

河北省曲周县景观格局演变及生态服务价值响应研究

石雪洁^{1,2} 郝晋珉^{1,2*} 管青春^{1,2} 李牧^{1,2} 王楠^{1,2} 车澳^{1,2}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;

2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室,北京 100193)

摘要 为对县域土地利用规划与生态保护政策制定提供理论依据,以曲周县为例,依据1985、1999和2012年的土地利用数据,采用景观格局分析法、生态服务价值定量评估法结合相关性及敏感度分析,对曲周县1985—2012年的景观格局、生态服务价值变化以及景观指数对生态服务价值的响应机制进行了探究。结果表明:1)研究期内曲周县景观破碎度和景观异质性增加,景观多样性降低,人类活动对景观格局的影响程度呈加强态势;2)生态服务价值总体减少6704.11万元,且1999年后生态服务价值衰退速度较之前有所减缓,生态服务价值结构未发生较大变动;3)ESV与SHDI呈正相关,与NP、FN、D和AWMDF呈负相关,同时ESV对NP和FN变化缺乏弹性,对SHDI、D和AWMDF变化反应灵敏。研究认为,曲周县应降低景观的人为干扰力度,加强对景观多样性保护,提高县域整体生态效益。

关键词 景观格局;景观指数;生态服务价值;曲周县

中图分类号 Q148; X826

文章编号 1007-4333(2017)10-0147-12

文献标志码 A

Response of ecosystem service values to the landscape patterns change in Quzhou County, Hebei Province

SHI Xuejie^{1,2}, HAO Jinmin^{1,2*}, GUAN Qingchun^{1,2}, LI Mu^{1,2}, WANG Nan^{1,2}, CHE Ao^{1,2}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality Monitoring and Control, The Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China)

Abstract The purpose of this study was to provide references for making county land use planning and policies on ecological protection. Landscape pattern analysis, quantitative evaluation method of ESV, and correlation and sensitivity analysis were used to explore the change of landscape pattern and ESV, the correlation between landscape pattern index and ESV of Quzhou County during 1985 – 2012 based on data of land use in 1985, 1999 and 2012 of Quzhou County. The results showed that: 1) The landscape fragmentation and heterogeneity increased, the landscape diversity decreased, and the influence of human activities on landscape pattern strengthened during 1985 – 2012 in Quzhou County; 2) The total value of ecosystem services decreased by 67.041 1 million yuan, and after 1999, the decline rate of ecological service value has slowed down compared with the previous. The ecological service value structure has not changed significantly; 3) ESV was positively related to SHDI and negatively related to NP, FN, D, AWMDF, responded slowly to the change of NP, FN, and was sensitively to the change of SHDI, D, AWMDF. In conclusion, Quzhou should reduce human disturbance intensity of landscape and strengthen the protection of landscape diversity to improve the overall ecological benefits.

Keywords landscape pattern; landscape index; ecosystem services value; Quzhou County

收稿日期: 2016-12-13

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD06B01)

第一作者: 石雪洁, 硕士研究生, E-mail: shi_xuejie@126.com

通讯作者: 郝晋珉, 教授, 主要从事土地利用规划、土地评价(估价)以及区域治理与可持续发展等方面研究, E-mail: jmhao@cau.edu.cn

土地作为人类的生存空间,是社会经济发展的载体。但自工业革命以来因不可持续的土地利用造成了土地资源污染、生物多样性降低、土地退化等多种与景观格局演变有着密切关联的生态环境问题^[1-5]。景观格局及其变化是自然和人为多种因素相互作用所产生的对一定区域生态环境体系的综合反映。景观斑块的类型、数量、大小、形状和空间组合^[6]不但可反映出各种干扰因素相互作用结果,而且又影响着该区域的生态过程和边缘效应,对维持生态系统服务功能起着重要作用^[7-9]。生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务^[10]。通过探究景观指数对生态服务价值的响应机制,可以揭示景观格局变化对生态服务价值的影响,量化区域经济发展的生态环境成本^[11],对进一步研究生态系统服务变化的驱动机制^[12-13],优化景观格局,保护现有土地资源,提升区域生态效益具有重要意义。

近年来,国内外针对不同景观类型开展的景观格局动态变化及生态服务价值响应研究已十分普遍。但我国在景观格局动态变化及生态服务价值响应方面的研究多以小流域为研究尺度^[14-17],在此尺

度上开展的土地资源优化配置,不利于优化措施的具体实施,对县域土地利用规划提供的参考价值不大。县和县级市是我国对社会发展和经济生产进行组织与管理的最基本的行政单元,因此对县级尺度的景观格局变化及生态服务价值响应研究更具有现实意义^[18-19]。河北省曲周县地处华北平原,自1973年开展“早涝碱咸综合治理”以来,县域内耕地由“盐碱浮卤,几成废壤”变为“高产稳产田”,农业生产和区域景观发生了巨大的变化^[20],是较为典型的平原农业生产大县。本研究参照 Costanza^[21]、谢高地^[22-24]等提出的生态服务价值计算方法,并借助土地利用现状数据,运用 ArcGis、Fragstats 以及 SPSS 软件进行计算与分析,采用景观格局指数模型,结合相关性及敏感度分析,研究景观格局动态变化特征,探究景观指数对生态服务价值的响应机制,旨在为研究区土地利用规划与生态保护政策制定提供一定的科学依据。

1 研究区概况

河北省曲周县位于河北省南部,邯郸市的东北部(图1),地处太行山山前中部冲积平原地带,东经

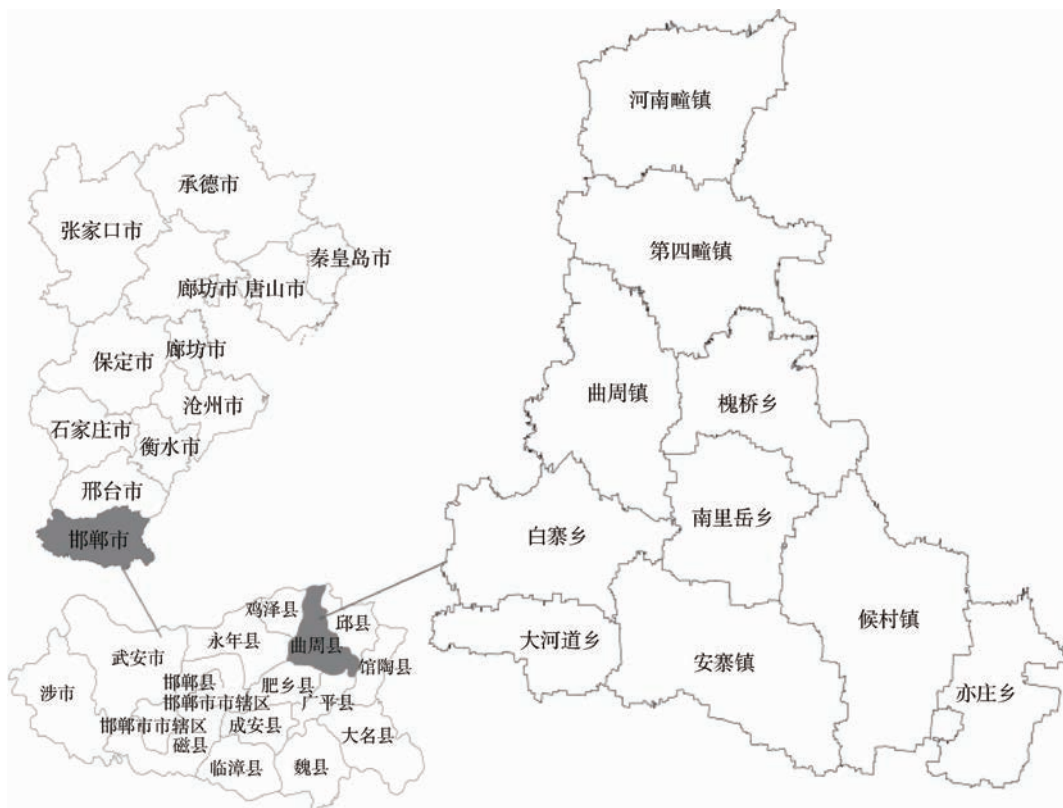


图1 曲周县区位图

Fig. 1 Location map of Quzhou

114°50′30″~115°13′30″, 北纬 36°34′45″~36°57′57″, 人口 48.27 万, 其中农村人口 43.65 万, 辖 5 乡 5 镇 342 个行政村, 属暖温带半湿润大陆型季风气候区。年平均气温 13.1 °C, 年平均降雨量为 54.27 mm, 降水量主要集中在 7—9 月。曲周县是全国商品粮生产基地县, 境内地势平坦, 雨热同期, 耕地资源丰富, 很适合发展大规模集约化农业, 主要种植作物有小麦、玉米、高粱、谷子、棉花, 耕作制度为冬小麦-夏玉米一年两熟制。多年来随着盐碱地的综合治理以及不断调整县域产业结构布局, 转变经济增长方式, 曲周县产业结构日趋合理, 经济实力不断增强, 截止 2014 年曲周县地区总产值为 1 055 628 万元比 2001 年提高 4 086.84%。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及数据处理

研究采用的数据分为地理空间数据、土地利用数据和社会经济数据。各数据来源为: 1) 地理空间数据来源于国土资源局提供的曲周县 1985、1999 和 2012 年的土地利用现状图和矢量数据库; 2) 土地利用数据来源于第一次全国土地调查数据和第二次全国土地调查数据; 3) 社会经济数据来自于《中国统计年鉴》(1985, 1999, 2012)^[25]、《中国农村统计年鉴》(1985, 1999, 2012)^[26] 以及《曲周县统计年鉴》(1985, 1999, 2012)^[27]。

对上述地理空间数据和土地利用数据进行处理: 1) 利用 ArcGis 9.3 技术平台对矢量数据进行预处理和数据格式转换; 2) 运用 Fragstats 计算选取的景观指数; 3) 对土地利用数据进行各用地类型面积汇总, 采用当量法计算 1985、1999 和 2012 年的生态服务价值; 4) 运用 SPSS 分析软件对各年份的生态服务价值与景观层面各景观指数进行相关性分析

2.2 研究方法

2.2.1 景观指数选取

景观指数是指能够浓缩景观信息, 反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标^[28]。景观格局指数一般可分景观水平和景观类型水平这 2 种指数, 为从破碎度、空间异质性、景观结构、景观多样性和人类活动对景观格局影响程度以及各景观类型面积等方面研究曲周县景观格局动态变化情况和特征, 本研究在景观层面上选取总斑块数(NP)、景观破碎度指数(FN)、景观多样性指数(SHDI)、景观优势度指数(D)、面积加权的平均斑块分维指数

(AWMPDF) 等景观指数; 在景观类型层面上选取景观类型面积变化率(K)、景观类型斑块数(NP)、斑块密度(PD)、景观百分比(PLAND)、面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF₂)、最大斑块所占景观面积的比例(LPI) 等景观指数, 各景观指数数学模型及生态意义如表 1 所示。

2.2.2 生态系统服务价值评估

2.2.2.1 生态系统服务价值评估方法

生态系统的服务价值可以通过一定的评估方法(如市场价值评估法、替代成本法、旅行费用法、享乐价值法、条件价值法、集体评价法) 被定量化、价值化, 从而体现其生态价值^[29]。本研究参照 Costanza^[21]、谢高地^[22-24] 等学者对生态服务价值的相关研究, 依据“中国生态系统单位面积生态服务价值当量表”, 并针对曲周县具体情况, 对研究区域的生态系统服务价值当量进行修正后, 计算曲周县的生态系统服务价值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_i \quad (1)$$

$$VC_i = K_i \times e \quad (2)$$

其中: A_i 为研究区第 i 种景观类型的面积 (hm^2); VC_i 为第 i 种景观类型单位面积生态服务价值系数 ($\text{元}/\text{hm}^2$); K_i 为第 i 种景观类型单位面积生态服务价值当量值; e 为生态服务价值当量因子; n 为区域内景观类型总数。

2.2.2.2 生态系统服务价值评估指标确定

根据谢高地等^[22] 对于生态系统服务类型的分类, 曲周县的生态系统服务类型可分为食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水文调节、保持土壤、废物处理、维持生物多样性、提供美学景观等 9 项, 因此在本研究对上述 9 种生态系统服务类型评估曲周县生态系统服务价值。

根据国家土地分类标准和曲周县的地形地貌、土壤特征将曲周县土地利用景观划分为耕地、林地、园地、草地、水域、建设用地以及未利用地等七类, 并由此确定符合曲周县当地情况的生态系统服务价值当量表。其中, 耕地对应农田, 林地对应森林, 园地则采用周妍等^[30] 的对应方法, 草地不变, 河流水面对应河流湖泊, 建设用地的单位面积生态系统服务价值当量, 参照张静^[31], 朱懋^[32] 的生态系统服务价值系数确定, 未利用地主要是沙地、盐碱地以及少量荒草地, 因此其单位面积生态系统服务价值以草地和荒漠加权求出。

表1 景观指数汇总表
Table 1 Summary table of pattern index

景观指数 Landscape index	数学模型 Mathematical model	模型含义 Model meaning	生态意义 Ecological significance
总斑块数(NP)	—	—	衡量景观格局的破碎化程度
景观破碎度指数 (FN) ^[28]	$FN = \frac{N-1}{A}$	N 为景观斑块总数, A 为景观总面积	反映景观空间异质性程度以及破碎化程度
景观多样性指数 (SHDI) ^[33]	$SHDI = - \sum_{i=1}^m p_i \log^2(p_i)$	p_i 为景观类型 i 所占面积的比例, m 为景观类型的数目	反映景观在结构、功能上的多样性, 用以揭示景观的复杂程度
景观优势度指数 (D) ^[33]	$D = H_{\max} + \sum_{i=1}^n p_i \log^2(p_i)$	H_{\max} 表示最大多样性指数 $H_{\max} = \ln(m)$, p_i 为景观类型 i 所占面积的比例, m 为景观类型的数目	衡量景观结构中一种或几种景观类型支配景观的程度
面积加权的平均 斑块分维指数 (AWMPDF) ^[34]	$AWMPDF = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$	m 为景观类型数, n 为景观类型 i 所含斑块数, $p_{i,j}$ 为第 i 类景观的 j 个斑块周长, a_{ij} 为该斑块的斑块面积, 0.25 为改正数, A 为景观总面积	衡量斑块和景观的空间形状复杂度, 在一定程度上能够反映人类活动对景观格局的影响
景观类型面积变化率(M)	$M = \frac{A_b - A_a}{A_a} \times 100\%$	A_a 为研究基期某一用地类型的面积, A_b 为研究末期该用地类型面积	衡量一定时间范围内某种景观类型的面积变化情况
景观类型斑块数 (NP) ^[35]	—	—	衡量某一景观类型的破碎程度
斑块密度 (PD) ^[36]	$PD = \frac{N}{B}$	N 表示景观中某类斑块的数量, B 表示某类斑块的面积	反映景观空间异质性程度以及景观斑块的破碎化程度
景观百分比 (PLAND) ^[35]	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A}$	n 为景观类型 i 的斑块个数, a_{ij} 为景观类型 i 的第 j 个斑块的面积, A 为景观总面积	某一景观类型占总景观面积的百分比
面积加权的平均 斑块分维指数 (AWMPDF ₂) ^[34]	$AWMPDF_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(p_j)}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \right) \right]$	n 为景观类型 i 所含斑块数, p_j 为该景观类型中第 j 个斑块周长, a_j 为第 j 个斑块的斑块面积	体现某一景观类型的空间形状复杂度, 是人类活动对某一特定景观类型影响力的反应
最大斑块所占景观面积的比例 (LPI) ^[35]	$LPI = \frac{\max a_i}{A} \times 100\%$	$\max a_i$ 为景观类型 i 中面积最大的斑块面积, A 为景观总面积	反映景观中的优势种、内部种的丰度等生态特征

2.2.2.3 生态系统服务价值当量表修正

谢高地^[22]制定的“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”是基于 1:100 万尺度的研究成果, 较适用于大尺度的生态服务价值核算, 而对于县级尺度的研究则需要支付意愿与支付能力修正, 从而使研究结果更符合实际情况, 本研究借鉴邓舒洪^[37]、李晓赛等^[38]修正方法进行修正。

1) 社会经济水平系数修正。人们对生态环境的需求度会随着社会经济水平的发展而提升, 同时对维持生态环境的支付意愿也随之提高。而且这种需求水平呈地域性分布, 与区域经济水平相关, 因此采用人均 GDP 反应当地社会经济水平, 来修订曲周县当地的单位面积生态系统服务价值当量, 公式为:

$$L_t = \frac{GDP_{ta}}{GDP_{tb}} \quad (3)$$

其中: L_t 表示研究区在 t 年的相对于全国的社会经济水平修正系数, GDP_{ta} 表示研究区在 t 年的人均国内生产总值, GDP_{tb} 表示全国在 t 年的人均国内生产总值

2) 支付能力系数修正。有支付意愿,同时又有支付能力的情况下,计算出的生态服务价值才更具有参考性。因此,在考虑居民支付意愿即社会经济水平的同时也应当考虑居民对于服务的支付能力大小。曲周县是以农业为主的社会环境,采用农村人均收入作为支付能力的修正参考,公式为:

$$A_t = \frac{I_{ta}}{I_{tb}} \quad (4)$$

其中: A_t 表示研究区在 t 年的支付能力修正系数, I_{ta} 表示研究区在 t 年的农村居民人均收入, I_{tb} 表示全国在 t 年的农村居民人均收入。

2.2.3 相关性及敏感度计算

运用 SPSS 软件进行 $ESV-NP$ 、 $ESV-FN$ 、 $ESV-SHDI$ 、 $ESV-D$ 、 $ESV-AWMPDF$ 相关性分析,当相关系数 r 为正值时两者呈正相关,反之为负相关, $r=1$ 为完全正相关, $r=-1$ 位完全负相关,当 $|r|$ 越接近 1 时,两者的关系越密切,当 $r=0$ 时,说明两者之间无直接关系,即不具有相关性。通常 $|r|>0.8$ 时,认为 2 个变量有很强的线性相关性^[39]。

敏感度可用来判断各项景观指数与生态服务价值之间的弹性关系,指示两者之间影响关系是否显著。若 $CS>1$ 则富有弹性,反之缺乏弹性^[40-41],公式如下:

$$CS = |(\Delta ESV/ESV_0)/(\Delta Q/Q_0)| \quad (5)$$

其中: CS 为敏感度值, ΔESV 为研究初期至末期生态服务价值变化, ESV_0 为研究期初生态服务价值, ΔQ 为研究初期至末期景观指数变化, Q_0 为研究初期景观指数。

3 结果分析

3.1 景观格局动态变化分析

3.1.1 景观层面分析

由表 2 可看出近 30 年来曲周县的景观格局发生了较大的变化,1985—2012 年期间,研究区内总斑块数(NP)以及景观破碎度指数(FN)持续增加,说明近 30 年来曲周县景观破碎度增加,景观异质性不断升高;研究期间曲周县景观多样性指数(SHDI)由 $-0.264\ 380\ 7$ 降为 $-0.286\ 920\ 8$ 而景观优势度指数(D)由 $2.210\ 290\ 9$ 增长为 $2.232\ 831\ 0$,表明此期间曲周县景观多样性降低,景观格局优势度增加,但速度较缓慢;由面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF)的变化可以看出 1999—2012 年期间人类活动对曲周县景观格局的影响程度明显大于 1985—1999 年的。

表 2 曲周县景观层面景观指数

Table 2 Pattern index of landscape level in Quzhou County

景观指数 Landscape index	1985 年	1999 年	2012 年
总斑块数(NP)	3 355	4 363	10 273
景观破碎度指数(FN)	0.000 004 9	0.000 006 5	0.000 015 2
景观多样性指数(SHDI)	$-0.264\ 380\ 7$	$-0.269\ 325\ 9$	$-0.286\ 920\ 8$
景观优势度指数(D)	2.210 290 9	2.215 236 0	2.232 831 0
面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF)	1.058 845 4	1.052 209 8	1.063 429 9

总体来看,近 30 年来曲周县景观格局呈破碎化发展,景观异质性增加,景观多样性降低,景观优势度增加,人类活动对景观格局的影响程度呈加强态势。

3.1.2 景观类型层面分析

由表 3 统计数据可以看出,耕地面积在 1985—1999 年减少了 $1112.60\ \text{hm}^2$,1999—2012 年增加

1.80% ,与 1985 年相比略有减少;林地面积在 1985—1999 年减少了 $297.23\ \text{hm}^2$,减少幅度较大,1999—2012 年有所恢复,对曲周县的生态环境改善以及可持续发展起到了重要作用;相比之下,研究期间园地面积波动比较大;在 1985 和 1999 年整个曲周县仅仅有一块相对完整的草地,而在 2012 年草地

斑块数与总面积都有所提升;1985—1999年建设用地面积增加,1999—2012年建设用地面积减少4.92%;1985—2012年曲周县水域面积持续增加;近30年以来曲周县未利用地面积大幅度减少,尤其

是1999—2012年曲周县未利用面积减少463.76 hm²,减少百分比达36.45%。

从斑块数(NP)及斑块密度(PD)2项指数(表4)可以看出各景观类型均呈破碎化发展,空间

表3 曲周县各景观类型面积

Table 3 Area of various landscape types in Quzhou County hm²

景观类型 Landscape type	1985年	1999年	2012年	景观类型面积变化率(M)/%	
				Landscape type area change rate	
				1985—1999年	1999—2012年
耕地	54 972.13	53 859.54	54 827.58	-2.02	1.80
林地	729.07	431.84	464.61	-40.77	7.59
园地	268.96	524.62	329.72	95.05	-37.15
草地	41.58	41.83	365.28	0.60	773.29
建设用地	10 385.53	10 452.78	9 938.90	0.65	-4.92
水域	369.73	460.72	947.44	24.61	105.64
未利用地	1 334.61	1 272.38	808.62	-4.66	-36.45

表4 曲周县景观类型层面指数

Table 4 Pattern index of type level in Quzhou County

景观类型 Landscape type	年份 Year	景观指数 Landscape index				
		NP	PD	PLAND/%	AWMPDF ₂	LPI
耕地	1985	2 045	0.037 2	80.72	1.271 6	0.003 3
	1999	2 762	0.051 3	80.33	1.259 9	0.003 2
	2012	4 211	0.076 8	81.01	1.283 3	0.003 1
林地	1985	76	0.104 2	1.07	1.268 7	0.000 5
	1999	43	0.099 6	0.64	1.276 3	0.001 0
	2012	480	1.033 1	0.69	1.360 1	0.000 4
园地	1985	43	0.159 9	0.39	1.274 1	0.000 4
	1999	60	0.114 4	0.78	1.264 7	0.000 5
	2012	531	1.610 5	0.49	1.368 4	0.000 3
草地	1985	1	0.024 1	0.06	1.243 4	0.000 6
	1999	1	0.023 9	0.06	1.224 6	0.000 6
	2012	763	2.088 8	0.54	1.373 6	0.000 1
建设用地	1985	1 002	0.096 5	15.25	1.333 6	0.001 9
	1999	1 313	0.125 6	15.59	1.331 4	0.001 4
	2012	3 821	0.384 4	14.68	1.311 1	0.000 0
水域	1985	29	0.078 4	0.54	1.494 7	0.001 0
	1999	61	0.132 4	0.69	1.429 0	0.000 6
	2012	366	0.386 3	1.40	1.452 8	0.000 2
未利用地	1985	159	0.119 1	1.96	1.288 7	0.001 1
	1999	123	0.096 7	1.90	1.277 6	0.001 2
	2012	101	0.124 9	1.19	1.290 7	0.000 1

异质性增加；由景观百分比指数(PLAND)可以看出曲周县的耕地所占比例一直高于 80%，除耕地和建设用地以外，其他用地类型所占比例相对较低，区域景观多样性指数不高，优势度明显；由面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF₂)可以看出，耕地、林地、园地、草地以及未利用地的空间复杂度呈增长趋势，而水域和建设用地空间复杂度略有降低；最大斑块所占景观面积的比例(LPI)方面，除园地略有升高外，其他景观类型均成降低趋势，表明曲周县景观丰度呈整体下降趋势。

总体来看，1985—2012 年，曲周县园地、草地景观面积有所增加，建设用地景观面积先增加后减少，盐碱地等未利用地景观大面积减少，减少率达 39%，耕地和林地景观均有“破坏-再恢复”的趋势；耕地景观一直为当地主要景观类型，各景观类型呈破碎化发展，景观丰度呈下降趋势，除水域及建设用地空间复杂度略有降低外，其他景观类型的空间复杂度呈增长趋势。

3.2 生态系统服务价值评估

3.2.1 生态系统服务价值变化分析

由表 5 可以看出 1985—2012 年期间曲周县生态服务价值总体呈现不断下降的趋势，1985—1999 年期间减少 6 101. 21 万元，减少率达 12. 85%，1999—2012 年生态服务价值减少 602. 90 万元，速度相对平缓。从各景观类型来看，未利用地景观的生态服务价值减少最多，其次是耕地和林地景观，园地景观的生态服务价值变化幅度相对较小，草地和水域景观的生态服务价值变化最为剧烈，另外建设用地的负面作用整体呈减少趋势；由曲周县生态系统服务价值损益表(表 6)可以看出，近 30 年间曲周县除水文调节功能增加外，各项生态服务价值基本都呈减少趋势，其中保持土壤、维持生物多样性、气候调节和食物生产功能减少幅度较大，总计 6 966. 96 万元，而原材料生产、废物处理和气体调节功能变化幅度相对较小，提供美学景观功能减少值最小。

表 5 曲周县生态服务价值

Table 5 Ecological service value in Quzhou County

万元

景观类型 Landscape type	1985 年	1999 年	2012 年	变化量 Variable quantity	变化率/% Rate of change
耕地	57 988. 56	50 545. 88	46 260. 27	-11 728. 29	-20. 23
林地	2 737. 52	1 442. 56	1 395. 37	-1 342. 15	-49. 03
园地	715. 05	1 240. 82	701. 12	-13. 93	-1. 95
草地	64. 79	57. 99	455. 28	390. 50	602. 73
水域	2 238. 91	2 482. 03	4 588. 91	2 350. 00	104. 96
建设用地	-16 654. 99	-14 913. 20	-12 748. 62	3 906. 37	-23. 45
未利用地	386. 65	519. 20	120. 04	-266. 60	-68. 95
合计	47 476. 49	41 375. 28	40 772. 38	-6 704. 11	-14. 12

3.2.2 生态系统服务价值结构分析

为了更直观地比较分析，引入生态服务价值贡献系数(C)^[13,42]，C 值越大说明第 *i* 种景观类型的生态服务价值贡献越大，公式如下：

$$C = (ESV_i/ESV)/(A_i/A) \quad (6)$$

其中：ESV_{*i*} 为第 *i* 种景观生态服务价值，ESV 为区域生态服务价值总量，A_{*i*} 为第 *i* 种景观面积，A 为区域景观总面积。

各景观类型按生态服务价值贡献系数排序为，水域>林地>园地>草地>耕地>未利用地>建设用地，生态服务价值贡献系数依次为 8. 49、5. 26、3. 73、

2. 18、1. 48、0. 44、-2. 25。由图 2 可以看出，研究期间曲周县生态服务价值结构基本一致，未发生较大变动。在曲周县生态系统服务价值构成中，耕地景观的生态服务价值居于首位，其次是水域和林地景观，耕地、水域、林地景观的生态服务价值是曲周县生态服务价值的主体部分；园地和草地景观的生态服务价值所占比例相对较低，未利用地景观的生态服务价值占比最低；另外建设用地景观因对环境的消耗作用，其生态服务价值评估为负值且对曲周县总体生态服务价值影响作用明显。各类景观的生态服务价值占比主要受景观面积以及生态服务价值贡献系数影响。

表6 曲周县生态系统服务价值损益表

Table 6 Profit and loss statement of ecological service value in Quzhou County		万元							
一级类型 Primary type	二级类型 Secondary type	耕地 Cultivated land	林地 Forest land	园地 Garden plot	草地 Grassland	水域 Waters	建设用地 Construction land	未利用地 Unutilized land	合计 Total
供给服务	食物生产	-1 484.59	-15.75	-0.27	14.39	27.46	-3.25	-7.38	-1 469.39
	原材料生产	-578.99	-142.23	-1.17	12.05	18.14	0.00	-8.00	-700.21
	气体调节	-1 068.91	-206.19	-2.04	50.19	26.43	787.13	-24.97	-438.36
调节服务	气候调节	-1 440.06	-194.26	-1.97	52.20	106.75	0.00	-31.27	-1 508.61
	水文调节	-1 143.14	-195.21	-1.97	50.86	972.64	2 442.70	-26.03	2 099.86
	废物处理	-2 063.58	-82.09	-1.06	44.17	769.51	800.14	-38.21	-571.13
支持服务	保持土壤	-2 182.35	-191.87	-2.19	74.95	21.25	-6.51	-43.59	-2 330.31
	维持生物多样性	-1 514.29	-215.26	-2.23	62.57	177.74	-110.59	-56.61	-1 658.66
文化服务	提供美学景观	-252.38	-99.28	-1.04	29.11	230.08	-3.25	-30.56	-127.32
	合计	-11 728.29	-1 342.15	-13.93	390.50	2 350.00	3 906.37	-266.60	-6 704.11

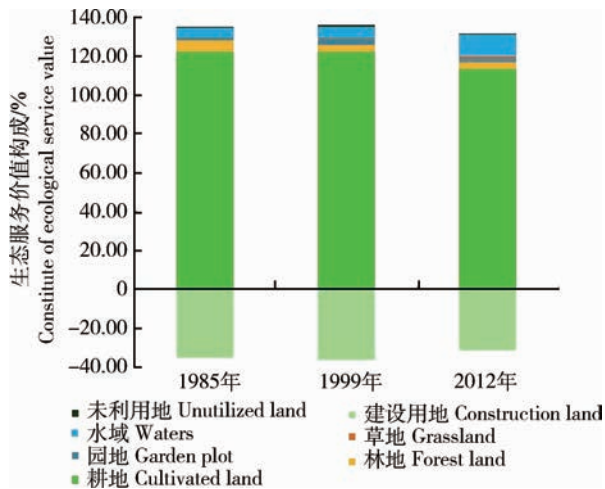


图 2 曲周县生态服务价值构成示意图

Fig. 2 Constitute diagram of ecological service value in Quzhou County

3.3 相关性及敏感度分析

区域景观格局对当地生态系统服务价值具有显著影响,但不同景观指数对生态服务价值影响程度

和趋势不同,相关性及敏感度分析可揭示景观指数对生态系统服务价值的影响机制。由 SPSS 分析结果可以得到,曲周县生态系统服务价值(ESV)与景观多样性指数(SHDI)呈正相关,表明提高生态系统多样性有利于生态服务价值的增加;ESV 与总斑块数(NP)、景观破碎度指数(FN)、景观优势度指数(D)以及面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF)呈负相关,且与 AWMPDF 呈显著相关,表明随着破碎度增加以及人为干扰活动增多,生态服务价值总量减少。CS 计算结果显示,曲周县生态系统服务价值对总斑块数(NP)和景观破碎度指数(FN)变化缺乏弹性,而对景观多样性指数(SHDI)、景观优势度指数(D)以及面积加权的平均斑块分维指数(AWMPDF)的变化反应灵敏,表明在同等变化程度的基础上 D 和 AWMPDF 对 ESV 的影响更为明显,所以为提高曲周县生态服务价值,应降低人为干扰力度,加强对生态系统多样性的保护。

表 7 相关性系数及敏感度值统计表

Table 7 Statistical table correlation coefficient and sensitivity value

相关性 & 敏感度 Relevance and sensitivity	NP	FN	SHDI	D	AWMPDF
<i>r</i>	-0.684	-0.691	0.737	-0.737	-0.865
CS	0.068	0.068	1.656	13.847	13.242

4 结论与讨论

4.1 结论

通过对曲周县 1985—2012 年景观格局动态变化分析、生态服务价值定量评估、以及景观指数对生态服务价值的影响机制研究可知:

1)近 30 年来曲周县景观整体呈破碎化发展,景观异质性增加,景观多样性降低,景观丰度呈下降趋势,景观格局逐渐由多个比例大致相等的景观类型组成向只受一个或少数几个景观类型所支配的格局转变,人类活动对景观格局的影响程度呈加强态势。

2)1985—2012 年曲周县生态服务价值总体呈现不断下降的趋势,近 30 年间曲周县的生态服务价值量减少了 6 704.11 万元,变化率达 -14.12%,曲周县生态服务价值结构基本一致,未发生较大变动,其中耕地、水域、林地景观的生态服务价值是曲周县

生态服务价值的主体部分,园地、草地、未利用地景观生态服务价值所占比例较小,建设用地景观因消耗着资源其生态服务价值评估为负且影响作用明显。

3)景观指数对生态系统服务价值的影响机制分析表明,生态服务价值总量随景观多样性增加而增加,但随人类干扰度以及景观破碎度的增加而减少,且人类活动对生态服务价值影响更为明显。

4.2 讨论

1)目前,景观指数计算与生态服务价值核算相结合的研究尚不多见。此方法可用于判断景观格局改变对区域生态服务价值的影响,不仅体现在各景观类型数量的变化,更揭示了不同景观的空间维度特征对生态服务价值的影响。该研究方法简单易行,对相关研究具有推广价值。此外,由于本研究时间尺度较短未考虑自然地理因素以及社会人文因素

对区域生态服务价值的影响,在今后的研究中有待进一步完善。

2)河北省曲周县地处华北平原,地势平坦,很适合发展大规模集约化农业,且研究区曾长期受盐碱地困扰,当地土地利用受到很大限制,形成了以农用地为主导的,用地类型相对单一的景观格局。近30年来,伴随着土地利用方式的改变,曲周县景观格局以及生态系统服务价值发生了较大的改变。影响区域景观格局以及生态系统服务价值演变的因素可分为自然因素和人为因素,对于时间尺度较短且无重大自然灾害的研究时段来说人为因素为主导因素,其中社会经济发展和政策制定所引起的土地利用方式改变对区域景观和生态服务价值影响较大^[43]。1985—1999年为满足社会经济发展需求,曲周县大量建设用地侵占农田、林地,同时粗放的土地利用方式导致县域生态系统服务价值大幅下降;1999—2012年,随着国家对耕地保护以及生态文明建设的重视,曲周县调整当地土地利用规划,补充耕地、林地面积,大力修建沟渠以及水利设施,节约集约利用土地,使得耕地、林地景观面积有所回升,草地、水域景观大面积增加,并减少了建设用地对生态服务价值的消耗,在保障国家粮食安全的同时提高了县域生产、生活、生态环境。

3)生态文明建设是“十三五”规划的重点方向,在不影响社会经济发展和粮食安全的前提下,曲周县应积极提高县域生态环境,从生态约束的角度出发,通过政策约束和经济调节增加林地、水域、园地等生态服务价值贡献系数高的景观面积占比;严格乡镇企业用地审批制度,注重城镇服务功能的改善,控制城镇规模;合理规划布局,构建科学的农业发展格局,加大生态网络的连通度,减少干扰,降低景观破碎度;引进先进技术,进一步提高土地利用效率和建设用地集约度,优化产业结构,在发展经济的同时,提高县域生态服务价值,从而更好地支撑曲周县可持续发展,实现人与自然的和谐相处。

参考文献 References

[1] 张虹波,刘黎明,张军连,朱战强.黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J].资源科学,2007,29(4):193-200
Zhang H B, Liu L M, Zhang J L, Zhu Z Q. A dynamic assessment of ecological security of land resources in loess Hills Region[J]. *Resources Science*, 2007, 29(4): 193-200 (in Chinese)

[2] 梁发超,刘黎明.景观格局的人类干扰强度定量分析与生态功能区优化初探:以福建省闽清县为例[J].资源科学,2011,33(6):1138-1144
Liang F C, Liu L M. Quantitative analysis of human disturbance intensity of landscape patterns and preliminary optimization of ecological function regions: A case of Minqing County in Fujian Province[J]. *Resources Science*, 2011, 33(6): 1138-1144 (in Chinese)

[3] 吴冠岑,牛星.土地生态安全预警的惩罚型变权评价模型及应用:以淮安市为例[J].资源科学,2010,32(5):992-999
Wu G C, Niu X. Application of an evaluation model based on punishing variable weight for early warning of land ecological security [J]. *Resources Science*, 2010, 32(5): 992-999 (in Chinese)

[4] 郝润梅,杨勃,李素英,雷军,杨保军.半干旱地区城市边缘区景观格局动态变化及存在问题浅析:以呼和浩特市为例[J].资源科学,2005,27(2):154-160
Hao R M, Yang J, Li S Y, Lei J, Yang B J. Dynamic changes of landscape patterns and problems in urban fringe of the semi-arid area: A case study from Huhhot City [J]. *Resources Science*, 2005, 27(2): 154-160 (in Chinese)

[5] 岳书平,张树文,闫业超,张养贞.公主岭市土地利用变化的生态效应研究[J].资源科学,2006,28(6):161-166
Yue S P, Zhang S W, Yan Y C, Zhang Y Z. The ecological effect of land use change in Gongzhuling County [J]. *Resources Science*, University 2006, 28(6): 161-166 (in Chinese)

[6] Turner M G. Landscape ecology: The effect of pattern on process[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1989, 20: 171-197

[7] 张秋琴,周宝同,莫燕,吴亲帮.区域土地可持续利用景观生态评价研究[J].中国生态农业学报,2008,16(3):741-746
Zhang Q Y, Zhou B T, Mo Y, Wu Q B. Ecological landscape evaluation for regional sustainability of land-use [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 741-746 (in Chinese)

[8] 彭月,王建力,魏虹.重庆市土地利用景观格局现状及其破碎化分析[J].西南大学学报:自然科学版,2008,30(6):83-87
Peng Y, Wang J L, Wei H. RS - and GIS -Based analyses of landscape pattern and landscape fragmentation of Chongqing Municipality [J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2008, 30(6): 83-87 (in Chinese)

[9] 王成,魏朝富,邵景安,高明,蒋伟.区域生态服务价值对土地利用变化的响应:以重庆市沙坪坝区为例[J].应用生态学报,2006,17(8):1485-1489
Wang C, Wei C F, Shao J A, Gao M, Jiang W. Responses of regional ecological service value to land use change: A case study of Shapingba County in Chongqing [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1485-1489 (in Chinese)

[10] 周婷,彭少麟,任文韬.东江河岸缓冲带景观格局变化对水体恢复的影响[J].生态学报,2009,29(1):232-238
Zhou T, Peng S L, Ren W T. Influence of landscape pattern

- changes on the restoration of stream in Dongjiang River riparian buffer[J]. *Acta Ecologic Sinaca*, 2009, 29(1): 232-238 (in Chinese)
- [11] 许吉仁,董霁红. 南四湖湿地景观格局变化的生态系统服务价值响应[J]. *生态与农村环境学报*, 2013, 29(4): 471-477
Xu J R, Dong J H. Response of ecosystem in service value to changes in landscape pattern of the Nansi Lake Wetland[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2013, 29(4): 471-477 (in Chinese)
- [12] 赵志刚,王凯荣,向开成,谢小立. 冀东平原农业景观格局与生态服务价值研究:以滦县为例[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(3): 221-227
Zhao Z G, Wang K R, Xiang K C, Xie X L. Assessment on agricultural landscape pattern and ecosystem service values of Jidong Plain: A case study of Luan County[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(5): 93-96 (in Chinese)
- [13] 张明阳,王克林,刘会玉,陈洪松,章春华,岳跃民. 桂西北典型喀斯特区生态系统服务价值对景观格局变化的响应[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(5): 1174-1179
Zhang M Y, Wang K L, Liu H Y, Chen H S, Zhang C H, Yue Y M. Responses of ecosystem service values to landscape pattern change in typical Karst area of Northwest Guangxi[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(5): 1174-1179 (in Chinese)
- [14] 张国坤,邓伟,宋开山,刘吉平,张力宏,李方. 新开河流域土地利用格局变化及其生态学意义[J]. *生态学报*, 2006, 26(9): 3025-3033
Zhang G K, Deng W, Song K S, Liu J P, Zhang L H, Li F. On the land-use pattern shifting in Xinkai River Basin and its ecological significance[J]. *Acta Ecologic Sinaca*, 2006, 26(9): 3025-3033 (in Chinese)
- [15] 朱小华,宋小宇. 石羊河流域景观格局变化分析与转移倾向因子[J]. *兰州大学学报:自然科学版*, 2010, 46(1): 65-70
Zhu X H, Song X N. Landscape pattern changes and transition tendency factors in Shiyang River Basin [J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2010, 46(1): 65-70 (in Chinese)
- [16] 张学斌,石培基,罗君,刘海龙,魏伟. 基于景观格局的干旱内陆河流域生态风险分析:以石羊河流域为例[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(3): 410-417
Zhang X B, Shi P J, Luo J, Liu H L, Wei W. The ecological risk assessment of arid inland river basin at the landscape scale: A case study on Shiyang River Basin [J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(3): 410-417 (in Chinese)
- [17] 陈希,王克林,祁向坤,李洪斌. 湘江流域景观格局变化及生态服务价值响应[J]. *经济地理*, 2016, 36(5): 175-180
Chen X, Wang K L, Qi X K, Li H B. Landscape pattern changes and evaluation of ecological service value of the Xiangjiang River Watershed [J]. *Economic Geography*, 2016, 36(5): 175-180 (in Chinese)
- [18] 郭斌,张莉. 基于 GIS 的奇台县土地景观格局时空动态研究[J]. *陕西师范大学学报:自然科学版*, 2013, 41(6): 74-79
Guo B, Zhang L. Spatial and temporal dynamics of landscape pattern of Qitai county based on GIS [J]. *Journal of Shaanxi Normal University: Natural Science Edition*, 2013, 41(6): 74-79 (in Chinese)
- [19] 赵东娟. 县域土地利用景观空间格局动态分析及生态分区优化调控研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007
Zhao D J. Study on Dynamic Analysis of Landscape spatial pattern and ecological sub-area regulation at county level [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2007 (in Chinese)
- [20] 张凤荣,齐伟,薛永森,黄勤. 盐渍土区耕地质量指标及其在持续土地利用管理评价中的应用[J]. *中国农业大学学报*, 2001, 6(5): 42-48
Zhang F R, Qi W, Xue Y S, Huang Q. Farmland quality indicators and its application in evaluating sustainable land management in saline soil area [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2001, 6(5): 42-48 (in Chinese)
- [21] Costanza R. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 38(7): 253-260
- [22] 谢高地,张彩霞,张昌顺,肖玉,鲁春霞. 中国生态系统服务的价值[J]. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746
Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, Xiao Y, Lu C X. The value of ecosystem services in China [J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740-1746 (in Chinese)
- [23] 谢高地. 生态系统服务价值的实现机制[J]. *环境保护*, 2012, 17(1): 16-18
Xie G D. Realization mechanism of ecosystem service value [J]. *Environmental Protection*, 2012, 17(1): 16-18 (in Chinese)
- [24] 谢高地,甄霖,鲁春霞,肖玉,陈操. 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): 911-917
Xie G D, Zhen L, Lu C X, Xiao Y, Chen C. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 911-917 (in Chinese)
- [25] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1986, 2000, 2013.
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 1986, 2000, 2013 (in Chinese)
- [26] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1986, 2000, 2013
National Bureau of Statistics Division of Rural Social and Economic. *China Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 1986, 2000, 2013 (in Chinese)
- [27] 曲周县统计局. 曲周县统计年鉴 [M]. 曲周: 曲周县统计局, 1986, 2000, 2013
Quzhou County Bureau of Statistics. *Quzhou County Statistical Yearbook* [M]. Quzhou: Quzhou County Bureau of Statistics, 1986, 2000, 2013 (in Chinese)
- [28] 彭建,王仰麟,刘松,吴健生,李卫锋. 海岸带土地持续利用景观生态评价[J]. *地理学报*, 2003, 28(3): 363-371

- Peng J, Wang Y L, Liu S, Li W F. Landscape ecological evaluation for sustainable coastal land use[J]. *Acta Geographic Sinica*, 2003, 28(3): 363-371 (in Chinese)
- [29] 杨光梅, 李文华, 闵庆文. 生态系统服务价值评估研究进展: 国外学者观点[J]. *生态学报*, 2006, 26(1): 205-211.
Yang G M, Li W H, Min Q W. Review of foreign opinions on evaluation of ecosystem services [J]. *Acta Ecologic Sinica*, 2006, 26(1): 205-211 (in Chinese)
- [30] 周妍. 基于土地利用变化的生态系统服务价值研究: 以晋城市为例[D]. 北京: 中国地质大学, 2012
Zhou Y. Study on ecosystem services value based on land use change: A case study of Jin Cheng City [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2012 (in Chinese)
- [31] 张晶. 基于生态系统服务价值的土地利用结构优化研究[D]. 西安: 西北大学, 2008
Zhang J. Research on the optimization of land use structures based on ecosystem services value [D]. Xian: Northwest University, 2008 (in Chinese)
- [32] 朱懋. 基于生态系统服务价值的德化县土地利用结构优化研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2010
Zhu M. The study of land use structure optimization in Dehua Country based on ecosystem service value [D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2010 (in Chinese)
- [33] 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究[J]. *生态学报*, 1995, 15(4): 345-350
Fu B J. Landscape diversity analysis and mapping [J]. *Acta Ecologic Sinica*, 1995, 15(4): 345-350 (in Chinese)
- [34] 张林. 上海浦东基本生态网络空间格局分析及其演变研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014
Zhang L. Analysis of spatial pattern of ecological network in Pudong New Area, Shanghai [D]. Shanghai: East China Normal University, 2014 (in Chinese)
- [35] 王春连, 张懿铨, 王兆锋, 摆万奇. 拉萨河流域湿地系统景观格局多尺度分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(9): 1634-1642
Wang C L, Zhang Y L, Wang Z F, Bai W Q. Analysis of landscape characteristics of the wetland systems in the Lhasa River Basin [J]. *Resources Science*, 2010, 32(9): 1634-1642 (in Chinese)
- [36] 范强, 杜婷, 杨俊, 席建超, 李雪铭, 陈鹏. 1982—2012年南四湖湿地景观格局演变分析[J]. *资源科学*, 2014, 36(4): 865-873
Fan Q, Du T, Yang J, Xi J C, Li X M, Chen P. Landscape pattern changes for Nansihu Wetland from 1982 to 2012 [J]. *Resources Science*. 2014, 36(4): 865-873 (in Chinese)
- [37] 李晓赛, 朱永明, 赵丽, 田京京, 李静. 基于价值系数动态调整的青龙县生态系统服务价值变化研究[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 373-381
Li X S, Zhu Y M, Zhao L, Tian J J, Li J. Ecosystem services value change in Qinglong County from dynamically adjusted value coefficients [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2006, 13(2): 2015, 23(3): 373-381 (in Chinese)
- [38] 邓舒洪. 区域土地利用变化与生态系统服务价值动态变化研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012
Deng S H. Dynamic Effects on Ecosystem services value with regional land use change [D]. Hangzhou: Zhe Jiang University, 2012 (in Chinese)
- [39] 邵雪亚, 代欣芸, 刘勇, 杨朝现, 李兵, 孙小峰. 区域土地利用景观格局变化对生态服务价值的影响: 以重庆市永川区为例[J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2012, 37(7): 114-118
Shao X Y, Dai X Y, Liu Y, Yang C X, Li B, Sun X F. Impacts of landscape pattern change in regional land use on ecosystem service value: A case study of Yongchuan District in Chongqing Municipality [J]. *Journal of Southwest China Normal University: Natural Science Edition*, 2012, 37(7): 114-118 (in Chinese)
- [40] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 徐长春. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 887-894
Sun H L, Li W H, Chen Y P, Xu C C. Response of ecological services value to land use change in the Ili River Basin, Xinjiang China [J]. *Ecological Academic Journal*, 2010, 30(4): 887-894 (in Chinese)
- [41] 易武英, 苏维词, 李孝坤. 重庆市长寿区景观格局和生态服务价值变化[J]. *水土保持通报*, 2012, 32(5): 93-96
Yi W Y, Su W C, Li X K. Landscape patterns and ecosystem service values change in Changshou District of Chongqing City [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2012, 32(5): 93-96 (in Chinese)
- [42] 卢京花, 张国坤, 宋开山, 曾丽红, 张树清, 苏茂新. 镇赉县景观格局与生态系统服务价值变化[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(10): 51-54
Lu J H, Zhang G K, Song K S, Zeng H L, Zhang S X, Su M X. Variations in landscape pattern and ecosystem service values in Zhenlai County [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2010, 38(10): 51-54 (in Chinese)
- [43] Cynthia Croissant. Landscape patterns and parcel boundaries: an analysis of composition and configuration of land use and land cover in south-central Indiana [J]. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2004, 101(2/3): 219-232

责任编辑: 王燕华