

引用格式:束邱恺,高永年,刘友兆,等.江苏沿海地区土地利用生态价值测算评估[J].地球信息科学学报,2016,18(6):787-796. [Shu Q K, Gao Y N, Liu Y Z, *et al.* 2016. Calculating ecological value of land use in the coastal areas of Jiangsu province. Journal of Geo-information Science, 18(6):787-796.] DOI:10.3724/SP.J.1047.2016.00787

江苏沿海地区土地利用生态价值测算评估

束邱恺¹,高永年^{2*},刘友兆¹,王 燕³,鲍桂叶³

1. 南京农业大学公共管理学院,南京 210095; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所 流域地理学重点实验室,南京 210008;
3. 江苏省土地勘测规划院,南京 210024

Calculating Ecological Value of Land Use in the Coastal Areas of Jiangsu Province

SHU Qiukai¹, GAO Yongnian^{2*}, LIU Youzhao¹, WANG Yan³ and BAO Guiye³

1. College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Key Laboratory of Watershed Geographic Sciences, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;
3. Jiangsu Institute of Land Surveying and Planning, Nanjing 210024, China

Abstract: Calculating the ecological value of Jiangsu coastal region provides a significant guidance for making decisions regarding the scientific utilization of regional land and the optimized allocation of resources. According to the characteristics of land exploitation and the ecological services of Jiangsu coastal region, an ecological value-assessing indicator system was constructed by analyzing four primary types of land use, including farmland, urban industrial and mining land, woodland and coastal beach. Also, the assessment models used for calculating the ecological value of Jiangsu coastal region were constructed by incorporating the integrated equivalent factor method, the value evaluation method, the market valuation method, the expert evaluation method, the production cost method and the contingent valuation method. Based on a series of data, including the land exploitation data, the sown area, the output value, the unit price, the annual precipitation, and the discharge of waste water, waste gas and dust emission, the ecological value of land exploration in Jiangsu coastal region during 2011 was calculated. The results showed that: the unit ecological values of farmland in each city were similar, averagely being around 6000 yuan/hm². The ecological value yielded by the urban and industrial land in Nantong is reaching up to -7720.68 yuan/hm²; meanwhile, the ecological value yielded by the urban and industrial land in Lianyungang was relatively smaller. The modified ecological value of woodland was considerably high, which is much greater than the ecological values of farmland and coastal beach. According to the area and mean ecological value of the four primary types of land use in the Jiangsu coastal region, it could be calculated that the total ecological value of Jiangsu coastal areas in 2011 was 10.386 billion yuan. From the multi-disciplinary perspectives, in 2011, the ecological values of farmland, urban industrial and mining land, woodland and coastal beach in Jiangsu coastal area were 6178.95 yuan/hm², -5163.26 yuan/hm², 16 438.42 yuan/hm², and 8125.53 yuan/hm² respectively, which were calculated based on the average value of three cities. From the perspective of different cities, in 2011, the ecological values of farmland, urban industrial and mining land, woodland, and coastal beach of Lianyungang city were 2.406, -0.376, 0.243 and 0.183 billion yuan respectively. The ecological values of farmland, urban industrial and mining land, woodland, and coastal beach of Yancheng city were 5.414, -1.107, 0.206 and 1.118 billion yuan respectively. The ecological values of farmland, urban industrial and mining land, woodland, and coastal beach of Nantong city were 2.635, -1.37, 0.007 and 1.027 billion yuan respectively. And the adding-up total ecological values of farmland, urban industrial and mining land, woodland, and coastal beach in Jiangsu province were 10.455, -2.853, 0.456 and 2.328 billion yuan respectively. Among them, it could be

收稿日期 2016-02-05;修回日期:2016-03-25.

基金项目 江苏省国土科技项目(201204);国土资源部重点地区土地综合承载力调查评价项目(DCP14-8.1)。

作者简介 束邱恺(1991-),男,浙江台州人,硕士生,主要从事土地利用评价、土地信息技术等研究。

E-mail: 2013109010@njau.edu.cn

*通讯作者:高永年(1977-),男,博士,副研究员,硕士生导师,研究方向为土地资源管理。E-mail: yngao@niglas.ac.cn

found that the total ecological value of woodland was relatively smaller, considering that it has a relative smaller area.

Key words: ecological value; land usage; coastal area; Jiangsu coastal areas

***Corresponding author:** GAO Yongnian, E-mail: yngao@niglas.ac.cn

摘要 江苏沿海地区生态价值的测算评价对于区域土地合理利用、优化配置具有重要的指导意义。根据江苏沿海地区土地利用和生态服务特征构建了江苏沿海地区耕地、城镇工矿用地、林地和沿海滩涂4个主要地类的生态价值体系以及综合当量因子法、价值量评价法、市场价值法、专家评估法、生产成本法和偿付意愿法等生态价值测算方法模型,基于土地利用数据、播种面积、产出值、单产价格、降雨量以及废水、废气及烟(粉)尘排放量等数据测算了2011年江苏沿海地区现状土地利用生态价值。结果表明,江苏沿海地区耕地的生态价值均值为6178.95元/hm²、城镇工矿用地的生态价值为-5163.26元/hm²、林地的生态价值为16438.42元/hm²、沿海滩涂的生态价值为8125.53元/hm²;连云港市、南通市、盐城市的耕地、林地、沿海滩涂都产生了正向的生态价值,共计104.55、4.56、23.28亿元,而这3个城市的建设用地造成了一定的生态价值损失,共计-28.53亿元。

关键词: 生态价值;土地利用;沿海滩涂;江苏沿海地区

1 引言

土地资源的开发利用会对人类的生活和生产产生直接或间接的生态价值,其中直接生态价值体现为直接满足人类当前生产或消费需求;间接生态价值体现为人类生产消费提供必要的保证条件,例如涵盖水源、土壤保护、改善小气候等^[1]。随着社会经济的发展,公众对生态环境的期望不断提高,政府对生态价值的重视不断加强,土地生态服务价值研究成为众多学者关注的热点,因此核算江苏沿海地区土地利用的生态价值对区域土地合理利用、优化配置以及沿海滩涂有序围垦开发的决策具有重要的指导意义。

20世纪70年代,Westman等^[2]提出了生态服务功能,之后Costanza、Duguma、Abidueva等^[3-5]通过不同的研究方法在生态系统服务领域的多个方面获得了一些研究成果。近年来,中国生态服务价值的研究也取得了长足发展。彭文甫等^[6]基于GIS和RS研究土地利用对生态价值造成的影响;程琳琳等^[7]和杨俊等^[8]利用单一土地利用动态度、土地利用程度研究了土地利用变化对生态价值的影响;刘东等^[9]利用机会成本法对浙江省森林生态系统的生态服务价值进行了系统的评估分析;陈海燕等^[10]以土地利用为切入点估算并分析了内蒙古地区生态系统服务功能价值变化的驱动因素。本文在前人研究的基础上,针对江苏沿海地区的特征构建生态价值评价体系,综合运用当量因子法、价值量评价法(VAM)、市场价值法、专家评估法、生产成本法等进行分项生态价值测算,并采用偿付意愿法进行修正,进而测算各主要地类的生态价值,以期为江苏沿海地区土地合理利用和优化配置提供决策参考。

2 研究区概况

江苏沿海地区介于31°38′~35°08′N、118°24′~122°01′E之间,东西宽约60~150 km,南北长约466 km(图1)。该区南起长江北堤,北到苏鲁边界,西与徐州、淮阴、扬州、泰州接壤,东临黄海。标准海岸线长度达954 km,陆地总面积3.51万km²,浅海滩涂总面积68.73万hm²。该区隶属于连云港市、盐城市和南通市,地处苏中、苏北,优势资源丰富,战略地位突出,是长江三角洲的重要区域。据统计,2011年江苏沿海地区耕地、城镇工矿用地、林地和沿海滩涂4类土地利用类型占区域总面积的71.85%,是江苏沿海地区的4种主要土地利用类型(图1)。鉴于土地利用动态演变的驱动力研究中,多数学者将耕地、城镇工矿用地、林地和沿海滩涂作为最为重要的驱动因子^[7-11],因此本文仅计算这4种地类的生态价值。

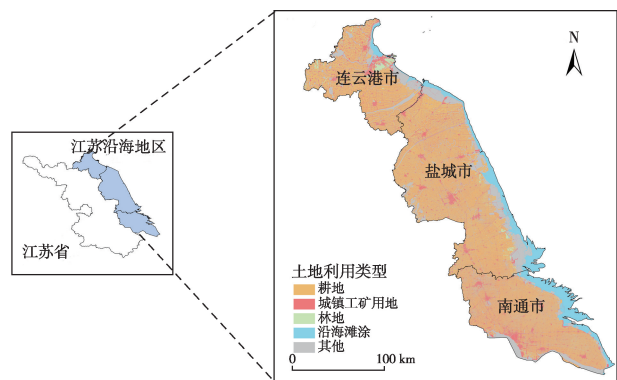


图1 江苏沿海地区行政区划与土地利用分布图
Fig.1 The administrative map of Jiangsu coastal area and the land use map

3 数据与方法

3.1 数据及其来源

农业的播种面积、产出值、单产价格、平均年降雨量以及各市林业总收益数据来源于2012年连云港市、盐城市、南通市统计年鉴和2011年的《全国农产品成本收益资料汇编》。2011年土地利用数据来自连云港市、盐城市、南通市国土资源管理部门,废水、废气及烟(粉)尘排放量数据出自2011年的连云港市、盐城市和南通市环境状况公报。不同类别林地数据来源于2011年连云港市、盐城市和南通市县级森林覆盖率和林木覆盖率监测结果的报告。

3.2 研究方法

根据江苏沿海地区实际情况,构建耕地、城镇工矿用地、林地和沿海滩涂的生态价值评估指标体系(表1)。

表1 江苏沿海地区生态价值体系表

Tab.1 Ecological value system in the coastal areas of Jiangsu Province

地类	生态价值因子	生态效果
耕地	水源调节	正向
	水土保持	正向
	气候调节	正向
	气体调节	正向
	生物多样性维持	正向
	土壤净化	正向
	非点源总氮输出负荷	负向
	非点源总磷输出负荷	负向
城镇工矿用地	废水污染	负向
	废气及烟(粉)尘污染	负向
林地	涵养水源量	正向
	节约土地资源	正向
	减轻泥沙淤积	正向
	增加氮磷钾元素积累	正向
	减少氮磷钾元素流失	正向
	固碳	正向
	制氧	正向
	吸收污染物	正向
	阻滞粉尘	正向
沿海滩涂	土壤形成	正向
	岸堤保护	正向
	有机质产生	正向
	去除营养盐	正向
	去除重金属	正向
	固碳	正向
	制氧	正向

3.2.1 耕地生态价值测算

耕地生态价值是指在耕地利用过程中,基于耕地生态系统部分生命系统支持功能,通过物理和化学作用而产生的效益。

(1)正向效益主要体现在水源调节、水土保持、气候调节、气体调节、生物多样性维持以及土壤净化上,其计算公式为式(1)^[12]。

$$E_g = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_i p_i q_i}{M} \quad (1)$$

式中: E_g 指1单位当量因子的价值量/(元/hm²),即1 hm²全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值;1/7指在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供的食物生产服务经济价值的1/7; i 为粮食作物种类,海岸带主要粮食作物有小麦、玉米、稻谷、大豆; p_i 为 i 种粮食作物全国平均价格/(元/kg); q_i 为 i 种粮食作物播种面积单产/(kg/hm²); m_i 为 i 种粮食作物播种面积/hm²; M 为 n 种粮食作物播种总面积/hm²。耕地水源调节效益、水土保持效益、气候调节效益、气体调节效益、生物多样性效益以及土壤净化效益的当量值分别为:0.60、1.46、0.89、0.50、0.71、1.64^[12-14]。

(2)负向效益主要表现为耕地产生的非点源污染,其中主要为氮、磷输出负荷。非点源污染负向效益的计算主要采用输出系数和价格代替法计算。

耕地非点源污染物总氮所产生的生态价值计算公式^[15]为式(2)。

$$E_N = K_N \cdot P_N \cdot M_N \quad (2)$$

式中: E_N 为耕地非点源总氮污染效益值/(元/hm²); K_N 为耕地总氮平均输出系数/(kg/(hm²·a)); P_N 为1 t纯氮折合化肥的比例; M_N 为氮化肥的年平均零售价/(元/t)。耕地总氮平均输出系数取19.04 kg/(hm²·a)。1 t纯氮可折合成9.32 t尿素,2011年尿素的平均零售价为2070元/t。

耕地污染物总磷产生的生态价值计算公式^[12-13]为式(3)。

$$E_p = K_p \cdot P_p \cdot M_p \quad (3)$$

式中: E_p 为耕地非点源总磷污染效益值,元/hm²; K_p 为耕地总磷平均输出系数/(kg/(hm²·a)); P_p 为1 t纯磷折合化肥的比例; M_p 为磷化肥的年平均零售价,元/t。耕地总磷平均输出系数取值为0.75 kg/(hm²·a)。1 t纯磷分别可折合成31.27 t过磷酸钙,2011年过磷酸钙的平均零售价为640元/t。

3.2.2 城镇工矿用地生态价值测算

城镇工矿用地生态价值是指人类在特定地类中经济活动所引起的生态环境质量变化的结果,主要体现在废水污染、废气(SO₂排放量)与烟(粉)尘污染方面。这些指标反映了建设用地对生态环境的影响程度。

(1)单位面积城镇工矿用地废水污染效益值的计算公式为式(4)^[16]。

$$E_s = -\frac{(C_s + G_s) \cdot M_s}{A_a} \quad (4)$$

式中: E_s 为城镇工矿用地废水污染效益值/(元/hm²); C_s 为城镇源废水排放量/t; G_s 为工业源废水排放量/t; M_s 为废水处理成本/(元/t); A_a 为城镇工矿用地面积/hm²。

(2)单位面积城镇工矿用地废气与烟(粉)尘污染效益值的公式为式(5)^[15]。

$$E_q = -\frac{(C_q + G_q) \cdot M_q + (C_f + G_f) \cdot M_f}{A_a} \quad (5)$$

式中: E_q 为城镇工矿用地废气与烟(粉)尘污染效益值/(元/hm²); C_q 为城镇源二氧化硫排放量/t; G_q 为工业源二氧化硫排放量/t; M_q 为废气处理成本/(元/t); C_f 为城镇源烟(粉)尘排放量/t; G_f 为工业源烟(粉)尘排放量/t; M_f 为烟(粉)尘处理成本/(元/t)。

3.2.3 林地生态价值测算模型

林地利用生态价值是指林地在太阳辐射、大气环流和土壤的影响下,通过物理、化学和生物直接和间接地作用于人类,并具有使用价值与公用商品特征,主要体现在涵养水源量、节约土地资源、减轻泥沙淤积、增加氮磷钾元素积累、减少氮磷钾元素流失、固碳、制氧、吸收污染物、阻滞粉尘方面^[9]。

(1)涵养水源量所产生的生态价值计算公式为式(6)^[17-18]。

$$E_1 = R \cdot \theta \cdot M_1 \quad (6)$$

式中: E_1 为涵养水源量生态效益值/(元/hm²); R 为平均年降雨量/mm; θ 为截留系数; M_1 为水库建设成本/(元/m³)。截留系数大多在25%~30%之间,考虑到江苏沿海地区地区的环境特征,截留系数取27%。1990年中国消费价格指数为165.2,当年水库建设成本为全国多年平均库容建造成本值,0.67元/m³; 2011年中国消费价格指数为406.3,换算后将库容建造成本值取1.65元/m³。

(2)节约土地资源所产生的生态价值计算公式

为式(7)^[19]。

$$E_2 = \frac{D_i \cdot B_i}{10000 \cdot \alpha \cdot \rho} \quad (7)$$

式中: E_2 为节约土地资源效益值/(元/hm²); D_i 为单位森林土壤保持量/(t/hm²); B_i 为各市单位林业平均收益/(元/hm²); α 为土壤表土平均厚度/m; ρ 为土壤容重/(t/m³)。在本文土壤表土平均厚度取0.4 m,土壤容重取1.3 t/m³。有林地、灌木林地、其他林地的单位土壤保持量分别取4.41、4.83和2.96 t/hm²。

单位森林土壤保持量的公式如下式(8)所示^[20]。

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot dt_i}{A} \quad (8)$$

式中: A_i 为第 i 类林地面积/hm²; A 为总林地面积/hm²; dt_i 为第 i 类林地的单位土壤保持量/(t/hm²)。

(3)减轻泥沙淤积所产生的生态价值计算公式为式(9)^[19]。

$$E_3 = \frac{D_i \cdot \gamma \cdot M_2}{\rho} \quad (9)$$

式中: E_3 为减轻泥沙淤积效益值/(元/hm²); γ 为土壤侵蚀流失的泥沙淤积在水库、湖泊、江河的比例; M_2 为修建水库工程费用/(元/m³)。江苏沿海地区的土壤侵蚀流失的泥沙淤积在水库、湖泊、江河的比例取24%,2000年修建水库工程费用为5.72元/m³,2000年中国消费价格指数为354.4,换算后将修建水库工程费用设为6.55元/m³。

(4)增加氮磷钾元素积累的生态价值计算公式为式(10)^[21-22]。

$$E_4 = D_i \cdot \sum_{i=1}^3 P_{1i} \cdot P_{2i} \cdot P_{3i} \quad (10)$$

式中: E_4 为增加氮磷钾元素积累所产生的效益值/(元/hm²); P_{1i} 为森林土壤中氮、磷、钾的含量($i=1,2,3$); P_{2i} 为1 t纯氮、磷、钾折合化肥的比例; P_{3i} 为氮、磷、钾化肥的全国年平均零售价/(元/t)。本文森林土壤中氮、磷、钾的含量分别取0.15%、0.10%、1.02%; 1 t纯氮、磷、钾分别可折合成9.32 t尿素、31.27 t过磷酸钙、3.18 t氯化钾。据统计资料^[14]显示,2011年尿素、过磷酸钙、氯化钾的全国平均零售价分别为2070、640、3166元/t。

(5)减少氮磷钾元素流失的生态价值计算公式为式(11)^[19]。

$$E_5 = \sum_{i=1}^3 K_i \cdot P_{2i} \cdot P_{3i} \quad (11)$$

式中: E_5 为减少氮磷钾元素流失的效益值/(元/hm²);

K_i 为单位面积森林凋落物中氮、磷、钾的年归还量/(t/hm²),其计算公式为式(12)。

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot ds_i}{A} \cdot K \quad (12)$$

式中: ds_i 为第 i 类林地的单位面积森林年凋落物量/(t/hm²); K 为凋落物量归还率。研究表明有林地、灌木林地、其他林地的单位面积森林年凋落物量分别为 8.14、1.83 和 0.92 t/hm²。氮、磷、钾归还量占森林凋落物总重量的 1.567%、0.096%、0.67%。通过式(12)可计算出连云港市的氮、磷、钾的年归还量分别为 0.0708、0.0043 和 0.0303 t/hm², 盐城市的氮、磷、钾的年归还量分别为 0.0913、0.0056 和 0.0390 t/hm², 南通市的氮、磷、钾的年归还量分别为 0.0807、0.0049 和 0.0345 t/hm²。

(6) 固定二氧化碳的生态价值计算如式(13)^[23]所示。

$$E_6 = \frac{0.4418 \cdot M_3 \sum_{i=1}^3 A_i \cdot T_i}{A} \quad (13)$$

式中: E_6 为固定二氧化碳的效益值/(元/hm²); M_3 为固碳成本/(元/t); T_i 为第 i 类林地的干物质生产率/(t/hm²)。研究显示 2000 年固碳成本为 255 元/t, 通过消费价格指数换算得 2011 年固碳成本为 292.4 元/t。有林地、灌木林地、其他林地的干物质生产率分别为 5.78、4.13 和 4.65 t/hm²。

(7) 制氧的生态价值计算公式为式(14)^[23]。

$$E_7 = \frac{1.2 \cdot M_4 \sum_{i=1}^3 A_i \cdot T_i}{A} \quad (14)$$

式中: E_7 为制氧的效益值/(元/hm²); M_4 为制氧成本/(元/t)。研究显示 2000 年制氧成本 527.5 元/t, 通过消费价格指数换算得 2011 年制氧成本为 604.8 元/t。

(8) 吸收污染物的生态价值计算公式为式(15)^[20]。

$$E_8 = S_1 \cdot M_5 \quad (15)$$

式中: E_8 为吸收污染物的效益值/(元/hm²); S_1 为单位面积林地吸收 SO₂ 的能力/(t/hm²); M_5 为单位 SO₂ 污染物的治理成本/(元/t)。单位面积林地吸收 SO₂ 的能力 0.15 t/hm², 2000 年单位 SO₂ 污染物的治理成本为 600 元/t, 通过消费价格指数换算得 2011 年单位 SO₂ 污染物的治理成本为 687.9 元/t。

(9) 阻滞粉尘的生态价值计算公式为式(16)^[24]。

$$E_9 = S_2 \cdot M_6 \quad (16)$$

式中: E_9 为阻滞粉尘的效益值/(元/hm²); S_2 为单位面积林地吸收粉尘的能力/(t/hm²); M_6 为单位粉尘的治理成本/(元/t)。单位面积林地吸收粉尘的能力 22 t/hm², 2000 年单位粉尘的治理成本为 170.0 元/t, 通过消费价格指数换算得 2011 年单位粉尘的治理成本为 194.9 元/t。

3.2.4 沿海滩涂生态价值测算

沿海滩涂是维持沿海地带生态环境的重要资源,在湿地保护中占有重要地位,沿海滩涂的面积随淤积过程动态增加,其中生态价值尤其显著,主要体现在土壤形成、岸堤保护、有机质生产、净化环境、大气调节价值(固定 CO₂、释放 O₂)方面。本文通过市场价值法、专家评估法、生产成本法评估对其进行计算。

(1) 土壤形成所产生的生态价值,其计算公式如式(17)^[25]所示。

$$E_t = \frac{K \cdot L \cdot D_1 \cdot M_a}{A} \quad (17)$$

式中: E_t 为土壤形成的效益值/元; K 为促进淤泥产生作用/(cm/a); L 为滩涂长度/m; D_1 为岸堤底部宽度/m; A 为滩涂面积/hm²; M_a 为土壤折算价格/(元/m³)。取促进淤泥产生作用为 5 cm/a,沿海滩涂平均宽度约为 600 m,岸堤底部宽度一般在 50 m,通过市场调查了解取土壤折算价值为 56 元/m³。

(2) 岸堤保护所产生的生态价值,其计算公式如式(18)^[25]所示。

$$E_a = \frac{T \cdot G \cdot L \cdot D_2 \cdot M_b}{A} \quad (18)$$

式中: E_a 为岸堤保护的效益值/元; T 为台风损害系数; G 为滩涂消浪护堤安全高度降低值/m; D_2 为岸堤宽度/m; M_b 为江苏沿海围垦土的单价/(元/m³)。台风损害系数取 0.5,滩涂消浪护堤的效果取原设计标准的 20 年一遇的海堤安全高度降低 2 m,海堤宽度取 15 m,江苏沿海围垦土单价约为 7.1 元/m³。

(3) 有机质产生的生态价值计算公式为式(1)^[26]。

$$E_y = \frac{\sum S_i \cdot q_i \cdot M_i}{A} \quad (19)$$

式中: E_y 为产生有机质的效益值/元; S_i 为 i 类物质可收获面积/hm²; q_i 为 i 类物质单产/(kg/hm²); M_i 为 i 类物质的市场单价/(元/kg)。市场价格参照当地实际物价、在原材料价值估计中,可收获面积取总生产面积的一半。

(4) 净化水质所产生的生态价值,其计算公式

如式(20)^[26]所示。

$$E_j = E_s + E_z \quad (20)$$

式中: E_j 为净化水质效益值/元。

$$E_s = \max \left\{ \frac{T_{n,p}}{N_{n,p} \%} \right\} \cdot M_w \quad (21)$$

式中: E_s 为去除营养盐所产生的效益值/元; $T_{n,p}$ 为滩涂净化N、P的量/t; $N_{n,p} \%$ 为河流污水中N、P的含量; M_w 为污水处理厂单位去除污水费用/(元/t)。

$$E_z = \frac{E_y \cdot a}{1 - a} \quad (22)$$

式中: E_z 为去除重金属所产生的效益值/元; a 为去除重金属占净化环境的比值。污水处理厂处理污水的成本取3000元/10⁴t^[30]。合流污水含氮量和含磷量分别取2.90%、0.24%。

(5)固定二氧化碳所产生的生态价值计算公式为式(23)^[26]。

$$E_c = 0.4418 \cdot T_c \cdot M_c \quad (23)$$

式中: E_c 为固定二氧化碳所产生的效益值/元; T_c 为单位面积干物质二氧化碳吸收量/(g/hm²); M_c 为固碳成本/(元/t)。光合作用反应可得形成1g干物质需要吸收1.62g二氧化碳。

(6)制氧的生态价值计算公式为式(24)^[23]。

$$E_o = 1.2 \cdot T_o \cdot M_o \quad (24)$$

式中: E_o 为制氧所产生的效益值/元; T_o 为单位面积干物质二氧化碳吸收量/(g/hm²); M_o 为制氧成本/(元/t)。光合作用反应可得形成1g干物质需要释放1.2g氧气。

3.2.5 偿付意愿法修正

直接采用上述的方法计算的生态价值会存在一定的误差,在此进一步采用环境经济学中对非市场要素进行评价的最佳方法即偿付意愿法对生态价值进行修正。偿付意愿法修正生态价值的经济内涵如图2所示^[27];从图2可看出,若生态价值单价仅采取 P_0 则明显存在一定误差,因此将 P_a 作为生态价值的单位价格所得出的价值量更为精确。

生态价值单位价格 P_a 的计算公式为式(25)^[27]。

$$P_a = P_1 \cdot \frac{H^2 - 1}{H} \quad (25)$$

式中: H 的构建方法如式(26)所示。

$$H = \begin{cases} \frac{Q_1}{Q_0}, & \text{if } \frac{Q_1}{Q_0} > 1 \\ 1, & \text{else} \end{cases} \quad (26)$$

式中: $P_1 \cdot Q_1 = P_0 \cdot Q_0$ 。 Q_0 为含生态服务的价值总量; Q_1 为不含生态服务的价值总量; P_0 为偿付意愿法计算出的生态服务价格; P_1 为当前价格; D 为需求曲线(人类经济社会消费能力); P 为含生态服务的供应曲线; P_n 为不含生态服务的供应曲线。

通过上述方法计算得到不同地类分项生态价值的均值,但还需进一步转换为总量。转换方法是用不同地类分项生态价值均值乘以对应的地类面积,然后将不同地区、不同地类分项生态价值总量相加即可求得相对应的生态价值总量。

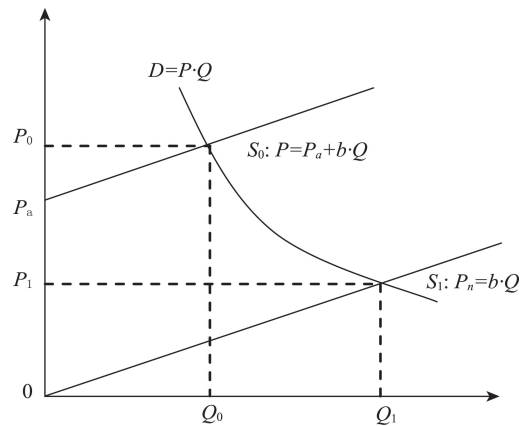


图2 生态服务价值模型

Fig.2 The model of ecological service value

4 结果分析

4.1 耕地生态价值

耕地的生态系统服务功能价值排序为:土壤净化>水土保持>改善小气候>生物多样性>涵养水源>改善大气质量>非点源磷输出负荷>非点源氮输出负荷(表2)。盐城市的地均耕地生态价值量略高于连云港市和南通市,达到12 751.7元/hm²,其中土壤净化、水土保持的贡献率均达20%以上,耕地对改善大气质量的贡献率相对较少,为8.88%(表2),而非点源污染的负贡献率也相对不大,并没有对整体生态价值造成一定的影响。

4.2 城镇工矿用地生态价值

由表3可知,由废水、废气和烟(粉)尘导致的城镇工矿用地利用生态负价值,连云港市最优,其次分别为盐城市、南通市。南通市的城镇工矿用地利用生态负价值是连云港市的2.6倍。而这3个城市的废水、废气和烟(粉)尘导致的负价值呈现递减的特

表2 江苏沿海地区耕地生态价值量

Tab.2 Farmland's eco-magnitude in the coastal areas of Jiangsu Province

耕地生态价值体系	当量值	效益值/(元/hm ²)					
		连云港市	贡献率/(%)	盐城市	贡献率/(%)	南通市	贡献率/(%)
涵养水源	0.60	1334.8	10.66	1358.7	10.66	1320.7	10.66
水土保持	1.46	3248.1	25.94	3306.2	25.93	3213.6	25.95
改善小气候	0.89	1980.0	15.81	2015.4	15.80	1959.0	15.82
改善大气质量	0.50	1112.4	8.88	1132.3	8.88	1100.6	8.89
生物多样性	0.71	1579.5	12.61	1607.8	12.61	1562.8	12.62
土壤净化	1.64	3648.5	29.14	3713.8	29.12	3609.8	29.15
非点源氮输出负荷	-	-367.3	-2.93	-367.3	-2.88	-367.3	-2.97
非点源磷输出负荷	-	-15.0	-0.12	-15.0	-0.12	-15.0	-0.12
小计		12 521.0	100.00	12 751.7	100.00	12 384.1	100.00

表3 江苏沿海地区城镇工矿用地生态价值量

Tab.3 Urban and industrial lands' eco-magnitudes in the coastal areas of Jiangsu Province

城镇工矿用地生态价值体系	生态价值/(元/hm ²)					
	连云港市	贡献率/(%)	盐城市	贡献率/(%)	南通市	贡献率/(%)
废水污染	-2460.5	81.40	-4834.1	91.78	-6501.8	82.85
废气污染	-516.0	17.07	-368.7	7.00	-1127.5	14.37
烟(粉)尘	-46.1	1.53	-64.4	1.22	-218.8	2.79
小计	-3022.6	100.00	-5267.2	100.00	-7848.1	100.00

征,其中废水导致的生态负价值的比例占80%以上。

4.3 林地生态价值

林地的生态系统服务功能价值排序为:涵养水源量>阻滞粉尘>制氧>减少氮磷钾元素流失>固定二氧化碳>增加氮磷钾元素积累>吸收污染物>减轻泥沙淤积>节约土地资源,在江苏沿海地区林地生态服务功能价值中,涵盖水源量价值量最高,贡献率达到28.29%,涵盖水源量、阻滞粉尘的生态价值贡献率也均达到25%以上,但节约土地资源、减轻

泥沙价值量淤积、吸收污染物的生态价值相对较低,其贡献率均未超过1%(表4)。

4.4 沿海滩涂生态价值

在生态系统服务功能价值中,沿海滩涂将产生8316.67元/hm²的生态价值,其中价值量大小排序为:土壤形成>有机质生产>岸堤保护>净化水质>改善大气气候。沿海滩涂对改善大气气候的贡献值相对较小,土壤形成和有机质生产产生的生态价值较高,这2项影响因素的贡献值占总数的55.58%,

表4 江苏沿海地区林地生态价值量

Tab.4 Woodland's eco-magnitude in the coastal areas of Jiangsu Province

林地生态价值体系	价值量/(元/hm ²)					
	连云港市	贡献率/(%)	盐城市	贡献率/(%)	南通市	贡献率/(%)
涵养水源量	5346.4	32.28	4472.4	27.11	4612.3	28.29
节约土地资源	81.5	0.49	83.2	0.50	24.6	0.15
减轻泥沙淤积	51.3	0.31	48.6	0.29	46.4	0.28
增加氮磷钾元素积累	634.0	3.83	600.0	3.64	579.2	3.55
减少氮磷钾元素流失	1757.5	10.61	2265.8	13.73	2002.4	12.28
固定二氧化碳	648.2	3.91	699.3	4.24	685.7	4.21
制氧	3641.5	21.99	3928.6	23.81	3952.1	24.24
吸收污染物	103.2	0.62	103.2	0.63	103.2	0.63
阻滞粉尘	4297.8	25.95	4297.8	26.05	4297.8	26.36
总计	16 561.4	100.00	16 498.9	100.00	16 303.7	100.00

是沿海滩涂产生生态价值的重要组成部分(表5)。

4.5 生态价值总量

从表6可知,各市区的耕地单位生态价值相差不大,达到6000元/hm²左右。南通市的城镇工矿用地所产生的生态价值最高达到-7720.68元/hm²、连云港市的城镇工矿用地价值相对较小。林地修正后的生态价值相当可观,均大于耕地和沿海滩涂用地的生态价值。根据江苏沿海地区不同土地利用类型即耕地、城镇工矿用地、林地和沿海滩涂4个主要地类的面积及其生态价值均值,计算得江苏沿海地区2011年生态价值为103.86亿元,分地类及分项生态价值如表6所示。

从土地利用类型来看,江苏沿海地区生态价值

表5 江苏沿海滩涂生态价值量

Tab.5 Ecological value of the coastal beach in Jiangsu Province

沿海滩涂生态价值体系	服务价值/(元/hm ²)	贡献率/(%)
土壤形成	2333.7	28.06
岸堤保护	1772.3	21.31
有机质生产	2288.8	27.52
净化水质	1500.3	18.04
改善大气气候	422.5	5.08
合计	8316.7	100.00

损失主要体现在城镇工矿用地上,连云港、盐城和南通的生态价值损失分别为3.76、11.07和13.70亿元,生态价值损失南通市最大,连云港市最小,整个江苏沿海地区的生态价值损失为28.53亿元(表6)。

表6 江苏沿海地区不同土地利用类型生态价值量

Tab.6 Ecological values of different land use types in the coastal areas of Jiangsu Province

地区	土地利用类型	P_0 /(元/hm ²)	P_1 /(元/hm ²)	H	P_a /(元/hm ²)	总量/亿元
连云港市	耕地	12 521.0	8943.6	1.40	6132.73	24.06
盐城市		12 751.7	8943.6	1.43	6478.97	54.14
南通市		12 384.1	8943.6	1.38	5925.17	26.35
连云港市	城镇工矿	-3022.6	-1000.0	3.02	-2691.76	-3.76
盐城市		-5267.2	-1000.0	5.27	-5077.35	-11.07
南通市		-7848.1	-1000.0	7.85	-7720.68	-13.70
连云港市	林地	16 561.4	517.1	32.03	16 545.26	2.43
盐城市		16 498.9	517.1	31.91	16 482.70	2.06
南通市		16 303.7	517.1	31.53	16 287.30	0.07
沿海地区	沿海滩涂	8316.7	1260.8	6.60	8125.53	23.28

5 结论

通过对江苏沿海地区主要土地利用类型生态价值进行了测算,得出以下结论:

(1)从各地类分项的角度来看,2011年江苏沿海地区耕地的生态价值(三市平均值)约为6178.95元/hm²、城镇工矿用地的生态价值为-5163.26元/hm²、林地的生态价值为16 438.42元/hm²、沿海滩涂的生态价值为8125.53元/hm²。

(2)从各区域的角度来看,2011年连云港市耕地、城镇工矿用地、林地、沿海滩涂的生态价值分别为24.06、-3.76、2.43、1.83亿元;盐城市耕地、城镇工矿用地、林地、沿海滩涂的生态价值分别为54.14、-11.07、2.06、11.18亿元;南通市耕地、城镇工矿用地、林地、沿海滩涂的生态价值分别为26.35、-13.70、0.07、10.27亿元;江苏沿海地区耕地、城镇工矿用

地、林地、沿海滩涂的生态价值分别为104.55、-28.53、4.56、23.28亿元。其中,可发现林地生态价值总量相对较小,这是由林地面积相对较小所引起。

参考文献(References):

[1] 张殿发,卞建民.土地资源开发的农业生态效益评价[J]. 资源科学,2001,23(2):26-30. [Zhang D F, Bian J M. Agricultural eco-benefit evaluation on land resources exploitation[J]. Resources Science, 2001,23(2):26-30.]

[2] Westman W. How much are nature's services worth?[J]. Science, 1977,197:960-964.

[3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997:387,253-261.

[4] Duguma L A, Hager H. Farmers' assessment of the social and ecological values of land uses in central highland Ethiopia[J]. Environmental Management, 2011,47(5):969-982.

- [5] Abidueva T I. The geo-ecological aspects of agrarian land use in the Republic of Buryatia[J]. *Geography and Natural Resources*, 2013,34(3):262-265.
- [6] 彭文甫,樊淑云,周介铭,等.基于遥感与GIS的土地利用变化对生态服务价值的影响[J].*中国农学通报*,2014,30(5):195-202. [Peng W F, Fan S Y, Zhou J M, *et al.* Effects of the land use change on ecosystem service value based on remote sensing and GIS[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014,30(5):195-202.]
- [7] 程琳琳,王鹏飞,杨耀洪,等.土地利用变化对生态服务价值的影响研究——以北京市为例[J].*湖北农业科学*, 2014,53(4):984-988. [Cheng L L, Wang P F, Yang Y Q, *et al.* Impacts of land use changing on ecosystem service value—taking Beijing City as an example[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014,53(4):984-988.]
- [8] 杨俊,单灵芝,席建超,等.南四湖湿地土地利用格局演变与生态效应[J].*资源科学*,2014,36(4):856-864. [Yang J, Shan L Z, Xi J C, *et al.* Land use pattern changes and ecological effects in Nansihu Wetland[J]. *Resources Science*, 2014,36(4):856-864.]
- [9] 刘东,黄海清,李艳,等.浙江省森林生态服务价值估算及其逐月变异分析[J].*地球信息科学学报*,2014,16(2):225-231. [Liu D, Huang H Q, Li Y, *et al.* Measurement of forest ecosystem service value and analysis of its monthly variation in Zhejiang Province[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(2):225-231.]
- [10] 陈海燕,邵全琴,安如.1980s-2005年内蒙古地区生态系统服务功能价值的时空变化分析[J].*地球信息科学学报*,2014,16(4):582-591. [Chen H Y, Shao Q Q, An R. Spatial and temporal changes of ecosystem services values in the Inner Mongolia Autonomous Region from 1980s to 2005[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(4):582-591.]
- [11] 王德智,邱彭华,方源敏,等.海口市海岸带土地利用时空格局变化分析[J].*地球信息科学学报*, 2014,16(6):932-940. [Wang D Z, Qiu P H, Fang Y M, *et al.* Research on spatial-temporal changes of land use in Haikou City's coastal zone[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2014,16(6):932-940.]
- [12] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.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. [Xie G D, Lu C X, Leng Y F, *et al.* Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003,18(2):189-196.]
- [13] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.生态系统服务的供给、消费和价值化[J].*资源科学*,2008,30(1):93-99. [Xie G D, Zhen L, Lu C X, *et al.* Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2008,30(1):93-99.]
- [14] 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. [Xie G D, Lu C X, Cheng S K, *et al.* Progress in evaluating the global ecosystem services[J]. *Resources Science*, 2001,23(6):5-9.]
- [15] 杨引禄,冯永忠,杨世琦,等.宁夏黄河灌区农业非点源污染损失估算[J].*干旱地区农业研究*,2011,29(1):242-246. [Yang Y L, Feng Y Z, Yang S Q, *et al.* Influence of soil salinity on vegetation distribution pattern in the delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011,29(1):242-246.]
- [16] 宗跃光,陈红春,郭瑞华,等.地域生态系统服务功能的价值结构分析——以宁夏灵武市为例[J].*地理研究*,2000,19(2):148-155. [Zong Y G, Chen H C, Guo R H, *et al.* The systematic analysis on value of regional ecosystem services: a case study of Lingwu City[J]. *Geographical Research*, 2000,19(2):148-155.]
- [17] 鲁春霞,谢高地,肖玉,等.青藏高原生态系统服务功能的价值评估[J].*生态学报*,2004,24(12):2749-2755. [Lu C X, Xie G D, Xiao Y, *et al.* Ecosystem diversity and economic valuation of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2004,24(12):2749-2755.]
- [18] 马建伟,张宋智,郭小龙,等.小陇山森林生态系统服务功能价值评估[J].*生态与农村环境学报*,2007,23(3):27-35. [Ma J W, Zhang S Z, Guo X L, *et al.* Evaluation on service function of the forest ecosystem of Xiaolong Mountain[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(3):27-35.]
- [19] 任志远,李晶.陕南秦巴山区植被生态功能的价值测评[J].*地理学报*,2003,58(4):503-511. [Ren Z Y, Li J. The valuation of ecological services from the vegetation ecosystems in the Qingling-Daba Mountains[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003,58(4):503-511.]
- [20] 赵军,陈姗.基于GIS的石羊河流域森林生态效益估算与空间分布特征研究[J].*干旱区地理*,2011,34(1):12-19. [Zhao J, Chen S. Valuation of forest ecological benefit and distributing pattern in Shiyang River Basin based on GIS[J]. *Arid Land Geography*, 2011,34(1):12-19.]
- [21] 余新晓,秦永胜,陈丽华,等.北京山地森林生态系统服务功能及其价值初步研究[J].*生态学报*,2002,22(5):783-786. [Yu Y Y, Qin Y S, Chen L H, *et al.* The forest ecosystem services and their valuation of Beijing Mountain areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002,22(5):783-786.]
- [22] 赵红燕.森林生态系统服务功能价值评价指标体系研究[D].长沙:中南林业科技大学,2006:58-61. [Zhao H Y. The research on the target system of the valuation of the forest ecosystem services and functions[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology,

- 2006,58-61.]
- [23] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等.青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J].山地学报,2003,21(1):50-55. [Xie G D, Lu C X, Xiao Y, *et al.* The economic evaluation of grassland ecosystem services in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Mountain Science*, 2003,21(1):50-55.]
- [24] 肖寒,欧阳志云,赵景柱,等.森林生态系统服务功能及其生态经济价值评估初探——以海南岛尖峰岭热带森林为例[J].应用生态学报,2000,11(4):481-484. [Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, *et al.* Forest ecosystem services and their ecological valuation: a case study of tropical forest in Jianfengling of Hainan Island[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000,11(4):481-484.]
- [25] 李加林,张忍顺.互花米草海滩生态系统服务功能及其生态经济价值的评估——以江苏为例[J].研究报告,2003,27(10):68-72. [Li J L, Zhang R S. The properties of agglutination on microbial cells by lectins extracts from crustacean serums[J]. *Reports*, 2003,27(10):68-72.]
- [26] 吴玲玲,陆健健,童春富,等.长江口湿地生态系统服务功能价值的评估[J].长江流域资源与环境,2003,12(5):411-416. [Wu L L, Lu J J, Tong C F, *et al.* Valuation of wetland ecosystem services in the Yangtze River estuary[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(5):411-416.]
- [27] 窦闻,史培军,陈云浩,等.生态资产评估静态部分平衡模型的分析与改进[J].自然资源学报,2003,18(5):626-634. [Dou W, Shi P J, Chen Y H, *et al.* Analysis and discussion of the static partial equilibrium model for the valuation of the ecosystem capital[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003,18(5):626-434.]

新时期中国土地利用/覆被变化时空特征与生态环境效应 专辑征稿

土地利用/覆盖变化(LUCC)是全球气候变化和全球环境变化研究关注的重要内容,是“国际地圈与生物圈计划”(IGBP)和“全球变化人文因素计划”(IHDP)两大国际组织以及全球土地计划(GLP)研究的核心领域。十二五以来,中国政府大力落实农业与农村发展、生态保护与建设、主体功能区等重大规划,继续推进西部大开发、东北振兴、中部崛起等区域均衡发展战略,实施了农村土地流转、空心村土地整治、农田水利设施建设、改造中低产田和建设大规模旱涝保收高标准农田、优化城市布局和形态、建设新型城镇、生态脆弱区生态综合治理等一系列重大举措,使中国的土地利用/覆盖格局产生了新的变化,并对区域生态环境构成了深刻的影响。为总结、归纳、提炼新时期中国土地利用/覆被变化的典型区域特征,揭示不同区域土地利用/覆被变化的时空过程 and 影响因素及带来的生态环境效应,探讨LUCC研究的新技术和新方法,本刊特围绕“新时期中国土地利用/覆被变化典型特征与生态环境效应”的主题征稿,内容包括但不限于:

- (1)土地利用/覆被变化遥感监测最新技术进展及应用;
- (2)中国典型区域土地利用/覆被变化时空过程及典型特征;
- (3)中国典型区域土地利用/覆被变化的生态环境效应;

本刊特邀中国科学院地理科学与资源研究所刘纪远研究员、徐新良副研究员、匡文慧副研究员、中国科学院测量与地球物理研究所李仁东研究员、中国科学院东北地理与农业生态研究所张树文研究员为专辑特邀责任编辑。

稿件格式参见《地球信息科学学报》投稿要求,投稿经由期刊网站提交,全文投稿截止期为2016年6月30日,拟于2016年下半年刊出专栏/专刊。

(本刊编辑部)