

江苏省沿海地区土地利用变化及其生态效应

于淼^{1,2}, 吕晓^{1,2}, 廉丽姝¹, 史洋洋^{1,2}

(1. 曲阜师范大学 地理与旅游学院, 山东 日照 276826; 2. 国土资源部 海岸带开发与保护重点实验室, 江苏 南京 210024)

摘要: [目的] 分析江苏沿海地区的土地利用类型和空间变化, 探讨江苏沿海地区土地利用变化产生的生态效应, 为土地利用规划提供理论支持。[方法] 以江苏沿海地区 1990, 2000 和 2010 年 3 期土地利用类型数据为基础, 借助 GIS 技术和 Costanza 等的生态服务价值计算模型, 求取土地利用动态度、综合程度指数、质心变化和生态服务价值量等, 并进行剖析。[结果] 1990—2010 年, 研究区内耕地、林地和草地的面积减少, 水域、城乡建设用地和未利用地的面积增加。城乡建设用地的扩张占用了耕地, 对耕地的补充主要是草地, 草地、未利用地和城乡建设用地在空间位置上变化较大。耕地、林地和草地面积的减少使得研究区生态服务价值降低, 而水域的面积的增加带来的生态效益弥补了因上述用地类型面积减少造成的损失。[结论] 1990—2010 年研究区生态服务价值增加了 24.34 亿元, 但从空间上来看, 生态增值区分布范围小, 主要集中在盐城的东部沿海, 而生态减值区分布范围较广且有扩大的趋势, 有待通过规划等措施强化土地利用变化的综合调控。

关键词: 土地利用变化; 生态系统服务价值; 江苏沿海地区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)03-0131-09

中图分类号: F301.24

文献参数: 于淼, 吕晓, 廉丽姝, 等. 江苏省沿海地区土地利用变化及其生态效应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 131-139. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20170607.001; Yu Miao, Lü Xiao, Lian Lishu, et al. Land use change and its ecology effects in coastal region of Jiangsu Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(3): 131-139. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20170607.001

Land Use Change and Its Ecology Effects in Coastal Region of Jiangsu Province

YU Miao^{1,2}, LÜ Xiao^{1,2}, LIAN Lishu¹, SHI Yangyang^{1,2}

(1. College of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao, Shandong 276826, China; 2. The Key Laboratory of the Coastal Zone

Exploitation and Protection, Ministry of Land and Resources, Nanjing, Jiangsu 210024, China)

Abstract: [Objective] The changes of land use types and spatial distribution in coastal area of Jiangsu Province were demonstrated and the subsequent ecological effects were discussed to provide theoretical supports for land use planning. [Methods] Based on the land use data of the coastal region of Jiangsu Province in 1990, 2000 and 2010, supported by GIS technology, dynamic degree of land use, comprehensive degree index, the gravity center and the value of ecological service, etc, were calculated using ecological service value calculation model of Costanza. [Results] Areas of arable land, forestland and grassland were all reduced, while water area, urban-rural construction land and unused land area increased in researched region during 1990 to 2010. The expansion of urban-rural construction land occupied arable land, and the supplement of arable land was mainly about the exploitation of grassland. The grassland, unused land and urban-rural construction land were highly changed in terms of their spatial position. Due to the reductions of farmland, forestland and grassland, ecosystem services value in the study area was reduced. And ecological benefits from the increase of water area made up for the loss caused by area reductions of the above land use types. [Conclusion] During 1990 to 2010, the ecological service value increased by 2.434 billion yuan in the study area. But ecological benefited area was small, mainly distributes in the eastern coastal zone of Yancheng.

收稿日期: 2016-08-13

修回日期: 2016-10-12

资助项目: 国土资源部海岸带开发与保护重点实验室开放基金资助项目“江苏沿海地区耕地占补时空过程及其生态环境效应研究”(2015CZEPK02)

第一作者: 于淼(1992—), 男(汉族), 山东省郓城县人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用变化。E-mail: qsdymiao@163.com。

通讯作者: 吕晓(1984—), 男(汉族), 山东省茌平县人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与乡村发展研究。E-mail: lvxiao@qfnu.edu.cn。

Ecological damaged areas distribute widely, and the area has a tendency to expand. It is necessary to take land use planning and other measures to comprehensively control land use change.

Keywords: land use change; ecological service value; coastal region of Jiangsu Province

土地利用/土地覆盖变化是人类活动对自然生态系统产生影响的最直接的信号,它对水资源利用、陆地生态系统净初级生产力、环境资源的可持续利用和食物安全等方面具有明显的影响^[1]。生态系统服务功能指的是由生态系统与生态过程所形成和维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[2]。并且由土地利用/土地覆盖变化导致的生态系统价值变化可以作为反映土地利用/土地覆被变化环境效应的一个重要量化指标,因此研究土地利用/土地覆盖变化情况下的生态服务价值变化有着十分重要的意义^[3]。自 1997 年 Costanza 等^[4]从科学意义上明确生态系统服务价值的估算原理和方法后,该原理和方法迅速被世界各国借鉴和使用,估算各地的生态系统的生态服务价值^[4-6]。同时中国相关专家学者对于 Costanza 的方法在中国的适用性也进行了探讨,加之近些年来随着城镇化速度的快速推进,人们在开发利用自然资源过程中,过于片面追求经济效益,使得生态系统遭受了不同程度的损害,在此背景下中国专家学者利用不同的方法对中国三江源地区、黄河三角洲湿地地区、长江上游、长江三角洲、珠江三角洲、三江平原、黄土高原沟壑区、喀斯特地区以及风沙过渡区等典型地区的生态系统进行了研究,并取得了丰富的研究成果^[7-11]。从空间尺度来看,不同的专家学者对全国、全省、市、县等不同空间尺度的生态系统也进行了研究,同时也有一些专家学者对江苏沿海地区、渤海沿岸、福建、广东、厦门等中国沿海地区的土地利用变化与生态服务价值之间的关系进行了探讨,可以说中国对生态系统服务价值的研究趋于完善^[12-13]。由于沿海地区位置的特殊性,受海平面变化影响较大,加之近些年来根据国家发展战略,江苏省沿海大开发项目进一步实施,在自然条件、社会经济快速发展和旅游资源开发的共同作用下,使得沿海地区的土地利用结构发生了剧烈的变化,人地矛盾进一步激化,对沿海区域的生态系统产生了重大的影响^[14]。因此本文拟从土地利用变化的视角,借助土地利用动态模型和一种基于单位面积价值当量因子的生态价值核算方法,对江苏沿海地区土地利用类型变化产生的生态效应进行探究,以期对土地利用规划提供理论支撑。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

江苏省沿海地区包括连云港、盐城和南通 3 市的

所有行政辖区,是江苏省以及长江三角洲的一块重要区域。该地区处于中国沿陇海兰新线、沿海和沿长江 3 大生产力布局主轴线的交会区域,北接山东临沂,南至长江入海口,东侧濒邻黄海,海岸线长 954 km,位于东经 118°10′—120°57′,北纬 31°40′—35°10′,陆域面积 3.20×10⁴ km²,土地资源丰富。气候属于亚热带和暖温带的过渡气候类型,属于温带季风气候区,气候温暖湿润,光照充足,无霜期长,四季分明。

1.2 数据来源

本文研究所需的数据来自于国家科技基础条件平台建设项目:地球系统科学数据共享平台——长江三角洲数据共享平台(<http://nnu.geodata.cn>)提供的江苏沿海 1:10 万土地利用数据。选择 1980 年代末(为了方便表述,统一界定为 1990),2000,2010 年 3 个时点,数据底图数据源来自 20 世纪 80 年代以来的 Landsat 数据、航片资料并辅以历史资料,采用了数据融合、数据增强处理、目视解译、精度校验和图幅拼接等方法,使数据不仅有逻辑的统一性和数据的完整性,同时满足 1:10 万比例尺的制图精度要求^[15]。粮食产量等社会经济统计数据来源于历年江苏省统计年鉴和中国统计年鉴。

1.3 研究方法

1.3.1 土地利用动态度 土地利用动态度反映了土地利用变化速率的区域差异^[16]。

$$S = \left\{ \sum_{ij} [(S_j - S_i) / S_i] \right\} \times (1/t) \times 100 \quad (1)$$

式中: S ——研究时段某一土地利用类型变化率; S_i 、 S_j ——研究时段开始与结束时该土地类型的面积(hm²); t ——研究时段。

1.3.2 土地利用程度综合指数 该指数是对区域不同时期的土地利用程度的反映。区域土地利用程度变化可通过不同时期指数的变化来反映^[7]。

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \times P_i, \quad L \in [100, 400] \quad (2)$$

式中: L ——土地利用程度综合指数; A ——区域土地利用程度分级指数; P ——区域内土地利用程度分级面积百分比; i ——土地利用程度分级数。与其他分类系统保持相对一致,该分类主要参照刘纪远^[17]、陈曦^[18]的分类方法,未利用地或难以利用地的分级指数为 1,草地和水域的指数为 2,林地和耕地的指数为 3,城镇、居民点、工矿用地指数为 4。

1.3.3 土地利用结构信息熵与均衡度 信息熵(H)

可用来测量土地利用系统的复杂程度和有序度^[19]。信息熵低,表明土地利用系统的有序度高;反之,有序度则低。

$$H = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i \quad (3)$$

式中: P_i ——第*i*类土地利用类型的面积比例。

为了能够更好的反映区域土地利用结构与规模特征,本文引入了均衡度的概念,基于信息熵函数,可构建区域土地利用结构的均衡度(E)计算模型^[20-21]:

$$E = - \sum_{i=1}^m P_i \ln P_i / \ln m \quad (4)$$

式中: E ——土地利用结构的均衡度,其数值变化在0~1, E 值越大,表明均质性越强, $E=1$ 为土地利用结构处于理想平衡状态; m ——土地利用类型的数量。

1.3.4 生态系统服务价值评价方法 当前尽管 Costanza 等对生态系统价值的研究方法仍然有些缺点,但该方法体系仍然是迄今为止应用最为广泛的方法^[4,22]。因此本文借用 Costanza 等的模型计算研究区的生态系统服务价值。

$$ESV = \sum A_k \times VC_k \quad (5)$$

式中: ESV ——生态系统服务价值; A_k ——土地利用类型*k*的分布面积(hm^2); VC_k ——该类型土地单位面积的生态价值系数。

1.3.5 敏感性分析 为了验证生态服务功能评价的结果,引入弹性系数的概念来计算生态服务价值的敏感性指数(CS)。文中将各类土地类型的价值指数分别调整50%,来衡量总生态系统服务价值的变化^[9]。若 $CS > 1$,说明 ESV 相当于 VC 是富有弹性的;若 $CS < 1$, ESV 则被认为是缺少弹性的,比值越大,说明生态价值系数的准确性越关键。敏感性计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \right| \quad (6)$$

式中: VC ——生态价值系数; i 和 j ——初始总价值和调整后总价值; k ——土地利用类型。

2 土地利用变化分析

2.1 土地利用变化趋势

2.1.1 区域总体变化 1990—2010年,研究区内耕地、林地、草地的面积减少,水域、城乡建设用地、未利用地面积增加。分时间段观察可发现2000—2010年比1990—2000年各土地利用类型变化剧烈。1990—2000年耕地减少13 301 hm^2 ;林地减少156 hm^2 ;草地减少12 903 hm^2 ,2000—2010年同种用地类型分别减少112 154,3 277,44 725 hm^2 。1990—2000年

水域增加12 903 hm^2 ;城乡建设用地增加28 487 hm^2 ;未利用地基本未变,而2000—2010年同种用地类型分别增加114 168,102 958,12 471 hm^2 。

对于各地市而言,各地市土地利用变化趋势与研究区基本类似。其耕地、林地、草地明显减少,其中2000—2010年减少的面积明显大于1990—2000年减少的面积。建设用地面积增加明显,2000年后的增长速度大于2000年前的增长速度。三地市水域面积都有所增加,其中以盐城市增加的最为明显,特别是在2000—2010年增加了43 084 hm^2 ,增加量是2000年水域面积的0.63倍。连云港市未利用地面积略微减少,南通市和盐城市未利用地的面积增加,1990—2000年南通市没有未利用地,2000—2010年南通市出现了1 774 hm^2 的未利用地;盐城市2000年前未利用地面积基本未变,2000—2010年却由13 hm^2 激增至10 615 hm^2 ,未利用地的增长十分迅速。

总体来看,城乡建设用地的变化较为剧烈,城乡建设用地的快速扩张在一定程度上挤压了其他用地类型的空间,同时2000—2010年各种用地类型的变化速度要比1990—2000年剧烈,这是由于社会经济的快速发展推动了城镇化进程的进一步加快,城镇化水平的提高使得建设用地面积的快速扩张,影响其他用地类型的变化。

2.1.2 土地利用动态度 1990—2010年研究区土地利用动态度最大值出现在未利用地中,表明未利用地呈现出急速扩张的趋势;城乡建设用地的土地利用动态度呈现出次大值,表明城乡建设用地也在快速的扩张。而草地的土地利用动态度出现最大的负值,表明草地在快速的减少。各个地类的土地利用动态度以连云港市比较小,南通市和盐城市各个地类的土地利用动态度较大,表明连云港市的土地利用类型变化比较稳定,而南通市和盐城市的土地利用类型变化比较的剧烈(表1)。

表1 1990—2010年江苏省沿海地区土地利用动态度

城市	耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地
连云港市	-0.27	-0.38	-1.24	0.06	0.96	-0.61
盐城市	-0.19	-0.90	-3.60	4.93	1.05	3 998.15
南通市	-0.34	-1.14	-3.57	0.17	8.65	—
总数	-0.80	-2.42	-8.40	5.16	10.67	3 997.54

2.2 土地利用空间变化

2.2.1 类型变化 如表2所示,2010年研究区新增耕地面积24 437.84 hm^2 ,其中62.82%的新增耕地是由草地转化而来的,1990—2010年研究区内有

15 352.35 hm²的草地被开垦为耕地。而耕地减少的主要去向是转变为城乡建设用地,1990—2010 年研究区内有 132 535.48 hm²的耕地被城乡建设用地占

用,占城乡建设用地增加面积的 87.67%,这表明江苏省沿海地区城乡建设用地的扩张主要占用的是耕地。

表 2 江苏省沿海地区土地利用转移矩

hm²

土地利用类型	1990—2010 年各土地利用类型转移面积						总计
	耕地	林地	草地	水域	城乡建设用地	未利用地	
耕地	2 349 615.32	951.38	43.98	14 462.72	132 535.48	2 016.31	2 499 625.19
林地	2 474.63	31 380.14	0.07	73.84	1 248.01	112.05	35 288.74
草地	15 352.35	23.56	29 386.29	30 475.03	8 777.92	9 482.79	93 497.93
水域	3 038.25	0.54	524.75	150 445.81	8 601.22	106.88	162 717.46
城乡建设用地	3 572.61	41.56	447.07	19 858.43	332 683.73	782.86	357 386.25
未利用地	—	—	—	134.81	13.28	52.32	200.41
总计	2 374 053.16	32 397.18	30 402.15	215 450.65	483 859.63	12 553.21	3 148 715.98

分地市来看,耕地减少的主要去向是转变为城乡建设用地,1990—2010 年连云港市、南通市和盐城市分别有 31 118.95,56 332.66,62 558.25 hm²的耕地转变为其他的用地类型,而在此期间 3 地市分别有 27 864.26,54 583.18,50 088.04 hm²的耕地转变成了城乡建设用地,分别占转变为其他用地类型的耕地面积的 89.54%,96.89%和 80.07%。耕地的主要补充来源是对草地的开垦,1990—2010 年连云港市、南通市和盐城市通过对草地的开垦补充的耕地分别占耕地补充总量的 32.96%,58.77%和 70.39%。这一现象与研究区总体状况基本类似。1990—2010 年盐城市的水域和未利用地呈现出急速扩张的趋势,水域面积的扩张的主要原因是一部分的草地和城乡建设用地转变为水域,研究时间段内草地和城乡建设用地转变为水域的面积分别占新增水域面积的 48.09%和 33.70%。未利用地扩张的主要原因是草地转变为了未利用地,在研究时间段内草地转变为未利用地的面积占新增未利用地面积的 74.70%。可以看出草地多作为其他用地类型新增用地面积的补充,但其他用地类型对草地的补充很少,这与草地的土地利用动态度出现最大的负值相吻合。

2.2.2 质心变化 1990—2010 年,研究区内耕地和水域分别向东北方向偏移 0.74 和 11.60 km,草地和林地分别向西北方向偏移 40.86 和 3.28 km,未利用地和城乡建设用地分别向东南方向偏移 249.38 和 28.08 km。同期连云港市耕地向西南方向偏移了 0.41 km,草地向南偏移了 2.03 km,林地向北偏移了 0.42 km,水域和城乡建设用地分别向西北方向偏移了 1.37 和 1.27 km,未利用地向西南偏移了 69.62 km。盐城市耕地向东偏移了 0.94 km,林地向南偏

移了 5.05 km,草地向西北方向偏移了 31.72 km,水域向东北方向偏移了 22.95 km,城乡建设用地向西南方向偏移了 7.94 km,未利用地向东南方向偏移了 129.07 km。南通市耕地和水域分别向东北方向偏移了 1.03 和 3.70 km,草地向东南方向偏移了 29.77 km,林地和城乡建设用地分别向西北方向偏移了 1.90 和 6.12 km,在 1990—2000 年南通市没有未利用地,2010 年在南通市的北部出现了未利用地。可以看出这一时期无论是整个地区还是局部地区的草地、未利用地和城乡建设用地的质心在空间上变化都较为剧烈,对土地利用系统的稳定性可能会产生不利影响。

2.2.3 系统稳定性 1990—2010 年研究区内土地利用程度综合指数呈上升的趋势。同期,连云港市和南通市和研究区基本相似土地利用程度综合指数呈上升趋势,并且连云港市和南通市 1990—2000 年土地利用程度综合指数上升的速度比 2000—2010 年土地利用程度综合指数上升的速度慢,盐城市 1990—2000 年土地利用程度综合指数呈上升的趋势,但 2000—2010 年土地利用程度综合指数呈下降的趋势。

1990—2000 年,研究区内以及连云港市、盐城市、南通市的土地利用结构信息熵呈上升的趋势,表明土地利用系统有序程度在逐渐的降低。同期,研究区内以及连云港市、南通市土地利用结构均衡度上升,均质性增强。盐城市土地利用结构均衡度降低,均质性下降(图 1)。同时均衡度的最大值也仅仅在 0.5 左右,表明无论是研究区整体还是各个地市的土地利用结构,都处于不均衡的状态,使系统稳定性变差。

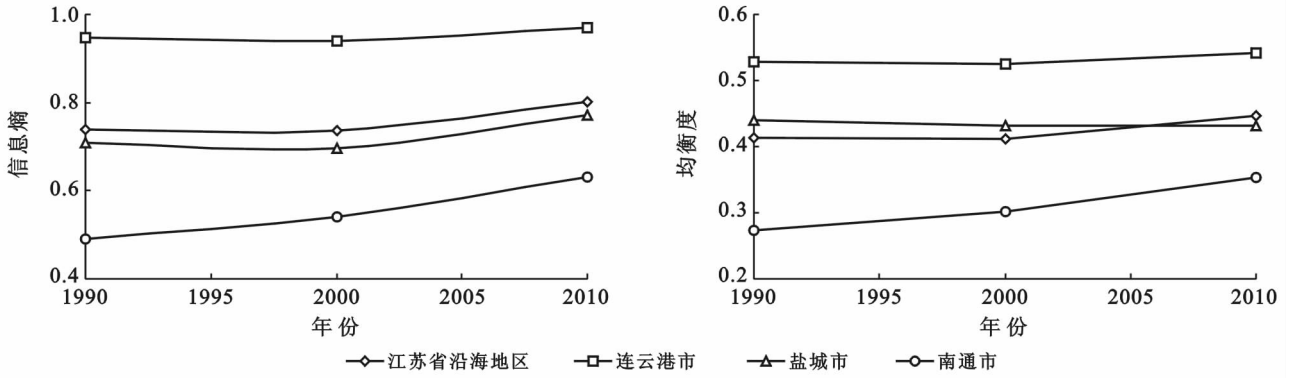


图 1 江苏省沿海地区信息熵和均衡度变化

3 土地利用变化的生态效应

3.1 对生态服务价值当量基于农田的区域修订

考虑到江苏省沿海的实际情况,本文在决定采用谢高地的生态服务价值当量表的同时,将其划分的生态系统与研究区的土地利用类型之间进行对照^[23]。由于本文将湿地划分到水域下的二级地类,所以将湿地的生态服务价值计算在了水域中。因为在谢高地的当量表农田的当量是 1,是其他生态系统当量的重要参考和区域修订的基本依据,所以在假定不同生态系统的生态服务价值当量比例保持不变的情况下,可采用徐丽芬等^[24]的方法以农田为基准进行修订,使得谢高地的生态服务价值当量表更加的符合研究

区的实际情况。

将土地利用类型生产的净利润看做是该土地利用类型所能提供的生产价值,将单位面积耕地粮食生产的净利润看做是 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量^[25]。

根据南京国家粮食交易中心、江苏粮油商品交易市场统计数据估算出 2010 年末左右的粮食价格为 2.58 元/kg。没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值约为现有单位面积农田提供的粮食经济价值的 1/7,计算得一个标准生态服务价值当量因子经济价值量的值约为 2 234.02 元/hm²^[22]。由此计算校正后的各类生态系统提供的生态服务价值如表 3 所示。

表 3 江苏省沿海地区修正后生态系统单位面积生态服务价值

元/(hm²·a)

对应的生态系统	森林	草地	农田	河流/湖泊	荒漠
食物生产	906.79	1 181.57	2 747.84	1 456.36	54.96
原材料生产	8 188.58	989.22	1 071.66	961.75	109.91
气体调节	11 870.69	4 121.77	1 978.45	1 401.40	164.87
气候调节	11 183.73	4 286.64	2 665.41	5 660.56	357.22
水文调节	11 238.68	4 176.72	2 115.84	51 577.04	192.35
废物处理	4 726.29	3 627.15	3 819.50	40 805.49	714.44
保持土壤	11 046.34	6 155.17	4 039.33	1 126.62	467.13
维持生物多样性	12 392.78	5 138.47	2 802.80	9 425.11	1 099.14
提供美学景观	5 715.52	2 390.62	467.13	12 200.43	659.48
合计	77 269.39	32 067.35	21 707.97	124 614.75	3 819.50

注:因城乡建设用地的生态服务价值系数为 0,未在表中列出。

3.2 生态系统的服务价值变化

如表 4 所示,20 a 来研究区内生态服务价值呈现出增加的趋势,并且后 10 a 的增加速度比前 10 a 的增加速度更快。1990—2000 年研究区内生态服务价值增加了 4.17 亿元,2000—2010 年间研究区内生态服务价值增加了 18.73 亿元。从各生态服务价值的比例构成来看耕地和水域的价值占总价值的 90%以

上,可以看出耕地和水域对本研究区的生态安全有着非常重要的意义。研究期内耕地的面积有所减少,造成了 27.26 亿元的生态价值损失。但同期水域面积急速增长给研究区带来了 72.56 亿元的生态价值增加额,使得研究区内生态环境保持在一个稳中有升的状态。值得注意的是研究区内耕地、林地和草地生态服务价值都处于一直减少的状态,在研究期内对研究

区生态服务价值造成的损失仅次于耕地的就是草地, 20 a 间由于草地面积的减少给研究区造成了 20.23 亿元的生态服务价值损失。因此耕地和草地面积的减少对生态环境的危害不能忽视, 否则可能对生态环境造成极其恶劣的影响。

从各个地市来看, 除盐城市生态服务价值处于增长状态外, 连云港市和南通市的生态服务价值一直处于减少的趋势, 并且减少的速度越来越快, 1990—2000 年连云港市和南通市的生态服务价值分别减少了 0.72 和 2.87 亿元, 2000—2010 年减少的生态服务价值分别增加到 6.87 和 9 亿元, 20 a 间两地的生态服务价值的损失值达到 7.60 和 11.87 亿元。从各生态系统服务价值的比例构成来看 3 地市的情况和研究区总体情况基本一致, 耕地和水域两种土地利用类型的价值占到总价值的 90% 以上, 其中耕地的生态服务价值又占到总价值的 65% 左右, 处于优势地位。

在研究期内 3 地市的耕地面积一直处于减少的趋势, 对研究区内的生态环境造成了恶劣的影响, 使

得研究区内的生态服务价值造成了极大的损失。同期连云港市的水域面积有略微的减少, 使得连云港市的生态服务价值损失量更大。南通市的水域面积有所增加, 但增加的速度较慢, 所带来的生态价值的增加也难以抵消其他地类所造成的生态价值的损失。盐城市的水域面积增加的速度较快, 特别是在 2000—2010 年水域面积增加的十分明显, 水域面积增加带来的生态服务价值的增加抵消了该市因耕地、林地和草地面积减少所造成的生态服务价值的损失, 使得盐城市的生态服务价值总体处于增加的趋势, 保持了该市生态系统的稳定。就造成盐城市生态服务价值减少的几类土地利用类型来看, 草地的减少造成的生态服务价值损失较大, 20 a 间造成的损失值达到了 16.67 亿元, 这主要是因为城乡建设用地的增加占用了耕地的面积, 而对耕地面积的补充来源主要是对草地的开发, 又因为单位面积耕地的生态服务价值要小于单位面积草地的生态服务价值, 如此造成了重大的生态价值损失。

表 4 江苏省沿海地区及各地市生态系统服务价值变化

10⁸ 元

地区	土地利用类型	生态服务价值(ESV)			生态价值变化		
		1990 年	2000 年	2010 年	1990—2000 年	2000—2010 年	1990—2010 年
江苏省沿海	耕地	576.88	573.80	547.90	-3.08	-25.90	-28.98
	林地	29.43	29.30	26.62	-0.13	-2.68	-2.81
	草地	31.88	22.38	10.36	-9.49	-12.02	-21.51
	水域	215.58	232.71	292.72	17.13	60.01	77.14
	未利用地	0.01	0.01	0.51	0.00	0.50	0.50
	合计	853.77	858.20	878.11	4.43	19.91	24.34
连云港	耕地	107.58	107.52	101.72	-0.07	-5.80	-5.87
	林地	22.71	22.60	20.98	-0.12	-1.62	-1.74
	草地	2.77	2.29	2.08	-0.48	-0.21	-0.68
	水域	54.62	54.56	55.32	-0.06	0.76	0.70
	未利用地	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
	合计	187.70	186.97	180.10	-0.72	-6.87	-7.60
盐城	耕地	262.37	262.95	252.61	0.57	-10.33	-9.76
	林地	4.65	4.65	3.82	0.00	-0.83	-0.83
	草地	23.19	14.85	6.52	-8.35	-8.33	-16.67
	水域	70.19	85.73	139.42	15.54	53.69	69.23
	未利用地	0.00	0.00	0.41	0.00	0.40	0.40
	合计	360.41	368.17	402.77	7.77	34.60	42.36
南通	耕地	172.67	169.27	161.04	-3.40	-8.23	-11.63
	林地	0.31	0.31	0.24	0.00	-0.07	-0.07
	草地	4.03	3.92	1.15	-0.11	-2.77	-2.87
	水域	77.96	78.60	80.61	0.64	2.01	2.64
	未利用地	0.00	0.00	0.07	0.00	0.07	0.07
	合计	254.97	252.10	243.10	-2.87	-9.00	-11.87

3.3 生态系统服务价值变化图谱

江苏省沿海土地利用类型变化所造成的生态服

务价值变化及其对生态环境的贡献率如表 5 所示。对生态环境的作用有 2 种: 提高(贡献率为正)和降低

(贡献率为负)生态系统服务功能^[10]。提升研究区内生态环境服务价值的主要是耕地、林地和城乡建设用地转为水域,其中草地转水域的作用最大,其贡献率为22.99%,使得生态服务价值增加了28 203.85万元。对研究区内的生态服务价值造成损失最大的是耕地转为城乡建设用地,其贡献率为23.46%,对生态环境价值造成了28 770.76万元的损失,主要是由于改革开放以来,随着人口的快速增长、城镇化过程的加快以及对单一、短期经济的盲目追求对土地造成了极大的压力。

表5 1990—2000年江苏省沿海地区土地利用变化类型及其对生态环境的贡献率

转移类型	ESV 差值/10 ⁴ 元	贡献率/%
耕地—林地	528.60	0.431 0
耕地—草地	4.56	0.003 7
耕地—水域	14 883.12	12.134 3
耕地—城乡建设用地	-28 770.76	-23.456 9
耕地—未利用地	-360.69	-0.294 1
林地—耕地	-1 374.94	-1.121 0
林地—草地	-0.03	0.000 0
林地—水域	34.96	0.028 5
林地—城乡建设用地	-964.33	-0.786 2
林地—未利用地	-82.30	-0.067 1
草地—耕地	-1 590.41	-1.296 7
草地—林地	10.65	0.008 7
草地—水域	28 203.85	22.994 7
草地—城乡建设用地	-2 814.85	-2.295 0
草地—未利用地	-2 678.68	-2.183 9
水域—耕地	-3 126.56	-2.549 1
水域—林地	-0.26	-0.000 2
水域—草地	-485.65	-0.395 9
水域—城乡建设用地	-10 718.38	-8.738 8
水域—未利用地	-129.11	-0.105 3
城乡建设用地—耕地	775.54	0.632 3
城乡建设用地—林地	32.11	0.026 2
城乡建设用地—草地	143.36	0.116 9
城乡建设用地—水域	24 746.54	20.176 0
城乡建设用地—未利用地	29.90	0.024 4
未利用地—水域	162.85	0.132 8
未利用地—城乡建设用地	-0.51	-0.000 4

将江苏省沿海1990,2000和2010年的土地利用类型数据进行栅格化处理,然后将两期的数据按照此模型进行地图运算: $value(change) = value(i) \times 10 +$

$value(j)$ 这样生成的像元值本身包含变化的类型,其中 $value(i)$ 和 $value(j)$ 分别代表研究时段开始和结束的土地利用类型,再乘以研究区土地利用类型转移后的单位面积生态价值的差值可得到生态价值变化图谱^[11]。根据研究的需要把生态服务价值没有发生变化的区域定义为生态保值区,把生态服务价值提高的区域定义为生态增值区,反之定义为生态减值区^[26]。从图2可以看出在20 a间研究区内生态增值区主要集中在盐城市的东部地区,生态减值区主要集中在连云港市的东部和南通市的东南部地区,这一分布情况也与土地利用类型质心的变化相适应。

分时段来看1990—2000年研究区内生态增值区范围较小,主要集中在盐城市的东部沿海地区,生态减值区的范围相比较较大,主要分布在连云港的东部沿海、南通市的东南部,盐城市的东部沿海地区也有少量的生态减值区。2000—2010年盐城市东部沿海地区生态增值区范围增加,生态减值区范围缩小,连云港市东部沿海地区和南通市的东南部地区生态减值区范围增加,而且在盐城市的中部和南通市的南部地区生态减值区有扩张的趋势。并且1990—2000年生态增值区和生态减值区的变化不如2000—2010年剧烈。盐城市东部沿海地带生态服务价值增长的主要原因是各种用地类型向水域的转变,而水域对生态环境的作用十分的重要,使得生态服务价值增加,而这种作用在2000—2010年表现的更加的强烈。连云港市东部沿海地带生态服务价值减少的原因主要是港口经济及旅游业的发展,对沿海地带进行过度开发,破坏了环境的整体性使得该地区生态服务功能下降。南通市东南部属于长江三角洲,经济高度发达,经济快速发展的同时也对该地区的生态环境带来了破坏。盐城市的中部和南通市的南部地区主要是城镇化的快速发展,对土地造成了很大的压力,居民点的扩张占用了耕地等其他类型的用地,使得生态服务价值下降。

通过上述研究可以发现,研究区内总体生态系统服务价值的提升是由于研究区内的少数区域的生态环境改善造成的,但若依靠少数区域的生态环境的改善来实现研究区内生态服务价值的长久提升是不现实的,且研究发现生态减值区的面积有逐步扩大的趋势,这一现象势必对生态保值区和生态增值区产生威胁,并影响研究区内生态系统服务价值的变化,对研究区内的生态环境稳定产生不良影响。

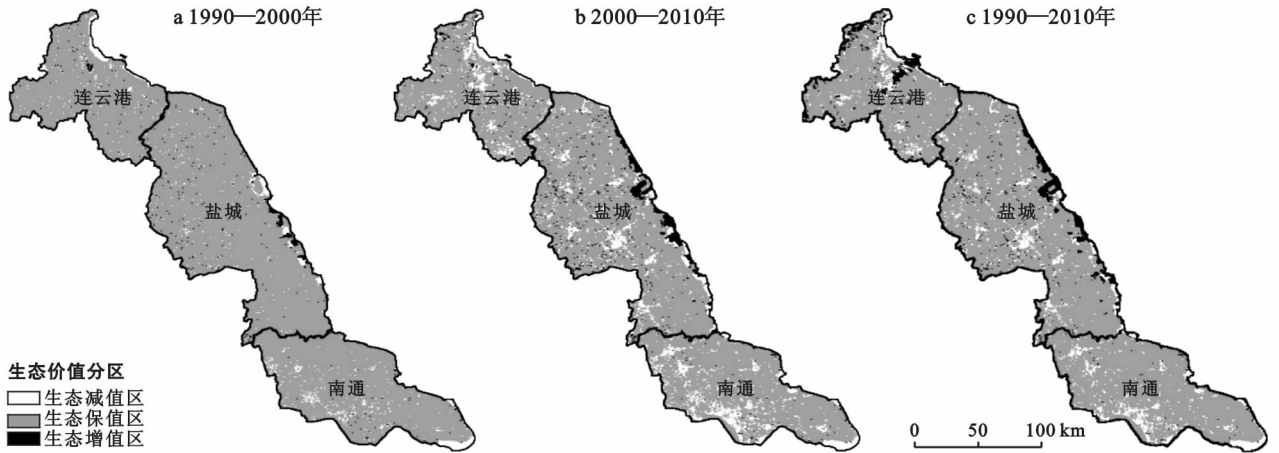


图 2 江苏省沿海地区不同时段生态价值变化

3.4 生态系统服务的敏感性分析

根据公式(6),本文把各土地利用类型的生态价值系数分别向上调整 50%,计算研究区 1990,2000 和 2010 年各种土地利用类型的敏感性指数。结果表明,修正后的敏感性指数均小于 1,且各年份之间的差别不大(图 3)。其中敏感性最高的土地利用类型是耕地,为 0.62~0.67,表明耕地的生态价值系数增加 1%时,生态系统服务总价值将增加 0.62%~0.67%。这表明研究区的生态系统服务价值缺乏弹性,研究结果具有可信性。所以本文选用的修订方法是有效的。

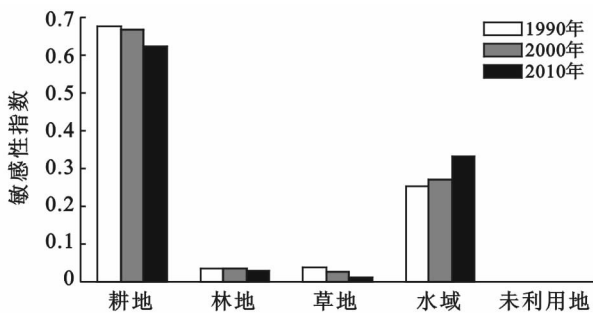


图 3 生态系统服务价值敏感性指数变化(1990—2010 年)

4 讨论与结论

(1) 在 1990—2010 年研究区耕地、林地和草地面积减少,水域、城乡建设用地和未利用地面积增加。分时段来看,1990—2000 年的土地利用类型变化不如 2000—2010 年剧烈。城乡建设用地的扩张占用了耕地,而对耕地的补充量最多的是对草地的开发,城乡建设用地的质心向东南方向偏移,草地的质心向西北方向偏移,耕地的质心相比较变化不大。同时可以发现草地、未利用地和城乡建设用地的质心在空间位置上变化较大,在一定程度上造成土地利用综合程度

指数下降,土地利用结构均衡度差,系统不稳定,从而对生态系统的稳定性造成危害。

(2) 耕地、林地和草地面积的减少损害了研究区的生态系统服务功能,然而水域面积的快速增长加之水域对保持生态系统稳定的作用较大,从而弥补了上述用地类型面积减少所造成的生态价值损失,使得研究区总体生态服务价值处于稳中有升的趋势。但是从空间上来看,生态增值区主要集中在盐城市东部沿海的一小块地带,而生态价值减值区分布面积较广,在各个地区均有分布,且生态减值区的面积有扩大的趋势,这与土地利用综合程度指数下降,土地利用结构不均衡,系统不稳定有一定的关系。2000—2010 年生态减值区的面积和分布范围明显比 1990—2000 年更大和更广。所以由土地利用变化造成的生态服务价值变化不容忽视。

(3) 本文采用了一种基于单位面积价值当量因子的方法计算研究区内的生态系统服务价值,因此选择了谢高地等^[22-23]提出的生态系统服务价值当量表,并运用徐丽芬等^[24]的方法进行区域性修正,与其他方法相比,该方法具有数据需求少、计算过程简便、评估全面、方法统一、广泛适用和结果易于比较的优点。但该方法核算的结果主要为生态系统本身所提供的生态服务价值,而影响生态系统的因素是复杂多样的,加之人类活动对周围环境的影响越来越剧烈,使得计算结果存在着一定的不确定性。总之该方法实现了对生态系统服务时刻动态的快捷核算,但计算方法有待于进一步完善。

[参 考 文 献]

- [1] 杨依天,郑度,张雪芹,等. 1980—2010 年和田绿洲土地利用变化空间耦合及其环境效应[J]. 地理学报, 2013, 68(6):813-824.
- [2] 欧阳志云,王如松,赵景柱. 生态系统服务功能及其生态

- 经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [3] 王宗明,张树清,张柏.土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J].中国环境科学,2004,24(1):126-129.
- [4] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387:253-260.
- [5] Carpenter S R, Mooney H A, Agard J, et al. Science for managing ecosystem services: Beyond the millennium ecosystem assessment[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2009,106(5):1305-1312.
- [6] Turner R K, Paavola J, Cooper P, et al. Valuing nature: Lessons learned and future research directions[J]. Ecological Economics, 2003,46(3):493-510.
- [7] 伍星,沈珍瑶,刘瑞民,等.土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J].农业工程学报,2009,25(8):236-241.
- [8] 刘桂林,张落成,张倩.长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影子[J].生态学报,2014,34(12):3311-3319.
- [9] 岳书平,张树文,闫业超.东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J].地理学报,2007,62(8):879-886.
- [10] 李志,刘文兆,杨勤科.黄土高原沟壑区小流域土地利用变化及其生态效应分析[J].应用生态学报,2007,18(6):1299-1304.
- [11] 莫宏伟,任志远,王秋贤.风沙过渡区土地利用变化及生态效应图谱:以陕北榆阳区为例[J].地理科学,2008,28(6):770-775.
- [12] 张兴榆,黄贤金,赵小凤.江苏省沿海地区土地利用变化的生态系统服务价值核算[J].水土保持研究,2015,22(1):252-256.
- [13] 姚成胜,朱鹤键,吕晞,等.土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J].自然资源学报,2009,24(2):225-233.
- [14] 吕晓,黄贤金,钟大洋,等.土地利用规划对建设用地扩张的管控效果分析:基于一致性与有效性的复合视角[J].自然资源学报,2015,30(2):177-187.
- [15] 吕晓,史洋洋,黄贤金,等.江苏省土地利用变化的图谱特征[J].应用生态学报,2016,27(4):1077-1084.
- [16] 于森,吕晓,陈昌玲.江苏省土地利用变化的基本特征与时空格局分析[J].青岛农业大学学报:自然科学版,2016,33(1):76-80.
- [17] 刘纪远.中国资源环境遥感宏观调查与动态监测研究[M].北京:中国科学出版社,1996:158-188.
- [18] 陈曦.中国干旱区土地利用与土地覆被变化[M].北京:科学出版社,2008:28-54.
- [19] 林珍铭,夏斌,董武娟.基于信息熵的广东省土地利用结构时空变化分析[J].热带地理,2011,31(3):266-271.
- [20] 杨晓娟,杨永春,张理茜,等.基于信息熵的兰州市用地结构动态演变及其驱动力[J].干旱区地理,2008,31(2):291-297.
- [21] 许凤娇,田志强,吕晓,等.县域耕地占补时空变化及其规划管控效果分析[J].水土保持通报,2016,36(5):56-60.
- [22] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [23] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [24] 徐丽芬,许学工,罗涛,等.基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法:以渤海湾沿岸为例[J].地理研究,2012,31(10):1775-1784.
- [25] 谢高地,张彩霞,张昌顺.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
- [26] 龚文峰,袁力.土地利用及生态服务价值变化的图形信息特征分析:以松花江流域哈尔滨段为例[J].环境科学与技术,2010,33(8):200-205.