

江淮分水岭水土流失区域生态环境质量评价

李鹏¹, 沈益民², 王涛¹, 王崇¹, 吴见¹

(1. 滁州学院 地理信息与旅游学院, 安徽 滁州 239000; 2. 成都工业学院, 四川 成都 611730)

摘要: 以江淮分水岭部分为研究对象, 选取植被指数、干度指数、湿度分量、地表温度分别表示绿度、干度、湿度和热度等指标, 结合主成分分析法构建了生态系统质量综合评价指数(CEQEI), 对研究区的生态环境状况进行了综合评价。结果表明, 研究区 CEQEI 的均值从 2000 年的 0.357 增长至 2005 年的 0.529, 继续增长至 2010 年的 0.615, 说明该区生态环境整体状况不断改善。研究表明 CEQEI 能够较为系统地对研究区的环境状况进行评价。

关键词: 生态环境; 遥感; 江淮分水岭

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)06-0134-06

中图分类号: X171.1, S157.1

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.033

Evaluation of Ecological Environment Quality of Soil Erosion Area in Jianghuai Watershed

LI Peng¹, SHEN Yi-min², WANG Tao¹, WANG Dong¹, WU Jian¹

(1. Geography Information and Tourism College, Chuzhou University, Guiyang, Chuzhou 239000, China;

2. Chengdu Technological University, Chengdu, Sichuan 611730, China)

Abstract: Jianghuai watershed area was selected as the research object. The vegetation index, dryness index, humidity component and surface temperature were selected to express green degrees, dryness, humidity and heat indexes. Comprehensive ecological quality evaluation index(CEQEI) was built in combination with principal component analysis to evaluate ecological environment condition comprehensively in the study area. The results showed that the average of CEQEI growth from 0.357 in 2000 to 0.529 in 2005, and it continued to grow to 0.615 in 2010. It indicated that the whole situation of ecological environment improved continually, and CEQEI could be used to evaluate the environmental conditions systematically in the study area.

Keywords: ecological environment; remote sensing; Jianghuai watershed

江淮分水岭地区处于安徽省中部, 主要包括六安、合肥、巢湖、滁州、安庆市大部分地区, 是安徽省水土流失较严重的地区, 仅次于皖南山区和大别山区。江淮分水岭地区土壤总体上持水能力差、水土流失严重, 填平了库塘, 堵塞了河道, 减少了库塘与河道的蓄水能力, 增加了旱灾的发生, 并且水质性缺水问题较突出、地表水污染较严重, 减少了有限水资源的可用量。在气候变化和人为因素等影响下, 江淮分水岭地区的湿地面积和类型比例不断发生变化, 以至于影响了该区整体的生态环境。长期以来, 江淮分水岭地区的生态环境不被人们重视, 干扰和破坏严重, 导致湿地严重萎缩, 生态功能衰退或丧失, 引发了严重的环境问题。为改善江淮分水岭地区的生态环境, 1997 年底省委省政府做出了关于加快江淮分水岭易旱地

区综合治理开发的决定, 制定了《江淮分水岭易旱地区综合治理开发规划纲要》。在这种背景下, 掌握江淮分水岭地区的生态环境质量整体情况, 对于提出防御旱涝和合理开发利用生态资源的对策等方面都具有重要意义。

基于江淮分水岭地区生态脆弱性的特征, 如何科学有效地做好生态环境调查、保护, 是保障该地区可持续发展的关键^[1-2]。目前, 掌握该区的生态环境质量状况已迫在眉睫, 国外已经围绕生态环境质量变化、退化生态系统恢复与重建、生态资源开发与管理、生态环境质量评价等^[3-4]领域做了广泛深入的研究, 研究方法已由定性描述, 发展到定位、定量研究, 且数学模型和 3S 技术在生态环境质量研究中已有成熟的应用^[5]。本研究所选取的研究对象区域, 在近 10 a

收稿日期: 2013-10-13

修回日期: 2013-12-13

资助项目: 安徽省高校省级科学研究项目“适宜雨洪地表过程模拟的高逼真城市 DEM 研究”(KJ2011Z274); 滁州学院科学研究项目(2010kj023B); 四川省科技厅应用基础计划项目(2013JY0059)

作者简介: 李鹏(1980—), 男(汉族), 安徽省全椒县人, 硕士, 讲师, 主要从事资源监测与评价研究。E-mail: xiangfeidewujian@126.com。

来受到当地政府的高度重视,实施了退耕还林还草、水土保持、荒漠化治理等工程,该区的生态环境也随之逐年好转,但在该区域还缺少一定的评价方法或手段来揭示生态环境的具体变化情况。因此,积极探索该区域的生活环境质量遥感评价方法显得非常重要。本研究以江淮分水岭为试验区,以植被指数、干度指数、湿度分量、地表温度 4 个参数为评价指标,构建生态系统质量综合评价指数,拟对研究区的生态环境状况进行综合评价,同时为其他区域或相关研究提供参考。

1 研究区概况及数据预处理

1.1 研究区概况

江淮分水岭地区位于安徽省中部丘陵、浅山区,包括合肥、滁州、六安、蚌埠、淮南、巢湖等 6 市 22 县(市、区)400 多个乡镇,总面积达 $4.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中耕地面积占 $1.30 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。该地区南北方向上,向南、北地势均逐渐降低,中部高,东西方向上,东部高于中部,中部地区地势低洼,西部地区逐渐向大别山区过渡,地势升高快。地貌类型以丘陵为主,谷地、丘陵相对高差一般不超过 200 m。土壤板结,自然淋溶作用强,持水性能差。由于受地形、地貌、地质、土壤、气候等自然因子的限制,该地区易旱、缺水、土壤不肥沃,干旱灾害频发,农业生产极不稳定,经济发展相对滞后,生态环境保护与区域经济发展矛盾突出。

1.2 数据预处理

选取覆盖江淮分水岭部分地区的 TM 影像数据(所用波段为 1,2,3,4,5,6,7),影像获取时间为 2000 年 7 月 5 日、2005 年 6 月 29 日和 2010 年 7 月 8 日,影像的季相基本相同,保证了研究结果的可比性,影像无云,质量好。首先,采用经验线性法对 TM 影像进行大气校正;然后利用 1:5 万地形图对大气纠正后的 TM 影像进行几何纠正,不同时相影像之间的配准采用二次多项式和最近邻象元法,纠正均方根误差小于 0.3 个像元,精度满足要求。各波段特性为:TM₁ 对水体的穿透力强,对叶绿素及其浓度反映敏感,有助于判别水深、泥沙分布、识别植被等;TM₂ 对应于健康植物的绿色反射峰值区域,对健康植被识别力强;TM₃ 为叶绿素的主要吸收波段,反映植被叶绿素吸收能力好,可识别土壤边界,利于地貌、土壤、植被、岩性等探测;TM₄ 对应于植被的叶绿素反射峰值,用于生物量、作为长势、作物估产、地物含水量等估测;TM₅ 处于水分吸收带,对地物含水量反映敏感;TM₆ 记录了地物表面发射的热辐射量,能够监测与人类活动有关的热特性;TM₇ 处于水的强吸收带,水体呈黑色,利用岩石光谱反射及地质探矿等。

2 指数选取及综合评价指数

2.1 指标选取

影响生态环境质量的因素纷繁复杂,最为直观的因素包括了热度、湿度、绿度、干度等,因此在生态系统质量评价时,常常以这 4 个因素作为评价指标^[6-7]。采用遥感影像进行生态系统质量进行评价时,同时还要考虑指标的可获取性,由于部分指标不能从遥感影像上直接获取,因此选取植被指数、干度指数、湿度分量、地表温度来分别表示绿度、干度、湿度和热度指标。由此,可以建立包含植被指数、干度指数、湿度分量、地表温度 4 个参数的生态系统质量综合评价指数(comprehensive ecosystem quality evaluation index, CEQEI),即:

$$\text{CEQEI} = f(I_V, \text{NDSI}, \text{WET}, \text{LST}) \quad (1)$$

式中: I_V ——植被指数; NDSI——干度指数; WET——湿度分量; LST——地表温度。

2.1.1 植被指数(I_V) 植被盖度遥感监测的方法很多,植被指数也多种多样,其中归一化植被指数 NDVI 是当前应用最为广泛的植被指数,同时该指数也被证明与植被状况具有较好的相关关系^[8]。因此,选取 NDVI 来定量表达绿度指标,其计算公式为:

$$\text{NDVI} = (\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3) \quad (2)$$

式中: ρ_3, ρ_4 ——TM 影像波段 3 和 4 的反射率。

2.1.2 湿度分量(WET) 在遥感影像中,不能直接提取湿度信息,因此需要对影像进行缨帽变换,变换后获取湿度、绿度、亮度分量,这 3 个分量能够直接反映地表物理参量^[9-10],在生态环境质量评价中得到了广泛的应用^[11]。湿度分量能够直接反映植被和土壤的湿度,若以 Landsat TM 影像为例,可以采用公式(3)计算湿度指标^[9]:

$$\text{WET} = 0.0315\rho_1 + 0.2021\rho_2 + 0.3102\rho_3 + 0.1594\rho_4 - 0.6806\rho_5 - 0.6109\rho_7 \quad (3)$$

式中: $\rho_i (i=1, \dots, 5, 7)$ ——TM 影像相应波段的反射率,将各波段的反射率值代入公式(3)即可获取 WET 值影像。

2.1.3 干度指数(NDSI) 对于水土流失区的生态环境质量评价,常以裸土指数表示干度指数,由于建筑用地也反映了地表的干度^[1],因此当研究区的建筑用地较多时,可以将建筑指数(ABI)^[12]和裸土指数(IS)^[13]进行组合,计算干度指数 NDSI:

$$\text{NDSI} = (I_S + \text{ABI}) / 2 \quad (4)$$

式中: $\text{ABI} = (\rho_5 - \rho_4) / (\rho_5 + \rho_4)$, $I_S = (0.433\rho_2 + 0.632\rho_3 + 0.586\rho_4 + 0.264\rho_5)$,将各波段的反射率值代入 ABI 和 IS 公式,即可获取相应指数。

2.1.4 地表温度(LST) 目前,城市热岛效应之类的热污染对人们的健康生活已经造成了较大的影响,逐渐引起了国内外专家学者的广泛关注,热度这一指标对评价生态环境质量也是必要的^[1]。由于热度指标无法从影像中直接获取,因此选取地表温度对热度指标进行表示,其计算公式为:

$$LST = T / [1 + (\lambda T / z) \ln \epsilon] \quad (5)$$

式中: T ——亮温(K),可以根据 Landsat 用户手册的模型进行计算^[14]; λ ——TM 影像波段 6 的中心波长($\lambda = 11.5 \mu\text{m}$); $z = 1.438 \times 10^{-2} \text{ mK}$; ϵ ——地表比辐射率,是地表温度的基本参数,主要取决于地表的地质结构,其经验公式的求算为: $\epsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI})$ 。其中,NDVI 值位于 0.157~0.727 之间,NDVI 小于 0 主要是水,地表比辐射率为 0.995,NDVI 位于 0.7~0.157 之间一般是城市水泥地表,地表比辐射率近似为 0.923,NDVI 大于 0.727 的可以看做植被完全覆盖,地表比辐射率为 0.986,具体参见文献^[15]。

2.2 生态系统质量综合评价指数

在进行生态环境质量评价时,采用任何一个单一指标都难以准确全面地反映生态环境的实际情况,而当多个指标共同起作用时,通过赋予特定的权重值来确定各指标在生态环境质量评价中所起的作用其实施难度较大。纵然采用行业标准中国家环保部制定的统一的权重值^[16],也因个人和区域不同,执行起来也难以指导实际问题的解决^[4-5]。

将采用上述 4 个指标的组合进行生态环境质量评价,以往研究常采用一定的权值与各指标相乘再求和^[2,4],从而获取综合评价结果,然而这种方法的人为主观因素较强,影响评价结果的客观性。为避免这一情况,本研究采用主成分分析(PCA)法对数据进行处理。该方法属于一种数据压缩技术,能够通过正交线性变换将多个变量中的少数重要变量挑选出来,即在少数的特征分量上对多维信息进行集中,且第一个主分量是方差贡献最大的新变量。因此,根据主成分变换技术对 4 个变量进行处理,该技术的主要优点是能够根据数据自身的特性,即各指标对各主分量的贡献度,客观地计算各变量的权重值,在一定程度上避免了人为主观因素的影响。

由于各指标之间的量纲不统一,若采用原始值进行主成分分析,会造成指标间的权重失调,因此有必要先对各指标进行标准化处理,将其转换为无量纲数据,统一取值 0~1。各指标标准化采用的公式为:

$$N = (N_i - N_{\min}) / (N_{\max} - N_{\min}) \quad (6)$$

式中: N ——标准化处理以后的数值; N_i ——像元 i

处的指标值; N_{\max} ——指标 i 的最大值; N_{\min} ——指标 i 的最小值。标准化处理后,对不同时期影像中获取的 4 个指标进行主成分分析,分析结果详见表 1。

表 1 研究区不同年份 4 个指标主成分分析

年份	指标	第 1 主成分 (PC1)	第 2 主成分 (PC2)	第 3 主成分 (PC3)	第 4 主成分 (PC4)
2000	NDVI	0.795	-0.326	0.187	0.114
	WET	0.572	0.48	-0.638	-0.314
	NDSI	-0.829	-0.263	0.435	-0.138
	LST	-0.641	-0.049	-0.372	0.114
	特征值	0.724	0.031	0.005	0.002
	贡献率/%	95.01	4.07	0.66	0.26
2005	NDVI	0.811	0.431	-0.256	-0.218
	WET	0.706	-0.291	0.423	0.197
	NDSI	-0.545	0.788	-0.354	0.603
	LST	-0.489	0.506	0.783	-0.395
	特征值	0.697	0.084	0.012	0
	贡献率/%	87.89	10.59	1.51	0
2010	NDVI	0.756	0.699	0.268	0.387
	WET	0.648	0.059	-0.169	0.821
	NDSI	-0.737	0.357	0.518	-0.462
	LST	-0.552	-0.419	-0.089	0.246
	特征值	0.703	0.059	0.015	0.003
	贡献率/%	90.13	7.56	1.92	0.38

注:NDVI、WET、NDSI、LST 分别为植被指数、干度指数、湿度指数和地表温度。下同。

能够对主成分分析获取的特征分量进行合理的现象解释,是主成分分析成功与否的主要表征。由表 1 可知,各年份第 1 主成分(PC1)特征值贡献率均在 87%以上,代表了各指标的绝大部分信息;在第 1 主成分(PC1)中,4 个指标均表现稳定,NDVI 和 WET 对生态环境质量均有正面影响,其值越高说明植被覆盖和土壤水分越高,即生态环境越适合生物生存,在 PC1 中均呈现正值,其他主成分中正负均有,表现不稳定;而 NDSI 和 LST 对生态环境质量均有负面影响,其值越高说明土壤干旱程度和地表温度越高,越不适宜多数生物的生存,在 PC1 中均呈现负值,其他主成分中正负均有,表现不稳定;在 3 期影像主成分分析中,指标 NDVI 与 WET 在 PC1 中始终是正值,表明这两个指标与生态环境的变化呈正相关关系,而指标 NDSI 与 LST 在 PC1 中始终是负值,表明这两个指标与生态环境的变化呈负相关关系,实际情况正好也支持了这种分析结果。综上所述,第 1 主成分(PC1)不仅能够代表各指标的绝大部分信息,而且可以对其代表的生态现象进行合理的解释,能够用于生态系统质量综合评价指数的构建。

3 生态环境质量评价

3.1 不同年份生态环境质量变化分析

首先,分别获取 2000,2005 和 2010 年影像的 4 个指标影像,在标准化处理的基础上,对 4 个指标影像进行叠加,对叠加后的新的 4 个波段影像执行主成分分析,从而获取不同年份的综合指数值。为了便于理解,可以采用 1 减去 PC1 值得方式对主成分分析结果进行处理,使得 PC1 值越大所代表的生态条件越好,从而获取初始生态系统质量综合评价指数 $CEQEI_0$,具体计算方式为:

$$CEQEI_0 = 1 - \{PC1[f(NDVI, WEI, NDSI, LST)]\} \quad (7)$$

为便于比较,同样可以对 $CEQEI_0$ 执行标准化处理:

$$CEQEI = \frac{CEQEI_0 - CEQEI_{0\min}}{CEQEI_{0\max} - CEQEI_{0\min}} \quad (8)$$

式中: $CEQEI_{0\min}$, $CEQEI_{0\max}$ ——初始生态环境评价指数的最小和最大值; $CEQEI$ ——生态系统质量综合评价指数,取值 0~1, $CEQEI$ 值越接近 1,说明生

态环境质量越好,反之,越差。图 1 为最终获取的不同时期的生态环境质量评价指数图。对不同时期的各评价指标和 $CEQEI$ 的均值进行统计(表 2)。从表 2 可知,NDVI 在 2000 年的均值为 0.482,在 2005 年略有提高,为 0.499,到 2010 年增长到 0.635,WET 的均值从 2000 年的 0.581 增长至 2010 年的 0.703,NDVI 和 WET 对生态环境质量均有正面影响,因此这两个指标均值的增长将会在一定程度上改善生态环境。NDSI 的均值从 2000 年的 0.627 下降至 2010 年的 0.354,LST 的均值从 2000 年的 0.513 下降至 2010 年的 0.281,NDSI 和 LST 对生态环境质量均有负面影响,因此这两个指标均值的下降也在一定程度上改善了生态环境。 $CEQEI$ 的均值从 2000 年的 0.357 增长至 2005 年的 0.529,2010 年继续增长至 0.615,说明生态环境整体状况不断改善,符合各指标的总体变化情况。从表 2 也不难发现,单个评价指标很难全面评价生态环境质量,而生态系统质量综合评价指数 $CEQEI$ 能够较为系统地与研究区的环境状况进行评价。

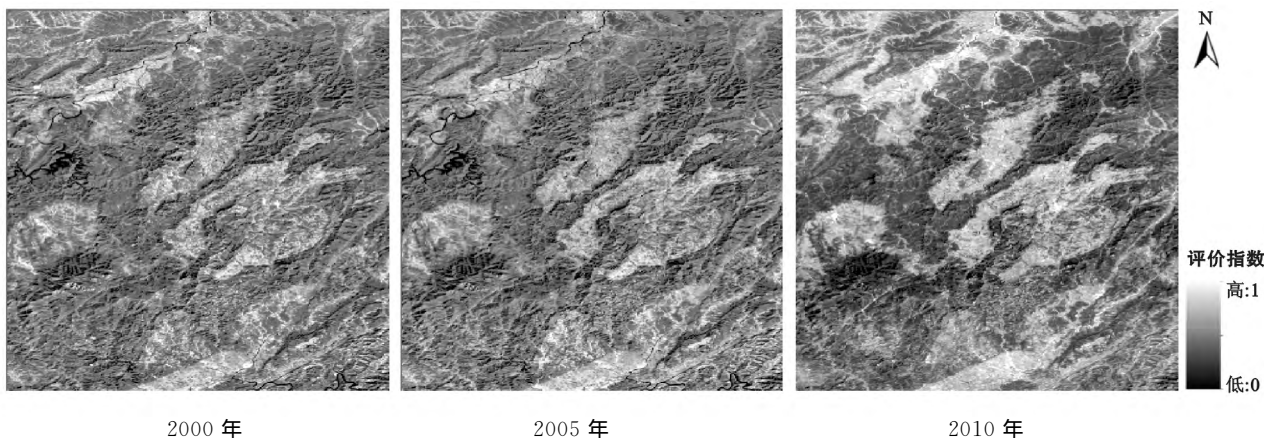


图 1 研究区不同时期生态环境质量评价指数

表 2 不同年份评价指标及 $CEQEI$ 的平均值统计

年份	NDVI	WET	NDSI	LST	CEQEI
2 000	0.482	0.581	0.627	0.513	0.357
2 005	0.499	0.668	0.579	0.347	0.529
2 010	0.635	0.703	0.354	0.281	0.615

为了更加详细地分析研究区的生态环境质量变化情况,进一步把不同年份的 $CEQEI$ 值平均分为 5 个等级(表 3)。从不同等级的 $CEQEI$ 统计结果来看,优和良两个等级的面积和百分比不断增加,优等级的百分比从 2000 年的 2.57% 增加至 2010 年的 15.69%,良等级的百分比从 2000 年的 15.90% 增加至 2010 年的 31.75%。中等、差和极差等级的面积和

百分比均不断下降,其中差等级在 10 a 间下降了 15.87%,极差等级在 10 a 间下降了 7.59%。统计结果显示研究区的整体生态环境质量情况得到了一定程度的改善。从表 4 可以看出,2000—2005 年有 31.95% 的区域生态环境质量得到改善,生态环境质量恶化的区域面积比例为 22.79%,45.26% 的区域保持不变。2005—2010 年有 20.56% 的区域生态环境质量得到改善,生态环境质量恶化的区域面积比例为 17.24%,62.20% 的区域保持不变。2000—2010 年间变优的区域达 49.82%,变差的区域仅 13.57%。从统计结果可以看出,在这 10 a 间研究区的生态环境质量不断得到改善,总体质量好转。

表 3 不同年份生 CEQEI 不同等级的面积和比例变化

CEQEI 等级	2000 年		2005 年		2010 年	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
优(0.81~1.0)	257	2.57	1 038	10.38	1 569	15.69
良(0.61~0.8)	1 590	15.90	2 004	20.04	3 175	31.75
中(0.41~0.6)	3 907	39.07	4 327	43.27	3 356	33.56
差(0.21~0.4)	3 350	33.50	2 125	21.25	1 763	17.63
极差(0~0.2)	896	8.96	506	5.06	137	1.37

表 4 研究区不同年份生态环境质量的空间变化分析

项目	2000—2005 年		2005—2010 年		2000—2010 年	
	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%	面积/hm ²	百分比/%
变优	3 195	31.95	2 056	20.56	4 982	49.82
不变	4 526	45.26	6 220	62.20	3 661	36.61
变差	2 279	22.79	1 724	17.24	1 357	13.57

3.2 各指标相关性分析

为分析不同年份各指标及 CEQEI 指数之间的相关关系,分别计算了 2000,2005,2010 年 3 个年份 NDVI, WET, NDSI, LST 与 CEQEI 之间的相关系数,结果详见表 5。CEQEI 指数的综合代表性还能够从它与各指标间的相关性大小来进一步研究分析。CEQEI 指数和各指标之间的相关系数越大,说明该指数越能够综合代表各指标。从表 5 可以看出,2000,2005,2010 年,CEQEI 指数与各指标的相关系

数均为最大,分别为 0.77,0.80 和 0.81。2000 年 LST 与其他各指标的相关系数仅次于 CEQEI,达 0.72;2005 年 NDSI 与其他各指标的相关系数仅次于 CEQEI,达 0.63;2010 年时,NDVI 与其他各指标的相关系数仅次于 CEQEI,达 0.61。在 3 个年份的总平均值中,LST 最高,达 0.62,与 CEQEI 相比,相差 0.17。由此说明,CEQEI 指数比单个指标能够更好地综合反映研究区的生态环境质量情况,更有利于集成各指标的综合信息。

表 5 不同年份各指标及 CEQEI 指数的相关系数矩阵

项目	2000 年					2005 年					2010 年				
	NDVI	WET	NDSI	LST	CEQEI	NDVI	WET	NDSI	LST	CEQEI	NDVI	WET	NDSI	LST	CEQEI
NDVI	1	0.59	0.61	0.69	0.75	1	0.47	0.55	0.64	0.84	1	0.74	0.52	0.56	0.88
WET	0.59	1	-0.49	-0.76	0.81	0.47	1	-0.73	-0.53	0.78	0.74	1	-0.53	-0.45	0.75
NDSI	0.61	-0.49	1	0.72	0.78	0.55	-0.73	1	0.61	0.82	0.52	-0.53	1	0.64	0.78
LST	0.69	-0.76	0.72	1	0.74	0.64	-0.53	0.61	1	0.76	0.56	-0.45	0.64	1	0.83
相关系数均值	0.63	0.61	0.61	0.72	0.77	0.55	0.58	0.63	0.59	0.80	0.61	0.57	0.56	0.55	0.81
3 a 总平均	NDVI=0.60, WET=0.59, NDSI=0.60, LST=0.62, CEQEI=0.79														

4 结论

(1) 为避免指标权重人为因素的影响,采用主成分分析法确定了指标权重。通过各指标之间的相关性分析,CEQEI 指数与各指标的相关系数在 2000,2005 和 2010 年为最大,分别为 0.77,0.80 和 0.81,3 a 总平均达 0.79,远大于其他指标,说明 CEQEI 指数比单个指标能够更好地综合反映研究区的生态环境质量情况,更有利于集成各指标的综合信息。

(2) 通过 CEQEI 指数进行评价,2000—2010 年优等级从 2.57% 增加至 15.69%,良等级从 15.90% 增加至 31.75%,差等级下降 15.87%,极差等级在

10 a 间下降 7.59%。从空间区域变化来看,变优的区域达 49.82%,变差的区域仅 13.57%,说明整个研究区的生态环境质量逐步好转。采用的 CEQEI 指数可以通过遥感数据方便地获取,指标权重客观,为其他区域生态环境质量定量监测方法提供了参考。

[参 考 文 献]

- [1] 徐涵秋. 水土流失区生态变化的遥感评估[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 91-97.
- [2] 孟岩, 赵庚星. 基于卫星遥感数据的河口区生态环境状况评价: 以黄河三角洲垦利县为例[J]. 中国环境科学, 2009, 29(2): 163-167.
- [3] 赵跃龙, 张玲娟. 脆弱生态环境定量评价方法的研究[J].

- 地理科学,1998,18(1):73-79.
- [4] 刘瑞,王世新,周艺,等. 基于遥感技术的县级区域环境质量评价模型研究[J]. 中国环境科学,2012,32(1):181-186.
- [5] 程晋南,赵庚星,李红,等. 基于RS和GIS的土地生态环境状况评价及其动态变化[J]. 农业工程学报,2008,24(11):83-88.
- [6] Gupta K, Kumar P, Pathan S K, et al. Urban neighborhood green index: A measure of green spaces in urban areas[J]. Landscape and Urban Planning, 2012,105(3):325-335.
- [7] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(6):613-621.
- [8] Duncan J, Stow D, Franklin J, et al. Assessing the relationship between spectral vegetation indices and shrub cover in the Jornada Basin, New Mexico[J]. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14(18):3395-3416.
- [9] Crist E P. A TM tasseled cap equivalent transformation for reflectance factor data[J]. Remote Sensing of Environment, 1985, 17(3):301-306.
- [10] Huang C, Wylie B, Yang L, et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(8):1741-1748.
- [11] Todd S W, Hoffer R M. Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1998, 64(9):915-921.
- [12] Xu Hanqiu. Anewindex for delineating built-up land features in satellite imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(14):4269-4276.
- [13] Rikimaru A, Roy P S, Miyatake S. Tropical forest cover density mapping[J]. Tropical Ecology, 2002, 43(1):39-47.
- [14] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM⁺, and EO⁻¹ ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(5):893-903.
- [15] Nichol J. Remote sensing of urban heat islands by day and night [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2005, 71(6):613-621.
- [16] 国家环保总局. HJ/T192—2006 中华人民共和国环境保护行业标准(试行)[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2006.

(上接第133页)

(3) 基于GIS的网络构建方法具有一定的推广价值和借鉴意义,该网络可以对中国退耕还林工程的生态效益进行定量化评估,用于辅助政府进行科学决策。

[参 考 文 献]

- [1] 李世东. 中外退耕还林还草之比较及其启示[J]. 世界林业研究,2002,15(2):22-27.
- [2] 张蓬涛,杨艳昭,封志明. 国外退耕实践及其对我国退耕工程实施的启示[J]. 水土保持通报,2005,25(1):107-110.
- [3] 何家理,马治虎,陈绪敖. 秦巴山区退耕还林生态效益外显与经济效益内隐状况调查[J]. 水土保持通报,2012,32(4):251-260.
- [4] 彭文英,张科利,陈瑶,等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报,2005,20(2):272-278.
- [5] 李蕾,刘黎明,张虹波,等. 关于退耕还林还草监测评价体系的构想[J]. 中国水土保持,2004(4):24-25.
- [6] 张鸿文,杜纪山,李芳芳,等. 退耕还林工程生态效益监测探讨[J]. 林业经济,2009(9):38-40.
- [7] 赵峰,张怀清,鞠洪波,等. 基于QuickBird影像退耕还林工程监测技术研究[J]. 林业科学研究,2009(S1):1-5.
- [8] 蒋有绪. 中国森林群落分类及其群落学特征[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [9] 陶然,徐志刚,徐晋涛. 退耕还林,粮食政策与可持续发展[J]. 中国社会科学,2004(6):25-38.