

东南沿海土地利用转型的生态服务价值研究

——以甬江流域为例

周子靖¹, 姜文达², 史作琦¹, 李加林^{1,3}, 赵梦琪¹, 邵姝遥¹

(1. 宁波大学 地理与空间信息技术系, 浙江 宁波 315211;

2. 宁波大学 研究生院, 浙江 宁波 315211, 浙江 宁波 315211; 3. 宁波大学 东海研究院, 浙江 宁波)

摘要: [目的] 通过分析流域的土地利用变化对流域内各个自然过程生态服务价值的影响, 为流域土地资源的合理利用和流域生态安全保护提供科学依据。[方法] 基于土地利用转型变化, 分析 1980—2015 年人类活动影响下的甬江流域土地利用变化及其生态服务价值变化。[结果] ①甬江流域土地利用变化以耕地的减少与建设用地的增加为主要特点, 且土地利用程度不断上升。土地利用类型之间发生复杂的相互转化, 转移面积最大的是耕地转向建设用地。②35 a 间, 甬江流域土地综合利用动态度为 0.42%。建设用地土地利用单一动态度最大, 耕地面积减小幅度最大。③甬江流域生态服务在时间层面上, 总价值先增大后减小, 在 1995 年之前不断增加, 但在之后不断减少。④在空间层面上总体呈现出由西南向东北逐渐变低的趋势。[结论] 甬江流域土地利用转型剧烈, 土地利用的快速变化加剧了生态系统功能退化。

关键词: 土地利用转型; 生态效应; 生态服务价值; 甬江流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2020)02-0308-09

中图分类号: F301.24

文献参数: 周子靖, 姜文达, 史作琦, 等. 东南沿海土地利用转型的生态服务价值研究[J]. 水土保持通报, 2020, 40(2): 308-316. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.02.044; Zhou Zijing, Jiang Wenda, Shi Zuoqi, et al. Ecosystem service value of land use transition in southeast coast of China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(2): 308-316.

Ecosystem Service Value of Land Use Transition in Southeast Coast of China

—A Case Study of Yongjiang River Basin

Zhou Zijing¹, Jiang Wenda², Shi Zuoqi¹, Li Jialin^{1,3}, Zhao Mengqi¹, Shao Shuyao¹

(1. Department of Geography & Spatial Information Technology, Ningbo

University, Ningbo, Zhejiang 315211, China; 2. Graduate School, Ningbo University,

Ningbo, 315211; 3. Donghai Research Institute, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

Abstract: [Objective] The impacts of land use change on the ecosystem service value of various natural process were studied, in order to provide scientific basis for rational utilization of land resources and ecological security protection of the basin. [Methods] Based on the change of land use transformation, this paper analyzed the change of land use and the change of ecosystem service value in Yongjiang River basin under the influence of human activities from 1980 to 2015. [Results] ① The decrease of cultivated land and the increase of construction land were the main characteristics of land use change in Yongjiang River basin, whose degree of land use is rising. The land use types showed complicated mutual transformation, and the largest transfer area was from the conversion of cultivated land to construction land. ② During the past 35 years, the dynamic degree of land comprehensive utilization was 0.42%. The single dynamic degree of construction land use was

收稿日期: 2018-11-26

修回日期: 2019-04-29

资助项目: NSFC-浙江两化融合联合基金项目“基于多源/多时相异质影像集成的滨海湿地演化遥感监测技术与应用研究”(U1609203); 国家自然科学基金项目“东海区大陆海岸带高强度开发约束下的陆海统筹水平演化及冲突空间协同优化”(41976209)

第一作者: 周子靖(1993—), 女(汉族), 四川省达州市人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源开发利用与保护。Email: tomatozj@outlook.com.

通讯作者: 姜文达(1963—), 男(汉族), 上海市人, 高级工程师, 硕士生导师, 主要从事资源环境与可持续发展方面的研究。Email: jiangwenda@nbu.edu.cn.

the largest, and the reduction of cultivated land area was the greatest. ③ In terms of time, the total value of ecological services in the Yongjiang River basin increased first and then decreased, and increased continuously before 1995, but decreased continuously afterwards. ④ At the spatial level, the total value of ecological services showed a decreasing trend from southwest to northeast. [Conclusion] The transformation of land use in Yongjiang River basin was intense, and the rapid change of land use has aggravated the degradation of ecosystem function.

Keywords: land use transformation; ecological effects; ecosystem service value; Yongjiang River basin

人类长期以来对土地的经营与改造力度随着社会经济的发展越来越大,生态环境所承受的压力也不断地变大,当其自我更新的速度已经跟不上人类开发利用的步伐时,如何保持人类社会可持续发展便成为一个必须要解决的问题。土地利用/土地覆被变化(LUCC)是自然因素和人类活动引起的陆地生态系统格局、结构、类型的最直观体现。LUCC不仅改变了地表景观结构,也改变了生态系统的结构和群落组成,直接影响着地球外部各圈层的物质和能量交换、循环过程,进而改变着生态系统服务功能。生态系统服务是支持和满足人类生存的自然生态系统及其组成物种的条件和过程,是人类社会赖以存在和发展的基础。生态系统服务价值指生态系统提供的商品和服务,包括自然资本的物流、能流和信息流,通过评价区域生态系统服务价值的时空变化,来反映区域生态环境质量变化的一种方法。谢高地等在 Costanza 后^[1],通过对生态学背景的专业人员进行问卷调查,基于专家知识建立了适合中国陆地生态系统价值评价方法^[2]。虽然国外^[3-5]及国内^[6-8]的其他学者也通过其他角度对生态系统服务价值进行了估算,但目前国内对于生态服务价值的研究大都参考谢高地等总结出的评价方法,测算研究区域的生态服务价值^[9-11]。目前国内对甬江流域的研究集中水污染方面^[12],对于人类活动对流域土地利用类型的影响以及土地利用的生态服务价值方面研究较少。为此,本文基于甬江流域土地利用转型,分析了研究区土地利用时空格局变化,在 RS 和 GIS 技术支持下,对其生态服务价值进行评估,并进行生态服务价值空间分布的制图模拟以及时空演变特征分析,为区域合理利用土地资源、保护生态环境提供理论和实践指导。

1 研究区概况

甬江流域位于我国东南沿海,浙江省东北部,宁绍平原东部的三江平原地区,介于 29°24'N—30°49'N, 120°49'E—120°56'E 之间。甬江流域面积约为 3 788 km²,全长 105 km,是宁波最主要的河流之一,由奉化江和余姚江两江在宁波市区三江口汇集而成,

是浙江省七大水系之一^[13]。甬江流域的大地构造单元属华南褶皱系,浙东南褶皱带的新昌一定海断隆区。流域四周丘陵山区出露的地层多为上侏罗统陆相火山岩系,其次为下白垩统陆相沉积碎屑岩夹火山岩^[14]。甬江处于亚热带季风气候区,夏季高温多雨,冬季温和少雨。多年平均降水量 1 505 mm;年平均日照时数 1 900~2 100 h;年平均气温 16.1~16.5℃,最热月 7 月平均气温为 27.5~28.2℃,最冷月 1 月平均气温为 3.9~4.9℃,年际变化较小。冬季受北方蒙古—西伯利亚高压冷气团控制,以晴冷干燥天气为主。春季冷高压气团逐渐衰退,来自太平洋的暖湿气团增强,与还未撤离出境的冷空气相遇,降水增多。受到准静止锋带来的梅雨的影响,甬江流域降水量通常在 6 月出现峰值,7—9 月则受副高北移影响,天气炎热少雨,但是又由于太平洋上热带气旋带来的雨水,使得其不至于非常干燥。甬江流域包含区域大部分位于宁波市的江北区、鄞州区、海曙区、镇海区、奉化区及余姚市,小部分位于北仑区、慈溪市及宁海县,区位优势优越,交通便利。在人口规模上,截止 2015 年底,宁波市全市拥有户籍人口 586.6 万人,其中市区人口 232.1 万人。其中流域流经行政区划内的人口为 468.8 万人,平均人口密度为 711 人/km²^[14]。甬江流域作为宁波市范围内一个重要的区域,对宁波经济社会发展、城市化的推进起到了重要的作用,但在工业化和城市化进程中,其土地利用结构发生了较大变化,人类活动对土地资源的开发加重了土地利用的生态风险程度。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文所采用的 1980, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 和 2015 年 7 个时期甬江流域 1:10 万土地利用矢量数据来自地理信息云平台(<http://www.gscloud.cn/>),空间分辨率为 30 m。根据全国土地资源分类系统及本文研究需要,将研究区土地利用类型分为 7 种:耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地、滩涂以及包括在流域边界线内的海域部分标注为

海域。其他数据还包括甬江流域边界图、甬江流域地理背景数据及各相关统计部门的统计数据和其他社会经济数据。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用转移矩阵 转移矩阵法是基于生态学中马尔可夫链的数学过程,能同时表达出某种土地利用类型的储存量及流动量,是定量分析土地利用转变的基础步骤。通过 ArcGIS 10.2 软件,对不同时间断面的甬江流域土地利用矢量数据进行空间叠加得到土地利用转移矩阵,以直观地表示研究区土地利用类型转化的方向和数量。

2.2.2 土地利用动态变化 土地利用综合动态度与单一动态度指数可以用来描述区域和某种土地利用类型变化的强度和速度。单一土地利用动态度表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为某种土地利用类型在研究期内的变化率; U_a, U_b 分别为某种地类在研究期初和期末的数量。 T 为研究时段长。

某一研究区的综合土地利用动态度可表示为:

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta LA_{(ij)}}{\sum_{i=1}^n \Delta LA_{(i,t_1)}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (2)$$

2.2.4 生态服务价值 参考 Constanza^[1]、谢高地等人的生态服务价值估算方法,结合本文实际研究需要,定义生态服务价值的表达式为

$$ESV_i = P_i \cdot O \cdot a \quad (5)$$

式中: ESV_i 表示研究区第*i*种土地利用类型单位面积的生态服务价值(元/km²); P_i 为研究区第*i*种主要粮食作物的单位价格(元/kg); O 表示研究粮食作物的单位面积产量(kg/km²); a 表示价值修正系数,生态系统自然状态下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。

由此可计算出甬江流域单位面积上各土地利用类型的生态服务价值,则各年份研究区生态服务价值量的计算模型为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n ESV_i \quad (6)$$

式中: LC 表示在 $t_2 - t_1$ 时期内的综合土地利用动态度; $\Delta LA_{(ij)}$ 表示 $t_2 - t_1$ 时段内第*i*类土地转变为非*i*类土地的绝对值; $\Delta LA_{(i,t_1)}$ 为区域内第*i*类土地类型在监测初始阶段 t_1 时期的面积; $t_2 - t_1$ 表示研究时段长度。

2.2.3 土地利用程度 采用土地利用程度指数来量化土地的开发利用程度,其计算公式为:

$$L = 100 \times \sum_{i=1}^n A_i \cdot C_i \quad (3)$$

式中: L 为研究区的土地利用程度综合指数; A_i 为研究区内第*i*级土地利用程度分级指数; C_i 为研究区内部第*i*级土地利用程度的面积百分率; n 为土地利用程度分级数。据前人经验及研究需要划分土地利用程度分级表(表1)。

土地利用程度变化指数用来度量土地开发利用程度的变化,表达式为:

$$\Delta L_{b-a} = L_b - L_a = \left[\left(\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_{ib} \right) - \left(\sum_{i=1}^n A_i \cdot C_{ia} \right) \right] \times 100 \quad (4)$$

式中: L_b, L_a 分别为时刻*b*和时刻*a*研究区的土地利用程度综合指数; ΔL_{b-a} 反映了研究区土地利用变化程度的趋势,如果 ΔL_{b-a} 为正值,则该地区土地利用属于发展期, ΔL_{b-a} 为负值,该地区土地利用处于调整期或衰退期。但是, ΔL_{b-a} 的大小不能反映生态环境的优劣。

表 1 土地利用程度分级

类型	未利用土地级	林、草、水用地级	农业用地级	城镇聚落用地级
土地利用转型	未利用地、滩涂	林地、水体	耕地、养殖用地	建设用地
分级指数	1	2	3	4

农作物价格的波动会对 ESV 产生影响,为消除其影响,以宁波市主要粮食作物播种面积、产量及 1980—2015 年的各作物平均价格为基准,计算出甬江流域耕地自然粮食产量的经济价值约为 182 760. 616 5 元/km²。

在确定单位面积农田生态系统食物生产服务功能生态价值基础上,参考“中国生态系统服务价值当量因子表”,结合宁波市实际情况对地类进行合并归类(表2)。Constanza 等认为建设用地的生态系统服务价值为零。虽然建设用地实际情况中通过影响其他因素具有了一定的生态服务价值,但由于其计算难度较大,且数值较小,本文对其不予涉及。结合实际情况,将耕地、草地、水体、林地、滩涂及未利用地结合不同的系数进行计算。

表 2 1980—2015 年甬江流域各土地利用类型单位面积生态服务价值

10⁴ 元/km²

一级分类	二级分类	林地	草地	耕地	滩涂	水体	未利用地
供给服务	食物生产	5.67	1.83	24.86	9.32	14.62	0.18
	原料生产	12.98	2.56	1.64	9.14	4.20	0.55
调节服务	水资源供给	6.76	1.46	-48.07	47.33	151.51	0.37
	气体调节	42.95	9.32	20.29	34.72	14.07	2.01
	气候调节	128.48	24.49	10.42	65.79	41.85	1.83
	净化环境	36.37	8.04	3.11	65.79	101.43	5.67
	水文调节	64.15	17.91	49.71	442.83	1 868.54	3.84
支持服务	土壤保持	52.27	11.33	0.18	42.22	17.00	2.38
	维持养分循环	4.02	0.91	3.47	3.29	1.28	0.18
	生物多样性	47.52	10.23	3.84	143.83	46.60	2.19
文化服务	美学景观	20.83	4.57	1.64	86.45	34.54	0.91
总计		421.99	92.66	71.09	950.72	2 295.66	20.10

3 结果与分析

3.1 土地利用变化分析

3.1.1 土地利用类型转移分析 借助转移矩阵来分析土地利用类型在不同时期的转移方向和数量(表 3),1980—2015 年,研究区内转移面积最大的为耕地转为建设用地,89.36%的耕地转化为建设用地,转移面积为 521.90 km²。草地主要转出为林地,转出率为 93.03%,海域主要转出为建设用地及草地。建设用地转入来源多,转出较少,主要由耕地和林地转移而来,转入比重分别为 92.61%,6.29%。林地主要转出为建设用地、耕地和草地,水域主要转出为耕地和建设用地,滩涂主要转出为水域,未利用地主要转出为建设用地。面积增加最多的为建设用地,减少最多的为耕地,海域和滩涂,海域和滩涂在研究初期面

积较小且在研究期末全部转出为其它土地利用类型。35 a 间,甬江流域在土地利用转型的过程中,各土地利用类型之间发生复杂转换。在甬江流域内部,姚江与奉化江两支流域土地利用类型转化复杂,主要为耕地转化为建设用地,其中姚江流域转化面积为 246.42 km²,主要集中在姚江流域中部;奉化江转化面积为 93.07 km²,主要为奉化江流域的北部、中部及东部的部分林地转化为建设用地。奉化江流域除耕地向建设用地的转化外,主要的土地利用类型转化类型为林地向耕地的转化及草地向林地的转化;姚江流域除耕地向建设用地的转化外,主要的土地利用类型转化类型为耕地向水域的转化及林地向建设用地的转化。而主流流域的土地利用转化与支流流域相比相对简单,主要是耕地向建设用地的转化,转移面积为 182.41 km²。

表 3 1980—2015 年甬江流域土地利用转移矩阵

km²

土地利用类型	2015 年						总计
	草地	耕地	建设用地	林地	水域	未利用地	
1980 年	9.90	0.71	1.18	27.50	0.05	0.12	39.46
草地	0.93	1 271.57	521.90	37.47	23.73	0	1 855.60
耕地	0.81	0.02	1.50	0.01	0	—	2.34
海域	0.01	5.44	141.11	0.85	0.63	—	148.04
建设用地	12.53	22.12	35.46	1 573.67	1.17	0.84	1 645.79
林地	0.01	2.15	1.60	1.07	87.46	—	92.28
水域	—	0.02	0.70	—	1.47	—	2.19
滩涂	0.02	0.06	1.21	0.16	0.57	0.16	2.19
未利用地	24.20	1 302.09	704.67	1 640.73	115.08	1.13	3 787.89
合计							

3.1.2 土地利用数量和结构变化分析 由表 4 可以看出,1980—2015 年甬江流域各土地利用类型在数量和结构上发生了较大的变化。1980 年甬江流域面积最大的土地利用类型为耕地,其次为林地,两者共

占总面积的 92.44%。到 1995 年耕地面积大幅度减少,林地面积增加并成为甬江流域占地面积最大的用地类型。

2015 年耕地与林地二者总面积下降到最低值,

占比为 77.70%。建设用地面积于 35 a 间持续增加且增速明显,从 1980 年的 3.91% 增加到 2015 年的 18.60%。随着城市化的快速发展,人口的增长及农业人口的非农化,耕地与建设用地的短缺成为重大问题,而这两种用地类型适宜布局的地理位置又具有极大的相似性。土地总量的限制造成了两者之间的矛盾。但由于社会经济的发展,建设用地不断地快速增加,从而使得耕地呈波动减少趋势。甬江流域的耕地目前已从 1980 年的 1 855.60 km² 减少为 2015 年的 1 302.09 km²,耕地保护已刻不容缓。

1980—2015 年海域面积及比例在 2010 年及前无明显变化,在 2010—2015 年的 5 a 间内占比快速减少至完全消失。草地面积及比例在前 10 a 减少相对

其本身较大,于此 25 a 变化较小,且草地总面积占研究区总面积比重小。水域面积持续增加,但增速不均。滩涂面积即比例在 1980—1990 年增加,在 1990—2000 年之间不变,在 2000—2005 年迅速减小,在 2005—2010 年保持不变,最后于 2010—2015 年减小至消失。未利用地面积及比例于 1980—1990 年的 10 a 间减小明显后在 1990—1995 年间有较小增加,之后并无变化。1980 年宁波市国民生产总值为 29.53 亿元,2015 年已增加至 8 003.61 亿元。随着三次产业结构趋向合理化及经济的快速增长,未利用地及滩涂等也被积极开发,获得更多经济效益,水利设施的修建能提供更好的灌溉条件,提高耕地效益,导致其水域面积也得到了一定增加。

表 4 甬江流域各时期土地利用类型结构

土地利用类型		1980 年	1990 年	1995 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
草地	面积/km ²	39.46	22.06	18.91	23.14	23.19	23.19	24.20
	比例/%	1.04	0.58	0.50	0.61	0.61	0.61	0.64
耕地	面积/km ²	1 855.60	1 835.68	1 580.89	1 684.48	1 390.06	1 376.26	1 302.09
	比例/%	48.99	48.46	41.74	44.47	36.70	36.33	34.38
海域	面积/km ²	2.34	2.27	2.27	2.27	2.27	2.27	0
	比例/%	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0
建设用地	面积/km ²	148.04	172.16	283.41	301.35	604.31	623.41	704.67
	比例/%	3.91	4.55	7.48	7.96	15.95	16.46	18.60
林地	面积/km ²	1 645.79	1 655.27	1 800.79	1 671.70	1 654.65	1 649.56	1 640.73
	比例/%	43.45	43.70	47.54	44.13	43.68	43.55	43.32
水域	面积/km ²	92.28	95.75	96.56	99.90	110.25	110.03	115.08
	比例/%	2.44	2.53	2.55	2.64	2.91	2.90	3.04
滩涂	面积/km ²	2.19	3.93	3.93	3.93	2.03	2.03	0
	比例/%	0.06	0.10	0.10	0.10	0.05	0.05	0
未利用地	面积/km ²	2.19	0.76	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
	比例/%	0.06	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

3.1.3 土地利用速率分析 土地利用综合动态度与单一动态度指数可以用来描述区域和某种土地利用类型变化的速度,自此基础上得出甬江流域 7 个时间段内的土地综合利用动态度及个土地利用类型土地利用单一动态度(表 5)。1980—2015 年,土地综合利用动态度为 0.42%。其中,1990—1995 年、2000—2005 年两个时间段内土地综合利用动态度较大,分别为 1.36% 与 1.65%。1980—1990 年、2005—2010 年两个时间段土地利用综合动态度较小,都为 0.1%。可见甬江流域土地利用变化情况于前期和后期较为稳定,中期波动较大。建设用地是整个研究期面积变化最大的土地利用类型,共增加 556.63 km²,土地利

用单一动态度为 10.74%,35 a 间单一动态度均为正数,面积持续增长。面积减小最大的为耕地,减少 553.51 km²,但由于耕地利用面积基数较大,所以动态度较小。动态度最小的为林地,总的来看,林地虽然在各个小时段内均有变化且有个别年份变化幅度较大,但是 35 a 间总体较为平衡。土地开发利用综合动态度和单一动态度在不同时间段内表现出较大的差异,反映了甬江流域开发利用的不均衡以及不确定性。开垦农田与退耕还林发生在同一区域的土地上,增大了经济成本,破坏了生态环境。耕地与建设用地的交替转换,降低了土地的生产力。破坏了土地的可持续利用性。

表 5 1980—2015 年甬江流域土地利用变化速率

时段	单一土地利用动态度/%								综合土地利用动态度/%
	草地	耕地	海域	建设用地	林地	水域	滩涂	未利用地	
1980—1990 年	-4.41	-0.11	-0.27	1.63	0.06	0.38	7.96	-6.52	0.1
1990—1995 年	-2.86	-2.78	0	12.92	1.76	0.17	0	9.58	1.36
1995—2000 年	4.48	1.31	0	1.27	-1.43	0.69	0	-0.01	0.68
2000—2005 年	0.04	-3.5	0	20.11	-0.2	2.07	-9.66	0	1.65
2005—2010 年	0	-0.2	0	0.63	-0.06	-0.04	0	0	0.1
2010—2015 年	0.87	-1.08	-20	2.61	-0.11	0.92	-20	0	0.46
1980—2015 年	-1.11	-0.85	-2.86	10.74	-0.01	0.71	-2.86	-1.39	0.42

3.1.4 土地利用程度变化分析 通过计算得到甬江流域土地利用程度指数,运用 ArcGIS10.2 软件并选取其中的 1980,1990,2000,2010 和 2015 年这 5 个时间断面的土地利用程度进行空间化分析,再对评价结果进行分等定级,并最终将评价结果分为极弱、弱、中、强和极强 5 个等级,从而反映甬江流域土地利用

程度空间变化(表 6)。

时间上,在研究期内,甬江流域土地利用程度总体呈上升趋势,反映研究期间人类对甬江流域土地利用程度不断上升。1990—1995 年土地利用程度有略微下降,2000—2005 年土地利用程度综合指数增幅最大,增加了 8.27(表 7)。

表 6 土地开发利用程度等级

开发强度等级	含义	值域范围	比例/%				
			1980 年	1990 年	2000 年	2010 年	2015 年
1	极弱	100~160	0.15	0.15	0.15	0.09	0
2	弱	160~220	34.77	34.45	35.02	33.09	32.65
3	中	220~280	22.46	22.94	21.64	21.54	21.36
4	强	280~340	41.24	40.39	38.43	31.99	30.45
5	极强	340~400	1.37	2.07	4.76	13.29	15.54

表 7 1980—2015 年甬江流域土地利用程度指数

年份	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015
指数值	256.69	257.43	256.57	260.25	268.52	269.17	271.55

空间上,35 a 间甬江流域土地开发利用程度区域差异明显,北部高于南部,东部高于西部,干流流域高于支流流域,且干支流汇合点三江口也是土地利用程度极强点和中等以上土地利用程度向外辐射散点,除所占面积极少的极弱程度的土地分布在干流流域边缘,中等程度以下的弱程度土地均分布在支流流域,主要在奉化江流域及姚江流域中靠近奉化江流域的南部地区(图 1)。研究区内,1980 年土地利用开发程度分布差异已较为明显,中等以上程度合计占 65.08%,面积最多的为土地开发利用程度强的土地,为 41.24%。土地开发利用程度为极强的土地较多地分布在宁波市区范围的中心地带,即三江口。土地开发利用程度为极弱的土地分布在研究区东北角。1990 年土地利用开发程度为中等以上的土地面积有所增加,合计占甬江流域总面积的 65.40%,在整个研究区中,面积最多的仍为土地开发利用强度强的土地,由 1990 年土地开发利用程度分布图可看出,

土地开发利用程度为极强和强的土地面积增加发生在余姚市的北部。2000 年土地利用开发强度为中等以上的土地面积有所减少,占甬江流域总面积的 64.83%,弱级土地仍然没有变化,极强级土地面积持续增加,占总面积的 4.76%。由 2000 年土地开发利用程度分布图可见,研究区土地利用强度由西向东,由上游向下游转移。2010 年土地开发利用程度为中等以上的土地面积增加了 1.99%,土地开发利用程度弱的土地面积比例最大,为 33.09%,但其比例减少了 1.93%,由 2010 年土地开发利用程度分布图可看出,各市范围内均有较高利用程度的土地增加,且总体变化十分显著,姚江流域的西北部地区及三江口地区的土地利用程度大幅度提高。2015 年土地开发利用程度为中等以上的土地面积比例增加至最大值 67.35%,极弱级别土地消失,减少为 0,由 2015 年土地开发利用程度分布图可看出,各市范围内均有较高利用程度的土地明显增加,总体变化较明显。

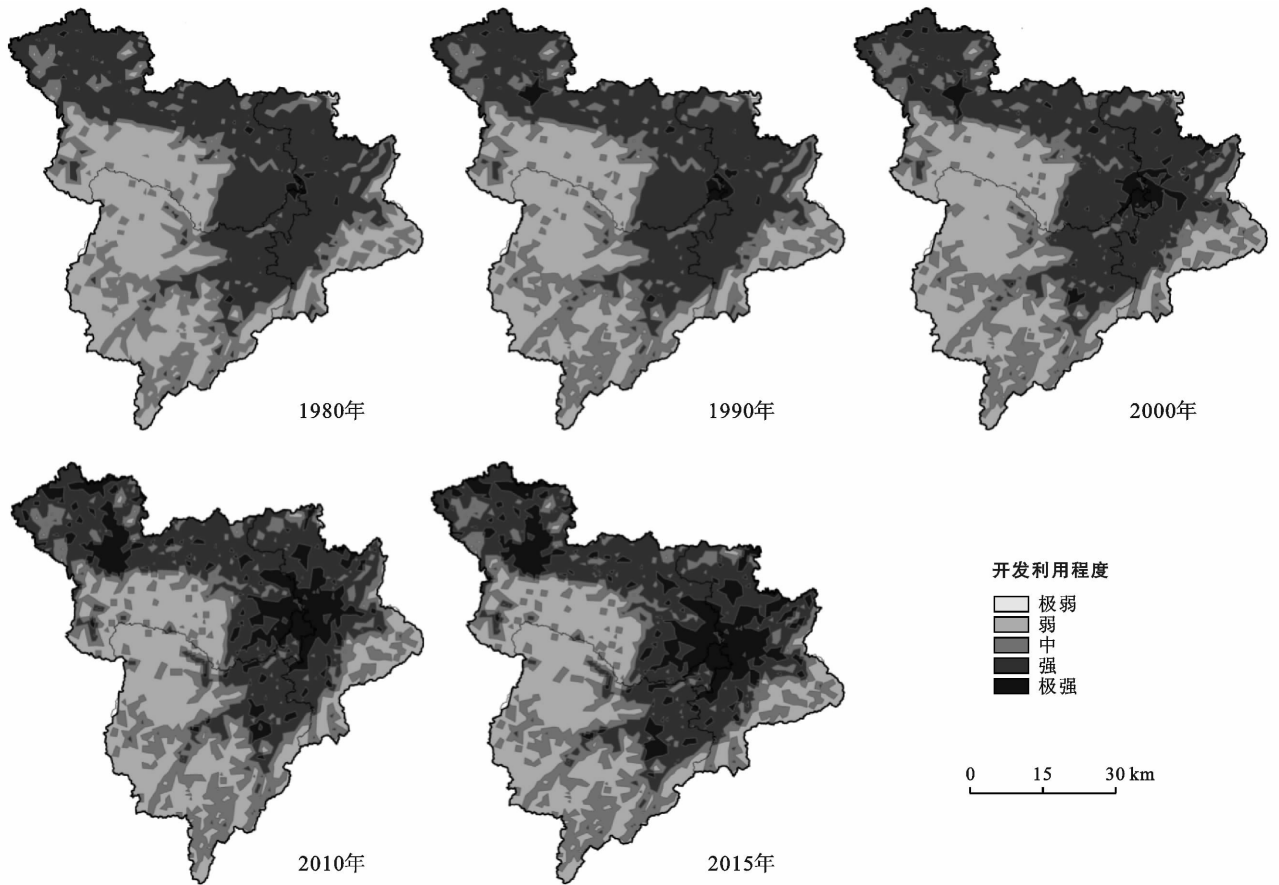


图 1 1980—2015 年甬江流域土地开发利用程度

3.2 生态效应研究分析

甬江流域各用地类型的不断相互转化的同时,生态环境也在发生着相应的变化。通过对甬江流域生态系统服务价值的计算可以定量地分析土地利用对生态效应的影响,还可以通过不同时相甬江流域生态服务价值空间分布图反映土地利用变化带来的生态效应空间分布及变化。

3.2.1 生态服务价值时间变化 1980—2015 年甬江流域生态系统服务总价值处于不断的变化之中,1980,1990,1995,2000,2005,2010 和 2015 年生态服务价值分别为 104.41,105.46,109.95,106.04,105.43,105.06 和 105.14 亿元。可以明显地看出,甬江流域生态服务总价值在 1995 年之前不断增加,但是之后不断减少。1995—2015 年的 20 a 期间,甬江流域生态服务总价值共减少 4.81 亿元,说明在人类活动的影响下,甬江流域生态系统在 1995 年之后的 20 a 内显著退化,变得更加脆弱。

从生态系统的总体价值来看,甬江流域地区最主要的生态系统类型是林地,在整个研究期间价值总量均为最大,35 a 中,林地于 1995 年达到生态服务价值的最大值 759 924.44 万元,其次为水体和耕地,35 a 间,水

体生态服务价值不断增加,由 1980 年的 211 846.43 万元增至 2015 年的 264 179.35 万元;耕地生态服务价值除 2000 年有少量回升外不断减少,由 1980 年的 131 921.97 万元降至 2015 年的 92 570.53 万元。滩涂生态服务价值先增后减,而草地生态服务价值先减后增,但二者生态服务价值总量都不高。价值量最小的生态系统类型是未利用地,研究期内,未利用地于 1990 年达到生态服务价值的最小值 15.33 万元。由于各类用地的单位生态服务价值相同,各地类的总体价值实际上反映了其面积的变化。35 a 间,甬江流域生态服务价值占比较大的三个生态系统林地、水体和耕地都变化率都相对稳定,均维持在 20% 以内(表 8);但其内部发生的生态服务价值转移较为复杂,1980—2015 年间,耕地向水体和林地的转移使生态服务价值分布增加 52 779.77 万元和 13 148.13 万元,向建设用地的转移使生态服务价值减少 37 102.17 万元;林地向建设用地的转移使生态服务价值减少 14 962.44 万元,草地向林地的转移使生态服务价值增加 9 057.94 万元。而对生态服务价值总量贡献较少的几个土地类型变化率如草地、滩涂和未利用地在 35 a 间生态服务价值变化都十分显著。

表 8 甬江流域 1980—2015 年各生态系统生态服务价值变化率

%

生态系统	1980—1990 年	1990—1995 年	1995—2000 年	2000—2005 年	2005—2010 年	2010—2015 年
林地	0.58	8.79	-7.17	-1.02	-0.31	-0.54
草地	-44.10	-14.29	22.40	0.21	0.00	4.34
耕地	-1.07	-13.88	6.55	-17.48	-0.99	-5.39
滩涂	79.63	0.00	0.00	-48.28	0.00	-100.00
水体	3.76	0.85	3.45	10.36	-0.20	4.59
未利用地	-65.20	47.92	-0.06	0.00	0.00	0.00

3.2.2 生态服务价值空间变化 通过 ArcGIS 10.2 构建 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ 的渔网,根据,计算出甬江流域 1980,1990,1995,2000,2005,2010 和 2015 年 7 个时

相的各个渔网的中心点值,通过地统计分析中克里金差值法对其进行分析,并把分析结果导出至栅格并重分类得到甬江流域生态服务价值分布图(图 2)。

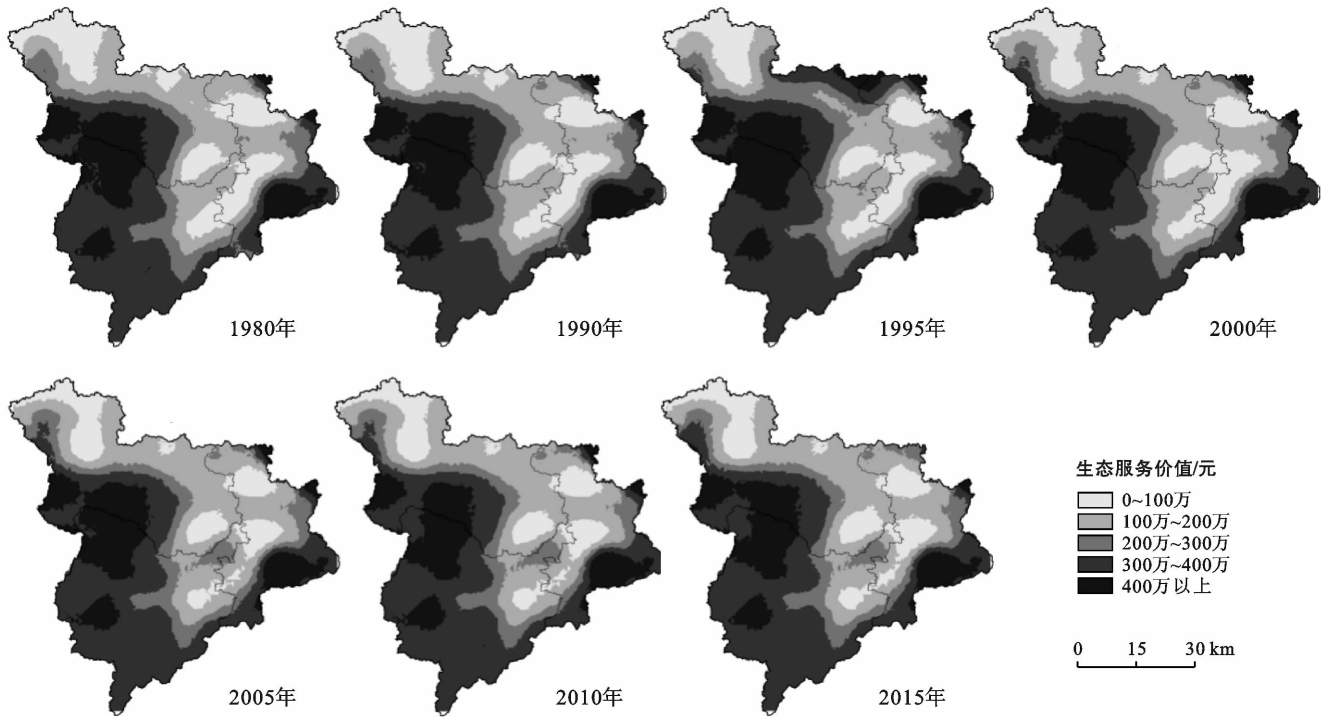


图 2 甬江流域生态服务价值空间变化

由图 2 可知,甬江流域生态服务价值空间分异显著,总体呈现出由西南向东北逐渐变低的趋势。研究区总体上的 ESV 的空间格局与其土地利用的单位面积 ESV 的空间分布相对一致:ESV 高值区中主要分布在支流流域南部,与 ESV 单位面积最高的林地的分布基本一致;单位面积 ESV 较低的建设用地分布在研究区东北部宁波市范围中心,即土地利用程度极强的三江口地区,该区域为 ESV 最低值区;甬江流域东西向曲线贯穿的 ESV 中值区则多分布为单位面积 ESV 值比较中等的水域及耕地。1980—1990 年,位于姚江流域西北部的 ESV 值 $0 \sim 200$ 万元的区域向南部 $200 \sim 300$ 万元的区域扩张。位于干流流域北部的 ESV 值 $0 \sim 100$ 万元的区域减小,转变为 $100 \sim 200$ 万元的区域,200 万元以上的区域也不断扩张。

位于奉化江流域西南部的两个 400 万元以上高值中心都得到扩张。位于干流流域东南部的 ESV 值 400 万元以上的区域面积也得到微小扩张。1990—1995 年,位于姚江流域西北部的 ESV 值低值区依次转化为较高一级的 ESV 值区域,总体上 ESV 值增加。位于干流流域北部的 ESV 值 $0 \sim 200$ 万元的区域自南向北依次转变为 ESV 值等级越来越高的区域。整个甬江流域边缘的高值区域向内部的三江口方向扩张。总的来说。1995 年之前,在人类活动影响下,整个甬江流域耕地减少,林地增加,尤其是奉化江流域西北部分散耕地转化为林地、姚江流域东北部和干流流域西北部大面积耕地转化为林地,导致总体 ESV 不断增大。1995—2000 年,姚江流域北部 ESV 值 200 万元以上的高值区域几乎全部消失。位于奉化江流域

东北部的较大的 ESV 值高值中心面积有微小减少,奉化江流域中部的较小高值中心面积有微小增加。位于东部宁波市区范围的低值中心不断向外围扩张。甬江流域 ESV 值总体减小。

2000—2005 年,姚江流域 300 万元以上的高值区域持续缩减,三江口附近低值中心面积明显减小,由原本的两个低值中心分散为四个中心,原本被 0~100 万元低值中心包围的较低值区域出现很大面积 200~300 万元 ESV 值。位于姚江流域的 ESV 高值区在 2005—2010 年面积退缩,在 2010—2015 年又重新得到扩张,其他区域变化较小。1995 年以后,姚江流域东北部和干流流域西北部原本由耕地转化的林地重新变为耕地,三江口地区及姚江流域西北部的建设用地大面积扩张,两支流域东部靠近三江口地区的耕地中出现破碎化的建设用地,使得甬江流域的生态服务价值降低。位于西南部的高值区不断退缩,位于研究区东部及西北部的低值区不断扩张。这是由于 1995 年之后,甬江流域城市化进程的不断加快使得原本单位 ESV 较高的林地、耕地大量转为 ESV 相对较低的建设用地,造成研究区低值区不断扩张、高值区不断萎缩。与此同时,在 ESV 低值区扩张最明显的宁波市区范围中,也不断扩张出小部分中值区。总的来看,甬江流域生态系统服务价值衰减。在人类活动对各用地类型的不断影响下,甬江流域生态系统功能退化。

4 结论

(1) 甬江流域土地利用变化以耕地的减少与建设用地的增加为主要特点,研究期间甬江流域土地开发利用程度不断上升,且区域差异明显,北部高于南部,东部高于西部。其现阶段的主要土地利用类型为耕地、林地、建设用地。期间,甬江流域转移面积最大的是耕地转向建设用地,建设用地持续快速增加,35 a 间增加了甬江流域总面积的 14.69%。研究区内土地开发利用强度普遍较高,开发利用程度为强的土地面积所占比例稳定持续增加且增加速度越来越快。土地综合利用动态度为 0.42%。建设用地土地利用单一动态度最大,为 10.74%。耕地面积减小幅度最大,减少了 553.51 km²,动态度为 -0.85%。

(2) 甬江流域生态服务总价值先增大后减小,研究区生态服务总价值在 1995 年之前由于耕地的减少和林地的增多而不断增加,但在之后由于林地的减少和建设用地面积的增多而不断减少。1995—2015 年的 20 a 期间,甬江流域生态服务总价值共减少 4.81 亿元。

(3) 甬江流域生态服务价值空间上总体呈现出由支流流域向干流流域逐渐变低的趋势,其中生态服务价值减少以干支流汇集的三江口地区生态服务价值减少最为显著。从生态系统的总体价值来看,林地是甬江流域 ESV 最高的生态系统类型。林地分布的支流流域为生态服务价值高值区,由于支流流域分布的大面积林地的减少,使得高值生态服务价值区变化显著。

[参 考 文 献]

- [1] Costanza R, d' Arge R, de Groot R S, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1998, 25(1): 3-15.
- [2] 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.
- [3] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 293-301.
- [4] Holmud C M, Hammer M. Ecosystem services generated by fish populations [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 253-268.
- [5] Bjorklund J, Limburg E, Rudberg T. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: An example from Sweden [J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2): 269-291.
- [6] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究[J]. *生态学报*, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [7] 欧阳志云,郑华. 生态系统服务的生态学机制研究进展[J]. *生态学报*, 2009, 29(11): 6183-6188.
- [8] 吴蒙,车越,杨凯. 基于生态系统服务价值的城市土地空间分区优化研究: 以上海市宝山区为例[J]. *资源科学*, 2013, 35(12): 2390-2396.
- [9] 王航,秦奋,朱筠,等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. *生态学报*, 2017, 37(4): 881-862.
- [10] 郭荣中,杨敏华. 长株潭地区生态系统服务价值分析及趋势预测[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(5): 239-240.
- [11] 彭文甫,周介铭,杨存建,等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(7): 1055-1056.
- [12] 许有鹏,王腊春,李立国,等. 中小流域防洪决策支持系统设计研究: 以我国东南沿海甬江流域为例[J]. *南京大学学报(自然科学版)*, 2000, 36(3): 280-285.
- [13] 张招招,程军蕊,毕军鹏,等. 甬江流域土地利用方式对面源磷污染的影响: 基于 SWAT 模型研究[J]. *农业环境科学学报*, 2019, 38(3): 650-658.
- [14] 蒋锦刚. 沿海典型流域水文—水动力—水质多模型耦合建模与应用[D]. 浙江 杭州: 浙江大学, 2018.