

石羊河流域土地利用结构合理性评价

姚进忠¹, 曾建军^{2,3}

(1. 甘肃省水利厅水土保持局, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000; 3. 甘肃省水利科学研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: [目的] 评价石羊河流域土地利用结构, 为石羊河流域土地利用总体规划的修编、土地利用机构的优化以及土地资源的可持续利用提供依据。[方法] 利用解译的石羊河流域 5 期(1980, 1995, 2000, 2006, 2012 年)土地利用数据, 基于 TOPSIS 方法, 采用熵值法确定指标权重, 结合灰色关联度分析, 对石羊河流域土地利用结构的合理性进行综合评价。[结果] (1) 5 期石羊河流域土地利用结构合理性总体上较高, 均在 75% 以上, 在时间上总体呈波动上升趋势。其中, 2006 到 2012 年上升 19.54%, 增幅最大; (2) 不同土地利用类型变化对土地利用结构的合理性影响不同, 其土地利用结构合理性关联度依次为: 未利用土地(0.973 8) > 林地(0.961 1) > 草地(0.950 4) > 耕地(0.935 2) > 居民用地(0.757 6) > 水域(0.709 0); 以石羊河流域耕地为参考数列, 对影响耕地的其他土地利用结构进行了灰色关联度分析, 发现对耕地影响最大的是林地(0.938 5) 和未利用地(0.935 0), 其次是草地(0.902 1), 再次是居民用地(0.797 7) 和水域(0.722 9)。[结论] 限制石羊河流域未利用土地的开发, 保护林地, 调整草地和耕地比例, 控制居民地的过快增长和严格保护水域, 对优化石羊河流域土地利用结构具有决定性的作用。

关键词: 土地利用结构; TOPSIS 模型; 合理性评价; 石羊河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0230-05

中图分类号: F301.2

文献参数: 姚进忠, 曾建军. 石羊河流域土地利用结构合理性评价[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 230-234. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.039

Assessment of Land Use Structure Rationality in Shiyang River Basin

YAO Jinzhong¹, ZENG Jianjun^{2,3}

(1. Gansu Soil and Water Conservation Bureau, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu

730000, China; 3. Gansu Research Institute for Water Conservancy, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: [Objective] We evaluate the land use structure in Shiyang River basin in order to provide basis for editing and reversion of the land utilization plan, and the optimization of land use structure and the sustainability of land resources. [Methods] Based on the land use data in the year of 1980, 1995, 2000, 2006 and 2012 in Shiyang River basin, the rationality of land use structure was assessed by using coefficient of entropy and TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution) method and GRA (grey relational analysis). [Results] (1) The rationalities of land use structure in Shiyang River basin were above 75%, and showed a fluctuated upward tendency. During the period from 2006 to 2012, it increased by 19.54%. (2) Different land use types had different effects on the rationality of land use structure. The correlation with the land use structure rationality showed: unused land(0.973 8) > woodland(0.961 1) > grassland(0.950 4) > cultivated land(0.935 2) > residential land(0.757 6) > waters(0.709 0). Took the farmland as the reference, the gray correlation degree analysis showed that the greatest impact were woodland(0.938 5) and unused land(0.935 0), followed by the grassland(0.902 1), and then the residential land(0.797 7) and waters(0.722 9). [Conclusion] To restrict the utilization of the unused land, protect woodland, adjust the ratio

收稿日期: 2015-04-01

修回日期: 2015-06-12

资助项目: 国家自然科学基金项目“气候与土地利用变化对石羊河流域水资源影响研究”(51369003), “疏勒河中游绿洲生态需水过程与阈值研究”(51369004); 水利部公益性行业科研专项(201301081)和甘肃省技术研究与开发专项计划项目(1205TCYA005)

第一作者: 姚进忠(1963—), 男(汉族), 甘肃省通渭县人, 博士, 正高级工程师, 主要从事水资源与水土保持方面研究。E-mail: yjzgsb@163.com。

of grassland and cultivated land, and control the excessively rapid growth of residential land and protect water, are of great importance in optimizing of the land use structure in Shiyang River basin.

Keywords: land use structure; TOPSIS model; rationality assessment; Shiyang River basin

土地利用结构合理性评价是土地利用结构调整与优化的基础,也是土地利用总体规划的核心内容。现阶段对于土地利用结构合理性的评价,国内外已有大量的研究,且多种研究方法被广泛应用,如典型相关分析法^[1]、最优线性规划法^[2]、计量地理法^[3]、景观生态学理论^[4]、系统动力学方法^[5]、马尔可夫法^[4]、空间洛伦茨曲线和分形^[6]等,不同评价方法对于研究区域土地利用结构和形态的时空变化提供了众多方法上的选择,但由于一些评价方法在评价过程的复杂性和可实施性,容易造成评价结果的主观性和不确定性,进而影响土地利用结构的优化,造成土地利用总体规划决策失误。为精确、直观反映土地利用结构合理性,寻求一种物理意义明确、实用、简单、科学的评价方法,使规划方案更加科学、合理,对于土地利用结构合理性的研究具有极为重要的理论研究价值和现实操作意义。

石羊河流域是中国西北内陆河流域中人口最密集、生态环境敏感性最强的地区,脆弱的环境已经引起了政府的高度关注,2007年12月,经国务院同意,由国家发改委、水利部印发实施《甘肃省石羊河流域重点治理规划》。为保持初期治理成果,2011年12月,国家发展改革委、水利部批复了《石羊河流域重点治理调整实施方案》,将《规划》确定的后10a任务集中到前5a实施(2011—2015年)。面对石羊河流域脆弱的生态环境,本文以解译的石羊河流域5期(1980,1995,2000,2006,2012年)土地利用变化数据为基础,基于TOPSIS方法(TOPSIS法^[7-9]是系统工程中有限方案多目标决策分析的一种常用技术,近年来已被广泛应用与多领域综合评价中,且取得了较为满意的结果。TOPSIS法不仅能够客观全面地反映土地利用结构的动态变化,更减少了采用其它方法时需要主观确定各级评价标准的干扰;而且所得到的不同评价年份各地类与土地利用结构合理度的灰色关联度可用来分析其对土地利用结构的变化情况,进行关键因子分析并据之提出相应政策),采用熵值法确定指标权重,结合灰色关联度分析,对石羊河流域土地利用结构的合理性进行综合评价。通过对石羊河流域土地利用结构合理性的评价,以期最大限度地提高石羊河流域土地利用结构合理程度,为石羊河流域土地利用总体规划的修编和土地利用调控方案的优化以及土地资源的可持续利用提供依据。

1 TOPSIS 法评价过程

1.1 数据标准化

所选评价指标因评价单位不同不具有可比性,为使各指标具有可比性及可计算性,应对其进行无量纲化处理,即标准化。将评价指标分为效益型指标和成本型指标,并通过以下公式进行标准化处理^[9-13]:

对于效益型指标:

$$Z_{ij} = \begin{cases} (Y_{ij} - Y_{j\min}) / (Y_{j\max} - Y_{j\min}) & (Y_{j\max} \neq Y_{j\min}) \\ 1 & (Y_{j\max} = Y_{j\min}) \end{cases} \quad (1)$$

对于成本型指标:

$$Z_{ij} = \begin{cases} (Y_{j\max} - Y_{ij}) / (Y_{j\max} - Y_{j\min}) & (Y_{j\max} \neq Y_{j\min}) \\ 1 & (Y_{j\max} = Y_{j\min}) \end{cases} \quad (2)$$

1.2 评价指标权重确定及多属性决策矩阵的建立

熵值可判断某个指标的离散程度,指标的离散程度越大,该指标对综合评价的影响越大,其计算公式如下^[14-15]:

$$H_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (3)$$

$$\text{式中: } f_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{i=1}^n Y_{ij}} \quad (4)$$

进而,

$$W_j = \frac{1 - H_j}{\sum_{j=1}^m (1 - H_j)} \quad (5)$$

建立多属性决策矩阵:

$$X = (x_{ij})_{m \times n} = [W_j \cdot Z_{ij}]_{m \times n} \quad (6)$$

1.3 确定正负理想解 X^* 和 X^\times , 并计算各年份的指标向量到正负理想解的距离

$$X^* = \{ (\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} | j \in j^*), \max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} | j \in j^- \} \\ = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_j^*, \dots, x_n^*) \quad (7)$$

$$X^\times = \{ (\max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} | j \in j^*), \max_{1 \leq i \leq m} x_{ij} | j \in j^- \} \\ = (x_1^\times, x_2^\times, \dots, x_j^\times, \dots, x_n^\times) \quad (8)$$

式中: j^* ——成本型指标集合^[9-13]; j^- ——效益型指标集合。

计算各年份的指标向量到正负理想解的距离,综合向量到正理想解和负理想解距离的表达式为^[9-13]:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^*)^2} \quad (9)$$

$$S_i^\times = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - x_j^\times)^2} \quad (10)$$

在确定正、负理想值时,考虑到人类利用土地的

趋向,确定已利用土地为效益型指标,未利用土地为成本型指标。

1.4 土地利用结构合理度 R_i 的计算

建立各评价方案的 $[S_i^*, S_i^X]$ 二维数据空间。设点 $A[\min(S_i^*), \max(S_i^X)]$ 为最优理想参照点,计算各备选方案与该点之间的相对距离^[9-13]:

$$D_i = \sqrt{[(S_i^* - \min(S_i^*))^2 + (S_i^X - \max(S_i^X))^2]} \quad (11)$$

$$(i=1, 2, \dots, m)$$

$$R_i = (1 - D_i) \times 100 \quad (12)$$

R_i 为土地利用结构合理度, R_i 越大,说明土地利用结构越合理。

1.5 灰色关联度分析

关联度的一般表达式为^[9-13]:

$$\gamma_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \xi_{ij}(t) \quad (13)$$

式中: $\xi_{ij}(t)$ 称为关联系数^[9-13], 定义为:

$$\xi_{ij}(t) = \frac{\Delta \min + k \Delta \max}{\Delta_{ij}(t) + \Delta \max} \quad (14)$$

$$\Delta_{ij}(t) = |x_i(t) - x_j(t)| \quad (15)$$

$$\Delta \max = \max_j \max_i \Delta_{ij}(t) \quad (16)$$

$$\Delta \min = \min_j \min_i \Delta_{ij}(t) \quad (17)$$

$$\max_i [\Delta_i(\max)] = \max_i [\max_t |x_0(t) - x_i(t)|] \quad (18)$$

$$\min_i [\Delta_i(\min)] = \min_i [\min_t |x_0(t) - x_i(t)|] \quad (19)$$

式中: $\xi_{ij}(t)$ ——第 t 个时刻比较曲线 x_i 与参考曲线 x_0 的相对差值,称为 x_i 对 x_0 在 k 时刻的关联系数($t=1, 2, \dots, n$)。其中, ξ ——分辨系数,一般在 0 与 1 之间选取,本文取 ξ 为 0.5; k ——灰数,本文取 k 的白化值为 0.5,用于提高关联因素之间的差异显著性。

2 应用实例

石羊河流域位于甘肃省河西走廊东部,乌鞘岭以西,祁连山北麓,地理坐标为东经 $101^{\circ}41'$ — $104^{\circ}16'$,北

纬 $36^{\circ}29'$ — $39^{\circ}27'$ 之间,流域全长 300 km,行政区划上包括 4 市 9 县,总面积 $4.16 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。石羊河流域地势南高北低(图 1),自西南向东北倾斜。流域属大陆性温带干旱、半干旱气候,其流域自南向北大致分为,南部祁连山高寒半干旱半湿润区(海拔 2 000~5 000 m)、中部走廊平原温凉干旱区(海拔 1 500~2 000 m)、北部温暖干旱区(海拔 1 300~1 500 m)。整个流域多年平均降水量为 222 mm,太阳辐射强,蒸发强烈。流域自东向西由大靖河、古浪河、黄羊河、杂木河、金塔河、西营河、东大河、西大河这 8 条河流及多条小沟小河组成,河流补给来源为山区大气降水和高山冰雪融水,产流面积 $1.11 \times 10^4 \text{ km}^2$,多年平均径流量 $1.56 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。土壤类型主要是灰钙土、灰漠土、灰棕漠土等。植被类型为:高山嵩草、中高山青海云杉、祁连圆柏短花针茅、冷蒿珍珠、红沙、短花针茅等^[16]。

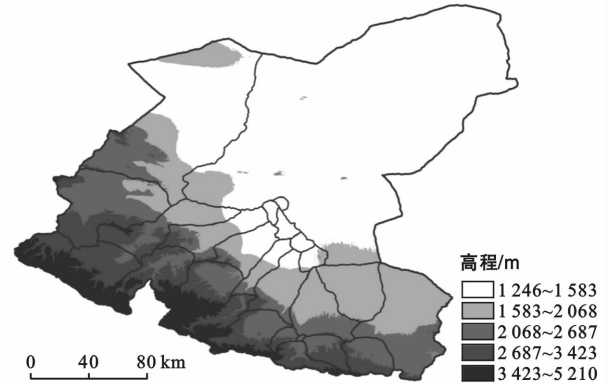


图 1 石羊河流域数字高程模型

2.1 数据来源及预处理

土地利用基础数据来源于石羊河流域 5 期(1980, 1995, 2000, 2006, 2012 年)土地利用变化调查数据,为使数据具有可比性,土地利用分类系统仍然采用 1984 年全国《土地利用现状调查技术规程》中的分类标准。土地利用面积、比例见表 1。

表 1 石羊河流域 5 期(1980, 1995, 2000, 2006, 2012 年)土地利用面积及结构

类型	1980 年		1995 年		2000 年		2006 年		2012 年	
	面积/ km ²	百分比/ %	面积/ km ²	百分比/ %	面积/ km ²	百分比/ %	面积/ km ²	百分比/ %	面积/ km ²	百分比/ %
耕地	6 663.63	16.42	6 439.61	15.87	6 796.81	16.75	7 044.22	17.36	6 945.20	17.87
林地	2 628.06	6.48	2 653.87	6.54	2 630.56	6.48	2 545.17	6.27	2 756.06	6.79
水域	149.69	0.37	278.36	0.69	149.83	0.37	192.45	0.47	190.26	0.47
草地	11 121.16	27.41	11 547.00	28.46	11 183.05	27.56	10 525.89	25.94	10 908.95	26.40
居民用地	349.24	0.86	337.22	0.83	386.84	0.95	447.82	1.10	526.43	1.29
未利用土地	19 667.04	48.47	19 322.76	47.62	19 431.75	47.89	19 823.29	48.85	19 251.92	47.19
合计	40 578.83	100.00	40 578.83	100.00	40 578.83	100.00	40 578.83	100.00	40 578.83	100.00

2.2 基于熵权 TOPSIS 法的石羊河流域土地利用结构合理性评价

首先根据评价指标的效益型和成本型,据式(1)、(2)对数据进行标准化处理(表 2)。

表 2 评价指标数据标准化

土地类型	年份				
	1980	1995	2000	2006	2012
耕地	0.370 5	0.000 0	0.590 8	1.000 0	0.836 2
林地	0.393 0	0.515 4	0.404 9	0.000 0	1.000 0
水域	0.000 0	1.000 0	0.001 1	0.332 3	0.315 3
草地	0.583 0	1.000 0	0.643 6	0.000 0	0.375 1
居民用地	0.063 5	0.000 0	0.262 2	0.584 5	1.000 0
未利用土地	0.726 5	0.124 0	0.314 7	1.000 0	0.000 0

其次,据式(3)—(5)确定石羊河流域土地利用各评价指标的权重系数:

$$W_{ij} = \begin{bmatrix} W_1 & W_2 & W_3 & W_4 & W_5 & W_6 \\ 0.160 7 & 0.160 5 & 0.185 0 & 0.160 7 & 0.172 8 & 0.160 3 \end{bmatrix}$$

再据式(6)建立多属性决策矩阵。

$$X = \begin{bmatrix} 0.059 5 & 0.000 0 & 0.094 9 & 0.160 7 & 0.134 4 \\ 0.063 1 & 0.082 7 & 0.065 0 & 0.000 0 & 0.160 5 \\ 0.000 0 & 0.185 0 & 0.000 2 & 0.061 5 & 0.058 3 \\ 0.093 7 & 0.160 7 & 0.103 4 & 0.000 0 & 0.060 3 \\ 0.011 0 & 0.000 0 & 0.045 3 & 0.101 0 & 0.172 8 \\ 0.116 5 & 0.019 9 & 0.050 5 & 0.160 3 & 0.000 0 \end{bmatrix}$$

再次,据式(7)—(10)确定正负理想解(X^* , X^\times),并计算各年份的指标向量到正负理想解的距离(S^* , S^\times)(图 2,表 3);同时,据式(11)、(12)计算土地利用结构合理度 R_i (表 3—4,图 3)。

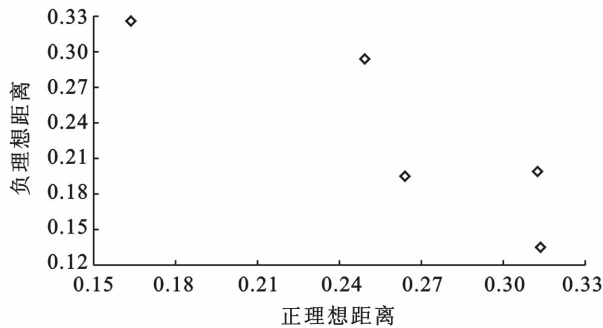


图 2 土地利用结构的正、负理想距离二维数据空间分布

表 3 石羊河流域 5 期(1980,1995,2000,2006,2012 年)土地利用结构的合理度

年份	因子			
	S^*	S^\times	D_i	R_i
1980	0.313 4	0.135 4	0.242 4	75.757 2
1995	0.249 3	0.294 3	0.091 3	90.874 8
2000	0.264 0	0.195 0	0.165 1	83.491 1
2006	0.312 6	0.199 5	0.195 4	80.459 4
2012	0.163 8	0.326 2	0.000 0	100.000 0

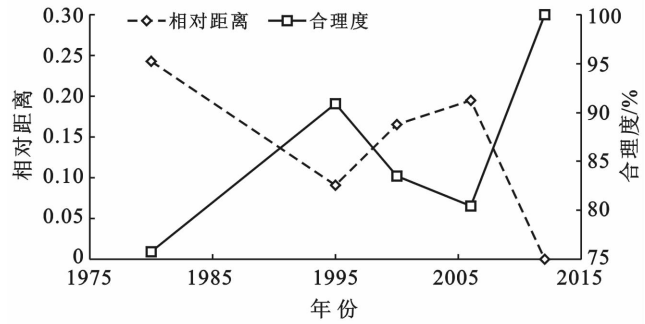


图 3 土地利用相对距离、结构合理度年变化

最后,按步骤依次进行灰色关联度分析。

第 1 步,据式(15)确定求差序列,各个时刻 x_i 与 x_0 的绝对差如表 4 所示。

表 4 土地利用结构灰色关联度差序列绝对差

差序列绝对差	年份				
	1980	1995	2000	2006	2012
$\Delta_1 = x_0(t) - x_1(t) $	0	0.033 6	0.020 0	0.057 1	0.042 3
$\Delta_2 = x_0(t) - x_2(t) $	0	0.009 8	0.001 0	0.031 5	0.048 7
$\Delta_3 = x_0(t) - x_3(t) $	0	0.859 6	0.000 9	0.285 7	0.271 0
$\Delta_4 = x_0(t) - x_4(t) $	0	0.038 3	0.005 6	0.053 5	0.019 1
$\Delta_5 = x_0(t) - x_5(t) $	0	0.034 4	0.107 7	0.282 3	0.507 4
$\Delta_6 = x_0(t) - x_6(t) $	0	0.017 5	0.012 0	0.007 9	0.021 1

第 2 步:据式(16)—(19)求得两级最大差与最小差为:

$$\Delta_{\max} = 0.429 8, \Delta_{\min} = 0$$

第 3 步:将数据代入关联系数计算公式(14)得:

$$\begin{aligned} \xi_1 &= [\xi_1(1), \xi_1(2), \xi_1(3), \xi_1(4), \xi_1(5)] \\ &= (1.000 0, 0.927 5, 0.955 6, 0.882 7, 0.910 5) \\ \xi_2 &= [\xi_2(1), \xi_2(2), \xi_2(3), \xi_2(4), \xi_2(5)] \\ &= (1.000 0, 0.977 7, 0.997 8, 0.931 6, 0.898 2) \\ \xi_3 &= [\xi_3(1), \xi_3(2), \xi_3(3), \xi_3(4), \xi_3(5)] \\ &= (1.000 0, 0.333 3, 0.999 78, 0.600 7, 0.613 3) \\ \xi_4 &= [\xi_4(1), \xi_4(2), \xi_4(3), \xi_4(4), \xi_4(5)] \\ &= (1.000 0, 0.918 2, 0.987 2, 0.889 3, 0.957 5) \\ \xi_5 &= [\xi_5(1), \xi_5(2), \xi_5(3), \xi_5(4), \xi_5(5)] \\ &= (1.000 0, 0.925 9, 0.799 7, 0.603 6, 0.458 6) \\ \xi_6 &= [\xi_6(1), \xi_6(2), \xi_6(3), \xi_6(4), \xi_6(5)] \\ &= (1.000 0, 0.960 9, 0.972 9, 0.981 9, 0.953 2) \end{aligned}$$

第 4 步:根据关联系数,结合式(13)求关联度得:

$$r_i = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 & r_5 & r_6 \\ 0.935 2 & 0.961 1 & 0.709 0 & 0.950 4 & 0.757 6 & 0.973 8 \end{bmatrix}$$

相应的关联序为: $r_6 > r_2 > r_4 > r_1 > r_5 > r_3$, 即未利用土地 > 林地 > 草地 > 耕地 > 居民用地 > 水域, 上述关联序表明对石羊河流域土地利用影响最大的是

未利用土地和林地,其次是草地和耕地,再次是居民用地和水域。

同理,以石羊河流域耕地为参考数列 x_0 ,林地、水域、草地、居民用地、未利用地分别为为参考数列 x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 ,进行灰色关联度分析。

$$r_1 = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & r_4 & r_5 \\ 0.938\ 5 & 0.722\ 9 & 0.902\ 1 & 0.797\ 7 & 0.935\ 0 \end{bmatrix}$$

相应的关联序为: $r_1 > r_5 > r_3 > r_4 > r_2$,上述关联序表明石羊河流域对耕地影响最大的是林地和未利用地,其次是草地,再次是居民用地和水域。

3 结论

(1) 5 期(1980,1995,2000,2006,2012 年)石羊河流域土地利用结构合理性总体上较高,均在 75% 以上,在时间上总体呈波动上升趋势。其中 2006—2012 年上升 19.54%,增幅最大,表明石羊河流域在近期治理后,土地利用结构趋于合理。

(2) 不同土地利用类型变化对土地利用结构的合理性影响不同,其土地利用结构合理性关联度依次为:未利用土地(0.973 8) > 林地(0.961 1) > 草地(0.950 4) > 耕地(0.935 2) > 居民用地(0.757 6) > 水域(0.709 0);并以石羊河流域耕地为参考数列,对影响耕地的其他土地利用结构进行了灰色关联度分析,发现对耕地影响最大的是林地(0.938 5)和未利用地(0.935 0),其次是草地(0.902 1),再次是居民用地(0.797 7)和水域(0.722 9)。

(3) 限制石羊河流域未利用土地的开发,保护林地,调整草地和耕地比例,控制居民地的过快增长和严格保护水域,对优化石羊河流域土地利用结构具有决定性的作用。

(4) 该方法计算简便,思路清晰,评价结果与石羊河流域实际结果相符,为石羊河流域第 4 轮土地利用总体规划的修编、土地利用机构的优化以及土地资源的可持续利用提供了依据。

[参 考 文 献]

[1] 张明,朱会义,何书金.典型相关分析在土地利用结构研究中的应用以环渤海地区为例[J].地理研究,2001,20(6):762-767.
[2] 朱艳莉,李越群,廖和平,等.基于灰色线性规划的土地

利用结构优化研究[J].西南师范大学学报,2009,34(2):97-102.

- [3] 王福海,周启刚,杨霏,等.三峡库区 2010 年度土地利用现状分析[J].水土保持研究,2013,20(5):225-231.
[4] 解修平,周杰,张海龙,等.基于景观生态和马尔可夫过程的西安地区土地利用变化分析[J].资源科学,2006,28(6):175-181.
[5] 杨莉,何腾兵,林昌虎,等.基于系统动力学的黔西县土地利用结构优化研究[J].山地农业生物学报,2009,28(1):24-27.
[6] 潘竟虎,石培基.基于洛伦茨曲线和分形的甘肃省土地利用空间结构分析[J].农业系统科学与综合研究,2008,24(2):252-256.
[7] 文洁,刘学录.基于改进 TOPSIS 方法的甘肃省土地利用结构合理性评价[J].干旱地区农业研究,2009,27(4):234-239.
[8] 董璟琦,杨晓华,杨海真.基于改进 TOPSIS 法的规划情景方案建立方法及应用[J].环境科学与管理,2009,34(7):162-169.
[9] 杨东,郑凤娟,潘竟虎,等.改进的 TOPSIS 法在土地利用结构合理性评价中的应用:以兰州市为例[J].土壤通报,2012,43(1):120-124.
[10] 潘竟虎,石培基.基于熵权 TOPSIS 模型的天水市土地利用结构合理性评判[J].农业系统科学与综合研究,2010,26(2):134-139.
[11] 刘忠华,于华,杨方廷.基于复杂网络理论的水网节点重要性评价研究[J].中国科学·技术科学,2014,44(12):1280-1294.
[12] 吴泽斌,刘卫东,罗文斌,等.我国耕地保护的绩效评价及其省际差异分析[J].自然资源学报,2009,34(10):1785-1793.
[13] 鲁春阳,文枫,杨庆媛,等.基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断:以重庆市为例[J].资源科学,2011,33(3):535-541.
[14] 曾建军,史正涛,陈严武,等.滇西北水源地不同混交组合林水源涵养功能评价[J].人民长江,2014,45(14):36-40.
[15] 曾建军,史正涛,刘新有,等.基于物元可拓模型的高原盆地城市水源地脆弱性评价[J].节水灌溉,2014(1):36-39,44.
[16] 曾建军,李元红,金彦兆,等. InVEST 模型在石羊河流域生态系统水源供给中的应用前景与方法[J].水资源与水工程学报,2015,26(6):83-87.