

The Response of Ecosystem Service Function to the Change of Land Use in Nansi Lake Basin

Xiyu Cheng^{1,2}

¹Institute of Geography and Tourism, Qufu Normal University, Rizhao Shandong

²Rizhao Key Laboratory of Territory Spatial Planning and Ecological Construction, Rizhao Shandong

Email: 346683201@qq.com

Received: Apr. 5th, 2020; accepted: Apr. 19th, 2020; published: Apr. 26th, 2020

Abstract

In order to study the effect of the change of land use on the ecosystem service value in the Nansi Lake Basin, this paper studied the features of the change of land use from 1990 to 2015 firstly; then the change of ecosystem services value was analyzed combined with equivalent of ecosystem services value. The relationship between land use change and ecosystem service value was analyzed by gray relational theory in the last. The results showed that all of the land use types in the Nansi lake basin has transformed significantly in the past 26 years; the extend of the land used by construction was remarkable; the unused land area decreased. The tendency of Ecosystem Services Value climbed up and then declined. The plough and forest land's contract was the most reason for Ecosystem Services Value's sustainable reduced which after 1995. The Ecosystem Services Value created by forest and construction land influenced the total value outstanding and the value created by water area and unused land affected the total value rarely.

Keywords

The Nansi Lake Basin, Land Use, Ecosystem Services Value, Gray Association

南四湖流域生态系统服务功能对土地利用变化的响应研究

程晰钰^{1,2}

¹曲阜师范大学, 地理与旅游学院, 山东 日照

²日照市国土空间规划与生态建设重点实验室, 山东 日照

Email: 346683201@qq.com

收稿日期: 2020年4月5日; 录用日期: 2020年4月19日; 发布日期: 2020年4月26日

摘要

为研究南四湖流域土地利用时空变化对生态系统服务功能的影响,基于1990~2015年间的六期Landsat数据,了解土地利用时空变化情况,并结合生态系统服务价值当量分析该时段南四湖流域生态系统服务价值量的变化,最后运用灰色关联理论分析了土地利用类型变化与生态系统服务价值的关系。结果表明,近26年来南四湖流域各土地利用类型的面积变化显著,建设用地面积增加量较大,未利用土地面积减少量较大;研究区域生态系统服务价值量呈先增加后减少的趋势;耕地、林地的减少与建设用地量的增大是该区域自1995年起生态系统服务价值总量持续减少的主要原因;建设用地和林地的生态系统服务价值对生态系统价值总量的影响最大,而水域和未利用土地对生态系统服务价值总量的影响性最小。

关键词

南四湖流域,土地利用,生态系统服务价值,灰色关联度

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土地利用/覆被的改变对生态环境会产生一定的影响。生态环境质量可由生态系统服务功能体现出来——土地利用的急性扩张与生态系统服务水平急剧下降呈现显著的正相关。兼顾土地利用类型的合理转型和生态系统服务价值最大化可以有效缓解人类活动造成的该流域生态损失,并能对整个区域的经济、生态保护、社会的可持续发展带有积极的借鉴意义。

对生态系统服务价值的研究使得对土地利用的生态效益的评价从定性向定量转变。我国对生态系统服务功能的研究多沿袭了 Costanza 的测算方法。欧阳志云、王如松等学者对生态经济价值评价理论和方法做出了相关分析,后对中国陆地生态系统服务功能进行评估并对经济服务价值进行分析[1];谢高地[2]编制了中国生态系统服务价值当量因子表并对中国自然草地生态系统服务价值、青藏高原生态系统服务价值、青藏高原生态系统土壤保持功能价值进行了评估;赵景柱等[3]人对生态系统服务的物质量和价值量的评价进行了比较,发现以上这两种评价方法对同一个系统进行评价时会得出不同甚至相反的结果,而对于不同的目的和评价尺度存在较大区别,二者在一定意义上相互促进又相互补充。李文杰等人则借助于遥感技术和 GIS 技术对二者的相互作用和时空动态变化进行进一步评估[4]。

近年来,南四湖流域作为山东省重要的商品粮生产基地,出现了耕地压力增大、资源锐减、后备资源匮乏等问题,同时用地类型转变加快,导致生态系统的稳定性遭到一定破坏与冲击。于淼[5]等人,基于 CLUE-S 模型对南四湖流域 15 年间的用地类型转变带来的生态效应进行评估。蒋斋[6]等人,利用 SPSS 对 40 年来南四湖流域的生态系统服务价值的变化原因进行了分析,研究发现价值的变化与研究区域的土地类型有所关系。为了从生态保护视角探究南四湖流域土地利用变化对区域生态功能的影响,本文首先基于 3S 技术对 1990 年~2015 年土地利用时空变化进行分析,然后结合段瑞娟等[7]人对土地利用结构与生态系统服务价值变化的研究以及谢高地等[8]人基于人类需求的生态系统服务分类所制定的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量对生态系统服务的指标确定以及价值估量。最终通过灰色关联指数评价土地利用变化对生态系统服务价值的影响来反应环境效益。

2. 研究区概况

南四湖由西北向东南由南阳湖、昭阳湖、独山湖、微山湖四个湖泊连接组成,是我国最大的淡水湖,也是淮河流域第二大淡水湖。流域的行政区域涉及苏、鲁、豫、皖四省 32 个县(市),本文研究区包括山东省济宁市、菏泽市、泰安市、枣庄市等部分县区以及江苏省徐州市的部分县区,如图 1 所示。

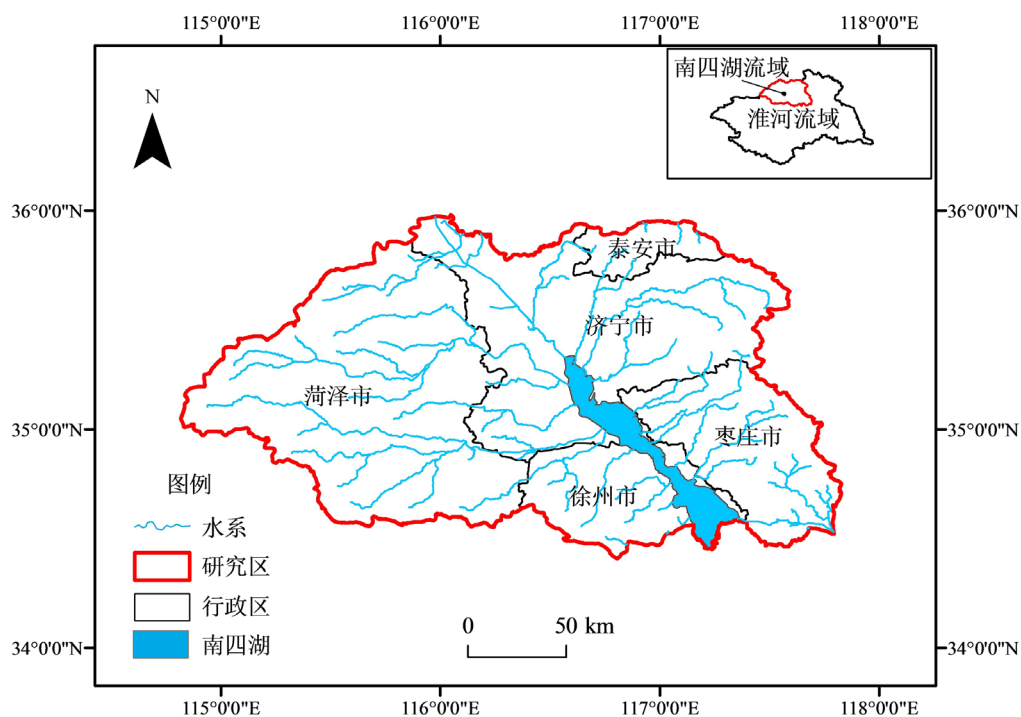


Figure 1. Survey of studied area

图 1. 研究区域概况

3. 数据及研究方法

3.1. 数据来源与处理

本文所需研究数据为南四湖流域地理空间数据即分辨率为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 的 Landsat TM 遥感数据。参考《土地利用现状分类》(2007)的一级分类体系,将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用土地六种土地利用类型。具体分类情况见表 1 [9]。

Table 1. Biome equivalents for the land-use categories

表 1. 与土地利用类型相对应的生态系统类型

土地利用类型	主要构成	生态系统类型
耕地	水田、旱地	农田
林地	林地、灌木丛地、未成林造林地	森林
草地	中高度覆盖草地	草地
水域	河流、湖泊	水体
建设用地	居民用地、交通用地、工矿用地、水利设施用地	—
未利用土地	裸地、田坎、难利用土地	荒地

3.2. 研究方法

研究 1990~2015 年间的土地利用和生态系统服务价值的变化情况，通过对土地利用/覆盖变化与生态系统服务价值的相关性分析，定量分析土地利用变化对生态系统服务价值的影响。

3.2.1. 生态系统服务价值评价

本文将研究区的土地利用生态系统服务分为 9 类，具体见表 2。因 Costanza 等[10]人研究成果即生态系统服务功能价值评价的原理及方法误差较大，如耕地的生态服务价值估计值较低。本文将结合段瑞娟等[7]人对土地利用结构与生态系统服务价值变化研究以及谢高地等[8]人基于人类需求的生态系统服务分类所制定的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表(见表 2)对生态系统服务的指标确定以及价值估量。

Table 2. Ecosystem services value per unit area of Chinese terrestrial Ecosystem (Unit: yuan/hm².a)

表 2. 中国不同陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表(单位：元/hm².a)

单项服务功能	土地利用类型					
	森林	草地	农田	湿地	河流	荒地
气体调节	3097.0	707.9	442.4	1592.7	0.0	0.0
气候调节	2389.1	796.4	787.5	15,130.9	407.0	0.0
水源涵养	2831.5	707.9	530.9	13,715.2	18,033.2	26.5
土壤形成与保护	3450.9	1725.5	1291.9	1531.1	8.8	17.7
废物处理	1159.2	1159.2	1451.2	16,086.6	16,086.6	8.8
生物多样性	2884.6	964.5	628.2	2212.2	2203.3	300.8
食物生产	88.5	265.5	884.9	265.5	88.5	8.8
原材料	2300.6	44.2	88.5	61.9	8.8	0.0
娱乐文化	1132.6	35.4	8.8	4910.9	3840.2	8.8
合计	19,334.0	6406.5	6114.3	55,507.0	40,676.4	371.4

本文把耕地对应为农田；林地对应为森林；水域对应为河流；考虑水源涵养和废物处理功能这两项生态系统服务功能同时将气体调节、气候调节等其他七项生态系统服务功能所产生价值视为零，把建设用地的单位面积生态系统服务价值定为-8852.1 元/hm².a(水源涵养的指标值为-6678.0 元/hm².a, 废物处理的生态系统服务价值为-2174.1 元/hm².a) [7]；未利用土地对应为荒地。采用 Costanza 生态系统服务价值计算公式测量研究区的生态系统服务价值量。计算公式[11]为：

$$ESV = \sum A_k \times V_k \quad (1)$$

$$ESV_f = \sum A_k \times V_{fk} \quad (2)$$

ESV 指生态系统服务总价值， A_k 指研究区土地利用类型 K 的分布面积， V_k 指生态系统服务价值系数， ESV_f 指研究区生态系统服务功能 f 的总价值， V_{fk} 指单位面积生态系统服务功能 f 的价值。

3.2.2. 灰色关联度

灰色关联理论提出对各子系统进行灰色关联度分析，目的是透过某些方法，去寻求该系统中各个子系统/因素之间的数值关系。两个子系统之间的因素随着时间的变化而发生改变的关联性的量度的方法称为关联度分析。在系统发展过程中，如果两个因素具有一致的变化的趋势即同步变化程度较高，则二者的关联度较高。

通过对不同土地利用类型的生态系统服务价值量的变化发展和总的生态系统服务价值量变化发展的关联度分析来评价每个土地利用类型与生态系统服务价值量关联程度的高低，并得出关联序，从而找到对生态系统服务功能影响较大的土地利用类型。由于关联系数是比较数列与参考数列在各个时刻的关联程度值，信息过于分散将不利于进行整体性比较，本文通过 DPS 软件对数据进行关联度分析，选取了 1990~2005 年、2000~2015 年、1990~2015 年的各土地利用类型生态系统服务价值数据，分别分析 15 年、15 年、26 年这三个时间区间内的关联度，并对数据做均值化处理以减少量纲不同对分析带来的误差。关联系数与关联度求公式[12]如下：

$$\xi_{0i} = \frac{\Delta \min + \rho \Delta \max}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta \max} \dots \dots \dots (3)$$

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k) \dots \dots \dots (4)$$

式中： ρ 为分辨系数，其值在 0~1 范围内，一般取 0.5； $\Delta \min$ 为两级最小差， $\Delta \max$ 为第二级最大差； ξ_{0i} 为关联系数； $\Delta_{0i}(k)$ 为 X_i 曲线上每个点与 X_0 曲线上点的绝对值差。

4. 研究结果分析

4.1. 土地利用时空变化分析

对南四湖流域空间数据重分类得出 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年的土地利用类型结构和空间分布数据，具体内容见图 2。

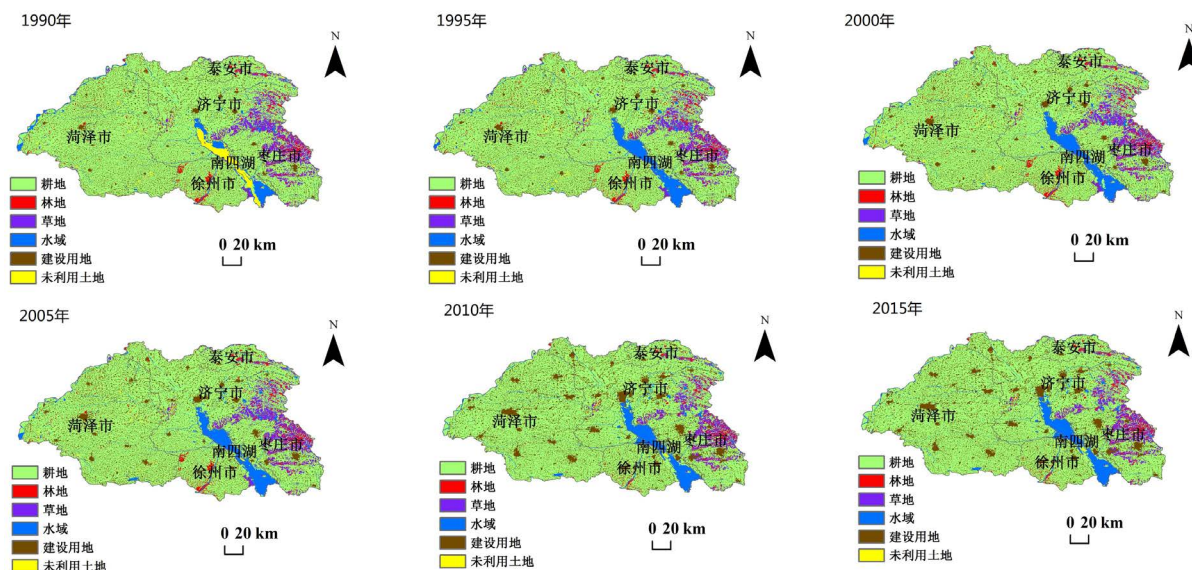


Figure 2. The spatial and temporal change of land use from 1990 to 2015

图 2. 1990~2015 年土地利用时空变化图谱

总体上耕地、林地、未利用土地的数量在不断下降；建设用地的面积在不断扩张；水域面积在 1990~1995 年之间由未利用土地转化较多，之后变化不大；草地总体上呈减少的趋势。从空间上看，南四湖西部的未利用土地向耕地和水域方向转化，其中转化为水域的面积居多。济宁地区西南部的水域逐渐在向耕地和建设用地类型转化，而林地和草地面积在 2005 年至 2015 年这十年间减退量较大，均向耕地方向发展，建设用地的总量在不断扩展，主要由耕地转化而来。枣庄地区耕地转化为建设用地

较为明显。南四湖流域的西部即菏泽地区建设用地面积具有明显的增加趋势，徐州市的林地面积在逐渐减少，至 2015 年南四湖流域徐州地区的林地较 1995 年减少大部分，草地减少程度也较大，其均向耕地、建设用地和水域方向转化。总而言之，建设用地的扩展和未利用土地的退缩较为明显，尤其在 2000~2010 年间变化较为明显，此阶段正是济宁、枣庄、菏泽市经济发展的快速阶段，这与建设用地的开发关系很大。

4.2. 生态系统服务价值变化情况

结合表 1，表 2，最终得到南四湖流域土地利用类型单位面积生态系统服务价值表(表 3)。

Table 3. Ecosystem services value per unit area of Nansi lake basin (Unit: yuan/hm².a)

表 3. 南四湖流域生态系统服务价值当量表(单位: 元/hm².a)

	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地
气体调节	442.4	3097.0	707.9	0.0	0.0	0.0
气候调节	787.5	2389.1	796.4	407.0	0.0	0.0
水源涵养	530.9	2831.5	707.9	18,033.2	-6678.0	26.5
土壤形成与保护	1291.9	3450.9	1725.5	8.8	0.0	17.7
废物处理	1451.2	1159.2	1159.2	16,086.6	-2174.1	8.8
生物多样性	628.2	2884.6	964.5	2203.3	0.0	300.8
食物生产	884.9	88.5	265.5	88.5	0.0	8.8
原材料	88.5	2300.6	44.2	8.8	0.0	0.0
娱乐文化	8.8	1132.6	35.4	3840.2	0.0	8.8
合计	6114.3	19,334.0	6406.5	40,676.4	-8852.1	371.4

4.2.1. 南四湖流域生态系统服务总价值变化

利用南四湖流域土地利用类型数据，结合生态系统服务价值当量(表 3)，对南四湖流域的生态系统服务价值总量进行计算并研究其变化情况(表 4)。

Table 4. The ecosystem service value and change of Nansi lake basin

表 4. 南四湖流域生态系统服务总价值变化

土地利用类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用土地	总计	
1990	141.12	15.90	11.00	47.15	-37.62	0.26	177.80	
1995	139.52	17.62	10.84	70.74	-39.07	0.05	199.70	
生态系统 服务价值 (亿元)	2000	139.12	15.86	10.99	67.62	-41.03	0.05	192.61
	2005	137.3	15.88	10.84	71.41	-42.99	0.05	192.49
	2010	136.48	10.81	8.52	71.57	-50.16	0.03	177.25
	2015	135.36	10.46	8.49	71.52	-51.99	0.03	173.88

由表 4 可知，南四湖流域的生态系统服务价值在 1990~2000 年呈增加趋势，在 1990~1995 年间生态系统服务价值总量增量最大，这与林地、水域面积的增加耕地面积的减少有关；自 2000 年开始其生态系

统服务价值总量开始减少，这与建设用地的增加有关，建设用地的生态系统服务价值呈负值，其数量的增加会导致阻碍生态系统的水源涵养、土壤形成与保护等功能。2005~2015 年间生态系统服务价值总量减少量最大，与草地面积的减少和建设用地数量的增加有关。具体来看，耕地、水域、建设用地对生态系统服务价值总量贡献率较多。耕地的生态系统服务价值量占总价值量比重最多，随耕地面积的变化呈先减少后缓慢增长的趋势；林地和草地的生态系统服务价值量在生态系统服务价值总量中的比重不大，总体不超过 20%，其值随林地、草地面积的减少在不断的降低；虽然水域面积自 1990 年起增幅不大，但由于其单位面积的生态系统服务价值量较多，生态功能较强大，因此对生态系统服务价值总量影响显著，占生态系统服务价值总量比重较多，随着水域面积的扩大，对生态系统服务价值总量增长作用明显；建设用地的生态服务价值所占比重较大，呈负向贡献生态系统服务价值总量，由于建设用地的面积在不断的扩大，自 2000 年起，因建设用地扩张损失的生态系统服务价值量每年高达 40 亿，2015 年建设用地对生态系统服务价值的损失达 51 亿元。

4.2.2. 单项生态系统服务功能价值变化分析

在对生态系统服务价值总量的研究基础上对单项生态系统功能的生态价值进行评价并研究其动态变化特征(表 5)。

Table 5. The change of value about ecological service function in Nansi lake basin

表 5. 南四湖流域不同生态系统服务功能价值变化

	气体调节	气候调节	水源涵养	土壤形成与保护	废物处理	生物多样性	食物生产	原材料	娱乐文化	
1990 年	13.97	21.98	8.34	35.64	45.85	21.29	21.06	4.02	5.65	
1995 年	14.12	22.20	17.78	35.56	54.51	22.47	20.88	4.21	7.97	
价值量 (亿元)	2000 年	13.82	21.92	14.65	35.20	52.63	22.02	20.81	3.99	7.58
	2005 年	13.68	21.71	14.67	34.78	53.18	22.02	20.55	3.97	7.93
	2010 年	12.55	20.69	8.27	33.08	50.57	20.82	20.31	3.34	7.63
	2015 年	12.41	20.50	6.71	32.77	49.81	20.65	20.15	3.28	7.61

由表 5 所示，废物处理、生物多样性、土壤形成、气候调节等功能所带来的价值量较高，废物处理功能所创造的生态服务价值量最多，占生态系统服务价值总量的比重较高。时间上，各项生态系统服务功能产生的价值均在减少，自 1990~1995 年，生态系统服务价值总量增加，除土壤形成与食物生产功能外，各单项生态系统服务价值也在增加，其中 1995 年水源涵养功能创造的生态价值达 17.78 亿元、比 1990 年创造的生态价值多 9.44 亿元，废物处理功能产生价值达 54.51 亿元、比 1990 年所创造的价值高 8.66 亿元，这和当时水域面积和林地面积的增加有关。自 1995 年起，各项功能的生态服务价值量皆呈下降状态，其中在 2005~2010 年间降幅最大，单水源涵养功能损失的生态服务价值达 6 亿元，这是由于自 2000 年起，随着区域经济的快速发展，城市化进程加快，人为活动对土地利用的贡献强度升高，城镇聚落以及农业用地级土地总量增加明显，从而对土地开发的程度居高不下，不断有林地、草地等土地利用类型向耕地、建设用地转化。

4.3. 灰色关联分析

利用 DPS 软件对流域各土地利用类型生态系统服务价值总量与单项生态系统服务功能所创价值量分别进行灰色关联分析得出灰色关联度和关联序(表 6)。

Table 6. The degree and order of ecosystem service between each factor and total value
表 6. 各土地利用类型生态系统服务价值与总价值的灰色关联度及关联序

土地利用类型	1990 年~2005 年		2000 年~2015 年		1990 年~2015 年	
	关联度	关联序	关联度	关联序	关联度	关联序
耕地	0.8633	3	0.7451	4	0.9263	4
林地	0.8670	2	0.8023	2	0.9353	3
草地	0.8604	4	0.7689	3	0.9364	2
水域	0.7661	5	0.6231	5	0.8546	5
建设用地	0.9137	1	0.951	1	0.9769	1
未利用土地	0.3146	6	0.1782	6	0.2016	6

由表 6 可知, 自 1990~2005 年间, 各项土地利用类型生态系统服务价值与生态系统服务价值总量的关联度排序为: 建设用地 > 林地 > 耕地 > 草地 > 水域 > 未利用土地。2000~2015 年间单项土地利用类型价值量与总价值量关联度排序为: 建设用地 > 林地 > 草地 > 耕地 > 水域 > 未利用土地。1990~2015 年间单项土地利用类型的生态服务功能价值量与总价值量的关联度排序为: 建设用地 > 草地 > 林地 > 耕地 > 水域 > 未利用土地。水域和未利用土地的生态系统服务功能价值与生态系统服务价值总量的关联系数较小, 因此其之间关联程度不大。即 1990~2015 年的土地利用变化过程中, 林地和建设用地的变化与生态系统服务价值总量的关联度较大, 是因为建设用地的数量在快速增加且草地、林地、建设用地的面积量占流域面积总量的比重较大, 而建设用地对生态系统服务功能的负影响程度较高, 因此建设用地的快速增加会导致生态系统服务价值总量的明显减少, 自 2000 年起草地面积逐渐增加, 与生态系统服务价值的关联系数增高, 耕地面积不断减少使得其与生态系统服务价值的关联系数逐渐降低。加强林地、草地、水域和耕地的比重, 保护耕地, 开发未利用土地同时控制建设用地的扩张趋势, 对于提升南四湖流域的生态系统服务功能极为重要。

5. 结论与建议

5.1. 结论

本文通过对南四湖流域的土地利用与生态系统服务价值量变化情况以及各土地类型价值量与总服务价值的关联性分析, 最终得到以下结论:

1) 1990~2015 年, 南四湖流域的林地、草地面积不断减少, 建设用地量不断增加, 未利用土地的数量在快速减少, 水域面积的变动较小, 耕地减少最为明显。

2) 近 26 年来南四湖流域的生态系统服务价值大体呈先增加后减少的状态。由于水域面积和林地面积的大幅度增加以及建设用地的减少, 使得该区域的生态系统服务价值总量增加明显。自 1995 年起, 由于该地区的经济快速发展, 城市化建设开始加快, 人们生活水平开始提高, 对土地的开发利用力度显著加大, 随着建设用地面积的快速增加, 使得生态服务功能开始减弱, 对总的生态系统服务价值量的负面影响开始加重, 而林地和草地的面积也发生显著的减少, 其水源涵养、土壤维持和废物转化功能都受到很大影响, 也使得生物多样性的价值量逐渐减少, 各项生态系统服务功能都在减弱。

3) 通过灰色关联分析发现, 该流域的建设用地和林地对生态系统服务价值的关联程度较大, 建设用地的快速增加, 林地、草地的不断减少对生态系统功能的影响逐年增强。因此, 土地的合理开发与利用对维持生态系统的功能和效用作用很大, 应当增加林地和草地的覆盖面积, 增强森林、草地、湿地如调节气候、涵养水源、增强生物多样性以及废物处理等生态功能。

5.2. 建议

针对生态系统服务价值对于土地利用类型变化的响应特征, 要提高南四湖流域生态系统服务功能, 应当协调好土地利用与人类活动之间的关系, 合理分配各土地利用类型的分布和比重。平衡好对生态系统服务功能产生正负影响的土地类型的比重。

1) 合理规划土地利用类型的空间分布, 对未利用土地进行合理利用, 加快裸土地的转化, 提高其运用效率, 尽量往草地、林地进行发展。适当增加林地、草地的面积。

2) 对于影响生态服务功能程度最大的建设用地, 应当控制其扩张规模与扩张速度。随着城市化进程的不断加快, 济宁市、菏泽市以及枣庄市的建设用地扩张明显, 应当加大城市用地的集约化程度, 控制对耕地的保护, 减少建设用地对耕地的保护。

3) 在建设用地分布集中的区域, 增加绿地的面积, 同时开发人工水域, 重点对湿地资源进行重点整治和保护。在水域较为集中的南四湖区, 应当提高湿地的占有比重, 环湖地区及湖区对建设用地的开发应当及时制止, 增加草地与林地比重, 以增强湖区的生态系统功能。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 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): 189-195.
- [3] 赵景柱, 吴刚, 肖寒. 生态系统服务的物质质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 地球科学进展, 2003, 6(18): 454-463.
- [4] 李文杰. 旅游干扰驱动下草原景观格局演变生态效应研究[D]: [博士学位论文]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- [5] 于淼, 廉丽姝, 李宝富, 等. 基于 CLUE-S 模型的南四湖流域[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 231-239.
- [6] 蒋斋, 孙小银, 刘飞, 等. 1975-2015 年南四湖自然保护区生态系统服务价值时空变化分析[J]. 生态科学, 2019, 38(3): 201-210.
- [7] 段瑞娟, 郝晋珉, 王静. 土地利用结构与生态系统服务功能价值变化研究[J]. 生态经济, 2005, 3(2): 60-64.
- [8] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. 中国人口资源与环境 2010, 20(6): 64-67.
- [9] 徐立. 土地利用变化对长沙市生态系统服务价值的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 湖南大学.
- [10] Costanza, R., Arge, R., Groot, R., *et al.* (1997) The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, **386**, 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- [11] 封建民, 郭玲霞. 陕西省神木县土地利用格局和生态服务价值变化[J]. 水土保持通报, 2014, 34(6): 293-298.
- [12] 刘晓玲. 神木县土地利用现状变化对生态系统服务价值的影响[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2014.