

天山北坡城镇化进程中的水土资源 效益及其时空分异

杨 宇^{1,2}, 刘 毅¹, 金凤君¹, 董 雯³, 李 莉¹

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院,
北京 100039; 3. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 通过空间分析的 Global Moran's I 指数和 Getis-Ord G_i^* 指数以及协调发展度函数选取 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年 4 个年份数据对天山北坡城镇化进程中的土地资源效益、水资源效益的集聚扩散状态及其冷热点空间格局演化与空间联动发展效应进行分析, 研究发现: (1) 天山北坡在绿洲自然地理格局下发育起来的城镇, 受自然地理条件和水土资源分布特点及城镇发展水平不一、城镇性质各异而对水土资源利用程度不一等因素影响, 其城镇化水平和水土资源效益的空间格局表现出不同的发展状态。(2) 土地资源效益相似的县市具有明显的空间差异, 呈现出分散的格局并保持相对稳定的态势。(3) 水资源效益的空间集聚和扩散状态不稳定, 变化显著。(4) 水土资源效益在城镇化进程中各自的空间演化格局与路径迥异, 区域联动效应差异显著。绿洲城镇发展的实际决定了水土资源效益的冷热点区域演化相比自身发展水平更具敏感性。

关键词: 空间分析; 城镇化水平; 土地资源效益; 水资源效益; 天山北坡

文章编号: 1000-0585(2012)07-1185-14

1 引言

发展中国家的快速城镇化是人类所面对的一项重大问题之一^[1], 尤其中国目前正经历着历史上前所未有的城镇化^[2], 水土资源作为城镇发展的主要载体和保障性因素, 其效益即在水土资源开发利用过程中单位资源投入与消耗在区域发展的社会、经济、生态与环境等方面所实现的物质产出或有效成果, 是衡量城镇化进程中水土资源合理开发和可持续利用的重要标度。随着城镇的发展, 快速的城镇扩张和大量的水资源需求使得水土资源越来越成为城镇发展的制约性因素。

绿洲城镇是绿洲系统内部人类生产、生活的集聚中心, 是人地关系最为敏感的区域^[3], 水土资源作为绿洲城镇发展最关键的因素^[4], 对城镇发展的保障和约束作用尤为明显。城镇化与水土资源的相互作用研究始终是新疆乃至干旱区研究的热点问题。针对城镇化与水资源, 学者们分别从不同的角度对水资源约束下的绿洲城镇发展模式^[5, 6]、水资源约束下干旱区域城镇体系的形成与演化^[7, 8]、水资源对城镇化的约束强度和情景预警^[9~11]、

收稿日期: 2011-07-13; 修订日期: 2012-02-11

基金项目: 中国科学院“西部之光”人才培养计划“西部博士资助”项目(XBBS200805); 国家自然科学基金(40901092)

作者简介: 杨宇 (1984-), 男, 山东威海人, 博士生, 研究方向为城市与区域发展。E-mail: popolar@163.com

通讯作者: 刘毅 (1957-), 男, 北京市人, 研究员, 博士生导师, 研究方向为经济地理和区域可持续发展。

E-mail: liuy@igsnrr.ac.cn

水资源变化与城镇化进程的耦合效应^[12]、水资源约束下西北干旱区城市经济发展与城市化阈值^[13]、水资源利用与干旱区内陆河流域的城市与区域发展的相互关系^[14, 15]等做了深刻探讨。针对城镇化与土地资源, 学者们分别从绿洲城镇空间形态的时空变化^[16, 17]、绿洲城镇扩展模拟^[18]、城乡建设用地的动态变化和动因^[19~21]以及乌鲁木齐等典型城市时间序列上的城市用地扩展及其机制^[22, 23]等进行了研究。综合已有研究来看, 将水资源作为约束性条件分析城镇的发展和将土地作为单一要素分析城镇用地扩展的研究较多, 而对于城镇化过程中水、土资源效益及其空间格局本身的研究较少, 将两者结合起来探讨城镇发展过程中其效益及格局演化的则更少。

近 20 年来, 随着干旱区绿洲大规模的水土开发, 城镇化水平得到显著的提高。天山北坡作为新疆经济活动最为密集、发展速度最快、发展程度最高的区域, 一方面城镇的快速发展带来了城镇用地的迅速扩张, 产业结构的加快调整, 尤其是能矿资源及其相关产业的发展对水土资源的需求增长显著; 但另一方面绿洲水土资源有限, 水土资源的开发与保障能力难以跟上城市发展的步伐, 且以绿洲灌溉农业为基础发展起来的城镇规模较小, 水土资源开发的敏感性较强, 城镇化过程中人地关系更具复杂性。作为关键性因素的水土资源的开发效益是否呈现出与城镇化相同的时空格局? 在城镇化过程中, 水土资源的效益是否得到了显著的提高? 三者之间演化与发展的轨迹如何? 三者的空间联动效益是否一致? 协调性又如何? 这些问题成为天山北坡城镇化与水土资源效益研究的重要议题。伴随 2010 年中央援疆经济工作会议的召开和新型城镇化战略的实施, 全国各省市支援新疆的建设将进一步加大新疆水土资源开发的力度, 在此背景下探讨天山北坡城镇化进程与水土资源效益的时空分异, 定量揭示三者的相互作用关系和空间格局演化, 不仅是对干旱区城镇与水土资源效益研究的有益补充, 而且对促进天山北坡水土资源结构优化, 提高水土资源效益, 推动绿洲城镇的集约式、协调有序和可持续发展具有重要的实践指导意义。

2 研究方法数据来源

2.1 土地资源效益

通过单一指标单位面积国内生产总值分析土地资源的效益, 该指标广泛应用于评价土地利用效益, 可以定量表达出一定时间一定区域范围内, 单位土地面积上生产的物品和服务价值总量, 实用性强, 认同度高。

$$f(x) = G_i / S_{ai} \quad (1)$$

其中 $f(x)$ 为土地资源效益, 考虑到新疆大量的未利用土地, 本文 S_{ai} 为实际利用的土地面积, 即农用地和建设用地的总和, 不包括未利用土地。 G_i 为各评价单元的 GDP。

2.2 水资源效益

通过单一指标分析水资源效益, 可以定量表达出一定时间一定区域范围内单位水资源供应带来的物品和服务价值总量。

$$g(x) = G_i / W_{ai} \quad (2)$$

其中 $g(x)$ 为水资源效益, 考虑到新疆水资源和人类社会经济活动时空格局分配的不均, 以地表水和地下水等水资源量作为评价指标, 相对而言缺乏科学性。 W_{ai} 为实际供水总量, G_i 为各评价单元的 GDP。

2.3 空间关联分析

ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis, 探索性空间数据分析) 是指利用统计学

原理和图形表达相结合,以空间关联测度为核心,通过对具有空间位置的某要素分布格局的描述与可视化,检验其是否与相邻空间点的观测值存在显著相关,发现空间集聚和空间异常,揭示研究对象的空间特征^[24, 25]。本文选择全局 Moran's I 和 Getis-Ord G_i^* 两个指数分别进行评价。

2.3.1 Global Moran's I 指数 全局 Moran's I (Global Moran's I , GMI) 指数是对观测值空间模式的整体定量描述,主要探索某一属性数据在区域中的整体分布状况,判断该现象在空间上是否存在集聚,从而分析整个研究区的空间关联结构模式^[26]。

$$GMI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

其中 $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$, $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, n 为新疆行政单元数量, X_i 和 X_j 分别为属性特征 X 在空间单元 i 和 j 上的观测值,此处为水土资源效益, W_{ij} 为采用临近标准构建的空间权重矩阵。GMI 的取值范围介于 -1 到 1 之间,通过 GMI 可以直接判断研究区的集聚水平,在给定显著性水平时, GMI 显著为正,表明研究区的水土资源效益具有明显的集聚态势;若 GMI 显著为负,表明研究区的水土资源效益具有明显的空间差异。若 GMI 为 0,表明研究区内各单元水土资源效益呈现无规律的随机分布现象。

2.3.2 Getis-Ord G_i^* 指数 GMI 只能说明研究对象的整体分布状态及关联度,不能说明属性相似集聚区的空间分布位置^[27]。Getis-Ord G_i^* 指数则主要通过对子区域中的信息分别进行分析,探索区域信息变化,判断区域内部空间的异质性,识别不同区域热点区与冷点区的空间分布,能很好的反映某一区域与临近区域单元属性值的关联程度。

$$G_i^*(d)^2 = \sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_i / \sum_{j=1}^n X_j \quad (4)$$

为便于解释和比较,对 $G_i^*(d)$ 进行标准化处理。 $Z(G_i^*)^2 = F_i^* - E(G_i^*) / \sqrt{\text{Var}(G_i^*)}$, 其中 W_{ij} 为空间权重矩阵,空间相邻为 1,不相邻为 0。 $E(G_i^*)$ 和 $\text{Var}(G_i^*)$ 分别为 G_i^* 的数学期望和变异数;其中,如果 $Z(G_i^*)$ 为正且显著,表明位置 i 周围的价值相对较高(高于均值),属高值空间集聚(热点区);反之,如果 $Z(G_i^*)$ 为负且显著,则表明位置 i 周围的价值相对较低(低于均值),属低值空间集聚(冷点区)。

2.4 协调发展水平分析

协调发展度反应了各系统的同步性和一致性,协调发展度指数能够反映出不同系统之间从无序走向有序的过程,体现出系统之间的协同作用。系统之间的相对离差系数越小则意味着系统之间的协调性越高。构建协调发展度评价函数如下:

$$D = \sqrt{C \times T} \quad (5)$$

$$T = \alpha E_1 + \beta E_2 + \dots + \gamma E_m \quad (6)$$

$$C = \frac{E_1 \times E_2 \times \dots \times E_m}{\left[\frac{1}{m} (E_1^m + E_2^m + \dots + E_m^m) \right]^{\frac{m-1}{m}}} \quad (7)$$

式中: D 为协调发展度; C 为协调度, T 为发展度, α 、 β 和 γ 是权重系数。此处设土地资源效益、水资源效益和城镇化水平在时点 t 的发展水平的度量函数分别为 $E_1(t, x)$ 、 E_2

(t, y) 和 $E_3(t, z)$, 其中 x, y, z 分别为三个系统的评价指标。考虑本文评价三个相对独立系统之间的协调关系, 此处权重系数均取值 $1/3$ 。

2.5 数据来源

选取 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年为研究时段。数据来源于《新疆统计年鉴》(1996 年、2001 年、2006 年和 2009 年)、《新疆土地利用调查汇总数据表》(1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年)、《新疆维吾尔自治区水资源公报》(1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年)。以天山北坡 18 个县市为研究对象, 其中 2007 年 8 月米泉市撤并入乌鲁木齐, 为保证研究的完整性和一致性, 自 1995 年起将其与乌鲁木齐进行合并论述。五家渠是新疆生产建设兵团 2004 年设立的县级市, 历史资料缺失, 故分析中不包含五家渠。底图来源为中国地图出版社 2008 年出版的《新疆维吾尔自治区地图册》。

3 研究区概况

随着天山北坡经济的发展以及国家向西开放战略和新疆外向型战略的实施, 天山北坡的范围几经变化。本文所言天山北坡指天山北麓亚洲大陆桥铁路沿线区域, 包括乌鲁木齐市、克拉玛依市、石河子市; 昌吉回族自治区的昌吉市、阜康市、呼图壁县、玛纳斯县、奇台县、吉木萨尔县; 塔城地区的沙湾县、乌苏市; 伊犁哈萨克自治州的奎屯市、伊宁市、伊宁县、霍城县、察布查尔锡伯自治县; 博尔塔拉蒙古自治州的博乐市、精河县共 10 市 8 县。天山北坡面积约 15 万 km^2 , 占新疆的 9%, 2009 年人口 595.18 万人, 占新疆总人口的 33%, 经济总量占新疆的 60%, 以城镇非农业人口衡量的城市化水平高达 67%, 远高于新疆 43% 的平均水平。近 20 年来天山北坡以北疆铁路为发展轴线的带状城市群发展较快, 城镇化水平在空间上呈现以中心城市乌鲁木齐和次中心城市石河子、克拉玛依等为核心的以集聚效应为主、扩散效应为辅的面状集聚的空间发展状态, 中心城市对邻近城市的影响和带动作用明显。

天山北坡由南向北呈现出山地—绿洲—荒漠过度的地貌格局, 绿洲城镇主要集中在山麓洪—冲积扇的条带状绿洲内, 呈现条带状、斑块状的分布。城镇空间格局演变过程中, 自然因子决定了土地覆被变化的主导方向和主要模式, 地形、地貌和土壤等自然因素决定了土地利用的类型、利用方式以及空间分异过程。尤其以绿洲灌溉农业为基础发展起来的城镇规模较小, 城镇用地和耕地等仍然表现为在水资源开发主导下的土地资源开发。伴随近年来城镇的扩张速度的加快, 有限的土地资源成为城镇发展中的关键性制约因素, 尤其是城镇建设用地属于不可逆转的土地覆被类型, 其扩张在一定程度上改变了干旱区土地的基质、廊道、斑块系统, 土地资源在空间上是否合理发展一定程度上影响到干旱区绿洲系统的稳定性。从水资源来看, 玛纳斯河、精河、奎屯河等是这一区域的主要地表水源, 区域内地表水、地下水主要以降水、冰川水和地下水为补给来源, 而且水资源时空分布不均, 降水量较少, 季节性明显, 蒸发量较大, 有限的水资源使得水资源分配和利用成为制约城镇发展的重要因素。同时, 各县市城镇功能各异, 经济发展水平差异较大, 对水资源的需求量和利用能力不同, 加之水资源利用结构不合理, 农业耗水量大, 水资源利用效率低, 提高水资源的利用效益成为这一区域城镇化过程中面临的重要问题。水土资源的有限性与自然条件交织在一起决定了绿洲城镇与影响其发展的关键性因子之间存在显著的交互胁迫作用。

4 天山北坡城镇化过程中水土资源效益时空格局

4.1 水资源效益时空格局演化

从 Global Moran's I 的值看（表 1），天山北坡水资源效益的空间集聚和扩散状态变化较大，Global Moran's I 波动明显，各年份的值均可在 5% 的置信水平上通过检验。图 1 显示 1995 年、2005 年和 2008 年斜率为正，表现为集聚状态，其中 1995 年和 2005 年 Global Moran's I 的值分别为 0.20 和 0.11，显著为正，说明 1995 年和 2005 年水资源效益相似的县市空间上呈集聚状态，且集聚态势显著。2008 年的值为 0.08，绝对值较小，水资源效益相似的县市在空间上呈现集聚状态，但集聚态势不显著。而 2000 年斜率为负，Global Moran's I 的值为负数，但其绝对值较小，说明水资源效益相似的县市在空间上呈分散状态，但不明显。

这表明天山北坡城镇化的空间格局与水资源效益的空间格局具有较为明显的差异。究其原因在于尽管水资源的开发在天山北坡城镇化进程中具有较强的引导作用，但天山北坡各个城镇的职能各异，例如克拉玛依为专业化的石油城市，石河子是以现代农业、农副产品加工业为主的综合性城市，昌吉是综合性的卫星城镇等，城镇职能的不同导致了水资源利用效益具有明显的差异，而且中心城市和工业化城镇水资源利用效益较高，形成了一定程度的集聚态势。另一方面，天山北坡水资源分布受地形地貌、气候条件影响，空间分布不均衡，季节性明显，可利用水资源量在空间上呈现明显的分散状态；同时，天山北坡水资源利用结构中农业用水比重较大，加之以灌溉农业为主的小城镇和兵团城镇水资源利用效率较低，并且呈现明显的分散状态，联动效应较弱，水资源效益的集聚状态不明显。

表 1 天山北坡水资源效益的 Moran's I 估计值
Tah 1 Estimation of Moran's I for water resources benefit of north slope of Tianshan Mountains

年份	1995	2000	2005	2008
Moran's I	0.20	-0.07	0.11	0.08
$Z(I)$	1.33	0.11	1.45	-0.12
$E(I)$	0.08	0.08	0.08	0.08
Sig.	0.05	0.05	0.05	0.05

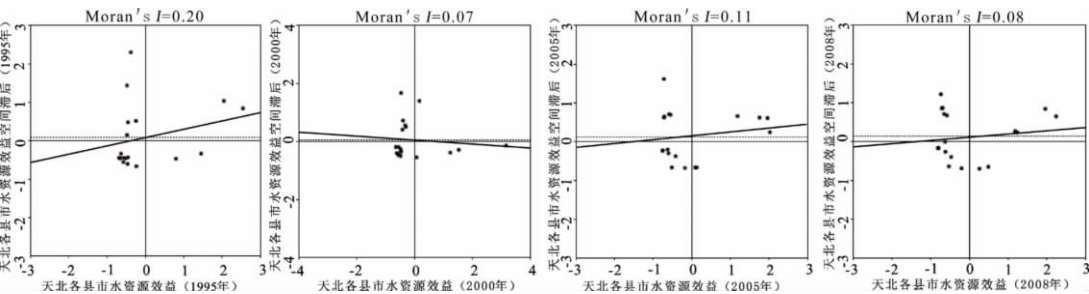


图 1 天山北坡水资源效益 Moran's I 散点图

Fig 1 Local Moran's I scattered figures of water resources benefit of north slope of Tianshan Mountains

Global Moran's I 的全局评估在一定程度上掩盖了局部异质性，为更有效的研究水资源的内部空间演化，分别计算 4 个年份各县市局域空间关联指数 Getis-Ord G_i^* ，并利用 ArcGIS 软件将其空间化，通过 Jenks 最佳自然断裂法（Natural Break）对每个年份的局

域 G_i 统计量从高到低分为 4 类, 生成天山北坡水资源效益空间格局的热点演化图 (图 2)。需要说明的是, 水资源效益的冷热点区域演化格局和水资源效益的空间格局并非一致, 冷热点区域的演化反映的是该区域与周边区域的空间关联与异质性, 反映区域联动发展的效应, 即热点区应是高值簇。

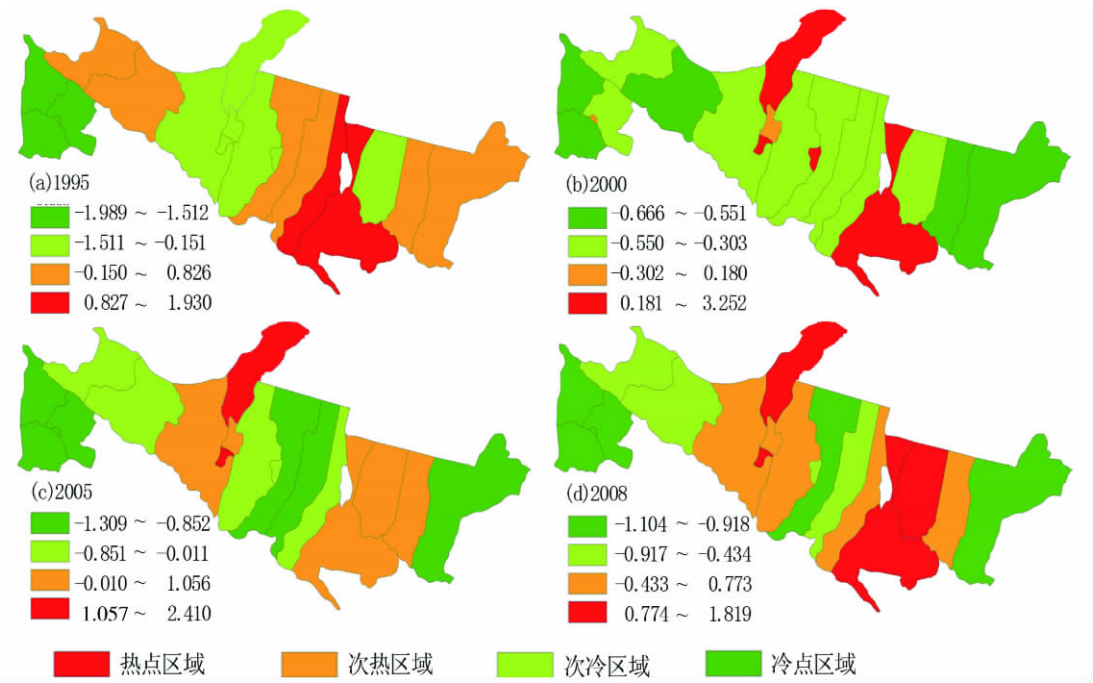


图 2 天山北坡水资源效益的热点区演化

Fig 2 Spatial pattern evolvement of water resources benefit in hotspot areas of north slope of Tianshan Mountains

从冷热点区域演化看, 1995 年水资源效益的热点区域集中在乌鲁木齐和昌吉, 这两个城市也是城镇化的热点区域, 乌鲁木齐始终是新疆经济活动最集中的区域, 有效的带动了其周边城镇的发展, 乌昌地区水利等基础设施的逐步共享, 以及乌鲁木齐部分城市功能和产业的转移, 提高了昌吉水资源利用效益。冷点区域集中在伊犁河谷的 4 个县市。次冷点区域集中在天山北坡中部的石河子、克拉玛依、乌苏和奎屯等地, 次热点区域散布在热点区和次冷点区域之间。克拉玛依和石河子作为天山北坡的次级中心城市, 其中克拉玛依是专业化的石油城市, 农业产值低, 农村人口比重低, 始终是新疆城镇化水平最高的区域。而石河子 2000 年之后现代农业、以农副产品加工业为主的轻工业以及第三产业发展较快, 城镇化水平得到了快速提高。伴随克拉玛依和石河子石油石化等大工业节水技术和循环经济的推广以及现代农业和滴灌技术的大力发展, 水资源的利用效益显著提高, 成为了水资源效益的热点区域。2005 年随着“独山子—乌苏—奎屯”间的产业发展不断协调, 水资源开发利用联动性增强, 该区域成为天山北坡水资源协调利用和高效利用的热点区域。次热区域主要集中在乌鲁木齐和克拉玛依等热点区域和次热点区域周边, 向热点区域集聚的态势较为明显。2008 年, 随着乌鲁木齐都市圈产业结构的进一步调整和乌昌地区工业园区的建设, 乌鲁木齐、阜康、昌吉、吉木萨尔的水资源效益均有一定提高, 联动发

展态势明显，乌鲁木齐和阜康成为水资源效益的热点区域，天山北坡形成以乌鲁木齐和克拉玛依为核心的水资源效益热点区域和次热区域集中的空间格局。伊犁河谷是新疆水资源禀赋最好的区域，城市供水和农业用水保障充足，但其水资源的利用效率较低，1995～2008 年伊犁河谷均为冷点区域。

整体而言，1995～2008 年天山北坡水资源的冷热点区域演化呈现出热点区域和冷点区域相对稳定，而次热区域和次冷区域变化明显的特征。这种特征的形成，是天山北坡自然地理条件下的水资源分布特征以及绿洲城镇逐水而居、水资源利用效率因城镇职能不同和城镇发展水平不同等多种因素共同作用的结果。变化最大的区域位于乌鲁木齐都市圈和“独山子—乌苏—奎屯”地区之间，一方面由于不同年份降水量的不稳定，水资源供给量的差别显著；另一方面，乌鲁木齐和克拉玛依水资源效益的变化对中间过渡地带的影响明显，尤其是伴随着城镇化水平的提高和工业用水的调整，以大农业为特色的呼图壁、玛纳斯等城镇农业灌溉用水效率较低，受产业转移和新型工业化的影响较为显著，水资源效益的冷热点的空间格局较为敏感。

4.2 土地资源效益的时空格局演化

根据土地资源效益的 Global Moran's I 的值和相关指标的计算（表 2），4 个年份的 Global Moran's I 估计值全部为负值，且各年份能够在 5% 的置信区间上通过检验，检验结果显著。从图 3 中可以看出，在 5% 的置信区间上，Global Moran's I 散点图的斜率显著为负，表明土地资源效益相似的县市具有明显的空间差异。1995～2008 年 Global Moran's I 值相对稳定，各年份波动不大，说明随着时间的推移，研究区内土地资源效益较高和较低的区域集聚态势不明显，呈分散态势。

表 2 天山北坡土地资源效益的 Moran's I 估计值

Tab. 2 Estimation of Moran's I for economy of land use benefit of north slope of Tianshan Mountains

年份	1995	2000	2005	2008
Moran's I	-0.40	-0.37	-0.35	-0.37
$Z(I)$	-1.82	-1.69	-2.06	-1.64
$E(I)$	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37
Sig	0.05	0.05	0.05	0.05

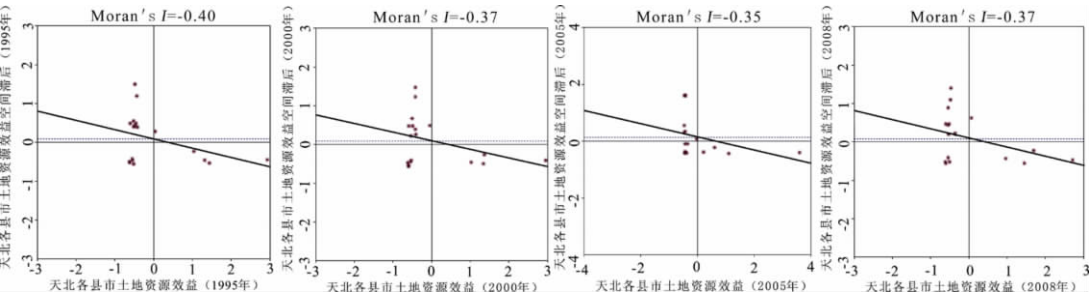


图 3 天山北坡各县市土地资源效益 Moran's I 散点图

Fig. 3 Local Moran's I scattered figures of land use benefit of north slope of Tianshan Mountains

受绿洲分布的影响,天山北坡城镇分布呈“大分散、小集中”的空间格局,这决定了天山北坡城镇的扩展受限于绿洲的空间形态。一方面绿洲的分散性决定了土地的分散格局;另一方面,受历史原因和自然地理条件等多重因素影响,天山北坡的绿洲城镇规模较小,尤其是建成区面积占可利用土地的面积小,建成区零星分布在绿洲中,是导致土地资源效益呈现明显空间扩散的重要原因,这也是干旱区自然地理条件制约下的绿洲土地利用的显著特点之一。

具体而言,除2005年外,热点区域较稳定,主要集中在昌吉、沙湾和克拉玛依;冷点区域主要集中在阜康、吉木萨尔和奇台以及天山北坡西段的博乐和精河。从土地利用变化看,1995~2008年耕地的动态变化较明显,耕地、草地和沙地是面积变化最大的用地类型,城镇用地、农村居民点及其他建设用地的变化在增长规模上与其它用地相比很小。尽管耕地变化明显,但是耕地的土地产出效益较低,而且天北作为农副产品基地和粮食基地,常年作物种植较为平稳,故波动较小。建设用地土地产出效益较高,城镇的发展不仅增加了单位面积的土地效益,也促使了城镇用地的扩张,但相比较而言,天山北坡建设用地规模非常小,“大分散,小集中”的整体态势难以改变。

从冷热点变迁的轨迹来看,1995年和2000年冷热点格局基本一致,昌吉、沙湾和克拉玛依一直作为土地资源利用的热点区域。随着城镇化的发展和产业园区的建设,伊犁河谷清水河工业园区等一批工业园区的开发,有效地带动了城市建成区的扩张和土地效益的提高,2005年伊宁市、伊宁县、霍城和察县土地资源效益均有明显的提高,成为土地效益的高值空间集聚区,伊犁河谷地区成为土地资源效益的热点区域。而随着2008年天山北坡城镇化的进一步推进,以克拉玛依和石河子为中心的天山北坡中部地区在专业化工业园区的带动下,土地集约利用效率较高,天山北坡中部地区再次成为了土地资源效益的高值空间集聚区。

从图4中可以明显看出,土地资源利用效益高的乌鲁木齐并非是土地资源效益的热点区域,主要在于其相邻的阜康、吉木萨尔的土地利用效益较低,因此1995年、2000年和2008年为次热点区域,2005年乌鲁木齐为次冷点区域,说明尽管乌鲁木齐的城镇发展水平在天山北坡地区一直处于较高水平,联动作用较强,能够有效地带动周边城镇的发展,但在土地资源效益方面,乌鲁木齐始终处在自身发展壮大阶段,对周围的辐射带动作用不强,联动发展效应较低,并非高值簇集聚的区域。乌鲁木齐的城镇发展已进入了以结构调整为主的内涵式发展阶段,土地资源的效益却仍然难以发挥作为天北龙头城市的带动和辐射作用,尤其是乌鲁木齐以东的吉木萨尔、阜康、奇台常年为土地资源效益的冷点区域。而昌吉、克拉玛依以及奎屯等因其自身与周边县市的土地资源效益均较高,成为土地资源效益的热点区域。冷热点区域的演化很好的反映了天山北坡土地开发的联动效应。从4个年份冷热点演变轨迹可以看出中部地区一直是天山北坡土地资源效益联动性最好的区域,反映了小城镇在天山北坡城镇化过程中的有效联动发展态势。

5 城镇化水平与水土资源效益的冷热点区域格局差异

天山北坡在绿洲自然地理格局下发育起来的城市,城镇的发展受水土资源约束明显。绿洲“逐水土而发育,随井渠而扩展,环盆地而展布,沿山前而盘踞”^[28],导致了城镇在空间上具有明显的“大分散、小集中”且沿绿洲走廊呈现串珠状空间分布状态。这种状态下,尽管单体城市的发展对水土资源具有严格的依赖,但是城镇分布在形态各异的绿洲之

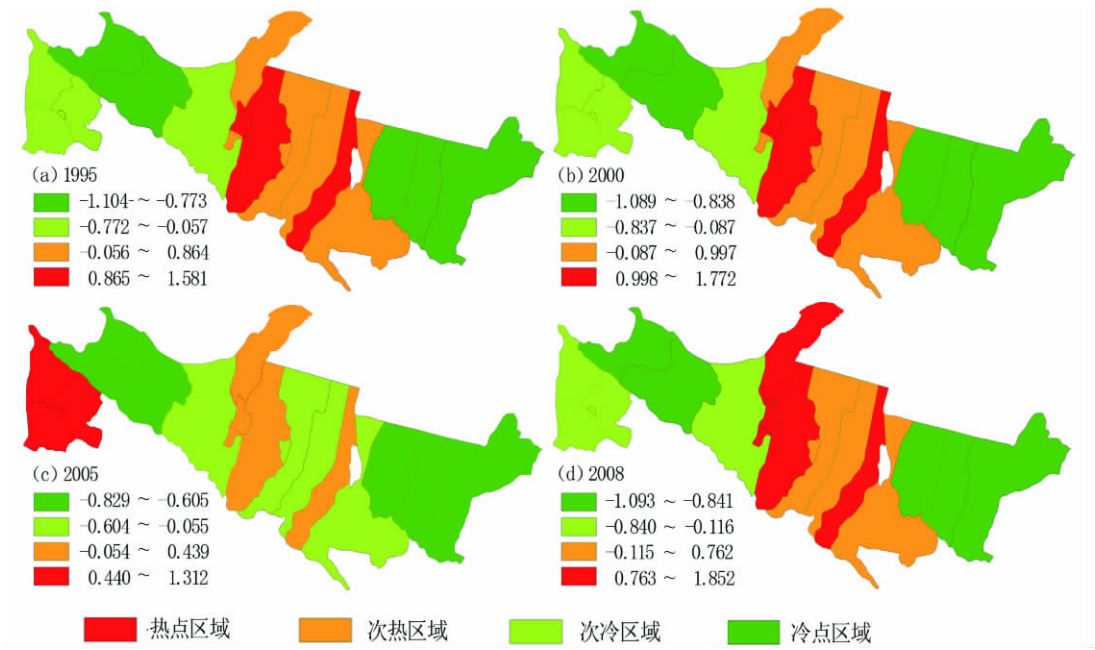


图 4 天山北坡土地资源效益的热点区演化

Fig 4 Evolvement of spatial pattern of land use benefit in hotspot areas of north slope of Tianshan Mountains

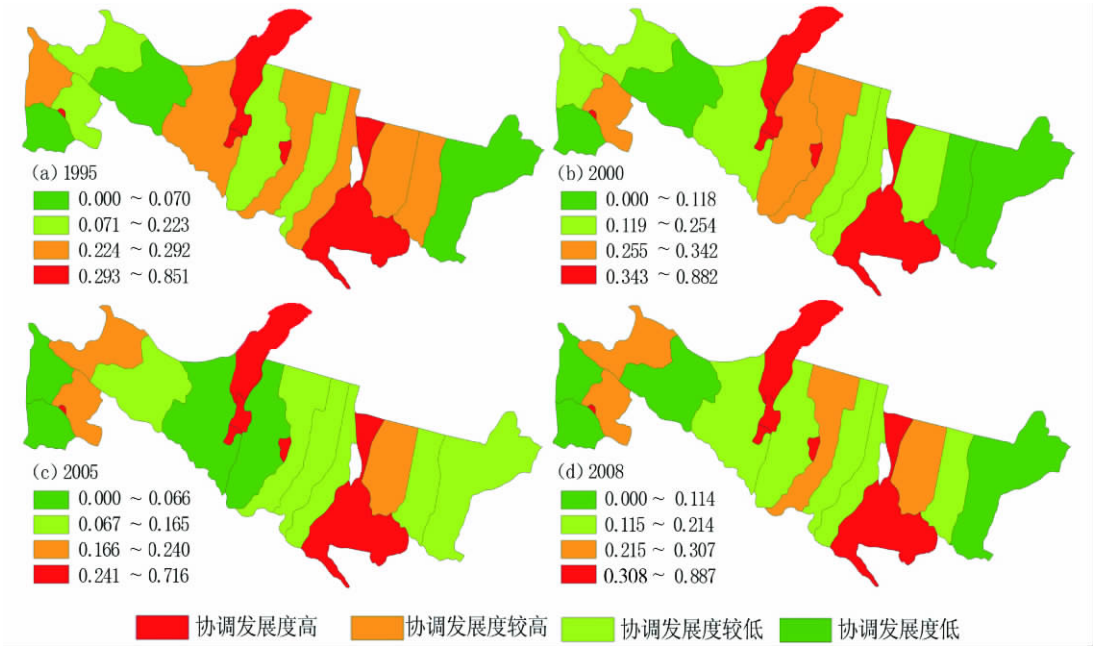


图 5 天山北坡城镇化水平和水土资源效益协调发展度空间格局

Fig 5 Spatial pattern of coordinated development degree among urbanization and land use benefit and water resource benefit of north slope of Tianshan Mountains

上,受水土资源约束和绿洲农业承载能力的限制,城镇规模小,距离遥远,土地资源开发仍然处在相对独立的阶段,且由于工业和第三产业发展相对滞后,土地资源效益较低,联动发展态势弱;同时城镇化前期阶段水资源利用效率较低,用水结构不合理,工业和第三产业尚处在工业化的前期阶段,节水技术和水资源循环利用的体系尚未建成,亦无法形成联动的发展态势。天山北坡的城镇职能各异,也导致了水土资源效益和城镇化发展表现出不一致的状态。在自然地理条件以及城镇化发展不同阶段对水土资源开发利用能力不同等多种因素作用下,水土资源效益的空间分异有其必然性。

(1) 城镇化进程中,水土资源效益的集聚扩散状态并不一致。天山北坡各县市城镇仍然处在集中式城镇化的阶段,城镇化水平空间集聚明显,而土地资源效益呈现出明显的空间扩散状态,水资源效益则呈现出不稳定的状态,1995年、2005年和2008年表现为集聚状态,2000年则表现为扩散状态,波动较为明显。一方面克拉玛依、奎屯、石河子等专业化城市和兵团城镇特有的城镇发展模式使其城镇人口所占比重极高,形成了稳定的城镇发展的高水平区域。另一方面作为干旱区绿洲城镇,建成区面积较小,城镇用地之间的联动效应较弱,土地资源效益的变化对于城镇建设用地变化非常敏感,仍然处在自我发展、自我扩张阶段的城镇,彼此之间的土地利用尚未形成集约发展态势。这种分散型的发展格局,在工业园区和矿区建设等外力的作用下,容易导致一定区域范围内开发的热点发生迁移和转变。例如2005年伊犁河谷地区因为工业园区的建设而形成了热点区域。尽管本文采用了实际供水量对水资源进行分析,但作为对干旱区城镇发展约束最为明显的水资源,空间分布差异显著,加之气候和水利工程的影响,使得城镇水资源利用能力年际变化较大,且各地用水结构差别巨大,农业、工业用水和城市生活用水在以绿洲农业为基础的城镇、专业化的工业城市以及综合型城镇之间的效益差别显著,农业产业化发展与节水技术和灌溉水平并不同步等诸多原因共同导致水资源效益空间格局的不稳定状态。

(2) 从内部结构来看,水土资源效益各自的演化格局不同,区域联动效应差异显著。显而易见,整体集聚扩散状态不同,其内部结构必然有所差异。具体而言城镇化水平较高的区域一直相对集中在乌鲁木齐至乌苏之间的城镇带,呈面状空间格局。相对而言土地资源效益空间格局在2005年出现一次较大的变动,热点区域转移到了伊犁河谷地带,多数年份热点和次热点区域仍集中在乌鲁木齐至克拉玛依之间的城镇带。而水资源效益的空间格局,除伊犁河谷和天山北坡东段常年为冷点区域之外,其余地方水资源热点区域变动明显。其中克拉玛依和乌鲁木齐作为热点区域的年份较多。从内部空间的演化可以看出城镇发展的阶段不一样,城镇职能不同则水土资源开发的程度不同,水土资源产生的效益也不同。如乌鲁木齐处在加速发展的阶段,但是其对周边区域的带动较小,单极化发展态势明显,而天山北坡中部地区联动性较高,易成为热点区域。再如克拉玛依1995年、2000年和2005年均是土地资源效益的次热点区域,与周围地区联动发展效应较弱,但随着其作为天山北坡西部中心城市作用的日益明显,城市组群式发展效应显著,2008年成为土地效益的热点区域。同样从水资源效益看,1995年克拉玛依并非是水资源效益的热点区域,2000年后克拉玛依城市产业结构的调整和水资源综合循环利用能力的提高使其成为热点区域。2000年之前阜康是水资源效益的冷点区域,2000年后阜康的发展纳入了乌鲁木齐都市圈的发展范围内,成为乌鲁木齐的卫星城,为满足准东煤电煤化工基地的大规模建设,兴建水库水利工程,提高了工业用水的供给规模,工业用水效益有了显著的提高。同时作为卫星城,阜康的农业产业结构也进行了调整,城郊型农业发展明显,节约了大量的

灌溉用水，且提高了农业用水的效益，在 2005 年成为水资源的次热区域之后，继而在 2008 年成为热点区域。

（3）冷热点区域演化与自身水土资源效益的高低并不一致。基于探索性空间分析的联动发展效应分析可以看出城镇化进程中水资源效益、土地资源效益的冷热点格局差异明显，且演化轨迹不同。为便于横向比较，将城镇化水平、水资源效益和土地资源效益分别标准化，归到（0，1）区间内，通过协调发展度函数进行分析，并根据各时间点的协调发展程度，分为协调发展度高、较高、较低和低 4 个层次。

从数量结构来看（表 3），各类型区域数量较为稳定，尤其是协调发展程度高的区域比重 4 个年份均为 27.78%，协调发展程度较低的区域比重相对稳定在 16.67%~22.22% 之间。这种相对稳定的数量结构说明，在城镇化的过程中，尽管水资源效益、土地资源效益各自的空间效应都出现一定程度的波动和变化，且变化趋势不一致，但是这种空间关联作用的变化程度相对于各城镇的城镇化水平和水土资源效益的绝对值来说较弱，三者自身的发展水平仍然是主导区域整体格局的主要力量。

表 3 天山北坡城镇化与水土资源效益协调度分级
Tab 3 Classification of coordination degree of urbanization level and land & water resources benefit

协调发展程度	1995		2000		2005		2008	
	数量	百分比	数量	百分比	数量	百分比	数量	百分比
协调发展度高	5	27.78	5	27.78	5	27.78	5	27.78
协调发展度较高	6	33.33	3	16.67	3	16.67	4	22.22
协调发展度较低	4	22.22	6	33.33	6	33.33	5	27.78
协调发展度低	3	16.67	4	22.22	4	22.22	4	22.22

从空间格局看，城镇化与水土资源的协调发展度的空间格局基本保持着稳定的态势，这在一定程度上说明水土资源效益的冷热点演化相比自身发展水平更具敏感性，这与绿洲城镇的发展实际相吻合（图 5）。一方面天山北坡处在城镇化快速发展阶段，城镇化水平不断提高，加之产业结构调整升级和工业园区的建设使水土资源集约利用趋势明显，效率不断提高。但是受绿洲城镇发展基础的影响，天山北坡城镇仍处在集聚发展的状态。乌鲁木齐、克拉玛依、石河子、伊宁市在城镇化水平、水资源和土地资源效益方面占绝对的发展优势，综合协调发展度高。但另一方面，这些中心城市的水土资源并非一直是区域发展的热点区域，说明这些城市发展仍然没有摆脱干旱区分散的城镇格局下单体式发展的局面，其发展对周围区域的辐射并不理想。反而众多发展基础较弱的城镇，尽管其城镇化水平和水土资源效益相对较低，但因其对水土资源效益的敏感性较强，其联动的态势较为明显，更容易形成联动发展的热点区域。如天山北坡中西部城镇在 2005~2008 年水资源和土地资源效益在空间上形成了明显的联动发展的热点区域，尽管部分城镇协调发展度仍然较低，但这种联动发展将有助于打破绿洲城镇各自为营的单体式发展格局，形成空间联动、发展有序的格局。

6 结论与讨论

天山北坡在绿洲自然地理格局下发育起来的城镇，受自然地理条件和水土资源分布特

点及城镇发展水平不一、城镇性质各异而对水土资源利用程度不一等因素影响,其城镇化水平和水土资源效益的空间格局表现出不同的发展状态。总体而言天山北坡各县市的城镇化水平在空间上呈现明显的集聚状态,且这种集聚状态保持着相对平稳的态势,水土资源则表现出明显的异同。

(1) 1995~2008 年水资源效益的空间集聚和扩散状态变化较大。1995 年和 2005 年水资源效益相似的县市在空间上呈明显集聚状态。冷热点区域演化呈现出热点和冷点区域相对稳定,而次热和次冷区域变化明显的态势,这种状态主要由自然地理格局、水资源分布和不同的城镇化阶段对水资源利用方式和能力不同造成。

(2) 天山北坡土地资源效益相似的县市具有明显的空间差异,呈现出分散的格局并保持相对稳定的态势。除 2005 年外,昌吉、沙湾和克拉玛依是主要的热点区域,中部地区始终是天山北坡土地资源效益联动性最好的区域。一方面绿洲空间形态的分散性导致土地资源效益的空间分散,另一方面绿洲城镇规模较小,城镇建设用地等土地效益显著的区域在空间分布零星,对整体的影响作用较弱。

(3) 城镇化水平与水土资源效益的集聚扩散状态并不一致,城镇化水平与水土资源效益各自的空间演化格局迥异,区域联动效应差异显著。水土资源效益冷热点区域演化格局与自身水平高低发展的程度不一致,绿洲城镇发展的实际决定了水土地资源效益的冷热点区域演化相比自身发展水平更具敏感性。部分中心城市仍然没有摆脱干旱区分散的城镇格局下单体式发展的局面,并非一直是水土资源效益的热点区域,反而天北中部发展基础较弱的城镇因其对水土资源效益的敏感性较强,其联动的态势较为明显,更易形成联动发展的热点区域。

值得注意的是,本文对城镇化背景下天山北坡的水资源效益和土地资源效益选择了单一指标进行度量,并通过探索性空间分析研究了其集聚扩散状态及其冷热点空间格局演化与空间联动发展效应。(1) 在指标选取上虽然有效避免了其他因素的干扰,但是作为一个复杂系统,单一指标的选取对水土资源效益的度量面不够广,但天山北坡的水资源时空分布不稳定,季节性变化明显,水资源量与城镇化之间的关系相对较弱,且由于天山北坡城镇职能各异,以农业为主导的城镇与克拉玛依等专业化城市、石河子等综合性城市有着本质不同,工业用水量等常用指标显然对于天山北坡的水资源度量是不合适的,而实际供水量反映了在城镇化过程中,水资源对城镇发展的保障性作用,城镇发展对水资源的需求直接反映在水资源供给上,伴随城镇化发展,水利基础设施的完善,实际供水量能较好的反映城镇的需求,且具有较好的稳定性。同样土地资源指标的选取也存在类似的问题,新疆城镇发展的规模较小,建设用地在一定程度可以反映建成区的城镇化水平,但是对于绿洲城镇而言,尤其是天山北坡大量小城镇的建设,是城镇化的一大特点,包含农用地的产出效益,不仅兼顾小城镇而且兼顾了城乡统筹和综合性的城镇化发展的土地效益。尽管如此,在指标的选取上,仍需要探索更进一步合理的系统性指标。(2) 在绿洲背景下城镇化水平和水土资源三者间的敏感性的机理研究以及三者之间自身发展水平和空间演化格局的敏感性、演化路径迥异,如何构建更为科学的评价框架和系统的研究体系是研究的难点。(3) 受数据获取的影响,干旱区城镇的部分数据难以获取,尤其是水土资源的统计缺失,研究选择了 1995 年、2000 年、2005 年和 2008 年 4 个时间点进行分析,尽管考虑了时间序列上城镇化与水土地资源空间效益的动态变化以及协调性的时空演变过程,但是更长时间序列、更丰富的测度指标以及更微观区域的研究是探索新疆以及绿洲城镇化发展和水土

效益空间格局的进一步研究方向, 借助 GIS 和 RS 对主要年份城镇化过程中的建设用地、耕地以及水资源的解译和分析是未来可以考虑的研究手段, 以突破统计资料缺失的限制。

参考文献:

- [1] Leichenko R M, Solecki W D. Exporting the American dream: The globalization of suburban consumption landscapes. *Regional Studies*, 2005, 39: 241~253.
- [2] 陈明星, 陆大道, 张华. 中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析. *地理学报*, 2009, 64(4): 387~398.
- [3] 杜宏茹, 刘毅. 我国干旱区绿洲城市研究进展. *地理科学进展*, 2005, 24(2): 69~79.
- [4] 杨宇, 张小雷, 雷军等. 基于资源开发利用的区域可持续发展研究. *地理科学*, 2010, 30(3): 363~369.
- [5] 马国霞, 甘国辉, 田玉军. 水资源约束下的张掖绿洲城镇发展模式初步研究. *中国沙漠*, 2006, 26(3): 426~431.
- [6] 方创琳, 李铭. 水资源约束下西北干旱区河西走廊城市化发展模式. *地理研究*, 2004, 23(6): 825~832.
- [7] 张小雷, 雷军. 水土资源约束下的新疆城镇体系结构演进. *科学通报*, 2006, 36(S1): 148~155.
- [8] 方创琳, 孙心亮. 基于水资源约束的西北干旱区城镇体系形成机制及空间组织——以河西走廊为例. *中国沙漠*, 2006, 26(5): 860~867.
- [9] 鲍超, 方创琳. 西北干旱区水资源约束城市化进程的定量辨识. *中国沙漠*, 2007, 27(4): 704~710.
- [10] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的情景预警分析. *自然资源学报*, 2009, 24(9): 1509~1519.
- [11] 鲍超, 方创琳. 干旱区水资源对城市化约束强度的时空变化分析. *地理学报*, 2008, 63(11): 1140~1150.
- [12] 方创琳, 孙心亮. 河西走廊水资源变化与城市化过程的耦合效应分析. *资源科学*, 2005, 27(2): 2~9.
- [13] 方创琳, 乔标. 资源约束下西北干旱区城市经济发展与城市化阈值. *生态学报*, 2005, 25(09): 2413~2422.
- [14] 李春丽, 杨德刚, 张豫芳, 等. 塔里木河流域城市化与水资源利用关系分析. *中国沙漠*, 2010, 30(3): 730~736.
- [15] 孜比布拉·司马义, 苏力叶·木沙江, 帕夏古·阿不来提. 阿克苏市城市化与生态环境综合水平协调度评析. *地理研究*, 2011, 30(3): 496~505.
- [16] 张豫芳, 杨德刚, 张小雷, 等. 天山北坡绿洲城市空间形态特征分析. *地理科学进展*, 2006, 25(6): 138~147.
- [17] 张豫芳, 杨德刚, 张小雷, 等. 天山北坡城市群地域空间结构时空特征研究. *中国沙漠*, 2008, 28(4): 795~801.
- [18] 刘雅轩, 张小雷, 雷军. 新疆绿洲城市扩展与空间形态变化分析. *水土保持学报*, 2009, 23(6): 252~256.
- [19] 雷军, 张雪艳, 吴世新, 等. 新疆城乡建设用地动态变化的时空特征分析. *地理科学*, 2005, 25(2): 161~166.
- [20] 雷军, 吴世新, 张雪艳, 等. 新疆天山北坡经济带城乡建设用地动态变化的时空特征. *干旱区地理*, 2005, 28(04): 554~559.
- [21] 吴世新, 周可法, 刘朝霞, 等. 新疆地区近 10 年来土地利用变化时空特征与动因分析. *干旱区地理*, 2005, 28(1): 52~58.
- [22] 董雯, 张小雷, 王斌, 等. 乌鲁木齐城市用地扩展及其空间分异特征. *中国科学*, 2006, 36(s1): 148~156.
- [23] 董雯, 邓锋, 杨宇. 乌鲁木齐资源型产业的演变特征及其空间效应. *地理研究*, 2011, 30(4): 723~734.
- [24] Getis A, Ord J K. The analysis of spatial association by the use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 1992, 24: 189~206.
- [25] Anselin L. Local indicators of spatial association: LISA. *Geographical Analysis*, 1995, 27: 93~115.
- [26] Osaragi Toshihiro. Classification methods for spatial data representation: CASA Working Paper. London, UK: Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL), 2002.
- [27] 靳诚, 陆玉麟. 基于县域单元的江苏省经济空间格局演化. *地理学报*, 2009, 64(6): 715~724.
- [28] 韩德林. 新疆人工绿洲. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 143~157.

Spatio-temporal variation of land and water resources benefit of north slope of Tianshan Mountains under the background of urbanization

YANG Yu^{1,2}, LIU Yi¹, JIN Feng-jun¹, DONG Wen³, LI Li¹

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

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

3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China)

Abstract: Through Exploratory Spatial Data Analysis and its Global Moran's I index and Getis-Ord G_i^* index, and coordinated development degree function land & water resources benefit and urbanization level from 1995 to 2008 are analyzed systematically. Especially, the paper focused on agglomeration diffusion condition, its spatial pattern evolution and space linkage development effect of cold and hot spots. Some conclusions can be drawn as follows. Due to differences in oasis natural and geographical conditions, the spatio-temporal variations of urbanization and land & water resources benefit of north slope of Tianshan Mountains are different. (1) Counties with similar land use benefits show obvious spatial differentiation. The spatial structures in different years present dispersed pattern and keep stable constantly. (2) Agglomeration and dispersion of water resources benefits are not stable. Differences of changes are significant during the study years. (3) The pattern and path of spatio-temporal variation of urbanization and land & water resources benefits are different. Space linkage development effects are obviously different. Specific circumstances of development of oasis cities determine the spatial evolution of cold and hot spots of urbanization and land & water resources benefits are more sensitive than the development level themselves.

Key words: ESDA; urbanization level; land use benefits; water resources benefits; north slope of Tianshan Mountains