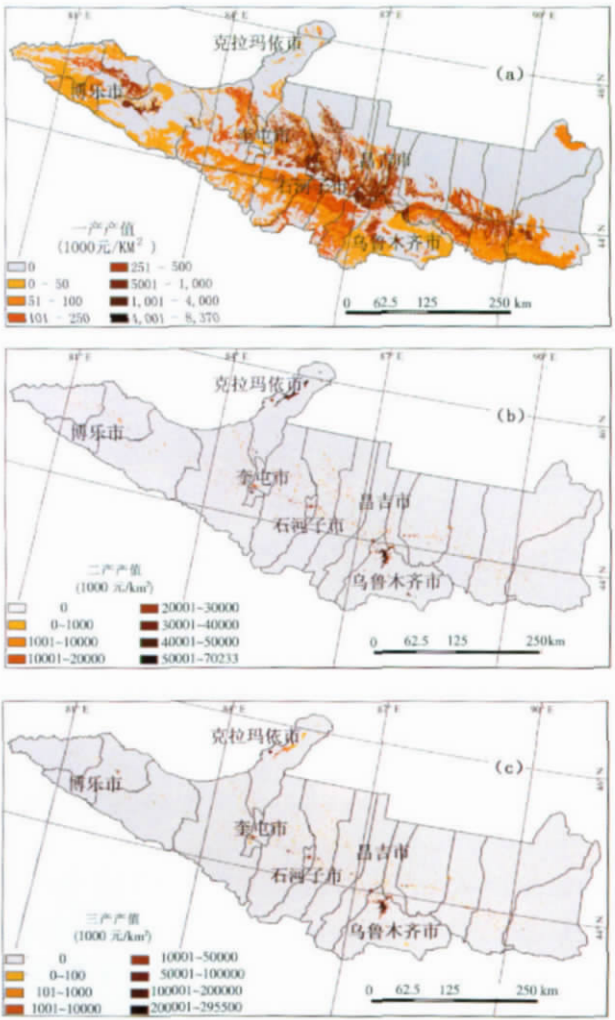


图5 天山北坡各产业产值空间分布模拟图(2000年)

Fig.5 The spatial distribution of output value in various industries on the northern piedmont of Tianshan Mountains (2000)

4.2.2 GDP 空间分布结果

将上述各产业的空间分布模拟结果相叠加,即可最终实现区域GDP的空间分布模拟(图6)。

从研究区三个时期的GDP空间分布模拟图上可以看出,天山北坡的整体经济水平较低,研究区



内半数以上的土地属于未利用地,无法产生 GDP,经济活动集中分布在有限的绿洲区域,且具有明显的地域差异。具体而言,区域中部的米泉至克拉玛依一线 GDP 密度在 3 个时期均明显高于西部和东部地区,其中,省会乌鲁木齐、石油重镇克拉玛依以及兵团城市石河子, GDP 密度最高。同时,放大的乌鲁木齐市 GDP 模拟图显示,城市内部 GDP 的空间分布也存在明显的差异,进行非农业生产建设的建成区 GDP 密度明显高于以第一产业为主的城郊和农村地区,而建成区内部 GDP 密度也表现出由城市中心向外发散的趋势,与城市经济发展的实际情况相符<sup>[26]</sup>。

对研究区 1995、2000 和 2007 年的 GDP 空间分布模拟结果进行对比分析, GDP 密度低于  $10 \times 10^4$  元的区域分别占到研究区总面积的 39.61%、20.60%、28.58%; GDP 密度在  $10 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$  元之间的区域分别为 11.26%、20.60%、28.58%;  $100 \times 10^4$  元以上的区域约为 0.65%、1.10%和 2.41%。近 10 年来,研究区的经济发展较为迅速。1995 年,研究区主要以农牧业为支柱,区域 GDP 在空间分布上以成片的低值区为主, GDP 高值区仅在第二产业较为发达的乌鲁木齐市、克拉玛依市以及石河子市有零星分布。2000 年,研究区大力发展工业生产,公路、铁路等交通设施逐渐完备, GDP 的高值区在各县市均有点状分布,并沿主要交通线展开,全区 GDP 的空间分布呈现出“线状”(串珠状)发展的宏观格局,省会乌鲁木齐市开始出现多中心发展的趋势。到 2007 年,天山北坡各县市二、三产业的发展已初具规模,各县市 GDP 整体水平都有显著提高, GDP 的空间分布格局开始由串珠状分布向面状扩散,各城市中心对经济的集聚效应更为明显。同时,2000 年的部分 GDP 零值区在 2007 年已出现一定的产值分布,通过对照土地利用数据,上述地区出现产值的主要原因是未利用地转化成了草地或林地,表明人们在不断追求经济发展的同时,已开始注重生态环境的保护。

## 5 结论与讨论

本文以干旱区土地利用为基础,根据分县控制、分产业建模的思路,对第一产业产值采用面积权重的方法进行拟合,对第二产业建立基于道路的反距离加权模型,第三产业产值则以城镇规模为基

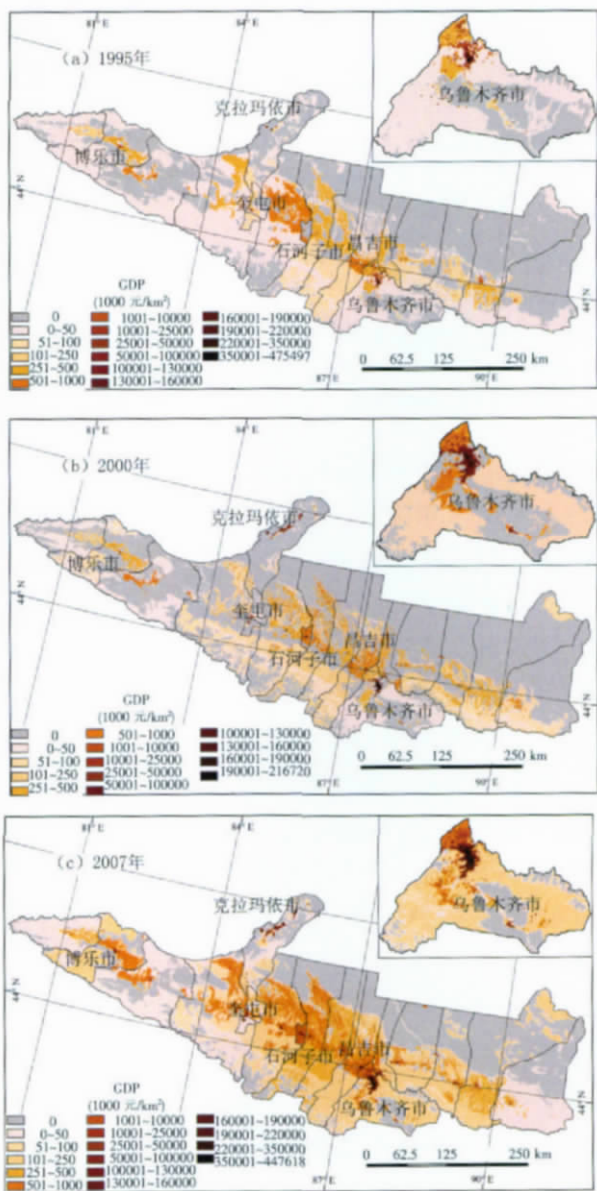


图 6 天山北坡 GDP 空间分布模拟图

Fig.6 The spatial distribution of GDP on the northern piedmont of the Tianshan Mountains

础,通过引入城市边缘距离概念建立多中心的距离衰减加幂指数模型,为统计型经济数据的空间化提出了一种新的研究思路 and 实现途径。天山北坡各县市 1995、2000 和 2007 年 GDP 数据的空间化模拟结果与统计值的相对误差均在 1%以内,总体模拟精度较高。各产业产值及 GDP 的空间分布模拟图较为真实地反映了干旱区经济按照串珠状发展的特征,建成区内部以及建成区与周边乡镇的经济差异也得以较好体现,同时通过 3 期 GDP 模拟结果的对比较好地展现了区域经济的发展过程。文章所采用的方法综合考虑了土地利用、道路和城市规模对经济的影响,避免了 GDP 在各地类内部的平均

化,为社会经济数据与自然地理数据的有效结合做出新的尝试,对准确把握区域经济发展动态具有一定的实用价值,这是传统的统计方法所不能及的。

研究过程中虽然考虑了一、二、三产业空间分布的主要影响因素,对各产业分别建立模型进行模拟,特别是对于第三产业的模拟不仅考虑到城市中心对经济的聚集效应,而且利用城市边缘距离有效模拟了城市发展的多中心情况。但由于影响社会经济空间分布的因素较为复杂,本研究的方法还需要进一步地改善和提高。如本研究对于第一产业的空间分布模拟过程中虽然考虑了县域间农用地的面积和土地质量对产值分布的影响,但县域内部差异的定量描述还需要进一步研究。此外,在目前条件下,乡镇级 GDP 数据的获取较为困难,如何验证统计型经济数据的空间化结果也是今后研究的方向之一。

## 参考文献

- [1] IGBP. Global Change and the Earth System: A Planet under Pressure. Executive Summary. In: Steffen W, Elion S (eds.). IGBP Secretariat. Royal Swedish Academy of Sciences, 2004.
- [2] Clark J I, Rhind D W. Population data and global environmental change. 1992, Paris, IISC/UNESCO.
- [3] 杨小唤, 江东, 王乃斌, 等. 人口数据空间化的处理方法. 地理学报, 2002, 57(增刊): 70-75.
- [4] Robinson J M. Restoring continuity: Exploration of techniques for reconstructing the spatial distribution underlying polygonized data. Int. J. Geographical Information Science, 1997, (11): 633-648.
- [5] 江东. 人文要素空间化研究进展. 甘肃科学学报, 2007, 19(2): 91-94.
- [6] 田永中, 陈述彭, 岳天祥, 等. 基于土地利用的中国人口密度模拟. 地理学报, 2004, 59(2): 283-292.
- [7] Tobler W, Deichmann U, Gottsegen J. World population in a grid of spherical quadrilaterals. International Journal of Population Geography, 1997, 3: 203-225.
- [8] Dobson J E, Bright E A, Coleman P R. LandScan: A global population database for estimating population at risk. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(9): 1037-1047.
- [9] Stuart R Gaffin, Greg Yetman, Andrew Mellinger. Guidance Materials on Spatially Distributed Socio-Economic Projections of Population and GDP Per Unit Area, 2004.
- [10] 刘纪远, 岳天祥, 王英安. 中国人口密度数字模拟. 地理学报, 2003, 58(1): 17-24.
- [11] Yang Xiaohuan, Huang Yaohuan, Dong Pinliang. An updating system for the gridded population database of China based on remote sensing, GIS and spatial database technologies. Sensors, 2009(9): 1128-1140.
- [12] 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.
- [13] 易玲, 熊利亚, 杨小唤. 基于 GIS 技术的 GDP 空间化处理方法. 甘肃科学学报, 2006, 18(2): 54-58.
- [14] 钟凯文, 黎景良, 张晓东. 土地可持续利用评价中 GDP 数据空间化方法的研究. 测绘信息与工程, 2007, 32(3): 10-12.
- [15] 张雷, 陈文言. 地区经济发展与土地利用转换: 以长江干流地区为例. 资源科学, 2004, 26(1): 2-8.
- [16] 新疆维吾尔自治区统计局. 1996 新疆统计年鉴. 乌鲁木齐: 中国统计出版社, 1996.
- [17] 新疆维吾尔自治区统计局. 2001 新疆统计年鉴. 乌鲁木齐: 中国统计出版社, 2001.
- [18] 新疆维吾尔自治区统计局. 2008 新疆统计年鉴. 乌鲁木齐: 中国统计出版社, 2008.
- [19] 新疆维吾尔自治区测绘局 编制. 新疆维吾尔自治区地图集. 乌鲁木齐: 新疆维吾尔自治区测绘局, 1995.
- [21] 西安地图出版社 编制. 新疆维吾尔自治区地图册. 西安: 西安地图出版社, 2000.
- [21] 尹嘉珉. 新疆维吾尔自治区地图册. 北京: 中国地图出版社, 2007.
- [22] 李小健. 经济地理学. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [23] 许学强, 周一星, 宁越敏. 城市地理学. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [24] 冯键. 杭州市人口密度空间分布及其演化的模型研究. 地理研究, 2002, 21(5): 635-646.
- [25] 周春山, 许学强. 广州市人口空间分布特征及演变趋势分析. 热带地理, 1997, 17(1): 53-60.
- [26] 张琦. 城市经济学. 北京: 经济日报出版社, 2007.
- [27] 王雪梅, 李新, 马明国. 干旱区内陆河流域人口统计数据的空间化: 以黑河流域为例. 干旱区资源与环境, 2007, 21(6): 39-47.
- [28] 程维明, 周成虎, 刘海江, 等. 玛纳斯河流域 50 年绿洲扩张及生态环境演变研究. 中国科学: D 辑, 2005, 35(11): 1074-1086.
- [29] 李偲, 钟巍, 王立国. 天山北坡经济带经济增长极研究. 干旱区地理, 2002, 25(4): 354-359.
- [30] 吕宾, 张小雷. 新疆城市化与经济发展协调性分析. 干旱区地理, 2002, 25(2): 189-192.



## GIS Based Space–time Simulation of GDP in Arid Regions: Taking the Northern Slope of Tianshan Mountains as an Example

HUANG Ying<sup>1,2</sup>, BAO Anming<sup>1,3</sup>, CHEN Xi<sup>1</sup>, LIU Hailong<sup>1</sup>, YANG Guanghua<sup>1,2</sup>

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. West China Normal University, Nanchong 637002, China;

4. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** The traditional economic data expression is based on the administrative regions at county or province level, which conceals the inner difference of the calculation area. It cannot satisfy the requirement of the study of resources and environmental sciences. Land use data integrate lot of information of factors affecting economic distribution. A close spatial relation between land use and economic distribution can be established using the data of the nature of land, the production mode of primary industry, the input and output of industry, and the proportion of service in China. After analyzing the characteristics of the regional economic development, we consider the GDP of counties separately and constructed the model based on land use for three types of industries to simulate the difference of GDP in arid area using  $1\text{ km} \times 1\text{ km}$  grid-cells. To the primary industry, we considered the influence of land-use type and land quality, the area weightiness method is adopted, using linear equation to fit it; According to the influence of road on secondary industry, a road-based counter-distance weighted model is built to calculate the secondary industry output indices, and then the spatialization of the secondary industry output is implemented. For the output of tertiary industry, a power exponential model based on the scale of town and the distance from the center of town is derived from distance decay function. We take the GDP data in the northern piedmont of the Tianshan Mountains in Xinjiang in 1995, 2000, 2007 as a case. The results show that the precision of each simulation result is high both at industries and counties level, the relative errors between the simulation results and the statistical ones are all below 1%. From the distribution map, we can see that the high value areas are mainly distributed from Miquan to Shawan, and dispersed radially from Urumqi, Karamay and Shihezi to their surrounding areas. In city area, the GDP density is decreased from the inner city to the outskirts, and the downtown GDP density is much higher than the suburban one. This is highly matched the fact. The time series analysis reflected the process of regional economic development and fit the distribution characteristics of regional economy well. Compared with other models, the simulation method we used in this case is more practicable and effective.

**Key words:** GDP; arid region; land use; distance decay rule; the distance from the edge of city; Tianshan Mountains