

DOI:10. 7522/j. issn. 1000-0240. 2017. 0103

ZHANG Hui, ZHANG Zhiqiang. Analysis of spatial expansion of urban land in the Shiyang River basin[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(4): 926–934. [张惠, 张志强. 石羊河流域城镇化用地空间扩展分析[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 926–934.]

石羊河流域城镇化用地空间扩展分析

张 惠¹, 张志强^{2,3}

(1. 兰州文理学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国科学院 成都文献情报中心, 四川 成都 610041;
3. 中国科学院 兰州文献情报中心, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 石羊河流域是流域经济社会可持续发展研究的重点区域之一。为找出流域城镇化用地空间扩展的机理, 从社会经济、区位交通、生态约束出发, 开展了城镇空间扩展用地评价与预测研究。首先, 利用改进的土地适宜性评价方法, 找出城镇扩展可能性和各乡镇适宜性高值区的空间格局, 发现其主要位于流域中部绿洲生态功能区, 沿 G30 高速公路和 312 国道分布, 以县城/城区为中心呈星形扩散。然后, 利用经过精度检验的土地转化模型(LTM), 在适宜性评价因子的基础上模拟城镇扩张。结果表明: 凉州区和金川区为流域发展的“两核”, 312 国道天祝至永昌段、211 省道凉州至民勤段、212 省道永昌至金川段为流域发展的“三带”。上述结果可为政府制定流域发展规划提供参考。

关键词: 城镇扩展; 土地转化模型(LTM); GIS; 石羊河流域

中图分类号: F291 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)04-0926-09

0 引言

城镇扩展是区域发展的必然趋势, 城镇化使得大量耕地转化为城乡建设用地, 东部沿海地区在改革开放的 30 多年中快速城镇化。学者们已经对其扩展特征进行了大量研究^[1-5], 包括引入国外研究方法^[6-9], 发现区位条件是影响地区城镇化的重要因素^[10-11], 制约着资源的供给和人才的流动。但是, 鲜有研究涉及西部地区^[12]。

石羊河流域属于西北干旱区, 地处腾格里沙漠和巴丹吉林沙漠的交界地带, 生态环境脆弱, 城镇化必须要注重流域空间管治, 划分开发与保护的适宜性空间是城镇扩展用地选择的必要条件^[13-15]。近年来的研究在城镇扩展影响因素中大多只考虑了交通路网, 而没有考虑地形和生态因素^[16-18]。而西部地区地形复杂, 自然环境恶劣, 对城镇扩展的影响不亚于交通因素^[19]。本文以区位条件为重点, 结合经济因素和生态约束, 模拟石羊河流域城镇空间扩张, 旨在找出一个适合西北干旱地区的城镇扩张模型。

在 ArcGIS 的支持下, 以 GRID 作为评价单元, 采用改进的矢量数据空间分析和栅格数据空间分析方法来研究城镇扩展模拟影像因素, 找出石羊河流域城镇扩展空间分布可能性较高的区域。然后利用经过精度检验的土地转化模型(LTM), 以 2010 年城镇用地为基础模拟出 10 年后的城镇发展用地可能性分布, 以期为区域城市空间结构和布局的调整、城镇规划编制等提供科学依据。

1 研究区概况

石羊河流域(图 1)位于河西走廊东段, 祁连山北麓, 介于 101°22'~104°16' E、36°29'~39°27' N 之间。高山、中高山、低山丘陵、沙漠、冲积平原构成了流域地貌形态, 地势南高北低, 自西南向东北倾斜。山区水源涵养林萎缩, 水土流失严重, 水资源匮乏, 生态环境持续恶化。流域面积约 41 600 km², 包括武威市凉州区、古浪县、民勤县全部及天祝县祁连山以北部分, 金昌市永昌县和金川区全部, 以及张掖市肃南县部分地区, 共 3 市 7 县(区)。2010 年总人口约 260 万人, 其中城镇人口

收稿日期: 2016-12-01; 修订日期: 2017-04-06

基金项目: 甘肃省高等学校科研项目(2016B-125); 国家自然科学基金项目(41171116)资助

作者简介: 张惠(1983-), 女, 甘肃兰州人, 副教授, 2015 年在西北师范大学获博士学位, 从事生态经济学与区域可持续发展、区域旅游规划与设计研究. E-mail: zhang_h1009@163.com.

95 万人，城镇化水平为 36.5%；GDP 为 290.8 亿元，占全省的 11.3%，人均 GDP 为 1.27 万元。相对于我国东部地区，石羊河流域城镇化水平较低，经济发展较为落后。

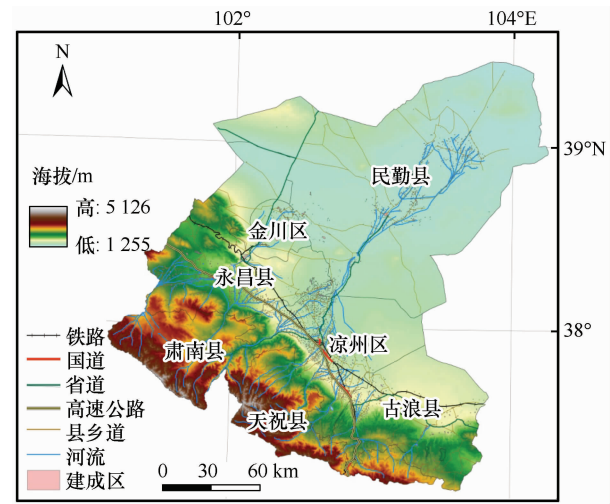


图 1 石羊河流域
Fig. 1 Map showing the Shiyang River basin

2 数据来源与研究方法

石羊河流域基础数据主要来源于国家自然科学基金委员会中国西部环境与生态科学数据中心 (<http://westdc.westgis.ac.cn>)，包括流域行政区划、2000 年土地利用数据、DEM 等。基于 Landast TM 影像获取 2010 年土地利用数据。经济数据来源于各县区 2010 年社会经济统计数据。以成都地图出版社 2008 年出版的《中国公路交通图集》的交通路网为基准，核查完善各等级路网，综合考虑地形坡度因素，结合石羊河流域基础数据资料矢量化为分析底图(图 1)。

城镇空间扩展预测模型采用普渡大学 Human-

Environment Modeling & Analysis Laboratory (HEMA Lab) 开发的基于人工神经网络(ANN)的土地转化模型 Land Transformation Model (LTM)^[20-21]。该模型能够通过神经网络技术机器学习与训练法自动获取土地利用变化驱动因素的空间交互规则。模型内容包括输入、输出、隐含层节点的创建，驱动变量与土地利用变化信息训练样本获取，驱动变量因素回归与循环，驱动变量因素权重识别，精度评价等 5 个部分^[22]。LTM 在国外的区域规划中应用得十分广泛^[23-24]，国内学者也对该模型进行了大量实证研究，较多应用于海河流域的京津唐地区^[11,22]。在此基础上，本文制定了适合沙漠绿洲型城镇扩张的评价因子，综合考虑区域开发适宜性分区中区位、经济、生态 3 种因素对空间区划的影响^[10]，来模拟流域城镇空间扩展。

3 过程分析

借鉴陆玉麒等^[10]对市域空间发展类型区划分的方法，选取区位条件、经济因素和生态约束 3 个指标作为依据划分城镇空间扩展可能区域。其中，区位条件因子包括影响力因子和交通可达性因子。

3.1 中心县区影响力因子

在 ArcGIS 的 Generate 环境下以 1 km × 1 km 为单位生成格网图，再用流域边界来裁切生成的格网，即可得到包括 33 972 个单元的格网图，提取每个格网的中心点坐标。接着，利用 DEM 以坡度为基准提取等高线，合并。最后，生成 4 个角度区间 [图 2(a)]。

准备交通网络图层(包括高速公路、国道、省道、县乡道)，分别打断为 1 km × 1 km 的格网标准，用于在路网中心点图层上创建点线拓扑关系，计算格网中心点、县区与最近道路结点之间的直线

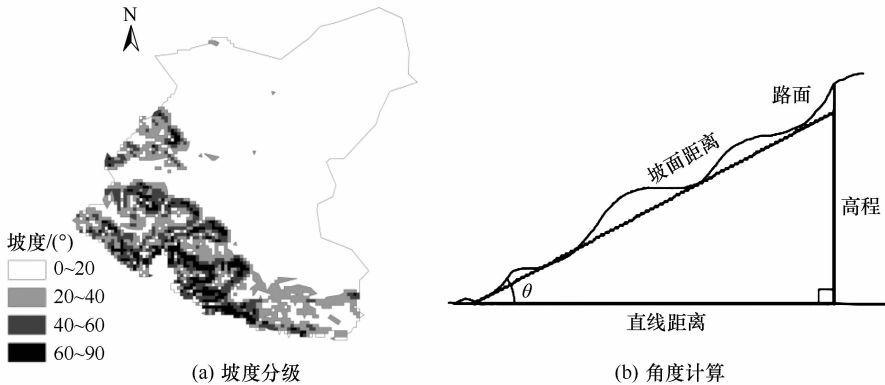


图 2 坡度分级和角度计算
Fig. 2 Slope classification (a) and angle calculation principle (b)

距离。若直线距离不在同一坡度范围内,则先根据坡度计算坡面距离,再汇总坡面距离和直线距离[原理见图 2(b),坡面距离 = 直线距离/cos θ,在 4 个角度区间 θ 分别取 20°、20°、20°、30°]。

然后在格网图层和城市点图层的属性表中寻找始、末结点对作标记。在 ArcInfo 工作站中定义始、末结点的 INFO 文件,计算道路网络结点之间的距离。如果处于不同的坡面,提取坡面与道路的交点作为分界点,计算不同的坡面距离再相加。添加两段汇总距离值和路网距离值,最后得到总距离值。

由城市地理学相关理论可知,距离摩擦系数 β 一般在 0.5 ~ 3.0 间变化。按照石羊河流域主要道路等级和陆地的情况,根据王祖静等^[25]的划分标准,以省道公路为基准定义距离摩擦系数为 1.8,高等级公路的距离摩擦系数依次降低,低等级公路的距离摩擦系数依次升高(表 1)。

表 1 各种公路等级的距离摩擦系数
Table 1 Distance friction coefficient of various roadgrades

公路等级	国道	省道	县乡道	陆地
距离摩擦系数	1.6	1.8	2.0	2.2

按照各县区内各等级道路长度的比例,求出县区间距离摩擦系数,如表 2 所示,用来计算中心县区范围内的场强。

借鉴潘竞虎等^[24]的中心城市规模定量确定方法,选取以下 4 个方面 12 项指标来测度城市综合规模。选取指标涉及社会(非农业人口、人均 GDP),经济(生产总值、固定资产投资总额、社会消费品零售总额、货运总量),科技(科研综合技术从业人数),生态(建成区面积、工业废水排放达标

率、建成区绿化覆盖率)等方面。主因子的提取以计算得到的各因子特征值及累积贡献率为依据,特征值越大,贡献率越大,表明该因子在反映城市综合规模上越重要。应用主成分分析法把以上多个指标线性组合,KMO 值为 0.683,大于 0.6,得出 3 个特征值大于 1 的主成分累积贡献率为 86.44%。根据旋转因子载荷矩阵计算各县区的综合规模值,公式为

$$Z_i = \sum_{k=1}^m [A_k \times \sum_{j=1}^3 (C_{kj} \times M_{ij})]$$

(1)

式中: Z_i 为县区 i 的综合规模值; A_k 为第 k 个主成分的贡献率; m 为特征值大于 1 的主成分个数,此处 $m=3$; k 为主成分编号,此处 $k=3$; C_{kj} 为第 k 个主成分在第 j 个变量上的载荷; M_{ij} 为标准化后的指标。计算结果见表 3。

借鉴物理学中场强模型的概念测算流域内中心县区影响力,公式为

$$F_{ik} = \frac{Z_i}{D_{ik}^\beta}$$

(2)

式中: F_{ik} 为中心县区 i 在格网中心点 k 上的场强; Z_i 为县区综合规模值; D_{ik} 为县区 i 到格网点 k 的总距离值; $\beta(>0)$ 为距离摩擦系数。其中, $i=1, 2, \cdots, 5$; $k=1, 2, \cdots, 33\ 972$ 。

按照计算出的路网距离求解各县区的场强,路网距离搜索范围设定为 450 km^[25]。分别计算 5 个中心县区(肃南县、天祝县行政中心不在流域范围内)范围内所有格网的场强,再叠加各县区对所有格网的 5 个矢量文件,按“取大”原则找出格网对中心县区的场强最大值,最后生成中心县区影响力因子[图 3(a)]。

表 2 流域内各县区间的平均距离摩擦系数
Table 2 Average distance friction coefficient between each two counties/districts in the basin

县区	天祝县	古浪县	凉州区	民勤县	永昌县	金川区	肃南县
天祝县	-						
古浪县	1.85	-					
凉州区	1.85	1.85	-				
民勤县	1.94	1.99	2.05	-			
永昌县	1.85	1.85	1.85	1.97	-		
金川区	1.89	1.90	1.93	1.98	2.05	-	
肃南县	2.22	2.01	2.06	2.05	2.20	2.16	-

表 3 流域内各县区的综合规模值
Table 3 Integrated scale value of counties/districts in the basin

县区	凉州区	金川区	永昌县	古浪县	民勤县	天祝县	肃南县
综合规模值	33.33	19.68	14.71	13.14	12.58	11.96	6.67

3.2 区域交通可达性因子

石羊河流域位于甘肃省境内，而兰州是甘肃省省会，兰州对流域的交通可达性影响十分大。流域内没有机场，兰州是其与东部地区商品货物流通的中转站。在地理位置上，流域又与兰州紧密相邻。国内学者研究发现，石羊河流域经济区大部分被兰州市影响区覆盖，其余地区为武威市和金昌市的辐射区域^[25-26]。

利用栅格数据的空间分析方法计算最短时间距离，以便于做最后的叠加分析。选定的栅格大小和测算中心县区影响力的网格大小相同，每个栅格包含不同的交通方式。根据《JTG B01-2006 中华人民共和国公路工程技术标准》(下称《标准》)规定的各级道路交通系统的设计速度，结合流域实际情况，设定流域内道路的平均行车速度为 V ，根据 $cost = \frac{10}{V} \times 60$ 计算得到行驶 10 km 所需要的时间成本。不同交通方式的时间成本如表 4 所示。

在任何地区，地形和坡度对速度都有着决定性的影响，所以结合上文 DEM 提取的坡度数据和《标准》，重新设定了行驶速度和时间成本，如表 5 所示。由于国道、高速公路和铁路是高等级道路交通系统，特别是高速公路和铁路，受高程、坡度的影响很小，所以设定为速度不变。

石羊河流域在地理空间上为“<”型格局，在计算时间成本时必须综合考虑流域以外区域，所以将分析底图处理为以兰州为圆心、450 km 为半径覆盖整个流域的圆。铁路和高速公路并不是完全开放的道路交通系统，只有在铁路交汇处、高速公路出

入口才与周围联通，因此将铁路、高速公路处理为封闭状态，即在铁路和高速公路沿线两侧 100 m 的区域将时间成本设为 300 min，并随着距离变远设置的成本值逐渐减小，直到和周围的道路或陆地成本相同，在交汇处和出入口处取原来的成本值。

将上述所有成本值赋给道路、陆地、水域和坡度等矢量图层，转换成栅格图层，叠加生成时间成本栅格图。在 ArcGIS 中运算出成本栅格中每个栅格点到兰州的最短时间图层。用流域边界裁切出最短时间，生成交通可达性影响因子[图 3(b)]，反映出兰州与石羊河流域空间联系的紧密程度。

3.3 经济因素因子和生态约束因子

经济因素因子包括人口密度规模、人均耕地面积、人均 GDP、距河流(水系)距离，生态约束因子包括 DEM、降水、生态服务价值(沙漠化、耕地保护、林草)。

根据 2010 年石羊河流域各县区社会经济统计资料整理的耕地面积和人口数据，以乡镇为基本单位计算人口密度，赋值于乡镇斑块中心点，然后插值[图 3(c)]；接着，计算人均耕地面积[图 3(d)]。从《甘肃发展年鉴 2010》中提取石羊河流域各县区人口数据和 GDP，以县区为基本单元，生成人均 GDP[图 3(e)]。城市建设离不开水源，尤其是在干旱区。采用最小欧氏距离算法生成河流、水库因子渐变图[图 3(f)]。同时，为保护水源地，在模型中将河流湖泊、水库标记为城镇禁止扩张区域。

流域的 DEM 如图 1 所示。年平均降水量来自石羊河流域及周边共 7 个气象站点的多年降水数

表 4 不同交通方式与用地类型的时间成本
Table 4 The time costs of various transportation modes and land use

空间对象	陆地	县道	省道	国道	铁路	高速公路	河流	湖泊水库
速度/(km·h ⁻¹)	20	30	60	80	90	120	-	-
时间成本/min	30	20	10	7.5	6.7	5	300	600

表 5 改进的时间成本
Table 5 The improved time costs of various transportation modes and land use

坡度/(°)	速度/(km·h ⁻¹)(时间成本/min)		
	省道	县乡道	陆地
0~20	60(10)	30(20)	20(30)
20~40	50(12)	25(24)	15(40)
40~60	-	20(30)	10(60)
60~90	-	-	5(300)

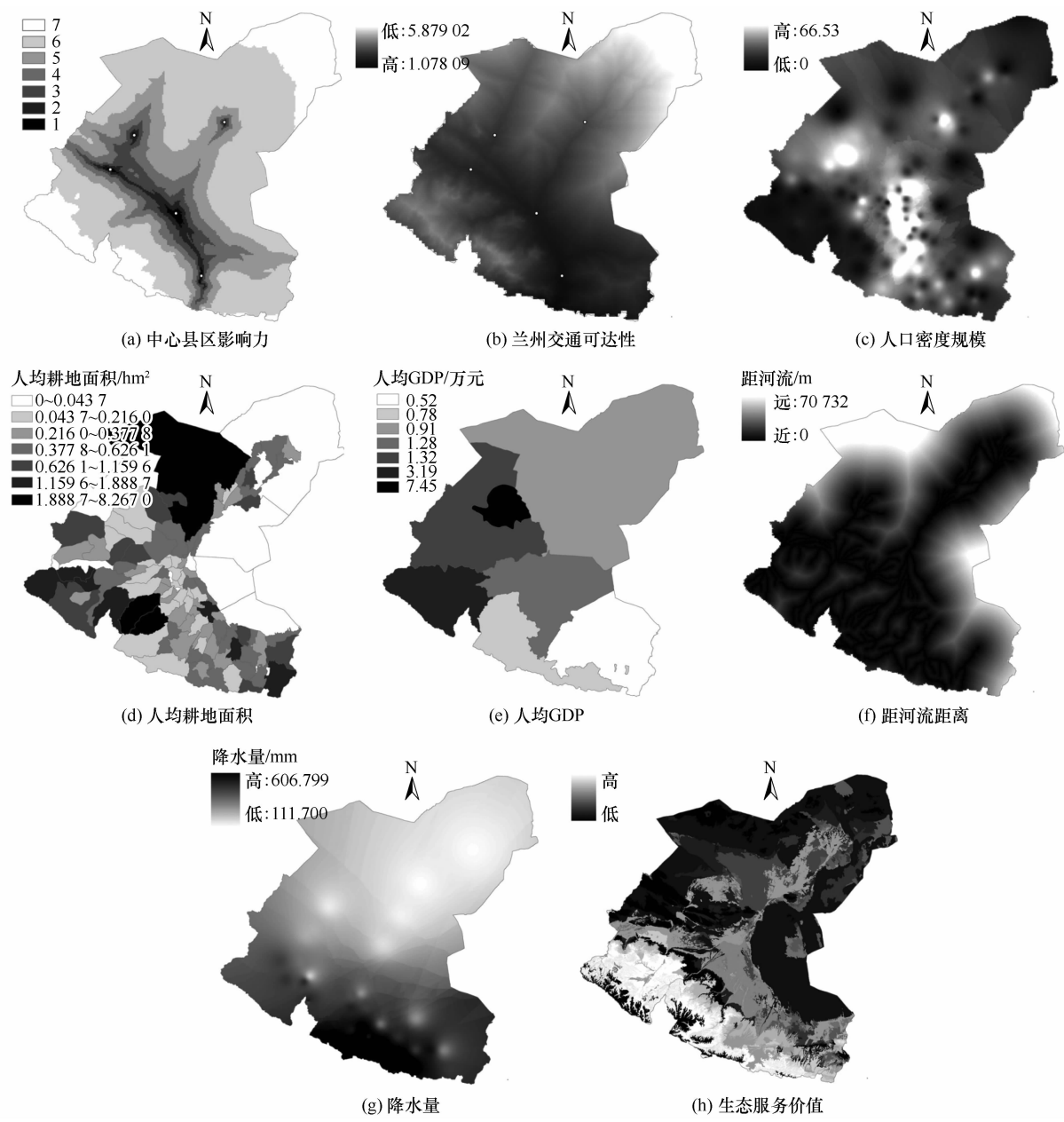


图3 流域内城镇扩展模拟因子分析

Fig.3 Analysis graphics of spatial factors of simulated urban land expansion in the basin

据,采用 Kriging 插值生成流域内 1 km × 1 km 平均降水量栅格图[图 3(g)]。根据 2010 年土地类型数据,提取出沙漠类型要素,按照地区沙漠化的严重程度分层;接着提取出耕地沙化严重性类型图,结合土地类型图中的耕地分布数据,生成流域耕地保护系统,与沙漠化类型相反,耕地系统价值越低,该地区越可作为城市建设用地;提取林地和草地数据,同样按照沙化严重程度分类,叠加进生态约束系统[图 3(h)]。

3.4 城镇扩展可能区域

采用层次分析法(AHP),结合专家打分确定上

述因子权重(表 6),在 GIS 平台上叠加计算得到石羊河流域城镇空间扩展可能值分布(图 4)。

可以看出,在综合考虑流域耕地保护和生态约束的情况下,随着距主要公路距离变远,城镇扩展可能值在逐渐变小。南部祁连山水源涵养区受地形坡度和林地、草地的影响,城镇扩展的可能性较小。中部绿洲生态功能区道路交通发达,可能值最高,但同时灌溉水源充足,多为基本农田,所以扩展可能值随耕地等级由低到高及道路等级由高到低逐渐减小。北部荒漠绿洲交互区地势平坦,可能值随着距水库河流距离的增大逐渐减小。流域内 4 个

县城/城区(民勤除外)都位于中部绿洲区,且该区各等级道路网络错综复杂,所以城镇扩展可能值远远大于其他 2 类地区,并沿着道路网络形成星形扩

表 6 流域城镇扩张评价因子权重

Table 6 Weights of evaluation indicator of urban land expansion in the basin		
系统层	指标层	权重
区位条件	中心县区影响力	0.1564
	兰州交通可达性	0.1222
经济因素	人口密度规模	0.0934
	人均耕地面积	0.0892
	人均 GDP	0.0921
	距河流(水系)距离	0.1279
生态约束	DEM	0.1136
	降水	0.0873
	生态服务价值	0.1179

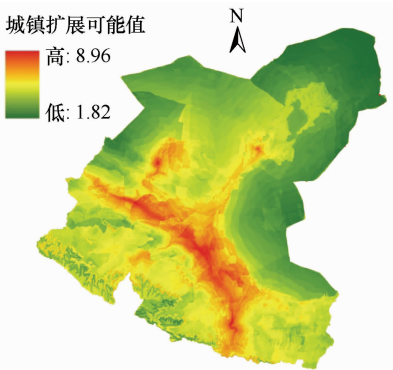


图 4 流域内城镇空间扩展可能值的分布
Fig.4 An overlay of model predicted urban expansion in the basin

散格局。

以流域经济因素为 X 坐标、区位条件为 Y 坐标、生态约束为 Z 坐标进行 3 维空间分布解析。到原点距离越小,代表乡镇的适应性条件越好;反之则越差(图 5)。可以看出,大多数乡镇都处于图形中间区域,体现了经济、区位、生态三者的制衡作用。凉州区除个别乡镇外,大多处于右下角,表明区位条件好、生态约束低,但是由于人口众多,人均经济水平较低。古浪县大部分位于上方,表明经济、区位、生态条件都较差。肃南县处于左上方,主要因为其是草原保护区,并且区位条件较差。金川区部分乡镇处于左下方,缘于在分析中考虑了耕地保护。

4 LTM 模拟

根据 2000 年石羊河流域土地利用数据,按照城镇用地、耕地、草地、林地、水域、湿地和未利用地做出土地利用空间分布[图 6(a)]。更改图 3 中矢量文件的属性格式,重分类以适应 LTM 模型分析,按照 1 km×1 km 栅格大小转换为 GRID 格式,结合图中所有栅格数据转为 ASCII 格式,共 5 个城镇扩展影响因子和 4 个限制因子。将上述因子输入 LTM 模型,利用 ANN 进行城镇空间扩展预测,训练次数为 10 000 次,导出结果如图 6(b)所示。应用 Kappa 系数和模拟正确率(PCM)进行模型精度检验,公式^[22]为

$$Kappa = \frac{[(\frac{TN}{GT}) + (\frac{TP}{GT})] - \{[(\frac{SN}{GT}) \cdot (\frac{RN}{GT})] + [(\frac{SP}{GT}) \cdot (\frac{RP}{GT})]\}}{1 - \{[(\frac{SN}{GT}) \cdot (\frac{RN}{GT})] + [(\frac{SP}{GT}) \cdot (\frac{RP}{GT})]\}}$$

(3)

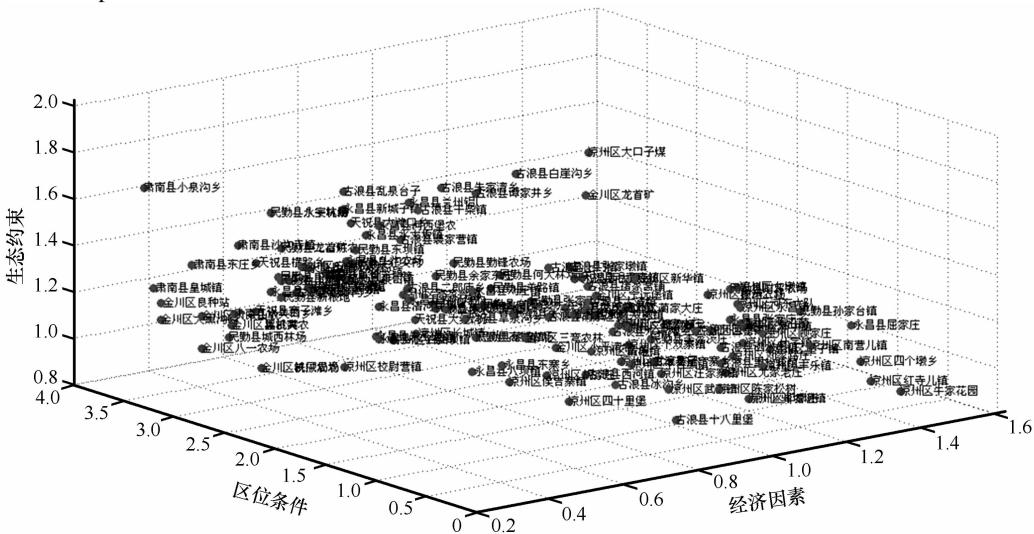


图 5 流域内乡镇适宜性的空间分布
Fig.5 Spatial distribution of assessed suitability of the towns in the basin

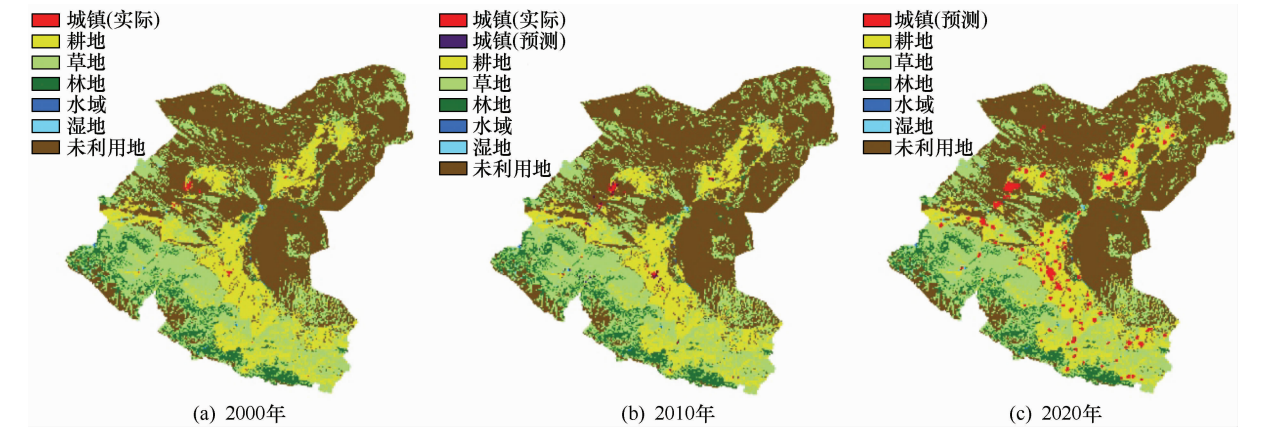


图 6 2000 年(实际的)及 2010 年、2020 年(预测的)流域内土地利用
Fig.6 Maps showing the land use in 2000 and predicted land use in 2010 and 2020 in the basin

$$PCM = \frac{TP}{SP} \times 100\%$$
 (4)

式中： TN 为未发生变化且未被模型预测； FN 为未发生变化且被模型预测； FP 为真正发生变化且未被模型预测； TP 为真正发生变化且被模型预测； $RN = TN + FP$ ，为未预测发生变化； $RP = FN + TP$ ，为预测发生变化； $SN = TN + FN$ ，为实际未发生变化； $SP = FP + TP$ ，为实际发生变化； $GT = TN + FN + FP + TP$ ，为总栅格数。

经计算，Kappa 系数为 0.58 (>0.4)，PCM 为 50.98% (介于 40% ~60% 之间)，说明 2000 - 2010 年石羊河流域城镇扩展模拟精度一般，可以进行模拟计算。2010 年实际城镇用地面积为 102.93 km²，模拟面积为 145.11 km²。同样，对 2010 - 2020 年城镇增长过程进行模拟，结果显示石羊河流域城镇用地将从 145.11 km²增加到 347.53 km²，占全流域土地总面积的 0.84%，如图 6(c) 所示。2010 年和 2020 年城镇扩展用地模拟结果全都分布在城镇扩展可能值高的区域，在原建成区的基础上，交通因子对其作用较大。另外，耕地限制和生态约束对流域城镇扩展模拟结果也有一定的影响。

5 结语

本文根据石羊河流域基础数据和经济数据，利用改进的城镇用地适宜性评价方法测算了流域的区位条件影响因子，即中心县区影响力和区域交通可达性，结合经济因素和生态约束，运用层次分析法计算权重，在 3D 空间上赋值，找出城镇扩展可能性和各乡镇适宜性的空间分布。结果发现，可能性高的区域和适宜性好的乡镇主要分布在中部绿洲生态功能区，沿 G30 连霍高速公路和 312 国道分布，

在凉州区城区和永昌县县城周边可能值最大。
然后利用土地转化模型 (LTM) 在适宜性评价影响因子和限制因子的基础上，模拟城镇空间扩张，结果通过精度检验。凉州区和金川区为流域发展的“两核”，312 国道天祝至永昌段、211 省道凉州至民勤段、212 省道永昌至金川段为流域发展的“三带”。上述结果可引导城镇合理扩展，为政府制定流域发展规划提供参考。

地表覆被在时间和空间上的变化也是地区城镇空间演化的主要驱动力，在区位条件分析中陆地类型分为林地、草地、耕地、建设用地等，各种用地类型的距离摩擦系数不同。本文只考虑了各等级公路用地，以后将结合流域地表覆被进行时间序列分析，做进一步研究。

参考文献 (References) :

[1] Ma Xiaodong, Zhu Chuangeng, Ma Ronghua, et al. Urban spatial growth pattern and its evolution in Suzhou, Jiangsu Province, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(4): 405 - 416. [马晓冬, 朱传耿, 马荣华, 等. 苏州地区城镇扩展的空间格局及其演化分析[J]. 地理学报, 2008, 63(4): 405 - 416.]

[2] Long Ying, Mao Qizhi, Shen Zhenjiang, et al. Comprehensive constrained CA urban model: institutional constraints and urban growth simulation[J]. Urban Planning Forum, 2008(6): 83 - 91. [龙瀛, 毛其智, 沈振江, 等. 综合约束 CA 城市模型: 规划控制约束及城市增长模拟[J]. 城市规划学刊, 2008(6): 83 - 91.]

[3] Long Ying, Shen Zhenjiang. An urban model using complex constrained cellular automata: long-term urban form prediction for Beijing[J]. International Journal of Society Systems Science, 2011, 3(1/2): 159 - 173.

[4] Che Qianjin, Duan Xuejun, Guo Yao, et al. Urban spatial expansion process, pattern and mechanism in Yangtze River Delta [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(4): 446 - 456. [车前进, 段学军, 郭焱, 等. 长江三角洲地区城镇空间扩展特征及机制[J]. 地理学报, 2011, 66(4): 446 - 456.]

- [5] Li Junfeng, Pan Jinghu. Spatial expansion of cities at county-level or above in Gansu Province from 1992 to 2012 based on DMSP nighttime light images[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(3): 829–835. [李俊峰, 潘竞虎. 基于夜间灯光的 1992–2012 年甘肃省城市空间扩展研究[J]. 冰川冻土, 2016, 38(3): 829–835.]
- [6] Li Xia, Yeh A G-O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69(4): 335–354.
- [7] Guan Dongjie, Li Haifeng, Inohae T, et al. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model[J]. *Ecological Modelling*, 2011, 222(20/21/22): 3761–3772.
- [8] Lee Shwu-Ting, Wu Chih-Wen, Lei Tsu-Chiang. CA-GIS model for dynamic simulation of commercial activity development by the combination of ANN and Bayesian probability[J]. *Procedia Computer Science*, 2013, 18(1): 651–660.
- [9] Choi J, Oh H-J, Lee H-J, et al. Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS[J]. *Engineering Geology*, 2012, 124(4): 12–23.
- [10] Lu Yuqi, Lin Kang, Zhang Li. The methods of spatial development regionalization: a case study of Yizheng City[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(4): 351–363. [陆玉麒, 林康, 张莉. 市域空间发展类型区划分的方法探讨: 以江苏省仪征市为例[J]. 地理学报, 2007, 62(4): 351–363.]
- [11] Xu Ying, Lü Bin. Application of land transformation model based on GIS and ANN: a case study of Beijing, China[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(2): 262–270. [徐颖, 吕斌. 基于 GIS 与 ANN 的土地转化模型在城市空间扩展研究中的应用: 以北京市为例[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008, 44(2): 262–270.]
- [12] Xu Xibao, Yang Guishan, Zhang Jianming. Simulation and prediction of urban spatial expansion of Lanzhou City[J]. *Arid Zone Research*, 2009, 26(5): 763–769. [徐昔保, 杨桂山, 张建明. 近 50 年兰州城市空间扩展模拟及其未来预测[J]. 干旱区研究, 2009, 26(5): 763–769.]
- [13] Sun Wei, Chen Wen. Regionalization of spatial potential development tend distribution guidance: a case study of Ningbo City[J]. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(3): 402–413. [孙伟, 陈雯. 市域空间开发适宜性分区与布局引导研究: 以宁波市为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(3): 402–413.]
- [14] He Dan, Jin Fengjun, Zhou Jing. Urban construction land suitability evaluation in resource-based cities: taking the Grand Canal ecologic and economic area as an example[J]. *Geographical Research*, 2011, 30(4): 655–666. [何丹, 金凤君, 周璟. 资源型城市建设用地适宜性评价研究: 以济宁市大运河生态经济区为例[J]. 地理研究, 2011, 30(4): 655–666.]
- [15] Li Yonghua. Method of determining urban growth boundary from the view of ecology: a case study of Hangzhou[J]. *City Planning Review*, 2011, 35(12): 83–90. [李咏华. 生态视角下的城市增长边界划定方法: 以杭州市为例[J]. 城市规划, 2011, 35(12): 83–90.]
- [16] Jiang Haibing, Xu Jiangang, Qi Yi. The influence of Beijing-Shanghai high-speed railways on land accessibility of regional center cities[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(10): 1287–1298. [蒋海兵, 徐建刚, 祁毅. 京沪高铁对区域中心城市陆路可达性影响[J]. 地理学报, 2010, 65(10): 1287–1298.]
- [17] Zhang Li, Lu Yuqi. Studies on spatial analysis method of the “Pole & Axis System”: a case study of the Yangtze River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(12): 1534–1547. [张莉, 陆玉麒. “点-轴系统”的空间分析方法研究: 以长江三角洲为例[J]. 地理学报, 2010, 65(12): 1534–1547.]
- [18] Wang Fahui. Quantitative method and application based on GIS[M]. Beijing: The Commercial Press, 2009: 73–120. [王法辉. 基于 GIS 的数量方法与应用[M]. 北京: 商务印书馆, 2009: 73–120.]
- [19] Fan Yu, Yang Guishan, Tu Xiaosong. Forecast of quantity of land reserve base on urban extension: a case study of Nanjing City[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2010, 30(1): 53–59. [范宇, 杨桂山, 涂小松. 基于城市扩张的土地储备数量预测研究: 以南京市为例[J]. 地理科学, 2010, 30(1): 53–59.]
- [20] Purdue University. Department of Forestry and Natural Resources. Human-Environment Modeling and Analysis Laboratory. Land transformation model[EB/OL]. [2017-03-06]. http://ltn.agriculture.purdue.edu/default_ltn.htm.
- [21] Kuang Wenhui, Liu Jiyuan, Shao Quanqin, et al. Dynamic urban growth model at regional scale and its application[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(2): 178–188. [匡文慧, 刘纪远, 邵全琴, 等. 区域尺度城市增长时空动态模型及其应用[J]. 地理学报, 2011, 66(2): 178–188.]
- [22] Pijanowski B C, Brown D G, Shellito B A, et al. Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(6): 553–575.
- [23] He C Y, Norio O, Zhang Q F, et al. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China[J]. *Applied Geography*, 2006, 26(3/4): 323–345.
- [24] Pan Jinghu, Shi Peiji, Dong Xiaofeng. Measurements for urban hinterland area of cities at prefecture level or above in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008, 63(6): 635–645. [潘竞虎, 石培基, 董晓峰. 中国地级以上城市腹地的测度分析[J]. 地理学报, 2008, 63(6): 635–645.]
- [25] Wang Zujing, Shi Peiji, Li Wei. Optimization of city service scope based on land traffic network: a case study of Gansu Province[J]. *Economic Geography*, 2012, 32(9): 67–73. [王祖静, 石培基, 李巍. 基于路网结构的甘肃省城市服务范围优化研究[J]. 经济地理, 2012, 32(9): 67–73.]
- [26] Hou Bozhan, Chen Shuijiang, Hou Jiannan, et al. Remote sensing study of urban spatial expansion in Kashgar City based on multisource and multi temporal datasets in the last 70 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(3): 836–844. [侯博展, 陈蜀江, 侯建楠, 等. 基于多源多时相数据集的喀什市近 70 a 城区空间扩展遥感研究[J]. 冰川冻土, 2016, 38(3): 836–844.]

Analysis of spatial expansion of urban land in the Shiyang River basin

ZHANG Hui¹, ZHANG Zhiqiang^{2,3}

(1. Lanzhou University of Arts and Science, Lanzhou 730000, China; 2. Chengdu Library and Information Center of Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. Lanzhou Library and Information Center of Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The Shiyang River basin is one of the key area, of which the economic and social sustainable development needs to pay more attention. In this article, viewing from the perspectives of socio-economic, regional transportation and ecological environment, the land evaluation and prediction of urban spatial expansion are discussed. First, using improved land suitability evaluation method, a high-value area of urban expansion possibility and townships suitable development are identified. It is found that the high-value area is mainly located in the ecological function zone of the central oasis of the basin, which distributes along the G30 expressway and G312 highway, taking the county town as the center. Then, the land transformation model (LTM), which had passed accuracy test, was applied to simulate urban expansion on the basis of the suitability assessment. The results show that there are two development cores, Liangzhou and Jinchuan Districts, and three development belts, G312 highway from Tianzhu to Yongchang, S211 highway from Liangzhou to Minqin, and S212 highway from Yongchang to Jinchuan. It is revealed that the LTM has good efficiency and is useful for simulating urban spatial growth.

Key words: urban expansion; land transformation model (LTM); GIS; Shiyang River basin

(本文编辑: 武俊杰)