

西安市城市化与城市生态环境耦合协调发展研究

赵安周^{1,2}, 李英俊¹, 卫海燕¹, 陈晓红¹

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 西安 710062; 2. 北京师范大学 资源学院, 北京 100875)

摘要:以西安市为例,构建了城市化水平综合指标体系和生态环境综合指标体系,并应用灰色关联度模型及耦合协调度模型对二者关系进行了研究。结果表明:① 1996—2010 年,西安市城市化水平综合得分不断提高;② 西安市生态环境综合水平呈现波动中向良性方向发展的态势;③ 灰色关联度分析表明,人均耕地面积等生态环境压力指标是影响西安市城市化的最主要因素,而人口密度等社会经济城市化指标是胁迫生态环境的主要原因;④ 西安市城市化与城市生态环境耦合度的时序变化表现出明显的波动性,耦合度以拮抗阶段为主,耦合协调度基本处于中高度协调水平。

关键词:城市化;生态环境;灰色关联度;耦合协调度;西安市

中图分类号:F299.21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)06-0152-05

Study on Coupling Coordination Development between Urbanization and Urban Eco-environment of Xi'an City

ZHAO An-zhou^{1,2}, LI Ying-jun¹, WEI Hai-yan¹, CHEN Xiao-hong¹

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

2. College of Resources Science & Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Xi'an was Taken as an example. The urbanization level comprehensive index system and the ecological environment comprehensive index system of Xi'an were established. The results showed that: ① from 1996 to 2010, the urbanization level of Xi'an continuously improved over the time; ② ecological environment of Xi'an developed with a fluctuation pattern, however, the general trend became better and better; ③ by gray relational analysis, it can be concluded that ecological environmental pressure index such as the cultivated land area per capita, was the main factor which affects urbanization of Xi'an, and social economy urbanization indicators such as population density, were the main reason for the ecological environment stress; ④ urbanization and the coupling degree of ecological environment was fluctuation over the time. The coupling degree mainly antagonized the stage, basically at the high level of coordination.

Key words: urbanization; ecological environment; gray relational grade; coupling coordination degree; Xi'an City

自西部大开发战略实施以来,我国西部的城市化进程明显加快,在城市化发展过程中,对当地的生态环境造成了一系列的影响,尤其是大中城市。分析其城市化的驱动因素,缓解城市化进程与城市生态环境的矛盾,对科学地指导城市规划,保护城市生态环境具有十分重要的意义。

19 世纪 90 年代, E. Howard 首先提出田园城市^[1]的概念,之后许多学者开始关注协调城市化与生态环境矛盾的方法和途径,并且涌现出大量的理论和实践成果。在国外, Grossman 和 Krueger 通过对 42

个国家和地区的经济水平发展和环境污染程度的关系研究,提出了“环境库兹涅茨倒 U 型曲线 EKC”假设^[2]; Reinhard Madlener 等为了估算出城市化对城市资源的影响,从与城市密切相关的城市生产、交通、运输和城市基础设施入手,发现各部门机制不同城市对资源的需求不同^[3]; T. Tonkaz 和 M. Cetin 以土耳其的半干旱地区为例,利用 Mann-Kendall 检验的方法,对其城市化和土地利用类型对其极端气温的影响进行了研究^[4]。相对于国外的研究而言,国内关于城市化与资源环境二者关系的研究起步于 20 世纪

收稿日期:2012-05-21

修回日期:2012-06-23

资助项目:国家自然科学基金项目(40901077);陕西省软科学基金资助项目(2010KRM35);国家级大学生创新创业训练计划创新训练子项目(201210781007)

作者简介:赵安周(1985—),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事 GIS 方面的研究。E-mail:z1985az001@163.com

通信作者:卫海燕(1966—),女,陕西西安人,副教授,学士,主要从事 GIS 与地理建模研究。E-mail:weihy@snnu.edu.cn

80 年代,吴永娇等^[5]应用遥感解译技术、GIS 技术,在社会福利最大化和绿色 GDP 等理论的基础上,模拟了在不同社会条件下西安市生态环境对城市化的响应,并得出西安市城市最有扩张是在 2021 年;乔标和方创琳^[6]在系统科学理论的基础上构建了城市化系统与生态环境系统的动态耦合模型,并把其分为低级协调共生、协调发展、极限发展和螺旋式上升四个周期演化阶段;周忠学^[7]对西安市南郊地区城市化与生态服务功能之间的关系进行了定量分析;沈洪艳等^[8]根据生态学原理,对我国城市建设中的生态问题进行了分析,并以石家庄为例,提出建设生态城市的策略;陈菁^[9]将地学信息图谱和层次分析法相结合,建立了福建省城市化与生态环境的耦合关系信息图谱。

西安市是我国西北地区最大的城市,近年来其城市化进程十分迅速。本文引入灰色关联度及耦合协调度模型,从时间维度对西安市的城市化与生态环境之间的演变规律进行研究,以期促进城西安城市化与生态系统良性互动发展,从而建立起西安市城市化与生态环境相互作用的协调发展机制。

1 研究设计

1.1 研究区概况

西安市地处关中平原中部,东经 107°40′—109°49′,北纬 33°39′—34°45′,是中国西北地区第一大城市,现有 9 区(雁塔区、莲湖区、碑林区、新城区、长安区、灞桥区、临潼区、阎良区、未央区)4 县(户县、周至县、蓝田县、高陵县),总面积 10 108 km²。境内河流众多,发源于其南部的秦岭,随着近些年来人口的不断增多、经济的不断发展,其城市化进程明显加快,对生态环境的影响也日益突出。

1.2 研究方法

1.2.1 灰色关联分析方法 采用灰色关联度模型,对西安市城市化水平与生态环境之间的关系进行定量评价,首先需要对原始指标进行无量纲化处理,方法如公式(1)和(2)。

对于正向指标,指标越大越好,计算方法为:

$$X_{ij}' = [X_{ij} - \min(X_j)] / [(\max(X_j) - \min(X_j))] \quad (1)$$

对于负向指标,指标越小越好,计算方法为:

$$X_{ij}' = [\max(X_j) - X_{ij}] / [\max(X_j) - \min(X_j)] \quad (2)$$

关联系数的计算方法见公式(3)^[10]:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i(j)(t) = \frac{\Delta_{\min} + k\Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(t) + k\Delta_{\max}} \quad (3)$$

式中: $\sum_{i=1}^n \xi_i(j)(t)$ —— $Z_j^Y(t)$ 对 $Z_i^X(t)$ 在 t 时刻的关联

系数; $\Delta_{ij} = |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)|$; $\Delta_{\max} = \max_i \max_j |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)|$; $\Delta_{\min} = \min_i \min_j |Z_i^X(t) - Z_j^Y(t)|$; $Z_i^X(t), Z_j^Y(t)$ ——西安市 t 时刻城市化系统与生态环境指标的标准化值; k ——分辨系数,一般取 $k=0.5$ 。

关联系数为各个时刻之间的关联系数,由于关联系数比较多,过于分散,为了便于比较,将各个时刻的关联系数集中于一个值,本文采用求平均值的方法对其进行处理,其公式为:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_i(j)(t) \quad (4)$$

通过比较各关联度 γ_{ij} 的大小,可以筛选出生态环境系统指标中对城市化发展的影响比较大的生态环境系统,若 $\gamma_{ij} = 1$,说明是生态环境系统的某项指标与城市化系统 $Z_i^X(t)$ 的关系密切,且变化规律完全相同;若 $0 < \gamma_{ij} < 1$, γ_{ij} 的值越大,说明关联性越强,值越小,说明关联性越弱。具体划分标准如表 1 所示。

表 1 关联系数 γ_{ij} 的划分标准

γ_{ij}	系统之间的关系表达
$0 < \gamma_{ij} \leq 0.35$	表明两系统之间的关联度为弱相关
$0.35 < \gamma_{ij} \leq 0.65$	表明两系统之间的关联度为中度相关
$0.65 < \gamma_{ij} \leq 0.85$	表明两系统之间的关联度为较强相关
$0.85 < \gamma_{ij} \leq 1$	表明两系统之间的关联度为极强相关

1.2.2 耦合协调度模型 利用耦合协调度模型可以有效地评判城市化进程与生态环境相互耦合的协调程度,其计算公式为^[11]:

$$D = (C \cdot T)^{1/2} \quad (5)$$

$$T = (\alpha U_1 + \beta U_2)^{1/2}$$

式中: D ——协调度; C ——耦合度,其计算公式为 $C_n = \{(u_1^* u_2^* \dots u_n^*) / \prod (u_i + u_j)\}^{1/n}$,本文中取 $n=2$,当 $0 < C \leq 0.3$,系统处于低水平耦合阶段, $0.3 < C \leq 0.5$,系统处于颀颀阶段, $0.5 < C \leq 0.8$,表明系统处于磨合阶段, $0.8 < C < 1$,系统处于高水平耦合阶段; T 为城市化进程与资源环境的综合协调指数,在实际中,最好使 $T \in (0, 1)$, α, β 为待定系数,由于城市化系统与生态环境系统同等重要,因此 α, β 同取 0.5, U_1, U_2 分别为城市化系统和生态环境系统的综合评价得分,计算方法如下^[12]:

$$V_j = S_j / \bar{X}_j \quad (6)$$

其中 $\bar{X}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$ (n 表示数据样本的数量), $S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}$ ($j=1, 2, 3, \dots$);

再进行归一化处理,得到各指标的权重 ω_j :

$$\omega_j = V_j / \sum_{j=1}^{31} V_j \quad (7)$$

单个指标评价得分: $S_{ij} = W_j \times x_{ij}'$ (8)

第 i 个被评价对象的综合水平得分:

$$S_i = \sum_{j=1}^n S_{ij} \quad (9)$$

式中: X_{ij} ——第 i 个样本第 j 项评价指标的值; $\max(X_j), \min(X_j)$ ——所有样本中第 j 项评价指标的最大值和最小值; m ——评价样本数; n ——指标数。

根据耦合协调度 D 的大小, 将城市化与生态环境的耦合协调类型划为: $0 < D \leq 0.4$, 为低度协调的耦合; $0.4 < D \leq 0.5$, 为中度协调的耦合; $0.5 < D \leq 0.8$, 为高度协调的耦合; $0.8 < D < 1$, 为极度协调的耦合。

1.3 数据来源

本研究数据主要来源于西安市统计局; 国家统计局西安调查队主编的《西安市统计年鉴》(1997—2011 年) 和国家统计局城市社会经济调查司主编的《中国城市统计年鉴》(1997—2011 年), 个别年份有数据缺失采用插值法补齐, 部分指标数据为计算后的结果。

2 评价指标的构建及权重的确定

城市化是指人口向城市集中和农村转变为城市的过程, 是一个涉及人口、经济、社会等诸多方面的复杂过程^[13]。因此本文在借鉴前人的研究成果^[14-15]的基础上构建城市化综合测度指标体系: (1) 人口城市化。主要包括非农人口占全市人口比重, 市区人口占全市人口的比重, 第三产业从业人员占全市从业人员的比重, 城市人口密度; (2) 经济城市化, 主要包括人

均 GDP, 第三产业比重, 第三产业与第二产业产值比, 人均地方财政收入; (3) 社会城市化, 主要包括每万人拥有在校大学生人数, 每万人拥有卫生技术人员, 城市人均生活用电量, 每万人拥有公交车数目, 这样构成了 12 个综合反映西安市城市化的综合评价指标体系。生态环境指标主要涵盖以下 3 个方面: (1) 生态环境状况, 主要包括人均道路面积、人均公共绿地面积、人均耕地面积; (2) 生态环境压力, 主要包括工业废水排放量、工业废气排放量、工业固体废弃物排放量、人均生活用水量; (3) 生态环境建设, 主要包括建成区绿地率、污水处理率、生活垃圾清运量、工业固体废弃物综合利用率。这样构成了 11 个综合反映西安市生态环境的评价指标体系。

根据公式(6)–(7), 计算出城市化综合发展水平各指标所占的权重等值, 见表 2。从表中可以得出, 三个子系统的权重值分别为 0.313 4, 0.376 6, 0.309 9, 其中经济城市化对城市化综合水平的贡献率最大; 指标层中权重值最大的两个指标为人均地方财政收入(0.134 3) 和人均 GDP(0.097 6), 对西安市城市化进程影响最大, 权重值最小的两个指标为城市人均生活用电量(0.058 4) 和第三产业比重(0.068 8)。同理计算出西安市生态环境的各个指标权重。从表 1 中还可以看出建成区绿地率、污水处理率的权重分别为 0.147 1 和 0.129 6, 对西安市生态环境的影响是最大。

表 2 西安市城市化水平及其生态环境压力指标体系

系统层	一级指标层	二级指标层	指标性质	权重
城市化系统 A ₁	人口城市化	非农人口占全市总人口比重(%)	正向指标	0.0740
		市区人口占全市人口的比重(%)	正向指标	0.0778
		第三产业从业人员占全市从业人员的比重(%)	正向指标	0.0905
		城市人口密度(人/km ²)	负向指标	0.0710
	经济城市化	人均 GDP(元)	正向指标	0.0976
		第三产业比重(%)	正向指标	0.0688
		第三产业与第二产业产值比(%)	正向指标	0.0759
		人均地方财政收入(元)	正向指标	0.1343
	社会城市化	每万人拥有在校大学生人数(人/万人)	正向指标	0.0808
		每万人拥有卫生技术人员(人/万人)	正向指标	0.0851
		城市人均生活用电量(万 kW·h)	正向指标	0.0584
		每万人拥有公交车数目(辆/万人)	正向指标	0.0856
生态环境状况	人均道路面积(人/m ²)	正向指标	0.1235	
	人均公共绿地面积(人/m ²)	正向指标	0.1035	
	人均耕地面积(人/m ²)	正向指标	0.0893	
生态环境压力	工业废水排放量(万 t)	负向指标	0.0647	
	工业废气排放量(万标 m ³)	负向指标	0.0433	
	工业固体废弃物排放量(万 t)	负向指标	0.0531	
	人均生活用水量(t)	负向指标	0.0845	
	建成区绿地率(%)	正向指标	0.1471	
生态环境建设	污水处理率(%)	正向指标	0.1296	
	生活垃圾清运量(万 t)	正向指标	0.0813	
	工业固体废弃物综合利用率(%)	正向指标	0.0800	

3 结果与分析

3.1 西安市城市化与生态环境综合水平测度结果

根据公式(8)一(9),计算出西安市城市化综合水平,这里的城市化综合水平是根据各评价指标所计算出的结果,能够较为准确地反映一个国家或地区经济、社会和城市建设所允许和达到的城市化水平,并不表示真实的城市化率,只代表城市化的一个发展趋势,西安市城市化水平的结果如图1所示。从图中可以看出,自1996年以来,西安市城市化综合水平呈逐年上升趋势,并且自2000年以后其城市化进程明显加快。

同理计算出西安市生态环境综合水平(图2),从图中可以看出,西安市生态环境综合水平呈现波动增长的发展趋势,1999年的生态环境综合水平数值最小,说明生态环境质量最坏,2010年的生态环境综合水平数值最大,表明生态环境质量最好。从1999年到2010年,西安市生态环境综合水平数值具有上升的趋势(个别年份除外),表明西安市生态环境综合水平正在向好的方向发展。

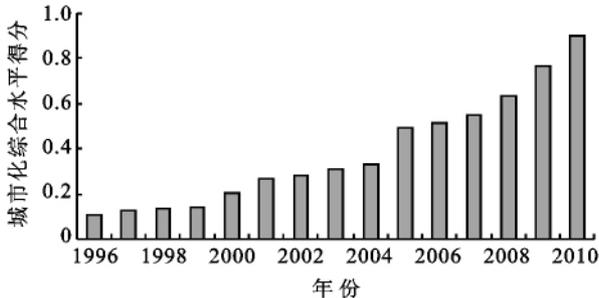


图1 1996—2010年西安市城市化综合水平演变过程

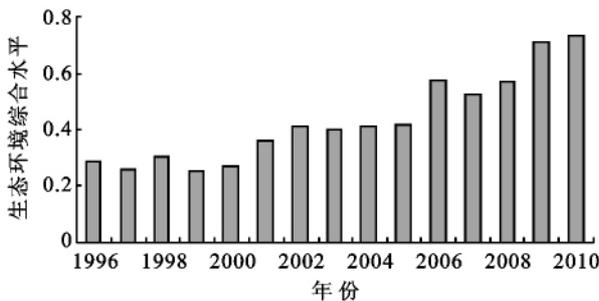


图2 1996—2010年西安市生态环境综合水平演变过程

3.2 西安市城市化与生态环境的灰色关联度分析

城市化与生态环境两个系统中各要素之间的关系是复杂的,通过公式(3)和(4)计算出城市化与生态环境各要素之间的灰色关联度,结果显示其灰色关联度都大于0.5,属于中度相关或较强相关,说明西安市城市化水平与生态环境之间联系紧密,为进一步揭示二者之间的关系,对得出的结果进行排序,分别得到了生态环境对城市化的主要约束因素和城市化对

生态环境胁迫的主要因素。

(1)生态环境对城市化的主要约束因素表现在人均耕地面积、工业废水、废气、固体废弃物的排放等对城市化发展的约束和限制,同时由于城市工业三废的排放量日益增大,对城市未来的发展规划产生不利的影 响,这就是生态环境对城市化的负反馈作用。通过计算西安市生态环境与城市化各指标的灰色关联度,结果均大于0.6,属于较强相关,具体在生态环境的11项指标中,与城市化关联度由大到小排序的指标依次为人均耕地面积(0.6637)、工业固体废弃物排放量(0.6550)、工业废水排放量(0.6545)、工业废气排放量(0.6455)、人均生活用水量(0.6427)、工业固体废弃物综合利用率(0.6397)、均道路面积(0.6323)、生活垃圾清运量(0.6320)、人建成区绿地率(0.6311)、人均公共绿地面积(0.6307)、污水处理率(0.6243)。它们主要从生态环境建设、生态环境压力、生态环境状况等方面表现生态环境对城市化进程的影响。

(2)城市化对生态环境胁迫的主要因素表现在城区面积的扩大、城市公共服务设施的完善、城市经济的发展以及人口的增长等方面,在城市化进程中,由于人类的生产活动,向自然环境中排放大量废弃物从而使生态环境恶化,政府等有关部门不断扩大城区面积,增加公共绿地面积等,改变了原来的城市地域景观,从而改变了生态环境,通过公式(3)和(4),计算出城市化的12项指标与生态环境系统的灰色关联度,依次为人口密度(0.7788)、非农人口比重(0.7695)、每万人拥有卫生技术数(0.7675)、第三产业比重(0.7608)、每万人拥有在校大学生人数(0.7596)、第三产业与第二产业比(0.7583)、人均生活用电量(kw·h/人)(0.7554)、每万人拥有公交车数目(0.7547)、人均地方财政收入人均GDP(0.7522)、市区人口比重(0.7493)、第三产业人员比重(0.7491),主要从人口、社会经济发展等方面反映城市化进程对生态环境的胁迫作用。

3.3 西安市城市化与生态环境的耦合度分析

根据公式(5),计算出西安市城市化水平与城市生态环境的耦合度和耦合协调度(图3),从图3可知,西安市城市化水平与城市生态环境耦合度数值自1996年以来都处于0.4571~0.5之间,说明西安市城市化水平与城市生态环境的耦合关系一直处于颀顽阶段,随着城市化水平进程的加快,西安市城市化的发展对城市生态环境的压力越来越明显,资源的过度利用及工业三废的大量排放造成的生态环境的破坏;从耦合协调度来看,在1996—2010年期间,其值

为 0.448 8~0.670 6,表明城市化发展与城市生态环境的关系由中低协调耦合向高度协调耦合阶段发展。具体可以划分为两个阶段,第一阶段为 1996—2000 年,其耦合协调度数值处于 0.45~0.49 之间,该阶段为中度协调耦合阶段,城市在发展经济过程中的生产、生活废物的排放已经成为城市今后可持续发展的主要障碍;第二阶段为 2001—2010 年,其耦合协调度数值处于 0.50~0.67,属于高度协调耦合阶段,该阶段耦合协调度的数值较上个阶段呈现明显上升,这是由于进入 21 世纪后,在经济发展的同时,西安市有关部门加强了城市生态环境的建设,同时一些先进的技术开始引入到企业中,使工业生产中产生的废弃物减少,从而使西安市城市化与城市生态环境的关系得到缓和,趋于协调发展。

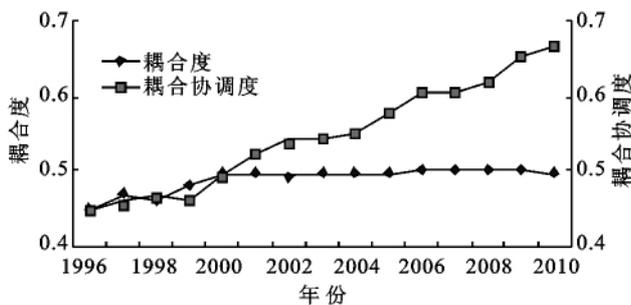


图 3 1996—2010 年西安市城市化水平与生态环境耦合协调度的时间变化

4 结论与讨论

4.1 结论

(1) 自 1996 年以来,西安市的城市化进程不断加快,且人口城市化、经济城市化、社会城市化是推动城市化进程的三个主要动力因子。

(2) 西安市生态环境的综合水平数值呈现波动上升的发展趋势,1999 年西安市城市生态环境质量最坏,2010 年西安市城市生态环境质量最好。

(3) 通过灰色关联度分析表明,人均耕地面积、工业固体废弃物等生态环境压力指标是影响西安市城市化的最主要因素,而人口密度、第三产业比重等社会经济城市化指标是胁迫生态环境的主要原因。

(4) 西安市城市化与城市生态环境耦合度的时序变化表现出明显的波动性,城市化与城市生态环境系统的发展关系以颞抗阶段为主;城市化与城市生态环境系统的耦合协调度基本处于中高度协调水平。

4.2 讨论

本文以西安市为例,从人口、经济、社会三个子系统出发,构建了西安市的城市化综合水平指标体系,从生态环境状况、生态环境压力和生态环境建设三个

子系统出发构建了生态环境指数,涉及到城市化水平与生态环境水平的指标颇多,本文只选取了一些具有代表性的指标,许多相关的指标还未涉及到,从而避免单一赋权法的缺陷。同时今后应对不同性质、不同职能的城市进行研究,以便客观、准确、全面地反映城市化与生态环境之间的关系。

参考文献:

- [1] 宋永昌,由文辉,王祥荣. 城市生态学[M]. 上海:华东师范大学出版社,2000:38-42.
- [2] Grossman, K. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[R]. National Bureau of Economic Research Working Paper 3914, NBER, 1050 Massachusetts Avenue Cambridge, M A 02138 November 1991.
- [3] Reinhard M, Katharina K, Sigrid S. New ways for the integrated appraisal of national energy scenarios; the case of renewable energy use in Austria[J]. Policy Energy, 2009, 35(12):6060-6074.
- [4] Tonkaz T, Cetin M. Effects of urbanization and land use type on monthly extreme temperatures in a developing semi-arid region [J]. Arid Environments, 2009, 68(1): 143-158.
- [5] 吴永娇,马海州,董锁成,等. 城市化进程中生态环境响应模型研究:以西安为例[J]. 地理科学,2009,29(1):64-70.
- [6] 马利邦,牛叔文,李怡欣. 甘肃省城市化与生态环境耦合的量化分析[J]. 城市发展研究,2011,17(5):52-57.
- [7] 周忠学. 城市化对生态系统服务功能的影响机制探讨与实证研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):32-38.
- [8] 沈洪艳,宋存义,贾建和. 城市化进程中的生态环境问题及生态城市建设[J]. 河北师范大学学报:自然科学版, 2006,30(6):726-730.
- [9] 陈菁. 基于图谱分析的福建省生态环境与城市化耦合关系研究[J]. 水土保持研究,2010,17(6):163-168.
- [10] 王玉明,陈佳娜. 山西重点发展旅游产业的经济学分析 [J]. 经济问题,2008(5):127-129.
- [11] 赵安周,李英俊,卫海燕,等. 陕西省城市化与资源环境的耦合演进分析[J]. 农业现代化研究,2011,32(6): 725-729.
- [12] 周玄德,孜比布拉·司马义. 吐鲁番市城市化与生态环境动态分析[J]. 水土保持研究,2012,19(1):159-163.
- [13] 许学强,周一星,宁越敏. 城市地理学[M]. 北京:高等教育出版社,1997.
- [14] 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 [J]. 地理研究,2011,30(3):496-504.
- [15] 马玉香,高素芳. 乌鲁木齐市城市化进程与耕地面积变化的定量研究[J]. 水土保持研究,2011,18(5):271-274.