Vol.43, No.2 Mar. 2022

DOI: 10.15928/j.1674-3075.202104060094

# 博斯腾湖流域生态系统服务价值时空演变及权衡协同关系

张 敏1,迪丽努尔·阿吉1,2

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054:

2. 新疆干旱区湖泊环境与资源重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要:探讨流域地区生态系统服务价值变化及权衡协同关系,为流域优化土地利用提供科学依据,并为博斯腾湖流域生态系统服务管理优化提供依据。利用1995、2005、2010、2018年4期土地利用类型数据,利用生态系统服务价值表、生态系统服务价值评估模型以及生态系统服务功能权衡协同度(ESTD)模型,评估博斯腾湖流域生态系统服务价值,并分析该流域生态系统服务价值时空变化及权衡协同关系。结果表明:研究区生态系统服务价值总体上呈下降趋势,生态系统服务价值总量由1995年的557.428×10°元减少到2018年的551.893×10°元。空间上,生态系统服务价值呈现西南高东北低的特征,较高区域主要分布在中间靠北的山地及南部湖泊,较低区域主要分布在东南部未利用地。权衡协同度模型表明协同关系逐渐成为流域生态系统服务之间的主导关系。土地利用类型变化影响流域内权衡协同情况,应着重处理好流域经济发展与生态保护之间的关系。

关键词:博斯腾湖流域;生态系统服务价值;时空演变;权衡协同

中图分类号: X826 文献标志码: A 文章编号: 1674-3075(2022)02-0029-08

生态系统服务是指生态系统能够为人类提供的 直接或间接的各种效益(Costanza et al, 1997)。流域 作为复合生态系统,可提供多种生态系统服务,同时 流域也是人类活动干扰最强烈的地区之一(刘洋等, 2019)。随着全球气候变化和人类活动干扰加剧,流 域生态环境问题如生物多样性减少、水体重金属污 染等问题越来越突出,对流域生态系统服务产生了 影响(郑华等,2003)。不同服务间相互影响,相互作 用,在多种因素的影响下,具有此消彼长的权衡关系 和相互增益的协同关系(Rodriguez et al, 2006)。根 据全球范围内近百年来的调查数据,生态系统服务 出现明显退化,比例高达60%(谢高地等,2001),开 展生态系统服务价值评估及权衡协同关系的研究, 是生态系统保护和管理的根本(曹祺文等,2016)。 对各类生态服务价值间的权衡与协同关系研究已成 为当前生态系统服务的重要议题(Schmalz et al, 2016)。近年来,国内学者在生态服务价值的权衡与 协同关系方面做了较多研究,例如任国平等(2021) 采用 Spearman 秩相关系数分析和双变量空间自相关 相结合的方法,对该区域184个行政村的乡村景观多

(2019)以空间自相关和相关系数法定量测算江苏省县域"三生"功能时空效应及协同/权衡关系;郑德凤等(2020)基于"当量因子法"、空间自相关及相关系数等方法,研究三江源国家公园生态系统服务的时空变化及生态系统服务间的权衡与协同关系。目前有关生态系统服务权衡与协同关系研究主要集中在全国、县区等尺度,对流域区域多聚焦于生态系统服务价值的评估,流域权衡与协同的研究相对不足。

功能间权衡-协同关系变化特征进行研究;李欣等

流域既是区域经济、生态和社会持续发展等复杂问题研究的热点,也是地球系统科学的重要研究对象之一(魏晓华和孙阁,2009)。研究流域内生态系统服务价值(ESV)与土地利用变化的相关性,流域内生态系统效益的高低与人类需求及外部因素的影响,从土地利用的角度研究内陆河流域生态系统服务权衡与协同的时空变化特征,对区域生态系统服务权衡与协同的时空变化特征,对区域生态系统的可持续发展具有重要意义(余坤勇等,2009;冉凤维等,2019)。本文以博斯腾湖流域为例,对流域生态系统服务价值进行评估,为流域优化土地利用提供科学依据,并为博斯腾湖流域生态系统服务管理优化提供依据。

1 研究区概况与研究方法

#### 1.1 研究区概况

博斯腾湖流域位于新疆天山中部南缘和塔克拉玛干沙漠北缘,地理位置为82°80′~88°63′E,40°73′~43°57′N(图1)。境内主要包括库尔勒市、博湖

通信作者:迪丽努尔•阿吉,1968年生,女,博士,教授,主要从事干旱区生态水文研究。E-mail: 2548290281@qq.com

收稿日期:2020-06-16

基金项目:国家自然科学基金项目(41661007,41261003)。

作者简介:张敏,1996年生,女,硕士研究生,主要从事自然资源 开发与规划研究。E-mail: 1344970814@qq.com

县等多个县市(艾则孜提约麦尔•麦麦提等,2018),属温带大陆性气候,四周高山环绕,流域范围内降雨较少,年降雨量约为141.4 mm且多集中在5-9月,年蒸发量可达2038.7 mm,主要集中4-9月,年平均气温约为7.9℃(刘祥和迪丽努尔•阿吉,2021)。流域总面积约为68687 km²,海拔856~4798 m,地势呈北高南低,西高东低,地形多以高山、盆地及峡谷为主。博斯腾湖流域过去近25年土地变化剧烈,耕地和建设用地增长较快,水域、林地和未利用地减少较多。流域内经济发展的畜牧业、种植业、林业和乡镇企业占主导地位。

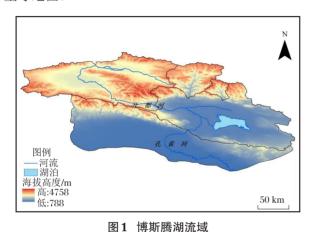


Fig. 1 The Bosten Lake basin

#### bosten Lake basin

#### 1.2 数据来源

博斯腾湖流域1995-2018年的土地利用分类数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(http://www.resdc.cn),分辨率为30 m。中国科学院资源环境科学数据中心发布的数据是以美国陆地卫星Landsat遥感影像数据作为主要信息源,利用人机交换的方法进行人工目视解译,建成的多时期土地利用/土地覆盖专题数据库(王磊等,2019)。该数据库在土地利用/覆被变化研究中应用较为广泛(张冉等,2019),解译精度可达90%,可信度较高。

#### 1.3 研究方法

1.3.1 生态系统服务价值估算 基于 Costanza 等 (1997)和谢高地等(2003)建立的世界和中国陆地生态系统服务价值当量表,结合流域实际情况与相关研究(约日古丽卡斯木等,2019),在此基础上,以耕地、林地、草地、城市-建设用地、水域、盐碱地、未利用地、沙地、湿地等土地利用类型作为研究要素,得到新疆博斯腾湖流域生态系统服务价值当量因子表,参考相关研究(兰紫橙等,2020),采用千年生态系统评估(MA)的方法对生态系统服务功能进行分类,包括气体调节、气候调节、水源供给、土壤形成、废物处理、生物多样性保护、食物生产、原材料、娱乐文化共9个指标。博斯腾湖流域生态系统单位面积生态服务价值见表1。

表 1 博斯腾湖流域生态系统单位面积生态服务价值 元·hm-2

Tab. 1 Ecosystem service value per unit area for different land use types in Bosten Lake basin

生态功能	耕地	林地	草地	水域	建设用地	湿地	沙地	盐碱地	未利用地
气体调节	442.4	3097.0	707.9	0	0	1082.33	26.95	0	0
气候调节	787.5	2389.1	794.6	407.0	0	6085.31	58.38	0	0
水源供给	530.9	2831.5	707.9	18033.2	0	6035.90	31.44	26.5	26.5
土壤形成	1291.9	3450.9	1725.5	8.8	0	893.71	76.35	17.7	17.7
废物处理	1451.2	1159.2	1159.2	16086.6	0	6467.04	116.77	8.8	8.8
生物多样性保护	628.2	2884.6	964.5	2203.3	0	1657.18	179.64	300.8	300.8
食物生产	884.9	88.5	265.5	88.5	0	161.68	8.98	8.8	8.8
原材料	88.5	2300.1	44.2	8.8	0	107.78	17.96	0	0
娱乐文化	8.8	1132.6	35.4	3840.2	80.57	2106.28	107.78	8.8	8.8
合计	6114.3	19333.5	6404.7	40676.4	80.57	24597.21	624.25	371.4	371.4

采用 Costanza 等(1997)提出的评估模型,计算不同年份各种土地利用类型的服务价值和生态系统服务总价值。

$$ESV_i = A_i \times VC_i$$

$$ESV = \sum_{i=1}^{n} (A_i \times VC_i)$$
 (2)

式中: $ESV_i$ 为第i种土地利用类型的服务价值 (元);ESV为生态系统服务总价值(元); $A_i$ 为第i种土 地利用类型的面积 $(hm^2)$ ;  $VC_i$ 为第i种土地利用类型单位面积的生态系统服务价值 $(元/hm^2)$ 。

1.3.2 生态系统服务价值时空变化 经过对比不同尺寸网格对生态系统服务价值空间分异的表达能力,最终选取计算研究区域生态系统服务价值空间分异的网格单元尺寸为4 km×4 km。

1.3.3 生态系统服务权衡协同度 为对研究区进行 权衡协同情况分析,对其生态系统服务变化量间的 相互作用进行评价,从方向及程度2方面反映各服务功能间相互作用,运用以数据线性拟合为基础建立的生态系统服务权衡协同度(ESTD),公式如下(赵同谦等,2004):

$$ESTD_{ij} = \frac{ESC_{ib} - ESC_{ia}}{ESC_{jb} - ESC_{ja}}$$
(3)

式中: $ESTD_{ij}$ 为第ij种生态系统服务功能的权衡协同度; $ESC_{ia}$ 为a年份第i种生态系统服务功能的变化量, $ESC_{ib}$ 为b年份第i种生态系统服务功能的变化量, $ESC_{ja}$ 为a年份第j种生态系统服务功能的变化量; $ESC_{jb}$ 为b年份第j种生态系统服务功能的变化量。 $ESTD_{ij}$ 代表某2种生态系统服务功能的变化量相互作用的程度和方向,正值代表2种生态系统服务功能之间是协同关系,负值代表2者之间是权衡关系。

## 2 结果与分析

总计

557.428

553.399

562.846

#### 2.1 博斯腾湖流域生态系统服务价值时空格局

2.1.1 ESV总量变化 博斯腾湖流域生态系统服务价值变化见表 2。1995-2018 年服务价值总量由557.43×10<sup>8</sup>元减少到551.89×10<sup>8</sup>元,共减少5.54×10<sup>8</sup>元。草地和水域对博斯腾湖流域的生态服务价值贡献率相对较大,是流域内重要的土地利用类型,4个时期耕地及建设用地生态服务价值呈显著增加趋势。其中,1995-2005年生态系统服务价值总量呈现小幅度的下降趋势,草地及盐碱地生态系统服务价值呈下降趋势;2005-2010年生态系统服务总价值呈增加趋势,究其原因,是荒废的土地得到开发,未利用地呈现大幅度下降;2010-2018年生态系统服务总价值呈现显著减少趋势。

2.1.2 ESV 类型间变化 流域不同服务功能生态服务价值变化见表3。1995-2005年,在博斯腾湖流域,除了水源供给价值、原材料价值以及娱乐文化价值呈现增加趋势,其余各类型的生态服务价值均呈现减少趋势,其中以原材料价值增幅最明显,土壤形成价值减少最明显。整个流域生态服务价值总体呈现较小幅度减少趋势。

2005-2010年,原材料价值及娱乐文化价值呈现减少趋势,其余各类型的生态服务价值均呈现增加趋势,其中以食物生产价值和气候调节价值增幅较明显,原材料价值减幅最明显,整个流域生态服务价值总体呈现大幅度增加趋势。

2010-2018年,食物生产价值呈现增加趋势,其 余各类型生态服务价值均呈现减少趋势,其中以气 体调节价值减幅最明显。这一时期,整个流域生态 服务价值出现了明显的减少趋势,由于人口激增,人 为活动对流域的外部干扰加剧,耕地、建设用地的增加,水域面积不断减少,导致流域内部土壤形成价值、食物生产价值增加;水源供给价值、生物多样性 保护价值等不断减少;水域面积对西北内陆干旱区 尤为重要,在提高区域生态服务价值改善区域生态 环境等方面都发挥着重要作用。

1995、2005、2010、2018年4个时期各项生态服务价值所占比例如图2。4个时期,水源供给功能、废物处理功能生态服务价值所占比例相对较高且远高于其他单项功能,二者所占比例之和超过50%;土壤形成功能、生物多样性功能占比均超过10%;4个时期原材料功能生态服务价值所占比例均最低。

表2 1995-2018年流域不同土地利用类型生态系统服务价值及其变化 Tab. 2 Ecosystem service values (ESV) and land use changes in Bosten Lake basin (1995-2018)

	•		, ,		8	`	,	
土地利用		服务价值	直/108元		服务价值变化率/%			
	1995年	2005年	2010年	2018年	1995-2005年	2005-2010年	2010-2018年	
耕地	19.520	23.560	30.256	35.246	20.698	28.420	16.493	
林地	19.904	24.467	16.695	16.232	22.925	-31.765	-2.772	
草地	198.157	181.555	190.897	176.117	-8.378	5.146	-7.742	
水域	272.732	275.545	271.251	272.780	1.031	-1.558	0.564	
建设用地	0.015	0.021	0.037	0.042	37.936	76.691	15.351	
湿地	37.077	37.629	44.012	41.215	1.488	16.964	-6.356	
沙地	1.686	1.759	1.772	1.765	4.317	0.727	-0.365	
盐碱地	0.617	0.603	0.570	0.561	-2.179	-5.511	-1.591	
未利用地	7.720	8.259	7.355	7.933	6.979	-10.946	7.859	

551.893

-0.723

1.707

-1.946

表3 1995-2018年博斯腾湖流域不同服务功能生态服务价值变化

Tab. 3	Changes in the values of ecosystem	n services in Bosten Lake b	asin (1995-2018)

功能类型		服务价	值/108元	变化率/%			
	1995年	2005年	2010年	2018年	1995-2005年	2005-2010年	2010-2018年
气体调节	28.207	27.423	27.976	26.506	-2.780	2.018	-5.255
气候调节	41.618	40.814	43.412	41.487	-1.932	6.367	-4.435
水源供给	157.201	157.809	157.881	156.645	0.387	0.046	-0.783
土壤形成	63.073	60.323	63.055	59.970	-4.360	4.529	-4.893
废物处理	159.812	159.323	162.097	160.461	-0.306	1.741	-1.010
生物多样性保护	59.325	58.557	58.934	57.505	-1.295	0.644	-2.424
食物生产	12.189	12.130	13.461	13.567	-0.487	10.976	0.785
原材料	4.288	4.780	4.044	3.947	11.471	-15.394	-2.397
娱乐文化	31.716	32.241	31.984	31.806	1.655	-0.797	-0.559
总计	557.428	553.399	562.846	551.893	-0.723	1.707	-1.946

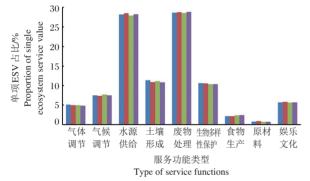


图 2 1995-2018年博斯腾湖流域单项生态系统 服务价值占比

Fig.2 Proportion of single ecosystem service value in Bosten Lake basin from 1995 to 2018

2.1.3 ESV 空间变化特征 参考已有研究(刘彦随和 李进涛,2017)采用自然断裂点法对ESV进行分级,体 现流域不同年份ESV的空间变化特征,结果如图3。 1995-2018年博斯腾湖流域生态系统服务价值变化程 度较为明显,总体表现为ESV较高水平区域占据主导 地位,高水平区域和低水平区域减少,价值较高水平 区域和较低水平区域增加。空间上,流域ESV较高区 域主要分布在中间靠北的山地及南部湖泊,较低区域 主要分布在东南部未利用地。1995-2005年流域 ESV 高水平区域多集中在北部成片分布,较为集中; 低水平区域分布在东南部,较低水平区域分布范围 较少。2005年流域生态系统服务价值与1995年相比 变化相对较小,ESV低水平区域呈现小幅度增加趋 势,高水平区域呈现小幅度减少趋势。2005-2010年 流域生态系统服务价值变化趋势显著,靠北部高水 平区域大幅度减少,北部生态系统服务价值大部分 高水平区域分别转化为较低水平区域及较高水平区 域,东南部低水平区域转化为较高水平区域,东南部低水平区域呈现小幅度减少趋势。2010-2018年,2010年流域生态系统服务价值与2018年相比变化较小,ESV较高水平区域仍旧占据主导地位,均在流域北部集中连片分布。

## 2.2 生态系统服务权衡与协同

1995-2018年博斯腾湖流域各生态系统服务权 衡与协同关系见表 4。

1995-2005年各生态服务之间共组成36组数值,其中18组为正值,18组为负值,权衡协同关系各占50%。在权衡关系中,娱乐文化功能与食物生产功能的权衡度最高(-8.84)。土壤形成功能与气体调节功能协同度最高(3.51),食物生产功能与土壤形成功能协同度最低(0.02)。

2005-2010年各生态系统服务之间共组成36组数值,其中22组为正值,14组为负值,协同关系占61.11%,表明博斯腾湖流域生态系统服务之间协同关系逐渐占据主导地位。与1995-2005年相比,协同关系从18组升至22组,其中水源供给功能与废物处理功能协同度最高(38.43);权衡关系从18组降至14组,其中原材料功能与水源供给功能权衡度最高(-10.19)。

2010-2018年各生态系统服务之间共组成36组数值,其中28组为正值,8组为负值,协同关系占77.78%。博斯腾湖流域生态系统服务之间协同关系仍旧占据主导地位,与2005-2010年相比,权衡关系从14组降至8组,其中食物生产功能与娱乐文化功能权衡度最高(-1.69)。土壤形成功能与水源供给功能协同度最高(2.5)。

对比3期数据间的权衡协同关系,博斯腾湖流域各服务间的关系中权衡关系逐渐减弱,协同关系逐

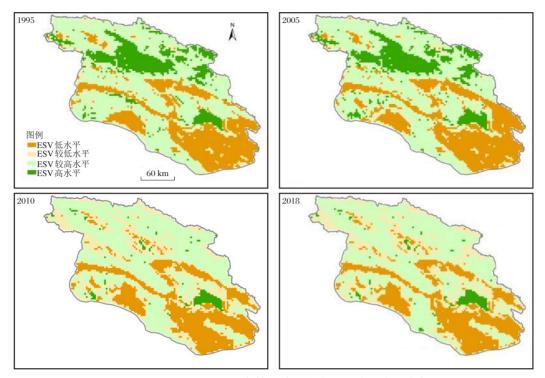


图 3 1995-2018 年博斯腾湖流域 ESV 空间格局演变

Fig.3 Contribution of each ecosystem service in Bosten Lake basin (1995–2018)

表4 1995-2018年博斯腾湖流域各生态系统服务权衡与协同关系 Tab.4 Trade-offs and synergies of ecosystem services in Bosten Lake basin (1995-2018)

功能	气体调节	气候调节	水源供给	土壤形成	废物处理	生物多样性保护	食物生产	原材料	娱乐文化
1995-2005年									
气体调节									
气候调节	1.03								
水源供给	-0.77	-0.76							
土壤形成	3.51	3.42	-4.52						
废物处理	0.62	0.61	-0.80	0.18					
生物多样性保护	0.98	0.96	-1.26	0.28	1.57				
食物生产	0.08	0.07	-0.10	0.02	0.12	0.08			
原材料	-0.63	-0.61	0.81	-0.18	-1.01	-0.64	-8.29		
娱乐文化	-0.67	-0.65	0.86	-0.19	-1.07	-0.68	-8.84	1.07	
2005-2010年									
气体调节									
气候调节	4.69								
水源供给	0.13	0.03							
土壤形成	4.94	1.05	37.85						
废物处理	5.01	1.07	38.43	1.02					
生物多样性保护	0.68	0.15	5.23	0.14	0.14				
食物生产	2.41	0.51	18.44	0.49	0.48	3.53			
原材料	-1.33	-0.28	-10.19	-0.27	-0.27	-1.95	-0.55		
娱乐文化	-0.46	-0.10	-3.56	-0.09	-0.09	-0.68	-0.19	0.35	
2010-2018年									
气体调节									
气候调节	1.31								
水源供给	0.84	0.64							
土壤形成	2.10	1.60	2.50						
废物处理	1.11	0.85	1.32	0.53					
生物多样性保护	0.97	0.74	1.16	0.46	0.87				
食物生产	-0.07	-0.05	-0.09	-0.03	-0.06	-0.07			
原材料	0.07	0.05	0.08	0.03	0.06	0.07	-0.92		
娱乐文化	0.12	0.09	0.14	0.06	0.11	0.13	-1.69	1.84	

渐增强,表明该区域生态系统服务功能间的发展逐渐趋于协调。

## 3 讨论

受人类活动干扰及自然因素的影响,流域内土地利用类型发生较大变化,与1995年相比,2018年的耕地、建设用地面积明显增加,生态系统结构的变动在很大程度上影响生态系统服务功能发生相应的转变(李鸿健等,2016),流域内土地利用类型发生显著变化,从而进一步影响生态系统服务间的权衡与协同关系。本研究中,博斯腾湖流域各服务间的关系中协同关系逐渐占据主导地位,表明该区域生态系统服务功能间的发展逐渐趋于协调。

博斯腾湖流域生态系统服务价值随年际变化大体呈现显著减少趋势,生态系统服务价值与人口、工业化、城市化(Vitousek et al,1997)及社会经济政策密切相关(Swallow et al,2009),2005-2010年,自治区各级政府制定出台了一系列流域生态环境保护的地方性法规,流域生态系统服务价值呈现增加趋势,增加约9.447×108元,协同关系占据主导地位;另外在1995-2005年及2010-2018年流域生态系统服务价值出现显著下降趋势,是因为人类活动是影响区域生态系统系统服务价值的重要因素,人口迅速增加,而生产水平不高,就导致一味追求扩大耕地面积,甚至以破坏原有植被与草场为代价发展农业(李晓蕾等,2019)。

本文以博斯腾湖流域为例进行了1995-2018年连续23年的生态系统服务评估,对流域生态系统服务价值的空间分异进行研究,并对流域内个生态系统服务功能的权衡与协同关系进行评估,长时间连续序列的时空分析,结果可信度较高。然而缺乏对流域空间上的权衡与协同关系研究,未来仍需借助其他方法手段进一步的探讨和研究。采用情景分析方法分析未来不同发展情景下区域权衡与协同关系变化及效应并探究各生态系统服务之间的驱动机制将是下一步的研究重点。

#### 4 结论

- (1)博斯腾湖流域生态系统服务价值由1995年的557.428×10<sup>8</sup>元减少到2018年的551.893×10<sup>8</sup>元,其中1995-2005年略有下降,而2005-2010年呈现明显上升趋势,增加约9.447×10<sup>8</sup>元,2010-2018年呈现明显下降趋势,减少约10.953×10<sup>8</sup>元。
  - (2)博斯腾湖流域9种生态系统服务功能中,水

- 源供给、土壤形成、生物多样性保护、废物处理4种生态系统服务功能所占比例较大,是影响生态系统服务总价值的主要4大生态功能,其价值贡献率较高,而食物生产、原材料、娱乐文化的价值贡献率较小。
- (3)1995-2018年博斯腾湖流域生态系统服务价值单位面积变化特征为:流域生态系统服务价值较高水平区域一直占据主导地位;2010-2018年流域生态系统系统服务价值高水平区域明显减少,生态系统服务价值较高水平区域增加。
- (4)博斯腾湖流域各服务间的关系中权衡关系逐渐减弱,协同关系逐渐增强,表明该区域生态系统服务功能间的发展逐渐趋于协调。博斯腾湖流域内土地利用覆被变化及人为活动等外部因素的影响下,2种及以上的生态系统服务功能同步增加或减少。
- (5)土地利用类型变化影响流域内权衡协同情况。随着经济快速发展,博斯腾湖流域土地利用发生明显变化,流域内生态系统服务价值呈现下降趋势,因此应着重处理好流域经济发展与生态保护之间的关系。

#### 参考文献

- 艾则孜提约麦尔·麦麦提,玉素甫江·如素力,姜红,等,2018. 2000-2014年博斯腾湖流域 NPP 时空变化特征及影响 因子分析[J].草业科学,35(7):1743-1753.
- 曹祺文,卫晓梅,吴健生,2016. 生态系统服务权衡与协同研究进展[J]. 生态学杂志,35(11):3102-3111.
- 兰紫橙,贾岚,程煜,2020. 闽江流域生态系统服务价值评估及权衡协同关系[J].生态学报,40(12):3909-3920.
- 刘彦随,李进涛,2017. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报,72(1):161-173.
- 刘洋,毕军,吕建树,2019. 生态系统服务权衡与协同关系及驱动力——以江苏省太湖流域为例[J]. 生态学报,39 (19):7067-7078.
- 刘祥,迪丽努尔•阿吉,2021. 博斯腾湖西岸表面流人工湿地 对水体中重金属离子的去除效果[J]. 湿地科学,19(1): 126-131.
- 李欣,方斌,殷如梦,等,2019. 江苏省县域"三生"功能时空变 化及协同/权衡关系[J]. 自然资源学报,34(11):2363-2377.
- 李鸿健,任志远,刘焱序,等,2016. 西北河谷盆地生态系统服务的权衡与协同分析——以银川盆地为例[J]. 中国沙漠,36(6):1731-1738.
- 李晓蕾,魏建新,徐丽萍,等,2019. 基于CLUE-S模型的博斯腾湖流域土地利用变化情景模拟[J]. 石河子大学学报(自然科学版),37(3):345-352.
- 任国平,刘黎明,李洪庆,等,2021. 乡村景观多功能权衡 协同 关系时空格局研究——以上海市青浦区为例(英文)[J].

- Journal of Resources and Ecology, 12(2):225-240.
- 冉凤维,罗志军,吴佳平,等,2019. 鄱阳湖地区生态系统服务 权衡与协同关系的时空格局[J]. 应用生态学报,30(3): 995-1004.
- 魏晓华,孙阁,2009. 流域生态系统过程与管理[M]. 北京:高等教育出版社.
- 王磊,刘亭亭,谢建治,2019. 基于 SWAT 模型的张家口清水河流域土地利用情景变化对径流影响研究[J]. 水土保持研究,26(4):245-251.
- 谢高地,鲁春霞,成升魁,2001.全球生态系统服务价值评估研究进展[J].资源科学,(6):5-9.
- 谢高地,鲁春霞,冷允法,等,2003. 青藏高原生态资产的价值 评估[J]. 自然资源学报,(2):189-196.
- 余坤勇,刘健,许章华,等,2009. 闽江流域生态服务功能的遥感 监测研究[J]. 西南大学学报(自然科学版),31(11):72-80.
- 约日古丽卡斯木,杨胜天,孜比布拉•司马义,2019. 新疆艾比湖流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 农业工程学报,35(2):260-269.
- 张冉,王义民,畅建霞,等,2019. 基于水资源分区的黄河流域 土地利用变化对人类活动的响应[J]. 自然资源学报,34 (2):274-287.
- 赵同谦,欧阳志云,郑华,等,2004. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报,(4):480-491.

- 郑华,欧阳志云,赵同谦,等,2003.人类活动对生态系统服务功能的影响[J].自然资源学报,(1):118-126.
- 郑德凤,郝帅,吕乐婷,等,2020. 三江源国家公园生态系统服务时空变化及权衡-协同关系[J]. 地理研究,39(1):64-78.
- Costanza R, D'arge R, Groot R D, et al, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 387:253-260.
- Rodriguez J P, Beard T D, Bennett E M, et al, 2006. Tradeoffs across space, time, and ecosystem services[J]. Ecology and Society, 11(1): 28.
- Schmalz B, Kruse M, Kiesel J, et al, 2016. Water-related ecosystem services in Western Siberian lowland basins—analysing and mapping spatial and seasonal effects on regulating services based on ecohydrological modelling results[J]. Ecological Indicators, 71:55–56.
- Swallow B M, Sang J K, Nyabenge M, et al, 2009. Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa[J]. Environmental Science & Policy, 12(4): 504-519.
- Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al, 1997. Human domination of Earth's ecosystems[J]. Science, 277(5325): 494–499.

(责任编辑 郑金秀)

## Spatiotemporal Evolution, Trade-offs and Synergies Among Ecosystem Services in Bosten Lake Basin

ZHANG Min<sup>1</sup>, Dilinuer•Aji<sup>1,2</sup>

School of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, P.R. China;
 Key Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Area of Xinjiang,
 Urumqi 830054, P.R. China)

Abstract: Land use in the Bosten River basin has changed dramatically over the past 25 years. Studying changes in the value of ecosystem services as well as the trade-offs and synergies among ecological service functions in the basin is thus important for coordinating social development and improving human well-being. Based on land use data on the Bosten River basin for 1995, 2005, 2010 and 2018 and ecosystem service value tables, the ecosystem service trade-off degree (ESTD) model was used to evaluate ecosystem services in the basin. Spatial and temporal changes in ecosystem service values were then analyzed and the trade-offs and synergies among ecological services were explored. The study provides scientific evidence for optimizing land use and managing ecological services in the Bosten River basin. Results show that the value of ecosystem services in the study area are trending downward, with the total value decreasing from 557.428 ×108 yuan in 1995 to 551.893 ×108 yuan in 2018. Grass land and water areas were the primary land use types in the river basin, with much higher contributions to the total ecosystem service value. During the study period, the total value of ecosystem services decreased slightly (1995–2005), increased by 9.447×10<sup>8</sup> yuan (2005-2010), and decreased significantly, by 10.953 ×108 yuan (2010-2018). Spatially, the value of ecosystem services was higher in the southwest and lower in the northeast. The highest value was in the central and northern area of mountains and lakes, and the lowest was in undeveloped areas. Among the nine ecological service functions, water resources, soil formation, biological diversity and waste treatment accounted for a large proportion of the total value, while the contributions of food production, raw materials and entertainment were relatively small. Trade-off modelling suggested that synergisms have gradually become the dominant relationship among ecosystem service functions in the Bosten River basin. Land use in the river basin has affected the trade-offs and synergies among ecosystem services, and balancing economic development and ecological conservation is crucial for sustainable development.

**Key words:** Bosten Lake basin; ecosystem sercice value; spatiotemporal evolution; trade-offs and synergies