

快速城市化背景下宁波北仑绿地系统演化及生态服务响应

何改丽¹, 史小丽², 李加林^{1,3*}, 冯佰香¹, 黄日鹏¹

(1. 宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学 学报编辑部, 浙江 宁波 315211;
3. 浙江省海洋文化与经济研究中心, 浙江 宁波 315211)

摘要: 城市绿地是城市自然生态系统的重要组成部分, 我国东南沿海地区是城市化速度最快的区域之一, 快速城市化导致建设用地的大量增加, 并引起区域绿地景观格局及生态价值的显著变化. 本文选取东南沿海中部的宁波市北仑区为研究区域, 以其 1990、1995、2000、2005、2010 和 2015 年 6 期土地利用变化数据为基础提取绿地, 借助 ArcGIS 和 Fragstats 软件, 应用景观生态学方法和基于专家知识的生态系统服务价值化方法对快速城市化背景下北仑区绿地景观动态演化及其生态价值变化进行了研究. 结果表明: (1) 绿地是北仑区的主要景观类型, 1990~2015 年间快速城市化导致北仑区 1 406 hm² 绿地转化为建设用地; (2) 北仑区绿地景观异质性减弱, 趋于集中式发展, 整体破碎度降低; (3) 截止 2015 年, 绿地的生态服务价值总量比 1990 年减少了 6%, 生态环境出现恶化, 主要是建设用地占用绿地导致生态总价值下降; (4) 北仑区绿地系统生态价值等级由中心向外围降低呈不规则环状, 且高价值区逐渐向东南方向减少并转变为较低价值区.

关键词: 建设用地; 绿地景观格局; 生态服务价值; 破碎化

中图分类号: F1109.8

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2017) 05-0089-08

近 30 年来, 城市化的快速发展导致土地资源日趋紧张, 人类对土地资源的高强度、不合理利用, 引起了生态系统景观格局的变化, 导致严重的水土流失、地力衰减、生态环境恶化和农林牧生产质量降低等环境问题. 生态系统服务是指生态系统通过其结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[1]. 生态系统服务价值的变化实质就是景观格局动态变化的定量化反映和具体表现^[2]. 景观空间格局是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列形式, 它是景观异质性的重要表现^[3]. 将生态服务价值与景观的集聚和均匀程度联系起来是近期研究热点. 自 1935 年 Tansley 提出生态系统概念以来, Daily 等^[4]众多学者从注重生态系统结构转向对生态系统功能的研究, Costanza 等人对全球生态系统服务功能进行了划分和评估, 之后其他学者从不同的角度对生态系统的服务功能及其价值评估进行了研究^[5-7]. 国内现有的研究多参考

谢高地等^[8-11]总结出的生态价值相关量表, 进行区域生态服务价值估算.

随着城市生态环境的恶化, 针对城市绿地生态系统服务的研究也日益增多. 目前对城市绿地生态服务价值的研究以定性分析为主, 量化研究较少. 张绪良等^[12]、荆克晶等^[13]、段彦博等^[14]利用市场价值法、生产成本法、替代费用法等依据不同的评估体系分别对青岛、长春、郑州的城市绿地生态系统服务功能价值进行评估; 李想等^[15]、胡忠秀等^[16]、李园园等^[17]结合景观生态学与生态系统服务功能评价模型分别分析了大连、西安、乌鲁木齐绿地系统生态服务价值时空分异. 这些研究中对城市绿地的评估体系和计算方法没有统一的标准, 侧重点和选取指标因子也有差异. 本文在参考前人的研究基础上进行北仑区绿地景观动态及其生态价值变化定量化研究, 对促进适宜人居环境建设以及城市经济可持续发展具有重要意义.

收稿日期: 2017-03-29.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 国家自然科学基金(U1609203, 41471004); 宁波市重大科技计划项目(2015C110001); 宁波市自然科学基金(N0.2017A610300); 宁波大学 SRIP 项目.

第一作者: 何改丽(1993-), 女, 甘肃定西人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 海岸带资源环境. E-mail: 1692835834@qq.com

*通信作者: 李加林(1973-), 男, 浙江台州人, 博士/教授, 主要研究方向: 海岸带环境与资源开发. E-mail: nbnj2001@163.com

1 研究区概况与数据处理方法

1.1 研究区域概况

宁波市北仑区地处宁绍平原东端,西北部和中部为丘陵和平原间隔地区,环海山间有峡谷平原。东北两面濒临东海,与舟山市定海区、普陀区交界,南与宁波市鄞州区接壤,西隔甬江与宁波市镇海区相望。北仑区以其境内的深水良港——北仑港而得名,是中国重要的航运、物流、加工制造和贸易中心。北仑区拥有宁波经济技术开发区等五个国家级开发区,是浙江省对外开放最早、经济贡献最大的区域之一。北仑区在经济高速发展过程中对绿地景观的改变非常明显,进行北仑区绿地景观动态及其生态价值变化研究可为北仑区及东南沿海生态建设决策提供科学依据。

1.2 数据来源

以浙江省 1990、1995、2000、2005、2010 和 2015 年共 6 期土地利用现状数据为基本信息源,依据《土地利用现状分类标准》(GB/T 21010-2007),利用 ArcGIS 将北仑区土地利用景观归并为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地、未利用地等 6 类,其中绿地景观又进一步分为 2 类:林地和草地,林地又分为有林地、灌木林、疏林地和其他林地,草地又分为高覆盖度、中覆盖度和低覆盖度草地,对绿地景观类型进行矢量赋值,并通过属性计算得出绿地系统各类景观的面积。粮食作物的数据来自《宁波市统计年鉴》。

1.3 景观格局评价指标

利用马尔科夫转移矩阵和 Fragstats 软件进行绿地景观格局变化研究。马尔科夫矩阵可以反映景观类型之间的相互转换情况^[18]。景观指数可以定量地描述和监测景观结构特征随时间的变化。根据研究目标及数据精度限制,从绿地景观斑块类型的景观镶嵌体层次上选取斑块数量(NP)、斑块密度(PD)、平均斑块面积(MPS)、斑块边界密度(ED)、斑块形态指数(LSI)、景观多样性指数(SHDI)、景观均匀度(SHEI)、聚集度(CONT)等指标进行绿地景观格局动态变化分析^[19]。

1.4 北仑区绿地系统单位面积生态服务价值

生态服务价值系数即单位面积生态服务价值,指 1 hm^2 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值。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 $1/7$ 。其他生态系统服务价值是指相对于农田食物生产服务的贡献大小^[20]。参考谢高地等^[21-24]对生态价值的区域修正系数对北仑区单位面积绿地生态服务价值做出调整。每种绿地类型与单位面积生态系统服务价值当量中的二级地类相对应。以北仑区 1990~2015 年平均粮食产量 $4862 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 为基准单位产量,通过北仑区 1990~2015 年平均粮食作物总产值和粮食作物产量得出平均粮食单价,计算出北仑区农田自然粮食产量的经济价值为 $2524 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$,最后测算出北仑区绿地各景观类型单位面积生态服务价值(表 1)。

表 1 北仑区绿地系统单位面积生态服务价值

元·hm⁻²

生态服务价值分类		林地				草地		
一级分类	二级分类	有林地	灌木林	疏林地	其他林地	高覆盖度草地	低覆盖度草地	低覆盖度草地
供给服务	食物生产	555.28	479.56	731.96	782.44	252.40	959.12	555.28
	原料生产	1312.48	1085.32	1665.84	1792.04	353.36	1413.44	832.92
	水资源供给	681.48	555.28	858.16	933.88	201.92	782.44	454.32
调节服务	气体调节	4290.80	3558.84	5477.08	5931.40	1287.24	4972.28	2877.36
	气候调节	12796.68	10676.52	16406.00	17743.72	3382.16	13150.04	7622.48
	净化环境	3760.76	3230.72	4871.32	5022.76	1110.56	4341.28	2524.00
	水文调节	8430.16	8455.40	11963.76	8859.24	2473.52	9641.68	5578.04
支持服务	土壤保持	5199.44	4341.28	6688.60	7218.64	1564.88	6057.60	3508.36
	维持养分循环	403.84	328.12	504.80	555.28	126.20	454.32	277.64
	生物多样性	4745.12	3962.68	6082.84	6562.40	1413.44	5502.32	3205.48
文化服务	美学景观	2069.68	1741.56	2675.44	2877.36	631.00	2423.04	1413.44

1.5 绿地景观生态系统服务功能价值评价^[20]

生态系统服务是人类从生态系统中获得的效益,是生产与形成生物资源价值的环境的价值量化。将绿地生态系统服务功能分为供给服务、调节服务、支持服务、文化服务4个一级类型,一级类别下细分为食物生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性、美学景观等11个二级类型^[1,25]。根据各类绿地景观面积和北仑区绿地系统单位面积生态服务价值测算绿地景观生态服务价值以及绿地系统单项生态服务功能价值。

$$V_{ES} = \sum_{i=1}^n A_i C_{V,i}, \quad V_{T,i} = A_i C_{V,i}, \quad (1)$$

式中, V_{ES} 为研究区内所有绿地景观的生态系统服务总价值; $V_{T,i}$ 为每种绿地景观的生态服务价值; A_i 为研究区第 i 种绿地景观类型的面积; $C_{V,i}$ 为绿地景观生态价值系数,即单位面积第 i 种绿地景观类型的生态服务价值; n 为生态系统服务类型总数。

绿地生态贡献指数是指某一种绿地类型变化所导致的区域生态质量的改变^[10],根据绿地景观转移矩阵和绿地相对生态服务价值系数测算绿地生态服务价值的转移方向。

$$I_{LE} = (C_j - C_i) A_{L,i-j} / A_L, \quad (2)$$

式中, I_{LE} 为绿地生态贡献指数; C_i, C_j 分别为第 i, j 种绿地景观类型所具有的相对生态价值; $A_{L,i-j}$ 为研究时段内由第 i 种绿地景观类型变化为第 j 种景观类型的面积; A_L 为研究区总面积。

2 结果分析

2.1 宁波北仑区绿地景观动态演变特征

2.1.1 绿地规模动态分析

受快速城市化的影响,人类活动对自然资源

的利用加强,随之对生态的干扰程度也加剧。绿地是北仑区最具代表性的土地利用类型,绿地的变化趋势可反映人类活动对自然景观的影响程度。通过 ArcGIS 空间矢量化处理得到北仑区各类绿地景观面积(表2)。由表2可知,北仑区绿地面积呈减少趋势,1990、2015年的绿地面积分别为27549.15、26261.86 hm^2 ,减少1287.29 hm^2 ,占5%。北仑区的绿地构成以林地为主,研究期间比例均大于97%,草地所占比重较小,占比均不到1%。在所划分的7小类绿地景观中,以有林地分布面积最广,且以北仑区林场和九峰山为中心,从西到东跨度最大。截止研究期末,有林地面积为39461.51 hm^2 ,占全区面积的86.24%,相比起始年1990年面积增加了7.25%,其景观动态度为0.29%。除有林地外,灌木林、疏林地、其他林地等林地类型面积都有显著减少,分别减少了157.57、3722.44、183.70 hm^2 ,减少量为1990年的35.32%、78.19%和35.06%。

2.1.2 北仑区绿地景观转换

为进一步研究景观类型间的转换关系、探索景观格局变化规律,采用转移矩阵方法进行分析^[26]。由表3可知,25年来北仑区绿地景观同其他景观的相互转化在各阶段具有不同特征。1990~1995年绿地面积增加556.64 hm^2 ,主要由耕地转换而来,可见退耕还林是绿地增加的主要原因。1995~2000年绿地面积减少509.34 hm^2 ,其中474.07 hm^2 转为耕地,占减少量的77.98%。2000~2005年绿地面积减少了523.34 hm^2 ,其中410.20 hm^2 主要转化为建设用地,占减少量的76.01%,说明快速城市化是绿地减少的主要原因。2005~2010年绿地的转入转出基本平衡,此阶段人类开发对绿地的损害较低,只有少量绿地转化为建设用地。2010~2015年绿地面

表2 北仑区绿地景观面积变化

年份	有林地	灌木林	疏林地	其他林地	高覆盖度草地	中覆盖度草地	低覆盖度草地	总计
1990	36 795.65	446.09	4 760.62	524.00	121.99	0.00	18.92	42 667.27
1995	41 624.91	299.60	1 499.58	668.66	100.34	0.00	0.00	44 193.09
2000	40 949.91	298.54	1 067.16	652.72	96.49	3.01	12.79	43 080.62
2005	40 117.04	288.52	1 067.59	617.57	96.49	3.01	104.64	42 294.86
2010	40 039.44	288.52	1 109.15	652.45	96.49	3.01	104.64	42 293.70
2015	39 461.51	288.52	1 038.18	340.30	96.49	3.01	104.64	41 332.65

积减少 808.04 hm², 绿地转为建设用地的转移比重为 97.83%, 此阶段北仑区城市化水平加快, 城市用地开发需求再次大幅增加, 导致大量绿地被用于城乡建设用地。

表 3 1990~2015 年北仑区绿地景观转移矩阵 hm²

年份	绿地	耕地	水域	建设用地	未利用地	总计
1990~	转出	170.28	40.51	140.61	6.88	358.28
1995	转入	891.44	10.45	13.03	-	914.92
1995~	转出	474.07	24.23	109.63	-	607.93
2000	转入	15.98	37.81	44.80	-	98.59
2000~	转出	105.47	23.97	410.20	-	539.64
2005	转入	13.51	1.27	1.52	-	16.30
2005~	转出	0.02	20.81	15.29	-	36.12
2010	转入	34.97	0.00	0.00	-	34.97
2010~	转出	59.73	1.33	790.53	-	851.59
2015	转入	42.62	0.02	0.91	-	43.55

注: -表示未发生转换。

2.2 北仑区绿地景观空间格局变化

借助 ArcGIS10.2 将 6 个时期的北仑区绿地景观类型矢量图转换为栅格图, 采用 Fragstats 3.4 可得到绿地景观水平指数(表 4)。在研究期内的 25 年间, 北仑区绿地景观格局发生了很大的变化。北仑区绿地景观斑块数量明显减少, 由 1990 年的 302 个减少到 2015 年的 125 个, 减少了近 59%, 与此同时斑块平均面积不断增加, 由 1990 年的 91.146 hm² 到 2015 年的 209.924 hm², 此外斑块密度减少了 16%。由此说明北仑区绿地的景观破碎度逐渐降低, 景观朝着粗粒化发展。

边界密度和斑块形态指数呈现先减少后增加的趋势, 但总体上还是减少趋势, 说明斑块的破碎度降低导致斑块形状不断朝着规则化发展。绿地景观聚集度(CONTAG)、凝聚度(COHESION)增加

表明各种绿地的斑块逐渐集中, 空间连接性不断增强, 不同类型间的绿地相邻排列, 同一类型绿地景观之间的连通性增强。此外, Shannon 均匀度(SHEI)、Shannon 多样性(SHDI)越来越小, 表明景观异质性不断减弱, 个别类别的绿地景观斑块优势度上升, 由上文可知是有林地的规模一直在增大, 而其他绿地面积逐渐减少的原因。

景观格局指数呈现明显的阶段性, 1990~1995 年绿地景观斑块数量下降了 62%, 景观动态度即年变化速度为 12%, 之后斑块数量基本保持不变, 斑块密度从 1990 年的 1.097 减少到 1995 年的 0.406, 之后密度一直增加。主要原因是 1990~1995 年为快速城市化初期, 建设用地在北仑区不同区域快速扩张, 散乱分布导致绿地格局剧烈变化, 破碎化增强。1995~2015 年区域持续开发利用, 合理规划下建设用地逐渐合并扩散, 对绿地的影响减轻, 导致 1995 年后的绿地景观破碎度降低。

2.3 绿地景观生态服务价值时空演化分析

2.3.1 绿地景观生态服务价值变化特征

由表 5 可知, 近 25 年来北仑区绿地生态系统服务总价值由 1990 年的 19.54 亿元下降到 2015 年的 18.41 亿元, 减少了 6%, 林地在整个绿地生态系统中贡献率达 98%。在林地面积减少、草地面积增加的情况下, 总价值的下降主要由林地的规模决定, 其中有林地起决定作用。研究期末有林地生态价值增加 11 795.32 万元, 疏林地、灌木林、其他林地生态价值分别减少 21 562.50 万元、605.33 万元、1 070.58 万元。此外, 林地、耕地、水域、未利用地面积分别减少 597.22、10 045.27、79.91、70.98 hm², 只有建设面积增加 11 483.12 hm², 说明建设面积占用大量林地是北仑区绿地生态系统服务价值减少的主要原因。

表 4 1990~2015 年北仑区绿地景观水平格局指数

年份	NP	PD	MPS	ED	LSI	SHDI	SHEI	CONTAG	COHESION
1990	302	1.097	91.146	47.286	19.608	0.661	0.369	69.122	98.698
1995	114	0.406	246.474	36.589	15.301	0.398	0.247	78.970	99.415
2000	119	0.432	231.768	36.515	15.126	0.361	0.185	82.820	99.435
2005	123	0.455	219.895	38.942	16.016	0.381	0.196	81.804	99.455
2010	126	0.466	214.643	39.263	16.146	0.390	0.200	81.515	99.444
2015	125	0.476	209.924	39.855	16.101	0.344	0.177	82.582	99.490

表 5 1990~2015 年绿地景观生态系统服务价值变化

 10^4 元·a⁻¹

年份	有林地 $V_{T,i}$	灌木林 $V_{T,i}$	疏林地 $V_{T,i}$	其他林地 $V_{T,i}$	高覆盖度草地 $V_{T,i}$	中覆盖度草地 $V_{T,i}$	低覆盖度草地 $V_{T,i}$	所有绿地 V_{ES}
1990	162 804.96	1 713.68	27 576.25	3 053.81	156.10	0.00	54.58	195 359.39
1995	184 172.41	1 150.93	8 686.45	3 896.87	128.40	14.96	36.90	198 086.92
2000	181 185.83	1 146.87	6 181.59	3 804.00	123.48	14.96	36.90	192 493.62
2005	177 500.73	1 108.34	6 181.59	3 599.16	123.48	14.96	301.89	188 830.14
2010	177 157.39	1 108.34	6 424.86	3 802.42	123.48	14.96	301.89	188 933.34
2015	174 600.28	1 108.34	6 013.75	1 983.23	123.48	14.96	301.89	184 145.93

2.3.2 绿地景观生态服务价值构成的变化分析

由图 1、图 2 可以看出, 1990~2015 年北仑区绿地景观一级生态系统服务类型中, 各类生态系统服务价值呈减少趋势, 可见生态系统提供的环境支撑能力处于下降趋势。其中调节服务价值变化率最大, 降低了 5.84%, 供给服务价值、支持服务价值、文化服务价值分别降低了 5.49%、5.54%、5.62%。

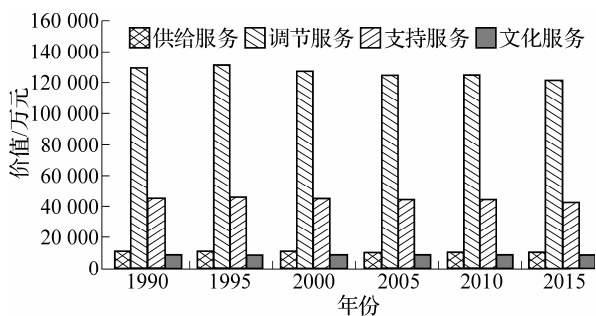


图 1 北仑区绿地景观一级服务类型价值演变

绿地二级生态系统服务价值也呈下降趋势, 其中气候调节、水文调节、土壤保持价值损失最多,

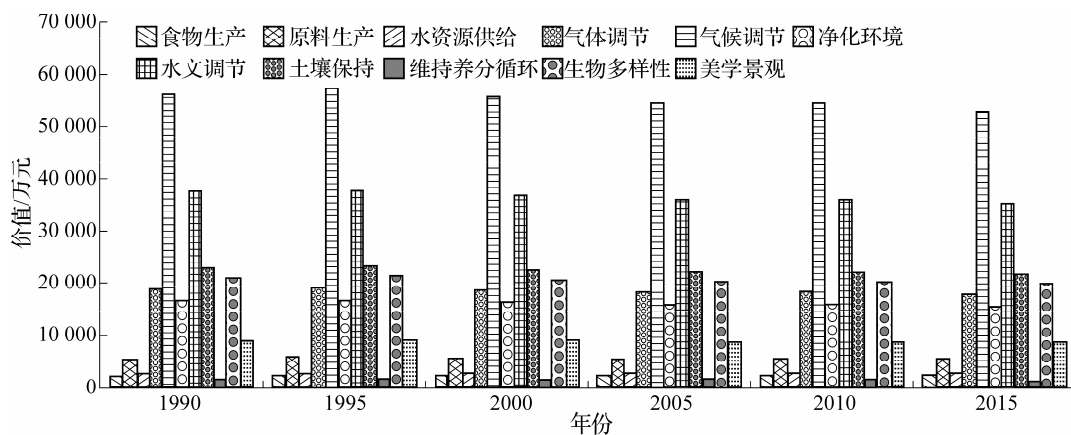


图 2 北仑区绿地景观二级服务类型价值演变

分别减少 3 129.12 万元、2 457.63 万元、1 276.79 万元。而水文调节、食物生产、净化环境价值下降最快, 减少率分别为 6.54%、5.78%、5.63%。维持养分循环价值减少最少, 为 93.43 万元, 减少率为 5.27%。11 项绿地生态系统服务中气候调节、水文调节、土壤保持、生物多样性、气体调节产生的生态价值持续占主要成分, 且生态价值比重一直保持在 70%以上, 其中仅气候调节就达 30%。北仑区湿润多雨, 绿地在一定程度上可以调节高温、空气湿度, 在某种程度上还能起到调控气流的作用, 使城市的气候保持在一个温和湿润的状态, 因此气候调节是北仑区最主要的生态系统服务功能。北仑区紧靠东海, 在水循环中绿地不仅能控制地表径流, 在生物大循环起到很好的连接作用, 而且绿地在气、水、土壤方面也有很好的净化作用, 大量动植物选择依附在此, 绿地在维持生物多样性方面起着重要作用。

2.3.3 北仑区绿地生态价值流分析

在 Costanza 等人对不同生态系统价值功能测

算的基础上,参考谢高地对中国陆地生态系统单位面积生态价值的评估^[21]、彭建等对不同土地利用类型的相对生态价值赋值方法^[9],结合东南沿海实际资源状况对各景观类型进行相对生态价值进行模糊赋值.通过北仑区土地利用转移矩阵与公式 2 建立绿地景观类型的生态贡献指数表(表 6).

表 6 北仑绿地景观生态贡献指数 %

年份	耕地	水域	建设用地	未利用地
1990~1995	-0.212	-0.015	-0.240	-96.500
1995~2000	-0.591	-0.009	-0.187	-96.500
2000~2005	-0.132	-0.009	-0.700	-96.500
2005~2010	-	0.008	0.026	-96.500
2010~2015	-0.074	-	-1.349	-96.500

注: - 表示未形成贡献.

由表 6 可知,绿地转为未利用地生态价值损失贡献率最大,达 95%以上,未利用地包括沙地、盐碱地、沼泽地、裸土地等,这类土地再利用难度大,无法转换为绿地.其次是绿地转换为建设用地对生态价值的损失贡献率较大,由 1990~1995 年的 0.24%增加到 2010~2015 年的 1.35%,可见绿地转移对生态的损害呈加重趋势.其中 1995~2000 年的生态损害较前期有所减少,主要是此阶段有 44.80 hm²的建设用地转化为绿地.2000~2005 年损失贡献率出现大幅增加,主要是此阶段城市化进程加快,大量绿地转化为建设用地,居民点建设及

各类基础设施不断完善,人类活动影响下的人工地貌建设破坏了自然生态系统的原有的价值.2005~2010 年绿地转移对生态的贡献为正,主要是退耕还林政策下大量耕地转换为绿地.2010~2015 年绿地损失贡献率最大,主要是 2010 年北仑区首次作为全域城市化试点区,有 790.53 hm²的绿地转为建设用地被用于新型城市化转型.

北仑区绿地主要转为耕地和建设用地,由于耕地单位生态价值比较高,转为耕地对生态价值的损失贡献指数极低,且逐渐降低.绿地转换为水域的贡献指数由研究初期对生态价值的负贡献转变为研究末期的正贡献,逐渐好转.

2.4 绿地生态服务价值的空间变化

运用 ArcGIS 空间分析功能对北仑区绿地景观的生态服务价值进行克里金空间插值形成生态趋势面,并分级赋值表示:小于 1 万元·hm⁻²为极低、1~2 万元·hm⁻²为低、2~3 万元·hm⁻²为中、3~4 万元·hm⁻²为高、大于 4 万元·hm⁻²为极高,最后得到绿地生态系统服务价值空间分布图(图 3).

由图 3 可得,北仑区生态服务价值等级呈现不规则环状,由核心向外围生态价值逐渐降低.生态服务价值极高、高区域多为内陆地区,对应的绿地景观类型多为有林地、疏林地,多分布于南部九峰山、北仑区林场附近,向东分布在天万山、长坑山等区域.生态服务价值极低、低区域多为竺山公园、小山公园、大榭街道等建设用地分布较多的区

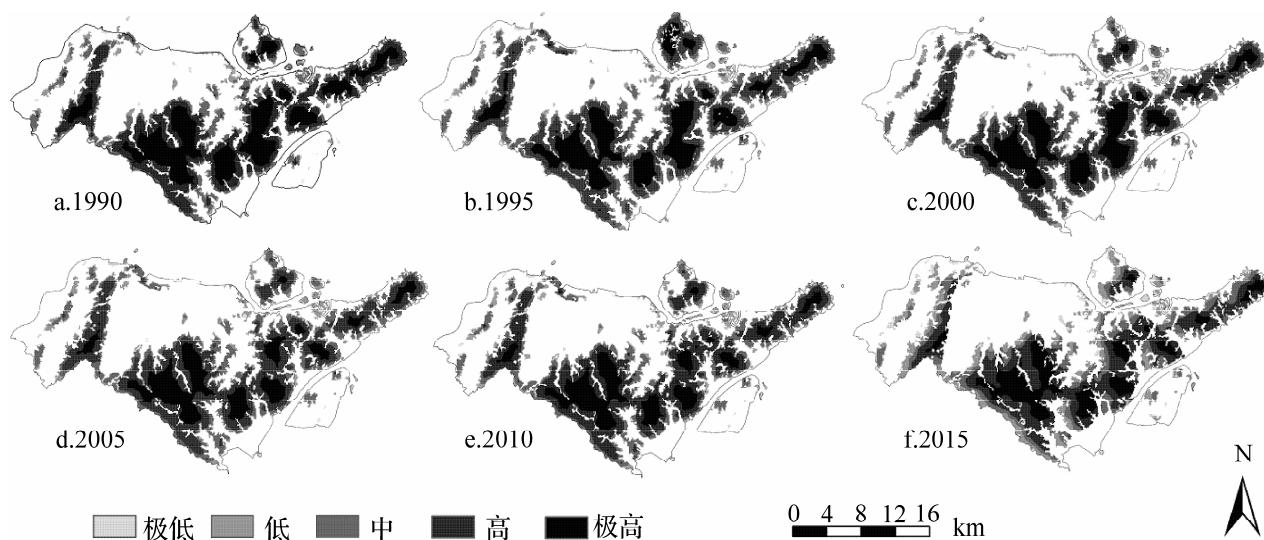


图 3 1990~2015 年北仑区绿地生态系统服务价值空间分布

域,对应的绿地景观类型多为草地。建设用地逐渐向南扩展延伸以及城市基础设施绿化带的增加,导致生态价值极高区域逐渐变为高、中价值区,且高价值区转变为中、低价值区域。可见北仑区生态价值的降低主要源于快速城市化。北仑区生态服务价值贡献偏低的区域多与北部的人类活动最频繁的区域相连接,因此生态价值高低的空间分布可以在一定程度上反映北仑区各片区社会经济发展现状,经济发展水平越高的区域生态服务价值反而越低。

3 结论

参考谢高地等人对生态价值方面的研究成果,构建宁波北仑区绿地生态系统服务价值评价模型是本文的关键所在。结合GIS与景观生态学原理建立绿地景观格局与生态环境质量的关联,揭示北仑区绿地系统生态价值的变化趋势:

(1)绿地是北仑区的主要景观类型,各类绿地景观面积差异较大,中、低覆盖度的草地最少,有林地最大且持续增长,以北仑区林场和九峰山为中心向四周延伸。绿地总面积下降5%,主要转换为建设用地,分布在北仑区北面,并不断向南延伸,人类活动区和生态保护区形成了明显界限。北仑区城市化的推进致使绿地景观异质性减弱,斑块分布越来越集中,有林地作为最大的绿地景观优势度更加明显,各类绿地斑块的形状越来越规则化。

(2)北仑区绿地景观系统提供的生态服务功能总价值减少了1.13亿元。各类绿地景观的生态服务贡献差异较大,有林地的贡献率最大,中覆盖度草地的最小。北仑区绿地景观发生转移时生态价值形成流动,转为未利用地和建设用地对生态的损害最大。从生态系统服务功能构成来看,水文调节、土壤保持、生物多样性、气体调节单项生态系统服务功能是绿地生态系统的主要功能。

(3)受绿地景观格局时空变化的影响,绿地提供的生态服务价值也呈明显的空间分异。生态价值由高价值区到低价值区以不规则环状向外分布,极高价值区的面积从中心持续减少,其中生态价值较高地区多与有林地、疏林地等景观相对应,生态价值较低的区域多与草地相对应,且邻近建设

用地。可见25年来北仑区绿地景观类型变化和生态价值变化保持空间一致性,今后的城市化发展中我们要从绿地景观生态价值的流动方向入手,进行绿地生态系统的合理布局。

参考文献:

- [1] COSTANZA R, ARGE R, GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387:253-260.
- [2] 魏伟, 石培基, 周俊菊, 等. 近20多年来石羊河流域景观格局演变特征[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(2): 156-161.
- [3] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007:2-3.
- [4] DAILY G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*[M]. Washington: Island Press, 1997: 75-76.
- [5] BOLUND P, HUNHAMMAR S. Ecosystem services in urban areas[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2):293-301.
- [6] BJORKLUND J, LIMBURG E, RYDBERG 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.
- [7] HOLMUND C M, HAMMER M. Ecosystem services generated by fish populations[J]. *Ecological Economics*, 1999, 29(2):253-268.
- [8] 李志, 刘文兆, 杨勤科, 等. 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.
- [9] 彭建, 王仰麟, 张源, 等. 滇西北生态脆弱区土地利用变化及其生态效应[J]. *地理学报*, 2004, 59(4):629-638.
- [10] 杨述河, 闫海利, 郭丽英. 北方农牧交错带土地利用变化及其生态环境效应[J]. *地理科学进展*, 2004, 23(6): 49-55.
- [11] 王耀宗, 常庆瑞, 屈佳, 等. 陕北黄土高原土地利用/覆盖变化及生态效应评价[J]. *水土保持通报*, 2010, 30(4):134-142.
- [12] 张绪良, 徐宗军, 张朝晖, 等. 青岛市城市绿地生态系统的环境净化服务价值[J]. *生态学报*, 2012, 31(9): 2576-2584.
- [13] 荆克晶, 鞠美庭. 对长春市绿地生态系统服务价值的探讨分析[J]. *南开大学学报(自然科学版)*, 2005, 38(6): 13-17.
- [14] 段彦博, 雷雅凯, 吴宝军, 等. 郑州市绿地系统生态服

- 务价值评价及动态研究[J]. 生态科学, 2016, 35(2):81-88.
- [15] 李想, 李闯, 王凤友, 等. 大连中心城区绿地系统生态服务价值时空分异特征研究[J]. 地理科学, 2014, 34(3): 302-308.
- [16] 胡忠秀, 周忠学. 西安市绿地生态系统服务功能测算及其空间格局研究[J]. 干旱区地理, 2013, 36(3):553-561.
- [17] 李园园, 刘萍, 杨辽, 等. 乌鲁木齐市绿地景观格局及其生态建设初探[J]. 西南林学院学报, 2006, 26(1):31-34.
- [18] TERRY R E, NELSON S D. Effects of polyacrylamide and irrigation method on soil physical properties[J]. Soil Science, 1996, 141(5):317-320.
- [19] 徐凉慧, 李加林, 袁麒麟, 等. 象山港海岸带景观格局演化[J]. 海洋学研究, 2015, 33(2):47-56.
- [20] 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): 911-918.
- [21] 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(3):189-196.
- [22] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(3):10-13.
- [23] 谢高地, 张彩霞, 张蕾明, 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] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. 资源科学, 2015, 37(9):1740-1746.
- [25] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis[M]. Washington: Island Press, 2005:534-534.
- [26] 苏雷, 朱京海, 傅立群. 锦州—葫芦岛沿海地区景观格局变化与生态服务价值评[J]. 沈阳大学学报(自然科学版), 2014, 26(1):4-8.

Dynamic changes of green space landscape and ecological value under the rapid urbanization in Beilun of Ningbo

HE Gai-li¹, SHI Xiao-li², LI Jia-lin^{1,3*}, FENG Bai-xiang¹, HUANG Ri-peng¹

(1.Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Editorial Department of Journal of Ningbo University, Ningbo 315211, China;

3.Marine Culture and Economic Research Center of Zhejiang Province, Ningbo 315211, China)

Abstract: Urban green space is an important part of urban natural ecosystem. The southeast coastal area is one of the fastest developing urban areas in China, and rapid urbanization leads to a remarkable increase in construction land and a significant change in regional landscape patterns and landscape ecological values. Located in the southeast coast of China, Beilun is selected as the case-study area in this work. With ArcGIS and Fragstats software, and based on the land use data of 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 and 2015, the dynamic evolution of green space landscape and its ecology value in the background of rapid urbanization are analyzed by applying landscape ecology method and expert knowledge-based ecosystem service evaluation method. Its main findings are as follows: 1) Green space is the main landscape in Beilun area, and the rapid urbanization is turning 1406 square kilometers green space to construction space. 2) The heterogeneity of the green space landscape declines in Beilun, manifesting the growing centralization and declining overall fragmentation; 3) In 2015, the landscape ecology service values of green space decreased by 6% comparing with 1990. The main reason for the decline lies in the green space occupied by construction land; 4) The ecology value of green space system is gradually changing from high value areas to low value areas by moving southeast. In the pattern of the irregular ring, the level of ecological value of green space system is going down from the center to the periphery.

Key words: construction land; green space landscape pattern; ecology service value; fragmentation

(责任编辑 韩 超)