

# 喀斯贫困山区土地资源承载力动态分析与预测

魏媛, 吴长勇, 曾昉, 王红林

(贵州财经大学 管科学院, 贵阳 550025)

**摘要:**运用土地资源承载力评估模型、承载指数模型及灰色预测模型对贵州土地资源承载力进行动态分析和预测。结果表明:2003—2013 年贵州年末总人口、土地资源承载力指数、人口超载率总体上表现出波动上升趋势;年末粮食生产总量、土地资源承载力、粮食盈余率表现出波动下降趋势。说明贵州省所能承载人口远远低于实际总人口,土地资源承载力一直处于超载态势,粮食盈余率表现出负增长,粮食严重不足。土地承载力指数表现出波动上升的趋势,揭示粮食自给率比较低,人口与粮食之间矛盾十分突出。灰色预测结果显示,2014—2023 年的土地资源承载力表现出逐年下降趋势,由 2014 年的 2 527.42 万人下降到 2023 年的 2 248.73 万人,10 年间下降了 11.03%;土地资源承载力指数表现出逐年上升的趋势,由 2014 年的 1.75 上升到 2023 年的 2.25,10 年间上升了 28.57%,表明如果按照当前趋势发展下去,未来 10 年研究区土地资源承载力将会严重超载,人地矛盾日趋严峻,影响经济社会可持续发展。研究可为缓解人地矛盾及实现区域可持续发展提供科学依据。

**关键词:**土地利用; 土地资源承载力; 灰色预测模型; 喀斯特贫困山区; 贵州省

**中图分类号:**S181;F301.24

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2016)06-0322-05

## Analysis and Prediction of Land Resources Carrying Capacity in Karst Mountainous Areas

WEI Yuan, WU Changyong, ZENG Fang, WANG Honglin

(School of Management Science, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** By applying the land resources carrying capacity(LCC) model, carrying capacity index (LCCI) model and grey forecast model, we analyzed the dynamic changes of the land resources carrying capacity from 2003 to 2013 in Karst mountainous areas of Guizhou Province, and predicted the development trends of land resources carrying capacity between the year 2014 and year 2023. The results showed that from 2003 to 2013, the total population at the end of the year, land resource carrying capacity index, population overload rate showed the general upward trend in Guizhou Province, total grain production at the end of the year, land resource carrying capacity, grain surplus rate showed downward trend, indicating that the population carried by Guizhou Province was far lower than the actual total population, land resources carrying capacity has been overloaded, the grain surplus rate showed negative growth, food was serious shortage. The land carrying capacity index showed a trend of fluctuation upward, which revealed that the grain self-sufficiency rate was relatively low, and the contradiction between population and grain was very prominent. Gray prediction results showed that the land resources carrying capacity decreased from  $2.52742 \times 10^7$  people in 2014 to 2023 of  $2.24873 \times 10^7$  people, by 11.03% during 10 years; land carrying capacity index increased from 1.75 in 2014 to 2.25 in 2023, by 28.57% during 10 years, which indicated that if the current trend can not be changed, land resources carrying capacity will be severely overload in the next 10 years, the increasingly severe contradiction between people and land will impact the economic and social sustainable development. These results will provide the scientific basis for alleviating the contradiction between people and land, and achieving the regional sustainable development.

**Keywords:** land use; land resources carrying capacity; grey forecast model; Karst mountainous areas; Guizhou Province

收稿日期:2015-11-04

修回日期:2015-12-20

资助项目:贵州省高校优秀科技创新人才支持计划(黔教合 KY 字[2012]091 号);2014 年度贵州省教育厅高校人文社科基地项目(2014JD102);国家社科基金项目(12BJL085)

第一作者:魏媛(1976—),女,贵州毕节人,博士,贵州财经大学中国西部现代化研究中心、管科学院教授,主要从事土地资源可持续利用与生态经济研究。E-mail:weiyuan09876@163.com

土地承载力可以表示在一定地区一定环境条件下能够持续供养的人口总数,是揭示人地关系的一个重要的综合性指标<sup>[1-4]</sup>。我国土地资源绝对数量大,人均占有量少。科学规划土地,实现土地资源的节约高效持续利用对我国的经济社会可持续发展具有重要的意义。贵州典型的喀斯特贫困山区省份、是以山地为主的西部“两欠”省份,经济发展潜力巨大,随着工业化和城镇化的快速推进,人地矛盾日益突出。如何在经济的快速发展和城市化水平的不断推进的过程中提高土地的利用效率、正确根据现有资源进行人口分布规划、促进经济发展、缩小东西部差距的同时结合自身实际选择适宜的环境友好型土地利用模式等一系列问题是目前亟需解决的问题。目前一些学者对贵州土地资源承载力评价进行了系统的研究<sup>[5-6]</sup>,但对土地资源承载力未来动态变化的预测鲜见报道,因此,本文在分析贵州土地利用、人口发展现状的基础上,运用土地承载力评估模型及土地资源承载指数(LCCI)模型对2003—2013年贵州土地资源承载力进行动态分析,结合灰色GM(1,1)模型预测对2014—2023年的土地资源承载力的发展趋势进行预测,以期为研究区制定土地、农业、人口政策和生产、计划与管理、协调人地关系提供科学的决策依据。

## 1 研究区概况

贵州省位于中国西南的东南部,介于(103°36′—109°35′E)、(24°37′—29°13′N)。地貌自中部向北、东、南三面倾斜,属于中国西南部高原山地,海拔平均1 100 m左右。全省土地资源平地较少,主要以山地、丘陵构成,山地面积108 740 km<sup>2</sup>,占全省土地总面积的61.7%,丘陵占全省土地总面积的31.1%,面积为54 197 km<sup>2</sup>,而山间平地区仅占7.5%,面积为13 230 km<sup>2</sup>。岩溶地貌发育非常典型。喀斯特(出露)面积109 084 km<sup>2</sup>,占全省国土总面积的61.9%。2014年全省土地总面积为1 760.99万hm<sup>2</sup>,其中,农用地1 477.38万hm<sup>2</sup>,建设用地65.72万hm<sup>2</sup>,未利用地14.53万hm<sup>2</sup>,分别占国土面积的83.90%,3.73%,12.37%。贵州省常住人口为3 508.04万人,比上年末增加5.82万人。按城乡分,城镇人口1 403.57万人,增加78.68万人;乡村人口2 104.47万人,减少72.86万人。城镇人口占年末常住人口比重为40.01%,比上年提高2.18个百分点。贵州省完成地区生产总值9 251.01亿元,人均地区生产总值达26 393元。

## 2 研究方法

### 2.1 土地承载力评估模型

土地资源承载力反映的是区域人口与粮食的关

系,可以用一定粮食消费水平下,区域粮食生产力所能供养的人口最大规模来度量<sup>[7]</sup>,计算公式如下:

$$LCC = G/G_{pc} \quad (1)$$

式中:LCC为土地资源承载力(人),G为粮食总产量(kg),G<sub>pc</sub>为人均粮食消费标准(kg/人)。国内众多专家根据联合国粮农组织公布的人均营养热值标准,结合中国国情计算并提出中国人均粮食消费400 kg即可达到营养安全的要求<sup>[8-9]</sup>,因此本文把人均粮食消费400 kg作为营养安全的标准。

### 2.2 土地资源承载指数(LCCI)模型

文章运用土地资源承载指数(LCCI)及其相关指数揭示贵州现实人口数量与土地资源承载力之间的关系<sup>[2,7]</sup>,计算公式如下:

$$LCCI = P_a/LCC \quad (2)$$

$$R_p = (P_a - LCC)/LCC \times 100\% = (LCCI - 1) \times 100\% \quad (3)$$

$$R_g = (LCC - P_a)/LCC \times 100\% = (1 - LCCI) \times 100\% \quad (4)$$

式中:LCCI为土地资源承载指数; $P_a$ 为现实人口数量(人); $R_p$ 为人口超载率; $R_g$ 为粮食盈余率。根据LCCI的值可将不同地区的土地资源承载力划分为粮食盈余、人粮平衡和人口超载3种类型区:(1)人口超载区,LCCI高于1.125,粮食严重短缺,人口严重超载。(2)人口与粮食平衡区,LCCI介于0.875~1.125,人口与粮食关系基本平衡,发展潜力有限;(3)粮食盈余地区,LCCI低于0.875,粮食平衡有余,具有一定的发展空间;根据盈余或超载的程度差异,可以将土地资源承载力细分为8个级别,基于LCCI的土地资源承载力分级评价标准见朱小娟等的文章“甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析”<sup>[9]</sup>。

### 2.3 灰色预测模型

灰色预测是根据灰色关联分析,分析各相关因素对系统的影响程度,然后根据数据树检验的处理结果,建立GM(1,1)模型,并进行求解。本文根据贵州2003—2013年的人口与粮食现状,运用LCC模型相关计算得出2003—2013年土地承载力与土地承载力指数,采用灰色GM(1,1)模型分别对其2014—2023年的土地承载力与土地承载力指数的预测。

将原始数据序列定为 $x_i^{(0)}(i)$ , $x_i^{(1)}(i)$ 就是一次累加生成数序列,则得出GM(1,1)模型的一阶线性常系数微分方程,其标准型公式可表示为:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (5)$$

式中:GM(1,1)模型对应的标准型解为: $x^{(1)} = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a}$ ;a,u是待确定的未知参数;t

是时间。为提高 GM(1,1)模型预测值的精度和可靠性,采用后验差检验方法进行模型精度检验。后验差比值  $C$  与小误差概率  $P$  定义为:

$$c=\frac{s_2}{s_1},p=p\{|\xi_k-\bar{\xi}|<0.6745s_1\} \tag{6}$$

式中: $\xi_k$  表示预测数据误差; $S_1$ 、 $S_2$  分别表示原始数据标准差、预测数据标准差; $\bar{\xi}$ 是预测误差的均值。 $p$  是小误差概率,在 0~1 取值范围内,越大越好, $C$  是模型预测值与实际值之差的离散程度,越小越好<sup>[6]</sup>。

表 1 贵州省 2003—2013 年各类土地利用构成及变化

土地利用类型	2003 年面积/万 hm <sup>2</sup>	比例/%	2013 年面积/万 hm <sup>2</sup>	比例/%	变化量/万 hm <sup>2</sup>	变化率/%
耕地	456.79	25.93	455.26	25.85	−1.53	−0.33
园地	10.98	0.62	16.80	0.95	5.82	53.04
林地	785.00	44.56	895.46	50.84	110.46	14.07
牧草地	162.18	9.21	72.83	4.14	−89.34	−55.09
建设用地	52.51	2.98	62.56	3.55	10.04	19.13
未利用地	249.66	14.17	219.07	12.44	−30.59	−12.25
其他土地	44.60	2.53	39.26	2.23	−5.34	−11.97
合计	1761.72	100.00	1761.24	100.00	−0.47	6.58

注:数据来源于贵州土地资源公报。

由表 1 可以看出,2003—2013 年各类土地利用面积构成的顺序由大到小依次为:林地>耕地>未利用地>牧草地>建设用地>其他土地>园地,其中林地和建设用地呈明显上升的趋势,分别从 2003 年的 44.56%,2.98%上升到 2013 年的 50.84%,3.55%,变化量为 110.46 万 hm<sup>2</sup>,10.04 万 hm<sup>2</sup>,变化率为 14.07%,19.13%,其余各类土地利用面积保持平衡或下降的趋势,变化幅度均低于建设用地。贵州省的土地正处在快速城镇化时期,建设用地的不断扩张是导致其他类型土地面积减少、土地资源承载力下降的主要因素。

3.1.2 贵州人口现状分析 人口迅速增长和城市化进程中建设用地的扩张,导致近年来贵州土地资源承载力下降,贵州省 2003—2013 年人口变化统计结果见表 2。

由表 2 可以看出,2003—2013 年贵州年末总人口、农业人口和非农业人口表现了出上升的趋势,2013 年比 2003 年分别增长了 13.19%,12.12%和 18.95%。农业人口在总人口中的比重下降,11 a 间下降了 0.95%,非农业人口在总人口中的比重呈现逐年增长的态势,11 a 间上升了 5.13%,人口变化结果表明贵州土地利用正逐渐转型,人口数量不断增加,可能逐渐趋近甚至超出土地资源承载力的最大阈值。

3.2 土地资源承载力动态变化及预测

3.2.1 土地资源承载力的动态变化 土地资源承载力是指在一定生产条件下土地资源的生产能力和生活

3 结果与分析

3.1 贵州土地利用及人口发展现状

3.1.1 贵州土地利用现状 土地利用现状是自然条件和人类社会经济活动综合作用的结果,受自然因素和人类改造利用行为的影响。社会经济环境、社会需求及生产科技管理水平的不同,形成了不同的土地利用现状。贵州省 2003—2013 年各类土地的利用构成及变化见表 1。

水平下所承载的人口限度,是区域人口、资源与社会经济可持续发展的重要指标之一,对土地、人口、环境与发展都有一定的提示和预警作用<sup>[10-12]</sup>。2003—2013 年贵州省土地资源承载力动态变化评价结果见表 3。

表 2 2003—2013 年贵州人口变化

年份	年末总人口 /万人	按农业非农业分		占总人口比重/%	
		农业/万人	非农业/万人	农业	非农业
2003	3786.84	3196.70	590.14	84.4	15.6
2004	3831.19	3224.62	606.57	84.2	15.8
2005	3867.73	3258.05	609.68	84.2	15.8
2006	3921.91	3295.08	626.83	84.0	16.0
2007	3985.04	3346.09	638.95	84.0	16.0
2008	4036.75	3385.66	651.09	83.9	16.1
2009	4090.78	3429.36	661.43	83.8	16.2
2010	4189.00	3512.92	676.07	83.9	16.1
2011	4238.44	3551.18	687.26	83.8	16.2
2012	4249.48	3557.14	692.34	83.7	16.3
2013	4286.15	3584.17	701.98	83.6	16.4

注:数据来源于 2004—2014 年《贵州省统计年鉴》,下表同。

由表 3 可知,2003—2013 年贵州土地资源承载力指数、人口超载率总体上表现出波动上升的趋势;粮食生产总量、土地承载力、粮食盈余率表现出波动下降的趋势。研究表明贵州省所能承载的人远远低于实际总人口,土地资源承载力一直处于超载态势,其中 2006,2010—2013 年的人口超载率超过 50%,2011 年的最高达 93.34%,这主要是因为受旱灾影响,贵州 2011 年末粮食总产量比 2010 年年减产 21.2%。研究表明较低的粮食生产量无法满足快速

增长的人口需求,粮食盈余率表现出负增长,粮食严重不足;土地承载力指数表现出波动上升的趋势,变化范围在 1.33~1.93,揭示粮食自给率比较低,人口与粮食之间矛盾十分突出。随着人口数量不断增长、工业化和城市化的快速推进,农业产业结构优化升级,研究区土地资源承载力可能会长期处于过载态势,人地关系紧张现象将日益加剧。

表 3 贵州省 2003—2013 年土地资源承载力动态变化					
年份	粮食生产总量/ 10 <sup>7</sup> kg	土地资源承载力/ 10 <sup>4</sup> 人	土地资源承载力指数	人口超载率/%	粮食盈余率/%
2003	1104.30	2760.75	1.37	37.17	-37.17
2004	1149.58	2873.95	1.33	33.31	-33.31
2005	1152.06	2880.15	1.34	34.29	-34.29
2006	1038.00	2595.00	1.51	51.13	-51.13
2007	1100.86	2752.15	1.45	44.80	-44.80
2008	1158.00	2895.00	1.39	39.44	-39.44
2009	1168.27	2920.68	1.40	40.06	-40.06
2010	1112.30	2780.75	1.51	50.64	-50.64
2011	876.90	2192.25	1.93	93.34	-93.34
2012	1079.50	2698.75	1.57	57.46	-57.46
2013	1029.99	2574.98	1.66	66.45	-66.45

3.2.2 土地资源承载力的预测

(1) 土地资源承载力的灰色生成。根据表 3 中统计分析结果可以得出贵州省土地资源承载力的原始数据序列  $X^{(0)}(k)$

$$X^{(0)}(k)=[2\ 760.75,2\ 873.95,2\ 880.15,2\ 595.00,2\ 752.15,2\ 895.00,2\ 920.68,2\ 780.75,2\ 192.25,2\ 698.75,2\ 574.98]$$
 (7)

根据式(7)得到一次累加生成数据序列  $X^{(1)}(k)$

$$X^{(1)}(k)=[2\ 760.75,5\ 634.70,8\ 514.85,11\ 109.85,13\ 862.00,16\ 757.00,19\ 677.68,22\ 458.43,24\ 650.68,27\ 349.43,29\ 924.41]$$
 (8)

(2) 土地资源承载力的灰色预测系统建模。根据灰色预测模型 GM(1,1),得出土地资源承载力的预测模型

$$\hat{a}=[a,u]^T=[0.012981546,2932.323357]^T$$
 (9)

$$X^{(1)}(k+1)=-223123.2437e^{-225883.9937k}+225883.9937$$
 (10)

(3) 土地资源承载力指数的灰色预测系统建模。根据相同的原理,得出土地资源承载力指数的预测模型

$$X^{(1)}(k+1)=47.33857351e^{0.027667729k}+1.271846057$$
 (11)

将  $k=(0,1,2,3,\cdots 10)$  代入式(10)和式(11),推算出贵州省 2014—2023 年土地资源承载力和土地资源承载力指数的预测值(图 1)。

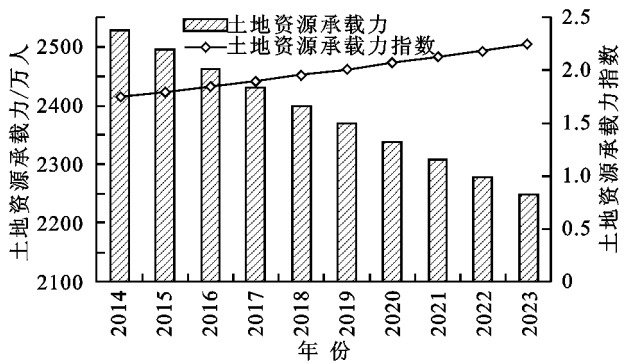


图 1 贵州省 2014—2023 年土地资源承载力及土地资源承载力指数预测

(4) 预测结果与分析。利用 GM(1,1)模型建立的贵州省土地资源承载力及土地资源承载力指数的预测模型是否满足实际情况,由灰色模型的模拟精度所决定。根据后验差检验结果,土地资源承载力预测模拟的精度为 2 级,土地资源承载力指数预测模拟的精度为 1 级,结合 2014 年现实数据对其进行验证,表明模型预测精度较好,可信度较高。图 1 的预测结果显示,2014~2023 年间土地资源承载力表现出逐年下降趋势,由 2014 年的 2 527.42 万人下降到 2023 年的 2 248.73 万人,10 a 间下降了 11.03%,表明如果按照当前趋势发展下去,贵州省的土地资源的承载力将会严重过载;从图 1 中还可以看出,2014—2023 年的土地资源承载力指数表现出逐年上升的趋势,由 2014 年的 1.75 人上升到 2023 年的 2.25,10 a 间上升了 28.57%。主要是因为研究区人口数量大且增速快、建设用地的不断扩张占用了大量的耕地、生态环境脆弱、科技水平低、资金短缺、气候灾害频繁发生,粮食产量较低,粮食生产水平无法满足持续增长的人口需求,粮食自给难以实现。揭示未来 10 a 研究区土地资源的超载情况十分严重,人地矛盾日趋严峻,影响经济社会可持续发展。

4 结论

(1) 2003—2013 年各类土地利用面积构成的顺序由大到小依次为:林地>耕地>未利用地>牧草地>建设用地>其他土地>园地,其中建设用地呈明显上升的趋势,其余各类土地利用面积保持平衡或呈现下降的趋势,变化幅度均低于建设用地。贵州省正处于城镇化快速推进时期,建设用地的不断扩张是导致其他类型土地面积减少、土地资源承载力下降的主要因素<sup>[13]</sup>。人口现状分析表明,2003—2013 年贵州年末总人口、农业人口和非农业人口表现了出上升的趋势,2013 年比 2003 年分别增长了 13.19%,12.12%和 18.95%。农业人口在总人口中的比重下降,非农业人口在总人口中的比重呈

现逐年增长的态势,人口变化结果表明贵州土地利用正逐渐转型,人口数量不断增加,可能逐渐趋近甚至超出土地资源承载力的最大阈值。

(2) 2003—2013 年贵州土地资源承载力指数、人口超载率总体上表现出波上升趋势;粮食生产总量、土地资源承载力、粮食盈余率表现出波动下降的趋势。说明贵州省所能承载的人口远远低于实际总人口,土地资源承载力已经超出了其阈值,一直处于超载态势,粮食盈余率表现出负增长,粮食严重不足。土地承载力指数表现出波动上升的趋势,揭示粮食自给率比较低,粮食生产水平无法满足持续增长的人口需求,人口与粮食之间矛盾十分突出。

(3) 灰色预测结果显示,2014—2023 年间土地资源承载力表现出波动下降趋势,2023 年比 2014 年下降了 278.69 万人,10 a 间下降了 11.03%;土地资源承载力指数表现出波动上升趋势,2023 年比 2014 年上升了 0.5,10 a 间上升了 28.57%,研究结果表明如果按照当前趋势发展下去,未来 10 a 研究区土地资源的承载力将会严重过载,人地矛盾日趋严峻,影响经济社会可持续发展。

(4) 利用灰色预测 GM(1,1)模型建立贵州省土地资源承载力及土地资源承载力指数的预测模型,由于受自然灾害和科技水平因素等的影响,加上各个指标的预测的动态值均是不确定的数值,导致预测的动态值与实际值存在一定的误差,这正上运用灰色预测模型进行动态预测存在的不足,进行模型的修正以减小预测的动态值与实际值的误差有待于进一步的深入研究。

#### 参考文献:

[1] 郝汉舟,汪华. 基于人粮关系的咸宁市土地承载力研究

[J]. 江西农业学报,2014,26(9):111-115.

- [2] 刘东,封志明,杨艳昭,等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状[J]. 农业工程学报,2011,27(7):1-6.
- [3] 张红富,周生路,吴绍华,等. 基于农业可持续发展需求的江苏土地资源支撑能力评价[J]. 农业工程学报,2009,25(9):289-294.
- [4] 李娜. 土地资源承载力在规划环评中的应用研究[J]. 环境科学与管理,2012,4(4):176-179,194.
- [5] 叶芳芳. 基于建设“两型农业”的贵州省土地资源承载力研究[J]. 生态经济评论,2012(1):76-90.
- [6] 韩会庆,蔡广鹏,张凤太,等. 贵州省土地综合承载力时空分异研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2013,12(6):84-87.
- [7] 封志明,杨艳昭,张晶. 中国基于人粮关系的土地资源承载力研究:从分县到全国[J]. 自然资源学报,2008,23(5):865-874.
- [8] 封志明. 中国未来人口发展的粮食安全与耕地保障[J]. 人口研究,2007,31(2):15-29.
- [9] 朱小娟,刘普幸,赵敏丽,等. 甘肃省土地资源承载力格局的时空演变分析[J]. 土壤,2013,45(2):346-354.
- [10] Murray L. The carrying capacity imperative: Assessing regional carrying capacity methodologies for sustainable land-use planning[J]. Land Use Policy, 2010,27(4): 1038-1045
- [11] 祝秀芝,李宪文,贾克敬,等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究[J]. 中国土地科学,2014,28(2):90-96.
- [12] 李刚,卢晓宁,边金虎. 岷江上游土地资源承载力评价[J]. 水土保持研究,2015,22(1):264-269.
- [13] 谢汀,刘爱宁,高雪松. 基于信息熵和灰色关联的成都市建设用地结构时空变化及驱动力分析[J]. 农业现代化研究,2015,36(1):118-125.

(上接第 321 页)

- [19] 张磊,武友德,李君. 环洱海地区农村经济发展水平的时空演变特征分析[J]. 资源开发与市场,2015,31(5): 528-532.
- [20] 田光进. 基于 GIS 的中国农村居民点用地分析[J]. 遥感信息,2003(2):32-35.
- [21] 龙英,舒晓波,李秀娟,等. 江西省安福县农村居民点空间分布变化及其环境因素分析[J]. 水土保持研究,2012,19(5):171-180.
- [22] 张荣天,张小林,李传武. 县域城镇空间格局演变及其

机制研究:以江苏省溧水县为例[J]. 资源与产业,2013,15(2):143-149.

- [23] 刘颂,郭菲菲. 基于景观格局分析的乡村居民点布局优化研究[J]. 东北农业大学学报,2010,41(11):42-46.
- [24] 冯长春,赵若曦,古维迎. 中国农村居民点用地变化的社会经济因素分析[J]. 中国人口资源与环境,2012,22(3):6-12.
- [25] 陈超,李晓敏. 农村居民点用地规模变化的社会经济影响因素区域差异验证分析[J]. 国土资源科技管理,2008,25(5):61-65.