

黄土丘陵区的土地利用变化及其生态风险

徐建昭¹, 郝仕龙², 王玉英³

(1. 河南省水土保持监督监测总站, 河南 郑州 450003; 2. 华北水利水电大学
资源与环境学院, 河南 郑州 450011; 3. 南召县水土保持科学试验站, 河南 南召 474650)

摘要: [目的] 探讨土地利用方式对生态风险的影响, 为黄土丘陵区生态保护与土地利用决策提供一定依据。[方法] 通过构建土地利用方式决策分析模型及土地利用生态风险指数, 分析了上黄试区不同时期土地利用方式决策模式及其生态风险演变特征。[结果] 研究初期, 上黄试区土地利用方式模式表现为耗损型, 生态风险呈现较高风险态势。1982—2000 年, 上黄试区通过开展基本农田建设、加强农业生产管理、发展庭院经济等措施, 提高了土地的生产能力, 土地利用方式由耗损型逐步转变到半集约型, 生态风险也由较高风险过渡到中风险态势。2000—2010 年, 在国家退耕还林还草政策的推动下, 土地利用方式由半集约型转变为集约型, 生态风险也由中风险转变为较低风险。[结论] 科技因素是推动土地利用方式决策与生态风险转变的关键, 而政策因素是必要的补充。

关键词: 黄土丘陵区; 土地利用方式; 生态风险; 演变

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)05-0157-06

中图分类号: F301.2, X171.1

文献参数: 徐建昭, 郝仕龙, 王玉英. 黄土丘陵区的土地利用变化及其生态风险[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 157-162. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 05. 027; Xu Jianzhao, Hao Shilong, Wang Yuying. Land use change and ecological risk evolution in loess hilly region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 157-162. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 05. 027

Land Use Change and Ecological Risk Evolution in Loess Hilly Region

XU Jianzhao¹, HAO Shilong², WANG Yuying³

(1. He'nan Provincial General Station of Soil and Water Conservation Supervising and Monitoring, Zhengzhou, He'nan 450003, China; 2. School of Resources and Environment,

North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, He'nan 450011, China;

3. Soil and Water Conservation Experiment Station of Nanzhao County, Nanzhao, He'nan 474650, China)

Abstract: [Objective] This study was aimed to provide a basis for decision-making in terms of ecological protection and land use planning in the loess hilly region through exploring the effects of land use pattern on ecological risks. [Methods] Land use pattern model and land use ecological risk index were adopted to quantitatively analyze the land use patterns and ecological risk evolution characteristics. [Results] At the start point of the investigation, the land use pattern model showed a depletion pattern, and the ecological risk was higher in the Shanghuang experimental area. During 1982—2000, the production capacity of the land was improved by carrying out the construction of basic farmlands, strengthening the management of agricultural production, and developing the garden economy. The land use changed from depletion to semi-intensive pattern. Meanwhile, the ecological risk index declined from high-risk to middle-risk class. During 2000—2010, because of the policy conduct of returning farmlands to forests and grasslands, land use further changed from semi-intensive to intensive pattern, and the ecological risk index also reduced from middle-risk to lower-risk class. [Conclusion] Scientific and technological factors are the key that promote the changes of decision-making for land use patterns and ecological risks, whereas the policy factors are the necessary supplements.

Keywords: loess hilly area; land use pattern; ecological risk; evolution

土地利用是人类社会与自然界联系的桥梁^[1-4], 地利用从景观尺度上反映了人类对自然生态系统的
并成为人类活动作用于生态系统的重要途径^[5-8], 土 影响方式及程度, 土地利用的变化在很大程度上反映

了人类活动与自然生态条件变化的综合影响^[9]。土地利用的变化,不仅影响土地资源的结构与类型,还通过改变土地生态系统的结构和功能,影响着土地生态系统的健康与安全程度,土地利用对区域生态安全起着决定性的作用^[9-13]。随着人类社会的发展,土地利用的格局、深度和强度不断发生变化,由此对土地生态系统的各个方面产生了深刻影响^[14-16],土地利用变化引起人类或生物的生境丧失、生态系统结构和功能的紊乱、景观破坏、水土流失、干旱、泥石流等自然灾害累见不鲜。土地利用对生态和环境的作用在全球和区域环境变化研究领域受到高度关注^[17-19]。

黄土丘陵区是中国土地利用/土地覆被变化剧烈的地区之一,同时也是生态环境的脆弱区^[20-21]。该区域沟壑纵横,植被稀少,水土流失严重,同时伴有根深蒂固的滥垦、滥伐、滥牧的经营方式及广种薄收的农业生产传统,导致生态环境问题十分突出。因此,本文拟在这一地区开展土地利用与生态风险关联研究,将有助于合理利用土地资源,恢复生态环境,降低生态风险程度,提高生态系统的服务功能,实现区域可持续发展。同时,也能为区域制定生态安全条件下的土地资源利用规划提供科学依据。

1 研究区域

上黄试验区位于宁夏回族自治区南部六盘山东侧的黄土丘陵沟壑区,地处宁南泾河、清水河分水岭,本区是全国有名的“西海固”老少边穷地区,地理位置在东经 106°26′—106°30′,北纬 35°59′—36°02′,海拔 1 534.3~1 822 m,年均气温 6.9 ℃,年平均降水 420 mm,土地总面积 7.61 km²,属暖温带半干旱区。生态环境脆弱,农业生产条件差,中国科学院于 1982 年在固原市河川乡上黄村建立科研基点,进行长期的科学定位试验研究和示范。

2 数据和方法

2.1 数据来源及处理

以 1982 年由宁夏测绘局绘制的 1:1 万地形图为底图,并通过开展农户调查,编制了 1982 年土地利用图,以此作为试验区建点时的前期工作基础,1987 和 1990 年进行的彩红外摄影和编制的土地利用图等专题图件,“八五”时期进行了地面补充调查,编制的试验区土地利用图件,“九五”时期利用 1995 年彩红外航空摄影影像为信息源,采用 4D 技术,编制的试验区彩红外正射影像图,“十五”及“十一五”时期,在“九五”的基础上,对研究区土地利用进行了全面的调查,掌握了土地利用动态变化情况。因此,本研究试验区土地

利用数据及社会经济数据来源于上黄试验区不同时期总结材料及参考文献^[22]。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用方式决策

(1) 土地利用方式决策指标体系。黄土丘陵区地表条件复杂,气候差异明显,土地利用方式多种多样,土地利用决策是谋求一定目标条件下的土地利用方式,土地利用方式反映社会、经济、生态环境等各方面因素共同作用的结果,土地利用强度和土地利用效益是反映土地利用方式的 2 个方面^[23-24]。土地利用强度和土地利用效益所含指标体系及权重值见表 1。

表 1 土地利用方式决策指标体系

I 级指标	II 级指标(权重)	III 级指标	权重
土地利用强度	土地利用结构 (0.55)	人均耕地面积/hm ²	0.25
		坡耕地利用率/%	0.20
		牧草地比例/%	0.10
	土地利用程度 (0.45)	人口密度/(人·hm ⁻²)	0.20
		园地比例/%	0.05
		人均建设用地面积/hm ²	0.20
土地利用效益	自然生态效益 (0.40)	林草覆盖率/%	0.10
		侵蚀模数/(t·km ⁻² ·a ⁻¹)	0.20
		水域面积比例/%	0.10
	经济社会效益 (0.60)	人均纯收入/元	0.30
		粮食单产/(kg·hm ⁻²)	0.20
		文盲率/%	0.10

土地利用强度指数和土地利用效益指数计算公式为:

$$x = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i; \quad y = \sum_{i=1}^n y_i \omega_i \quad (1)$$

式中: x ——土地利用强度指数; x_i ——土地利用强度指标 III 级指标体系指标分值; y ——土地利用效益指数; y_i ——土地利用效益强度指标 III 级指标体系指标分值; ω_i ——III 级指标的权重。

(2) 土地利用方式分类及标准的确定。本研究将土地利用方式分类设定为 5 种类型(表 2),分别是耗损型、粗放型、过渡型、集约型和生态型,其分类标准是根据土地利用强度指数和土地利用效益指数构建的土地利用方式的分类模式。

表 2 土地利用方式类型的取值范围

土地利用方式类型	取值范围
生态型	$x < x_m, y < y_m$
集约型	$x < x_m, y \geq y_m$
过渡型	半集约型 $(x < x_m, y_m \leq y < y_n); (x_m \leq x < x_n, y \geq y_n)$
	半粗放型 $(x > x_n, y \geq y_n); (x_m \leq x < x_n, y_n > y \geq y_m)$
粗放型	$(x_m \leq x < x_n, y < y_m); (x_n \leq x, y_m \leq y < y_n)$
耗损型	$x \geq x_n, y < y_m$

注: x_m, x_n, y_m, y_n 表示界限值。

根据统计学的置信区间估计,土地利用强度指数和土地利用效益指数数据中,有 50%的土地利用强度指数和土地效益指数分别在区间 $[\bar{x}-0.67\delta_x, \bar{x}+0.67\delta_x]$ 和 $[\bar{y}-0.67\delta_y, \bar{x}+0.67\delta_y]$ 之中^[28],其中 \bar{x} , \bar{y} 为土地利用强度指数和土地利用效益指数的平均值, δ_x , δ_y 为土地利用强度指数和土地利用效益指数的方差,5种土地利用方式的取值范围见表 2。

2.2.2 生态风险指数 土地利用类型与生态风险有着直接的联系,为构建土地利用与生态风险之间的联系,本研究利用土地利用类型的面积比重,构建了一个生态风险指数 P ,用于描述研究区生态风险的相对大小,计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{S} \times \omega_i \quad (2)$$

式中: i ——各土地利用的类型; S_i ——第 i 种土地利用类型的面积(hm^2); S ——研究区土地利用总面积(hm^2); ω_i ——第 i 种土地利用类型所反映的生态风险强度参数。

按照不同土地利用类型对土壤侵蚀和生态风险的作用程度,根据上黄试区实际情况,通过参考相关文献^[25-29]及咨询相关专家确定不同土地利用类型的生态风险强度参数,最终将各土地利用类型的生态风险强度参数依次设定为:平耕地(台地、梯田)为 0.32,坡耕地为 1.0,有林地 0.12,未成林造林地为 0.28,灌木林地 0.16,果园为 0.25,天然草地 0.16,人工草地 0.53,水体为 0.16,建设用地为(包括居民点用地和交通用地)0.72,未利用土地 0.82。在此基础上,根据研究区实际情况,将研究区生态风险值

划分为 5 个级别,分别是高风险(>0.6),较高风险($0.5\sim0.6$),中风险($0.4\sim0.5$),较低风险($0.3\sim0.4$),低风险(<0.3)。

3 结果与分析

3.1 土地利用方式变化分析

3.1.1 土地利用方式指标体系动态变化分析 上黄试区土地利用强度指标体系数据不同时期差异明显(表 3),在土地利用结构方面,人均耕地面积和坡耕地保有率呈下降趋势,而牧草地比例呈不断上升态势,研究初期,人均耕地面积较大,达到 0.77 hm^2 ,2010 年,人均耕地面积下降至 0.14 hm^2 ,下降幅度达 81.82%,这一过程主要表现为坡耕地面积不断减少,坡耕地面积保有率由研究初期的 85.45%下降至 2010 年的 17.80%。与此同时,牧草地面积比重由研究初期的 1.33%提升至 2010 年的 4.19%,增长了 2.15 倍。特别是 2000—2005 年期间,这期间是土地利用结构变化的突变点。在土地利用程度方面,人口密度、园地比例及人均建设用地面积指标都呈逐步增长态势,说明上黄试区土地利用程度也逐步提升。

研究区土地利用效益在整个研究期间呈现较好的变化趋势,在自然生态效益方面,林草覆盖度及水域面积比例相对研究初步都有较大幅度的提升,而土壤侵蚀模数也逐年下降,说明研究区生态环境质量不断提高。在经济社会效益方面,农民人均纯收入及粮食单产的提升,说明研究区基本摆脱贫困,粮食保障能力不断提升,文盲率指标呈逐年下降趋势,说明农村教育意识明显提升。

表 3 上黄试验区不同时期土地利用方式指标数值变化

I 级指标	II 级指标	III 级指标	1982 年	1985 年	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年
土地利用强度	土地利用结构	人均耕地面积/ hm^2	0.77	0.53	0.51	0.47	0.44	0.15	0.14
		坡耕地保有率/%	85.45	81.33	75.54	71.70	69.46	16.37	17.10
		牧草地比例/%	1.33	1.54	1.81	2.52	2.67	4.19	4.19
	土地利用程度	人口密度/(人· km^{-2})	47.7	56.6	60.1	64	67.3	70.17	70.96
		园地比例/%	0.05	0.07	0.2	0.63	1.21	1.46	1.46
		人均建设用地面积/ hm^2	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.08
土地利用效益	自然生态效益	林草覆盖度/%	50.45	55.61	53.86	53.27	56.98	75.48	75.48
		土壤侵蚀模数/($\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)	6 000	5 000	3 000	2 500	2 000	1 200	1 000
		水域面积比率/%	0.736	0.736	1.656	1.656	1.656	1.656	1.656
	经济社会效益	人均纯收入/元	42	194	517	964	1846	2062	2241
		粮食单产/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	645	1 017	1 320	1 650	2 295	3 300	3 300
		文盲率/%	60	46	25	10	5	2	2

3.1.2 土地利用方式类型动态变化分析 根据上黄试区不同时期土地利用方式各指标数据(表 3),经归一化处理,采用公式 1 计算得到不同时期土地利用

强度指数和土地利用效益指数(表 4),经方差计算得到土地利用强度指数和土地利用效益指数的界限值,土地利用强度指数的界限范围为 $0.68\sim0.76$,土地

利用效益指数的界限范围为 0.34~0.63,据表 2 划分不同时期土地利用方式决策模式(表 4),说明研究初期土地利用方式为耗损型,土地利用极为不合理,从整个研究时期来看,土地利用方式从不合理向合理转变,从粗放型向集约型转变,反映了不同时期农户土地利用观念的转变。

表 4 上黄试验区不同时期土地利用方式决策模式

年份	土地利用强度	土地利用效益	土地利用方式
1982	0.786	0.113	耗损型
1985	0.746	0.225	粗放型
1990	0.736	0.413	半粗放型
1995	0.747	0.550	半粗放型
2000	0.760	0.740	半集约
2005	0.628	0.970	集约型
2010	0.627	1.000	集约型

3.2 土地利用生态风险分析

土地利用类型变化会引起地表覆被变化进而对区域生态环境产生重要影响,上黄试区在整个研究期间内,不同土地利用类型都有不同程度的变化(表 5),其中耕地、林地人工草地的数量变化较大,在耕地方面,耕地数量从研究初期的 279.7 hm² 下降至 2010 年的 77.8 hm²,减少了 201.9 hm²,其主要表现为坡耕地数量的下降,坡耕地面积从研究初期的 239 hm² 减少至 2010 年的 13.3 hm²,减少了 225.7 hm²,坡耕地减少数量大于耕地的减少数量,主要原因是部分坡耕地转变为梯田。林地数量从 1982 年的 9.3 hm² 增长到 2010 年的 238.3 hm²,增加了 229 hm²,工人草地从研究初期的 5 hm² 增加到 2010 年的 116.8 hm²,增加了 111.8 hm²。

表 5 上黄试验区不同时期土地利用变化

土地利用类型		1982	1985	1990	1995	2000	2005	2010
耕 地	坡耕地	239	186	177	165.5	155.6	13.3	13.3
	梯田	0	7.1	18.1	29	39	39	39
	台地	40.7	35.6	39.2	36.3	29.4	27.1	25.5
	小计	279.7	228.7	234.3	230.8	224	79.4	77.8
林 地	灌木林地	4	34.9	36.2	103	103	103	103
	未成林造林地	0	24.1	25.2	25.2	48.1	128.1	128.1
	有林地	5.3	8.5	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
	小计	9.3	67.5	68.6	135.4	158.3	238.3	238.3
牧草地	天然草地	369.6	220.8	300	230.4	229	219.3	219.3
	人工草地	5	135	42	39.6	46.3	115.8	116.8
	小计	374.6	355.8	342	270	275.3	336.1	336.1
居民点用地	3.9	7.5	8.2	8.9	9.2	9.6	9.6	
交通用地	10.1	11.7	13.8	19.2	20.3	31.5	31.5	
水域	5.6	5.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	
园地	0.4	0.5	1.5	4.8	9.2	11.1	12.7	
未利用地	77.4	93.7	80	79.3	52.1	42.4	42.4	

随着土地利用类型的变化,上黄试区生态风险指数整体呈现良好的变化态势(图 1),在整个研究期间,上黄试区生态风险呈现由较高风险向较低风险转变,研究初期,上黄试区生态风险指数为 0.512,达到较高风险级别,1985 年生态风险指数有所上升,达到 0.541,之后,生态风险指数呈逐步下降态势,2005—2010 年,研究区生态风险相对较低。

3.3 土地利用方式决策与生态风险演变特征

研究初期,上黄试区土地利用方式为耗损型,其主要表现特征为土地利用类型以耕地草地为主,占试区土地总面积的 85.98%,其中,耕地以坡耕地为主,占耕地面积的 85.45%,自然环境恶劣,土壤侵蚀为强度侵蚀,土壤肥力较差,粮食产量低,仅为 645

kg/hm²,经济发展的严重滞后,农业生产水平低下,在人口增长的压力驱动下,坡地开荒成为当时农户维持生计的主要方式,形成了坡地开荒—土地生产力下降—贫困加剧—坡地开荒的恶性循环局面,导致该地区土地资源利用方式表现为耗损型,生态风险也呈较高风险态势。1982 年,上黄试区建立科研基点后,为了改善当地的生态环境,科技工作者指导农户大面积种植人工草地,并对部分陡坡耕地实施了退耕还林措施,至 1985 年,上黄试区人草地面积达到 135 hm²,人均纯收入有所提升,但还处于贫困线以下,粮食生产能力有所提升,但还处于较低水平,土地利用方式也由最初的耗损型转为粗放型,在生态风险方面,由于人工草地的大量增加,增加了人为因素对试

区自然环境的干扰程度,导致生态风险依然处于较高风险状态,由于上黄试区气候干旱,人工草地在 1985 年以后衰败,未能恢复,人工草地大部分演变为天然草地,说明生态经济治理需要根据实际情况,盲目治理会导致失败的后果,科学治理是生态经济治理的关键。

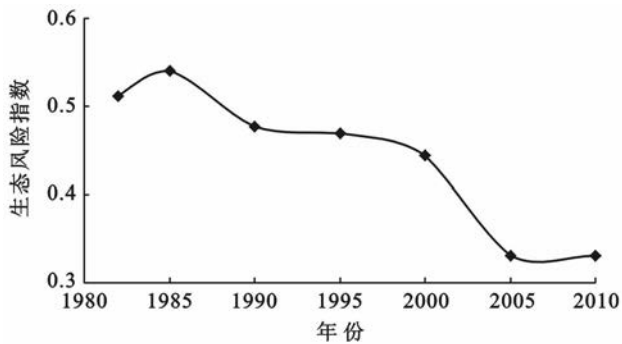


图 1 上黄试验区不同时期生态风险指数变化特征

1985—2000 年,上黄试区开展了科学治理,其主要措施是首先解决粮食问题,通过实施坡改梯工程,对部分缓坡耕地修筑梯田,建设基本农田,经过 3 个“五年”计划的实施,梯田面积实现了从无到有到 2000 年,梯田面积达到 39 hm²,在粮食生产方面,通过引种良种,地膜覆盖等技术,实现了在耕地数量下降的同时,粮食单产有明显的提升,2000 年粮食单产由 1982 年的 645 kg/hm² 提高到 2000 年的 2 295 kg/hm²,增长近 2.6 倍,坡耕地面积也大量减少,由研究初期的 239 hm² 减少至 2000 年 155.6 hm²,林地面积也由研究初期的 9.3 hm² 增加至 2000 年 158.3 hm²。在提高农户经济收入方面,主要措施是发展舍施养殖和扩大园地面积,土地集约度较高的园地面积由 1982 年的 0.4 hm² 增加至 9.2 hm²,这些措施提升了试区农业经济产值,促进了农业生产力的提升,土地利用方式也由最初的耗损型,逐步转变到半集约型,与此同时,生态环境也逐步好转,生态风险也由最初的较高风险转变为中风险状态。

2000—2005 年,这期间,上黄试区土地利用波动较大,2002 和 2003 年上黄试区实施了大面积的退耕还林还草工程,在政策因素的驱动下,坡耕地面积减少 142.3 hm²,占这期间坡耕地面积的 91.45%,人均耕地面积由 0.44 hm² 下降至 2005 年的 0.15 hm²,相应试区的林地及草地面积也分别增加了 80, 60.8 hm²,2005—2010 年,各土地利用类型基本没有变化,这期间,由于大面积坡耕地转变为林地和草地,增强了农户土地集约利用意识,通过增加投入使耕地产量进一步提高,粮食单产由 2000 年的 2 295 kg/hm² 增

长到 2005 年的 3 300 kg/hm²,园地面积不断增加,据试区实地调查,单位面积的园地经济收入是耕地的 6~20 倍,因此,在退耕还林还草政策驱动下,上黄试区土地利用方式由半集约型转变为集约型,人均收入也由 2000 年 1 846 元增长至 2010 年的 2 241 元,生态建设也取得了丰硕的成果,生态风险也由中度风险转变为较低风险(表 6)。

表 6 上黄试验区不同时期土地利用方式与生态风险变化

年份	土地利用方式	生态风险程度
1982	耗损型	较高风险
1985	粗放型	较高风险
1990	半粗放型	中风险
1995	半粗放型	中风险
2000	半集约	中风险
2005	集约型	较低风险
2010	集约型	较低风险

4 讨论与结论

4.1 结论

(1) 随着人类社会的不断发展,研究区域农业生产方式历经深刻的历史变革,其演变过程主要是由最初的原始农耕为主的农业生产方式,历经了以游牧为主、农牧兼营的发展过程,到现在主要以农耕为主的农业生产方式,但土地利用粗放的经营模式没有发生根本的变化,土地利用方式对区域生态环境的影响越来越深刻,到研究初期,人类对土地资源的掠夺式经营模式已对区域生态环境带来了极大的风险。

(2) 从 1982—2000 年,上黄试验区历经了从“六五”时期到“九五”时期的四个五年计划,广大科研工作人员对这一区域生态环境治理开展了深入的研究,先后提出了“深施化肥”、“草灌先行”、“大力发山区窑窑农业”、“小麦改制与高产栽培”、“三化二提高”以及“大力发展庭园经济”等多种农业发展措施,初步解决了研究区“干旱、低产、贫困和荒漠化加剧”的难点、热点问题。土地利用方式也从研究初期的耗损型转变为 2000 年的半集约型,生态风险程度有所下降。

(3) 从 2000—2010 年,在政策因素的驱动下,上黄试验区开展了大力的退耕还林还草措施,大部分坡耕地转变为林地和草地,生态用地增加明显,更多的用地得到了休养生息,生态风险得到了有效的改善,另一方面,农户通过加强对现有土地的投入,提高了土地集约化水平,单位面积粮食生产及收益得到了明显的提升,土地利用方式也由半集约转为集约经营模式。这一时期,土地利用方式和生态风险态势都发生

了质的变化,说明政策因素驱动能在较短时间内实现土地利用方式的转变,实现区域生态环境向好的方面转变。

4.2 讨论

(1) 土地利用方式是土地经营者基于不同条件下的需求和综合效益的考虑,并对不同土地利用方式做出决策,广大科技工作者及当地政府,要积极参与农户土地利用方式决策,有利于实现区域土地资源的优化配置,促进区域土地利用经济、社会和生态效益的提升,现实区域土地资源的可持续利用。

(2) 生态风险评价作为区域生态环境评价的重要方法,属于生态学与风险学的交叉领域,是目前学术界研究的热点问题之一,目前,还没有一种直接有效的评估方法。本研究从土地利用的视角尝试建立区域生态风险模型,进行土地利用生态风险研究,为区域生态风险评价提供了一种有效的方法,区域生态风险程度大小取决于及各土地利用类型生态风险强度参数的量化。因此,科学量化不同土地利用类型的生态风险强度参数是关系评价结果的关键,这还需进一步开展相关的科学研究。

[参 考 文 献]

- [1] 李秀彬. 土地利用变化的解释[J]. 地理科学进展, 2002, 21(3):195-203.
- [2] 李灿, 张凤荣, 朱泰峰, 等. 基于熵权 TOPSIS 模型的土地利用绩效评价及关联分析[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5):217-227.
- [3] 肖思思, 吴春笃, 储金宇. 1980—2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(23):1-11.
- [4] 吴莉, 侯西勇, 徐新良, 等. 山东沿海地区土地利用和景观格局变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5):207-216.
- [5] 张虹波, 刘黎明. 土地资源生态安全研究进展与展望[J]. 地理科学进展, 2006, 25(5):77-85.
- [6] 喻峰, 李晓兵, 王宠, 等. 皇甫川流域土地利用变化与生态安全评价[J]. 地理学报, 2006, 61(6):645-653.
- [7] 林佳, 宋戈, 宋思铭. 景观结构动态变化及其土地利用生态安全:以建三江垦区为例[J]. 生态学报, 2011, 31(20):5918-5927.
- [8] 曹新向, 郭志永, 雒海潮. 区域土地持续利用的生态安全研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2):192-195.
- [9] 史培军, 潘耀忠, 陈晋, 等. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4):293-299.
- [10] 韩蕾, 孔祥斌, 郭洪峰, 等. 西南山区生态敏感区土地生态安全评价:以秀山县为例[J]. 水土保持研究, 2015, 22(1):229-234.
- [11] 谢花林. 土地利用生态安全格局研究进展[J]. 生态学报, 2008, 28(12):6305-6311.
- [12] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5):260-266.
- [13] 李春燕, 南灵. 陕西省土地生态安全动态评价及障碍因子诊断[J]. 中国土地科学, 2015, 29(4):72-81.
- [14] 周启刚, 张晓媛, 王兆林. 基于正态云模型的三峡库区土地利用生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(23):289-297.
- [15] 叶长盛, 冯艳芬. 基于土地利用变化的珠江三角洲生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19):224-232.
- [16] 孙洪波, 杨桂山, 苏伟忠, 等. 沿江地区土地利用生态风险评价:以长江三角洲南京地区为例[J]. 生态学报, 2010, 30(20):5616-5625.
- [17] 荣联伟, 师学义, 高奇, 等. 黄土高原山丘区土地生态安全动态评价及预测[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3):210-216.
- [18] 曾永年, 靳文凭, 王慧敏, 等. 青海高原东部土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4):185-194.
- [19] 袁艺, 史培军, 刘颖慧, 等. 快速城市化过程中土地覆盖格局研究:以深圳市为例[J]. 生态学报, 2003, 23(9):1832-1840.
- [20] 董孝斌, 高旺盛. 黄土高原丘陵沟壑区典型县域的能值分析[J]. 水土保持学报, 2003, 17(1):89-92.
- [21] 朱会义, 徐勇. 黄土高原区流域生态环境建设的决策信息需求[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4):15-18.
- [22] 郝仕龙, 李春静. 黄土丘陵区土地利用/覆盖变化对生态承载力的影响:以固原上黄试验区为例[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2):135-138.
- [23] 聂艳, 于婧, 胡静, 等. 基于系统协调度的武汉城市土地集约利用评价[J]. 资源科学, 2009, 31(11):1934-1939.
- [24] 韩璐, 谢俊奇. 基于 WNN 模型的土地利用方式决策研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8):1395-1403.
- [25] 赵岩洁, 李阳兵, 邵景安. 基于土地利用变化的三峡库区小流域生态风险评价:以草堂溪为例[J]. 自然资源学报, 2013, 28(6):944-956.
- [26] 杨永峰, 孙希华, 王百田. 基于土地利用景观结构的山东省生态风险分析[J]. 水土保持通报, 2010, 30(1):232-235.
- [27] 莫宏伟, 任志远. 风沙过渡区土地生态价值及生态风险动态研究:以陕北神木县为例[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2):357-362.
- [28] 吴文婕, 石培基, 胡巍基. 基于土地利用/覆被变化的绿洲城市土地生态风险综合评价:以甘州区为例[J]. 干旱区研究, 2012, 29(1):122-128.
- [29] 宫继萍, 石培基, 魏伟, 等. 基于土地利用变化的民勤县土地生态风险研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(5):1029-1035.