

基于 FRAGSTATS 的区域土地生态质量综合评价研究^①

——以江苏省宜兴市为例

徐昌瑜¹, 陈 健², 孟爱农³, 周生路^{1*}

(1 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210093; 2 宜兴市国土资源局, 江苏宜兴 214200

3 东台市农业技术推广中心, 江苏东台 224200)

摘 要: 在 GIS 技术支持下, 采用 FRAGSTATS 软件, 从土地生态系统的景观特征、生态服务功能和社会经济效益 3 个方面建立指标体系和测度模型, 并将指标协调度引入模型中, 以江苏省宜兴市为例, 对区域土地生态质量进行了综合评价。研究结果表明: 宜兴市各镇土地的景观特征、生态服务功能和土地利用的社会经济效益各具特点和优势, 借鉴评价结果能更好地定位各镇发展功能, 保证经济发展和生态保护双赢; 土地生态综合评价能更全面地表征评价区域的土地生态特点和质量; 利用 GIS 技术和 FRAGSTATS 软件, 可增强评价的操作性 and 实用性。

关键词: 土地生态质量; 综合评价; FRAGSTATS; 宜兴

中图分类号: F301.2

土地生态质量关系到人类生存的长远发展^[1]。对土地资源的不合理利用造成了一系列问题, 但土地的生态质量一直没有得到应有的重视。土地生态质量评价是优化土地利用空间配置和构建土地利用安全格局的基础。已有研究对土地生态的评价多是从土地的生态服务价值^[2-6]、生态承载力^[2]、生态响应^[1,7]等角度入手, 很少将土地的景观属性和社会属性同时纳入评价体系, 对指标间的协调度也更少考虑。为此, 本文拟以江苏省宜兴市为例, 在 GIS 支持下, 运用 FRAGSTATS 软件, 对土地生态质量综合评价进行探讨。

1 评价体系的构建

1.1 评价的指标体系

土地生态质量评价指标的确定涉及到自然、经济和社会等多方面, 其科学建立是评价的前提和基础。土地的景观特征如景观破碎度、景观多样性等反映了土地生态系统的结构特征, 景观的破坏对土地的生态质量有重要影响, 而土地生态质量的好坏同时也受到区域社会经济状况的影响。本文从土地生态系统的景观特征、生态服务功能和社会经济效益 3 个方面入手, 建立土地生态质量综合评价指标体系, 并加入指标协调度这一准则层, 这里的协调度是指表征土地生

态系统的景观特征、生态服务功能和社会经济效益在区域土地利用过程中彼此和谐一致和同步发展的水平。协调发展追求的不是单一的经济增长, 而是经济、社会、环境协调发展的多目标模式, 通常各子系统的评价值越接近, 说明土地生态系统越协调^[8-9]。

景观特征层参照景观生态学方法选取了多样性指数、平均斑块面积、景观破碎度、景观蔓延度 4 个指标^[10-12], 分别用于表征景观的多样化程度、优势度、受人为干扰程度、空间相邻关系。生态系统服务功能层参照谢高地等^[13]、鲁春霞等^[14]的研究成果, 选择气候调节、气体调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性保护、食物生产、原材料和娱乐休闲 9 个指标^[15]。土地利用的社会经济效益层, 则从人口、城市化率、收入、粮食产量等角度考量选择了人口密度、城镇化率、农民人均纯收入、粮食单产、地均 GDP、土地垦殖率、第三产值比重 7 个指标。

在确定评价体系的准则层和指标层后, 本文运用 AHP 法得到各指标和因素的权重, 其基本原理是对 m 个评价指标关于某个评价目标的重要性程度做两两比较, 获得判断矩阵 A , 再求 A 的最大特征值 $\lambda_{\max}(A) = m$ 对应的特征向量 $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)^T$, 并将其归一化即得到评价指标的权重值^[16-19]。最终指标和权重见表 1。

基金项目: 江苏省国土开发与差别化土地配置政策研究项目资助。

* 通讯作者(zhouxl@nju.edu.cn)

作者简介: 徐昌瑜(1988—), 男, 江西丰城人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用与规划。E-mail: xucangyu@126.com

表 1 土地生态质量综合评价指标体系表
Table 1 Index system of land eco-efficiency evaluation

目标层	准则层(权重)	亚准则层(权重)	指标层(权重)
土地生态 质量综合 评价	土地生态质量指标(0.8)	景观特征(0.330)	多样性指数(0.25)
			平均斑块面积(0.25)
			景观破碎度(0.25)
			景观蔓延度(0.25)
	生态服务功能(0.411)		气体调节(0.133)
			气候调节(0.098)
			水源涵养(0.137)
			土壤的形成与保护(0.114)
			废弃物处理(0.095)
			生物多样性保护(0.136)
			食物生产(0.114)
			原材料(0.094)
	土地利用的社会经济效益(0.259)		娱乐文化(0.078)
			人口密度(0.176)
			城镇化率(0.183)
			农民人均纯收入(元) (0.201)
			粮食单产(公斤) (0.203)
			地均 GDP(万元/km²) (0.110)
			土地垦殖率(0.038)
			第三产值比重(0.089)
指标协调度(0.2)	景观特征指标协调度(0.330)		
	生态服务功能指标协调度(0.411)		
	土地利用社会经济效益指标协调度(0.259)		

1.2 评价指标值的获取

景观特征指标利用 GIS 技术和 FRAGSTATS 软件计算,具体的操作步骤是: 将土地利用类型视为斑块类型,景观空间格局亦即为土地利用空间格局。本文主要依据全国土地利用现状分类系统,并在考虑区域特征的基础上,将区域内的景观类型划分为耕地、园地、林地、城乡建设用地、水域、未利用地 6 种景观类型。采用 ArcGIS 将土地利用现状图矢量化,最后生成景观类型图; 利用 ArcGIS 的空间分析模块将矢量化的景观类型图转换为 Grid 格式; 采用景观格局分析软件 FRAGSTATS 进行各景观组分的相关景观指数的计算,并对研究区域各景观组分的空间分布特征进行分析。根据指标体系的要求,利用 FRAGSTATS 计算得到景观指数包括多样性指数、平均斑块面积、景观破碎度、景观蔓延度 4 个指标;生态服务功能指标则以 ArcGIS 为基础计算得到评价区域内农田、林地、草地、湿地水域、未利用地的面积,并采用谢高地和鲁春霞等^[13-15]对中国陆地生态系统单位面积的生态价值系数,来估算研究区的土地利用的生态价值;土地利用的社会经济效益指标则通过统计年鉴、土地资料获取宜兴市的土地面积、耕地面积、人口、GDP、第三产值、农民人均纯收入等并通过简

单计算得到。

1.3 评价结果的计算

1.3.1 指标标准化 得到各评价指标值后,采用最大最小值法将各指标值标准化。正向指标包括多样性指数、平均斑块面积、景观蔓延度、生态系统功能的全部指标以及社会效益的全部指标,标准化公式如下:

$$p_i = (x_i - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100 \tag{1}$$

负向指标包括景观破碎度,标准化公式如下:

$$p_i = (x_{\max} - x_i) / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100 \tag{2}$$

式中, $x_{\max}$ 为指标最大值, $x_{\min}$ 为指标最小值, x_i 为 i 指标的实际值, p_i 为 i 指标的标准值。

1.3.2 评价结果计算 (1) 运用加权求和得到各生态系统特征指标、生态系统功能指标和土地利用的社会经济效益指标的分值,以及土地生态质量指标分值。

(2) 指标协调度是衡量指标间的协调程度,计算公式为:

$$C = 100 - \sqrt{\sum_{i=1}^3 (S_i - \bar{S})^2} \tag{3}$$

式中, S_i 为各准则层因子的评价得分, $\bar{S}$ 为各准则层

因子的平均值 $\bar{S} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 S_i$ 。

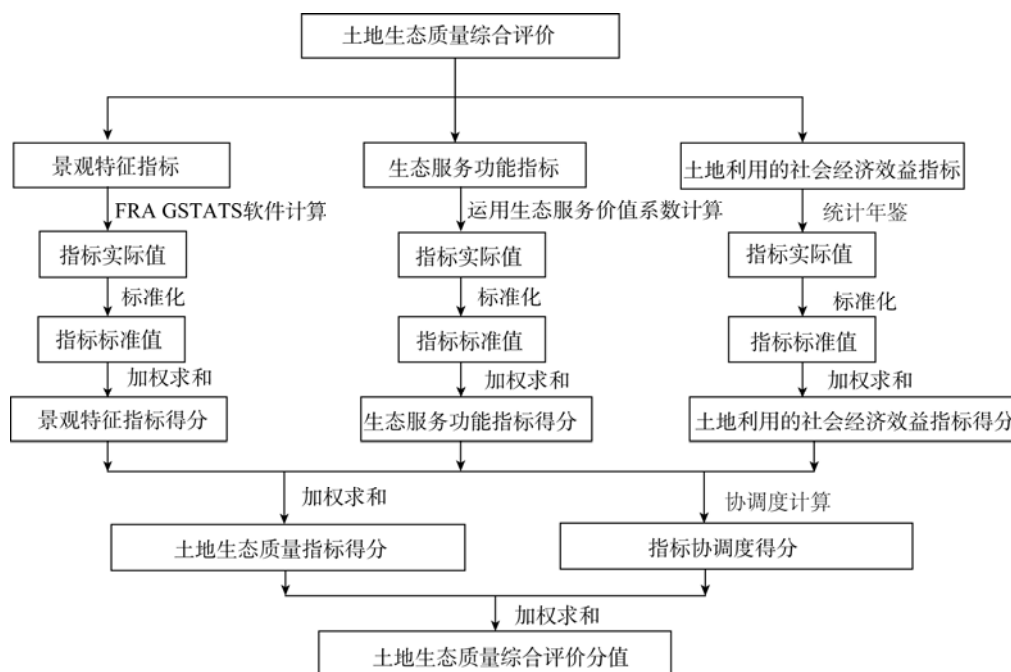


图 1 土地生态质量综合评价过程

Fig. 1 Process of land eco-efficiency evaluation

(3) 将土地生态质量指标得分值和指标协调度得分值加权求和, 得到土地生态质量综合评价分值。模型计算过程见图 1。

2 研究实例

2.1 研究区概况

研究区域为江苏省宜兴市, 位于 $31^{\circ}07' \sim 31^{\circ}37'N$, $119^{\circ}31' \sim 120^{\circ}03'E$, 亚热带季风气候区, 地处经济发达的长江三角洲地区, 江苏省南端和沪、宁、杭三角中心, 城镇化率约 60%, 全市总面积 2177.43 km^2 。该市辖 21 个镇、1 个环保科技工业园区(环科园)(图 2)。各镇的经济状况和资源禀赋条件却有较大差异。宜城镇和丁蜀镇是宜兴市的中心城区; 环科园是宜兴市国家级环保科技工业园; 高塍镇是北部经济发展水平最高的镇之一; 张渚镇是宜兴市市域西南部的中心镇; 官林镇、和桥镇、新建镇有良好的工业发展基础; 纪亭镇、万石镇产业特色不太明显, 但是区位优势良好; 周铁镇、新庄镇、大浦镇濒临太湖; 新街镇靠近主城区, 处于南部丘陵区的边缘; 徐舍镇位于西部圩区, 水网密布; 鲸塘镇、芳桥镇、芳庄镇、杨巷镇、西渚镇经济发展基础欠缺, 二、三发展优势不明显, 农业人口比重大, 农林用地比例大, 是宜兴市的粮食主产区; 太华镇和湖父镇处于南部山地丘陵区, 林地覆盖面积过半, 人均耕地面积比较少, 经济条件一般, 但山林资源丰富。

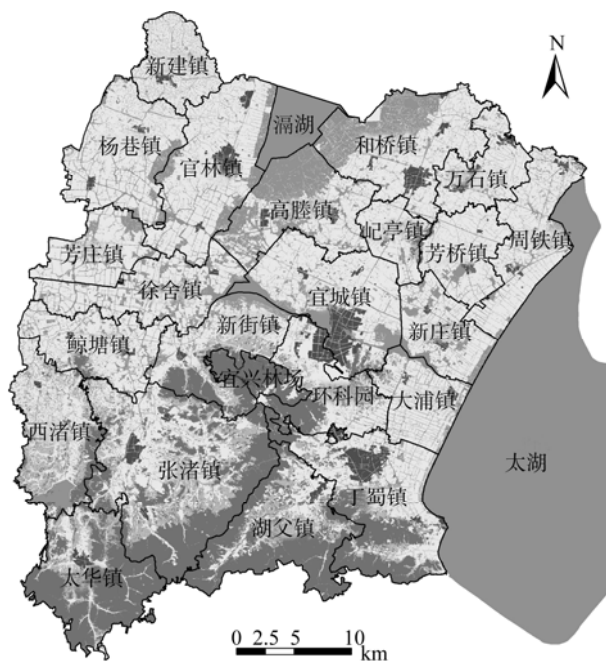


图 2 宜兴市行政区划图

Fig. 2 Administrative division of Yixing

2.2 土地生态质量综合评价

以土地利用现状数据、统计年鉴数据等作为数据基础, 运用前文提到的评价模型对宜兴市 22 个镇(园)的土地生态状况进行评价, 得到单项指标的评价值, 最后进行加权求和, 得到各个镇(园)的土地生态质量综合值, 并依据得分高低从高到低对各个镇(园)的土地生态质量状况进行排名(表 2)。

表 2 土地生态质量综合评价分值表
Table 2 Scores of land ecological quality evaluation

镇名	景观特征 分值	服务功能 分值	社会效益 分值	土地生态质量 分值	指标协调度 分值	综合评价 分值	综合质量 排名
大浦镇	53.23	40.46	34.35	43.10	80.58	51.75	8
丁蜀镇	69.05	28.79	63.48	51.07	82.37	54.69	4
芳桥镇	49.12	23.09	42.54	36.73	74.67	45.55	17
芳庄镇	67.36	38.65	27.70	45.30	76.53	50.45	10
高塍镇	64.63	55.64	52.25	57.73	95.38	64.38	1
官林镇	48.33	40.18	47.67	44.81	85.93	54.57	5
和桥镇	50.95	42.16	44.93	45.78	86.53	55.36	3
湖父镇	69.61	49.01	19.80	48.26	75.14	51.52	9
环科园	61.36	19.85	61.13	44.25	76.70	48.64	14
鲸塘镇	43.92	29.84	24.19	33.03	70.69	43.55	19
岷亭镇	48.26	18.15	48.38	35.92	73.00	43.81	18
太华镇	76.55	52.58	26.03	53.63	78.73	55.75	2
万石镇	33.15	15.28	46.39	29.24	67.82	38.98	21
西渚镇	23.41	41.40	23.02	30.70	67.08	41.59	22
新建镇	39.58	37.60	35.78	37.78	79.70	49.69	12
新街镇	49.37	39.79	22.91	38.58	73.92	47.08	16
新庄镇	56.94	34.31	32.19	41.24	77.16	49.11	13
徐舍镇	56.96	37.54	25.12	40.74	74.96	48.05	15
杨巷镇	51.15	43.15	26.75	41.55	77.06	49.72	11
宜城镇	63.66	23.61	92.33	54.63	76.59	53.94	6
张渚镇	52.85	38.05	40.06	43.46	82.33	52.50	7
周铁镇	40.42	18.91	39.54	31.36	70.25	41.64	20
平均值	53.18	34.91	39.84	42.22	77.41	49.65	

2.3 研究区土地生态质量空间分异特征

2.3.1 指标协调度分析 宜兴市各镇土地生态系统的景观特征、生态服务功能和社会经济效益各有优势和特点,不存在绝对优势。除高塍镇外,其他镇都有指标是在平均值以下的,例如宜城镇景观特征和社会经济效益得分都很高,但是生态服务功能得分却只有 23.61。

依据评价体系得到的土地生态质量指标得分和指标协调度得分,在 ArcGIS 制图板块中将宜兴市各镇分为 、 、 等(图 3、图 4),各镇在生态质量指标分异图和指标协调度分异图中所处的等别并不能完全对应,有 36% 的乡镇的土地生态质量指标等别和指标协调度等别不一致,其中 27% 的乡镇是土地生态质量指标等别高于指标协调度等别,9% 的乡镇是土地生态质量指标等别低于指标协调度等别,可见宜兴市各镇土地生态质量并不均衡。对于土地生态质量得分高而指标协调度得分低的乡镇,应逐渐弥补土地生态上的不足,达到景观、生态和社会经济的协调发展。对于土地生态质量得分低而指标协调度得分高的乡镇,则应先突出乡镇特色,优先提高三项指标

中较为突出的一个,最后实现以经济发展带动生态建设或以特色生态带动旅游经济等发展目标。

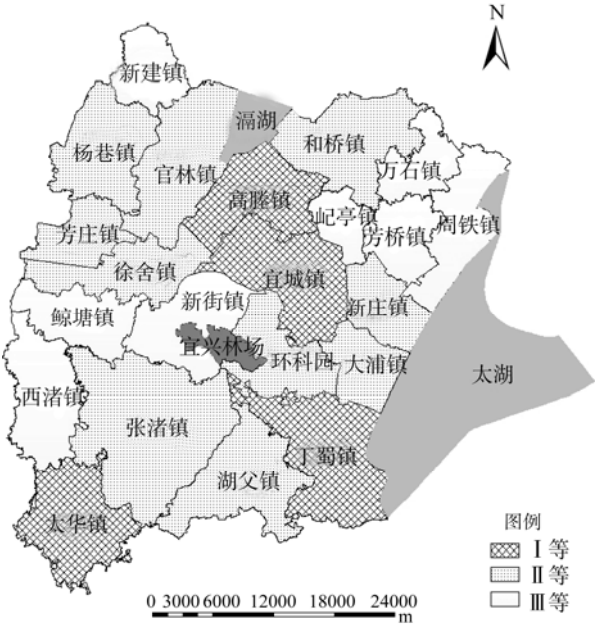


图 3 宜兴市各镇土地生态质量指标分异图
Fig. 3 Index difference of each town in Yixing

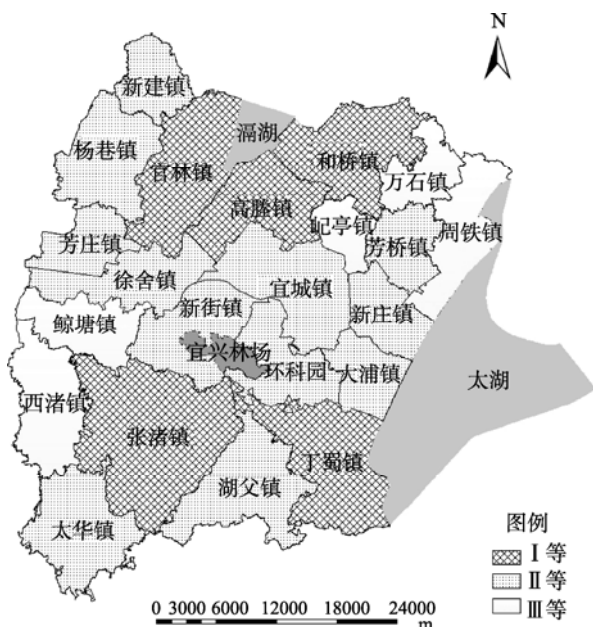


图4 宜兴市各镇土地生态质量指标协调度分异图

Fig. 4 Coordination difference of each town in Yixing

2.3.2 土地生态质量空间分异特征分析 依据评价体系得到的土地生态质量综合评价得分,在 ArcGIS 制图板块中将宜兴市各镇分为 I、II、III 等(图 5)。

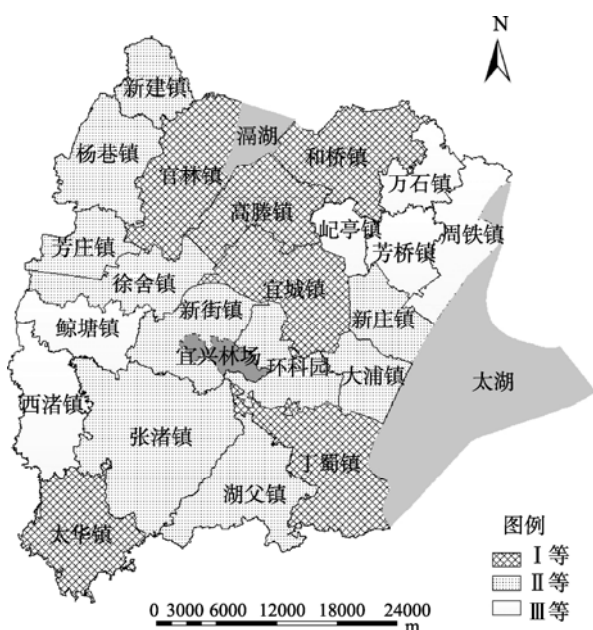


图5 宜兴市各镇土地生态质量分异图

Fig. 5 Difference on land ecological quality of each town of Yixing

宜兴市各镇土地生态质量呈现较明显的分异特征: I 等的乡镇包括宜城镇、高塍镇、官林镇、和桥镇、太华镇和丁蜀镇,主要分布在市区或自然生态景观周边。其中宜城镇、高塍镇、官林镇依托市区的乡镇企业,社会经济得到了较好的发展,所以评价中的

社会经济效益指标得分很高,而生态服务功能得分则相对较低。和桥镇、太华镇和丁蜀镇则依靠溇湖、太华山和太湖的景观生态优势,所以景观特征指标得分很高。II 等的乡镇中分布在市区的乡镇应该体现宜兴市经济发展特点,起到经济带动作用;分布在自然景观周边的乡镇应加强生态保护规划,为宜兴市的发展提供更大的空间。

III 等的乡镇包括新建镇、杨巷镇、芳庄镇、徐舍镇、新街镇、环科园、新庄镇、大浦镇、张渚镇、湖父镇,主要是分布在 I 等乡镇的周围。其中湖父镇和芳庄镇的景观特征指标得分超过了 60 分,但社会经济效益指标得分太低;环科园的景观特征指标得分和社会经济效益指标得分都超过了 60 分,但是生态服务功能得分太低,指标间协调度不够;其他乡镇的指标得分都比较平均,没有明显优势的指标。II 等的乡镇应主要以保护为主,加强农业生态发展,对于个别有自身优势的乡镇如环科园,应继续保持经济发展优势,同时适度注重生态保护,以保证经济的可持续性。

III 等的乡镇包括鲸塘镇、西渚镇、纪亭镇、芳桥镇、万石镇、周铁镇,主要分布于宜兴市的东部和西部的边缘地区。景观特征指标、生态服务功能指标和社会经济效益指标的得分均在 50 分以下。III 等的乡镇在发展过程中应注重以保护为主,因地制宜发展农业生产。

通过对宜兴市的土地生态质量综合评价,可更明确各镇的功能划分和发展方向,对宜兴的生态环境保护和经济可持续发展都有重要意义。

3 结论

(1) 将土地生态系统的景观特征指标和土地利用的社会经济效益指标引入土地生态质量评价的体系中,能更完善地表征评价区域的土地生态特点,更深入分析研究区不同地域的土地适宜利用方向,避免了盲目的土地开发带来的环境和生态破坏,引导区域更健康的经济发展。

(2) 运用 GIS 技术和 FRAGSTATS 软件来处理和获取评价指标值,可提高土地生态质量综合评价体系的可行性和实用性。

(3) 总体来看,宜兴市各镇区土地生态质量呈现较明显的分异特征, I 等的乡镇包括宜城镇、高塍镇、官林镇、和桥镇、太华镇和丁蜀镇, II 等的乡镇中分布在市区的乡镇应该体现宜兴市经济发展特点,起到经济带动作用;分布在自然景观周边的乡镇应加强生态保护规划,为宜兴市的发展提供更大的空间; III 等

的乡镇包括新建镇、杨巷镇、芳庄镇、徐舍镇、新街镇、环科园、新庄镇、大浦镇、张渚镇、湖父镇,应主要以保护为主,加强农业生态发展,对于个别有自身优势的乡镇如环科园,应继续保持经济发展优势,同时适度注重生态保护,以保证经济的可持续性;等的乡镇包括鲸塘镇、西渚镇、杞亭镇、芳桥镇、万石镇、周铁镇,应该在发展过程中注重以保护为主,因地制宜发展农业生产。

参考文献:

- [1] 崔登攀, 宋戈. 黑龙江省煤炭城市土地生态效益评价研究——以鹤岗市为例[J]. 水土保持研究, 2010, 17(5): 114-117
- [2] 牛海鹏, 张安录. 耕地利用生态社会效益测算方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 316-323
- [3] 郑江坤, 余新晓, 夏冰, 贾国栋, 庞卓, 宋思铭. 基于生态服务价值的潮白河上游土地利用优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 337-344
- [4] 于开芹, 冯永军. 城乡交错带土地利用变化及其生态效应[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 213-218
- [5] 吴大千, 刘建, 贺同利, 王淑军, 王仁卿. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 256-261
- [6] 付光辉, 陆守超. 基于生态系统服务价值的区域土地整理生态效益评价——以南京市为例[J]. 生态经济, 2010(5): 142-145
- [7] 熊鹰, 曾光明. 区域生态系统服务功能对土地利用变化的响应——以湖南省为例[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2008, 35(9): 79-83
- [8] 杨世琦, 高旺盛. 农业生态系统协调度测度理论与实证研究[J]. 中国农业大学学报, 2006, 11(2): 7-12
- [9] 李萍, 谭静. 四川省城市土地利用效率与经济耦合协调度研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(21): 364-367
- [10] 熊鹰, 王克林, 郭嫻, 赵双飞. 湖南省生态经济分区及其发展研究[J]. 生态环境, 2003, 12(4): 431-435
- [11] 陈利顶, 傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析——以山东东营市为例[J]. 生态学报, 1996, 16(4): 337-344
- [12] 肖笃宁, 李小玉, 宋冬梅. 石羊河尾间绿洲的景观变化与生态恢复对策[J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2 478-2 483
- [13] 谢高地, 鲁春霞, 成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学, 2001, 23(6): 5-9
- [14] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁. 河流生态系统的休闲娱乐功能及其价值评估[J]. 资源科学, 2001, 23(5): 77-81
- [15] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-196
- [16] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988
- [17] 胡水宏, 贺思辉. 综合评价方法[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [18] 邦亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007
- [19] 孙昕, 李德成, 梁音. 南方红壤区小流域水土保持综合效益定量评价方法探讨——以江西兴国县为例[J]. 土壤学报, 2009, 49(3): 373-380

Study on Evaluation of Land Ecological Quality Based on FRAGSTATS —— A Case of Yixing, Jiangsu Province

XU Chang-yu¹, CHEN Jian², MENG Ai-nong³, ZHOU Sheng-lu^{1*}

(1 The School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China;

2 Bureau of Land and Resources of Yixing, Yixing, Jiangsu, 214200, China;

3 Agricultural Technology Promotion Center of Dongtai, Dongtai, Jiangsu 224200, China)

Abstract: Based on GIS technology, a more comprehensive evaluation system of land ecological quality, which includes three aspects: landscape features, ecological services and social and economic benefits, is used to establish with land use data and the FRAGSTATS software. The results showed that towns of Yixing had their own advantages and characteristics in landscape features, ecological services and social and economic benefits. Different towns can play different functions with the references of evaluation results. The evaluation system is more comprehensensive to show the characteristics of the land area, and GIS and FRAGSTATS software make the system more operable and practical.

Key words: Land ecological quality, Evaluation, FRAGSTATS, Yixing