

韩梦涛,涂建军,徐桂萍,等.黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性[J].中国沙漠,2021,41(4):167-176.

黄河流域水域生态系统服务与经济发展 时空协调性

韩梦涛^a,涂建军^b,徐桂萍^a,姜莉^a

(西南大学 a.地理科学学院; b.经济管理学院,重庆 400715)

摘要:黄河流域对维护中国生态安全、促进社会经济发展具有重要的战略地位。基于2000、2005、2010、2015、2020年5期遥感解译数据和经济社会统计数据,测算了黄河流域9省71个市(州、盟)的水域生态系统服务价值,并通过构建生态系统服务与经济发展一致性指数对二者时空协调性进行分析。结果表明:(1)研究时段内,黄河流域水域面积逐年增加,其中上游地区增长最多、增幅较小,下游地区增长较多、增幅最大,中游地区有小幅度减少。从水域类型变化来看,水库坑塘增加最多、变化幅度最剧烈,滩地和滩涂面积缩小、变化较为平缓。(2)研究时段内,黄河流域水域生态系统服务价值逐年上升,但增幅逐渐趋缓,下游地区水域生态系统服务价值增幅最大、上游次之、中游最低,其中2015—2020年陕西省、山西省以及整个中游河段甚至出现了下降的情况。(3)总体上看,黄河流域水域生态系统服务与经济发展在研究时段内呈现出协调状态,并以经济集聚高于生态系统服务集聚为主,并且长期保持不变,但这种不协调性在空间上出现分异,上游地区以生态系统服务集聚高于经济集聚类型为主,中、下游地区以及各省会城市以经济集聚高于生态系统服务集聚类型为主。

关键词:水域生态;生态系统服务;经济发展;时空协调性;黄河流域

文章编号: 1000-694X(2021)04-167-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00064

中图分类号: X171

文献标志码: A

0 引言

生态系统服务的概念最早见于1970年联合国发布的《人类对全球环境的影响》^[1],指生态系统为人类社会活动提供有形或无形的自然产品、环境资源和生态损益的能力^[2],联合国发布的《千年生态系统评估报告》将其分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务4种服务功能^[3]。生态系统服务价值是采用经济法则对生态系统服务和自然资本做出的估算^[4],是以货币形式表现的生态系统服务价值^[5]。生态系统服务价值评估方法大致分为单位服务功能价格法和单位面积价值当量因子法两大类^[6],Costanze等^[7]使用当量因子法对全球生态系统服务价值进行了评估。当量因子法简单易用、对数据的需求较少而被广泛使用^[8]。谢高地等^[9]根据中国国情制定了中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表^[8]

并进一步修正^[10],从而推动了森林^[11-13]、农田^[14-16]、水域^[17-18]、城市^[19-21]等生态系统的服务价值研究,涉及全球^[22-23]、国家^[24-25]、区域^[26-27]、城市^[28-29]等多个尺度。

水域生态系统作为生态系统的重要组成部分支撑着整个地球生命系统,为人类生产和生活提供必需的基础物资^[29]。目前关于水域生态系统服务的研究集中在湿地^[30-32]、流域^[33-34]、湖泊^[35]等领域,研究内容主要包括评估功能价值^[36-37]、探索空间演变规律^[38-39]等。水资源支撑着流域社会经济的发展^[40],具有重要的生态效益和社会效益^[41],对水域生态系统服务功能价值开展评价是将水资源核算纳入国民经济核算体系的前提^[42]。近年来出现了对整体生态系统服务与经济发展时空协调性的研究^[43],然而针对水域生态系统服务与经济发展时空协调性的研究还有待加强。

收稿日期:2021-05-09; 改回日期:2021-05-18

资助项目:国家社科基金重大项目(20&ZD156)

作者简介:韩梦涛(1996—),女,山西晋城人,硕士研究生,主要从事城市与区域发展研究。E-mail:1150145844@qq.com

通信作者:涂建军(E-mail:tujianjun81@163.com)

黄河流域是中国重要的生态屏障和经济地带,在中国经济社会发展和维护生态安全方面具有十分重要的地位^[44]。“黄河流域生态保护和高质量发展”在“十四五”规划中被确立为中国区域重大战略,强调要坚持“以水定产、量水而行”,把水资源作为最大的刚性约束,合理规划人口、城市和产业发展^[45]。当前,关于黄河流域生态保护和高质量发展的战略研究成果不断涌现,同时在生态保护^[45-47]、生态效率^[48-49]、产业经济^[50-51]等领域也取得一定进展。本文通过对黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性展开分析,从而为黄河流域产业发展坚持“以水而定、量水而行”导向提供参考。

鉴于此,以2000、2005、2010、2015、2020年5期遥感解译数据为基础,使用当量因子法对黄河流域9个省(区)、71个地级行政单元开展水生态系统服务价值(ESV)核算,进而构建生态系统服务与经济

发展一致性模型,探讨黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性特征。

1 研究区概况

黄河流域位于32°10′—41°50′N、95°53′—119°05′E,面积79.5万km²。黄河作为中国第二大河流,干流河道全长5464 km,自西向东流经青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、山西、陕西、河南和山东9省(区)71个地级市(州、盟)^①。河源至内蒙古托克托县的河口镇为上游,河口镇至河南郑州桃花峪为中游,桃花峪至入海口为下游。黄河流域水域类型主要包括河渠、湖泊、水库坑塘、滩地以及少量的永久性冰川雪地和滩涂(表1),具有水资源匮乏、地区分布不均、径流年内和年际变化大等特点^[52],存在生态系统退化、水土流失、水体污染、旱涝灾害和水沙关系不协调等问题^[44,52]。

表1 2020年黄河流域水域面积(单位:万hm²)

Table 1 The water area of the Yellow River Basin in 2020 (Unit: ×10⁴ hm²)

省区/河段	河渠	湖泊	水库坑塘	永久性冰川雪地	滩涂	滩地	合计
青海省	11.07	119.19	32.00	32.31	0.00	55.89	250.46
四川省	0.50	0.55	0.23	0.27	0.00	0.18	1.73
甘肃省	4.50	0.26	2.15	0.18	0.00	4.97	12.06
内蒙古自治区	10.17	13.37	3.31	0.00	0.00	34.11	60.96
宁夏回族自治区	1.68	0.67	3.52	0.00	0.00	4.42	10.29
山西省	4.47	0.18	2.86	0.00	0.00	5.99	13.50
陕西省	4.82	0.26	3.71	0.00	0.00	4.86	13.65
河南省	8.66	0.00	5.26	0.00	0.00	2.41	16.33
山东省	9.72	7.00	50.93	0.00	7.34	3.96	78.95
上游地区	27.46	134.02	41.03	32.76	0.00	97.84	333.11
中游地区	13.70	0.46	8.77	0.00	0.00	13.62	36.55
下游地区	14.43	7.00	54.17	0.00	7.34	5.33	88.27
黄河流域	55.59	141.48	103.97	32.76	7.34	116.79	457.93

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

采用的2000、2005、2010、2015、2020年黄河流域水域数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)的土地利用遥感监测数据,并利用ArcGIS10.2对5期遥感影像数据进行了

拼接、裁剪等预处理。根据中国土地利用/土地覆盖遥感监测数据分类系统(LUCC),将黄河流域水域划分为河渠、湖泊、水库坑塘、滩地、永久性冰川雪地、滩涂等6个二级土地利用类型。研究区经济社会统计数据来源于相关年份的《中国农产品价格调查年鉴》、各省(区)的统计年鉴以及当地统计局发布的官方数据等。

①参考水利部黄河水利委员会2012年县级行政区划标准,黄河流域包括71个地级行政单元,362个县级行政单元。

2.2 生态系统服务价值计算方法

采用当量因子法对生态系统服务价值进行核算。根据谢高地等^[10]修正的中国单位面积生态服务价值当量,并结合研究区实际,采用水系和湿地当量指标的平均值作为水域生态系统服务价值当量(表2)。根据黄河流域主要粮食作物总价和总播种面积,计算出单位面积农田生态系统粮食生产服务的经济价值,计算公式如下:

$$E_a = \frac{1}{7} \times \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (1)$$

式中: E_a 为单位面积农田生态系统粮食生产服务价格(元· hm^{-2}); N_i 为*i*年黄河流域粮食作物总价(元); M_i 为*i*年黄河流域粮食作物播种面积(hm^2)。根据公式(1),计算出黄河流域2000、2005、2010、2015、2020年单位面积粮食生产服务的经济价值分别为770.51、1 252.42、1 929.58、2 576.06、2 713.99元· hm^{-2} 。

表2 黄河流域单位面积水域生态系统服务价值当量
Table 2 Equivalent value of aquatic ecosystem services per unit area of the Yellow River Basin

服务类别	单项服务	价值当量
供给服务	食物生产	0.655
	原粮生产	0.365
	水资源供给	5.440
调节服务	气体调节	1.335
	气候调节	2.945
	净化环境	4.575
	水文调节	63.235
支持服务	土壤保持	1.620
	维持养分循环	0.125
	生物多样性	5.210
文化服务	美学景观	3.310

基于修正后的生态系统服务价值当量和当量因子价值量,采用式(2)计算黄河流域水域生态系统服务价值:

$$ESV = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^l (E_a \times E_k \times A_{ij}) \quad (k = 1, 2, \dots, 11; i = 1, 2, \dots, 71; j = 1, 2, \dots, 6) \quad (2)$$

式中: ESV 为研究区水域生态系统服务价值总量(元); E_k 为第*k*项水域生态系统服务功能的价值当

量; A_{ij} 为*i*区域第*j*类水域面积(hm^2)。

2.3 生态系统服务与经济发展一致性模型

经济发展水平通常用国内生产总值(GDP)这一指标来反映。因此,通过计算ESV与GDP的变异系数(CV)可以测度生态系统服务与经济发展水平的偏离程度,从而构建起生态系统服务与经济发展一致性模型来检测ESV和GDP之间是否匹配协调。

首先,分别计算GDP和ESV的变异系数(CV)表征二者各自的分散和集中程度,计算公式如下:

$$CV = \frac{1}{Y_0} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)^2}{n}} \quad (4)$$

式中: Y_0 为ESV或GDP的流域平均值; n 为研究单元数量; Y_i 为第*i*个研究单元的ESV或GDP的值。 CV 值越小,代表各研究单元间的GDP或ESV差异越小。

接下来构建生态系统服务与经济发展一致性模型来衡量某地区水域生态系统与经济协调程度(CEE)^[43,53],计算公式如下:

$$CEE_i = \frac{R_{ESV_i}}{R_{GDP_i}} = \frac{\frac{ESV_i}{\sum_{i=1}^n ESV_i}}{\frac{GDP_i}{\sum_{i=1}^n GDP_i}} \quad (5)$$

式中: CEE_i 为*i*研究单元的生态系统服务与经济发展的一致性指数; R_{ESV_i} 是*i*研究单元的生态系统服务集聚水平; R_{GDP_i} 是*i*研究单元的经济集聚水平。

当 $CEE_i > 1$ 时,表明该地区生态系统服务集聚高于经济集聚;当 $CEE_i < 1$ 时,表明该地区生态系统服务集聚低于经济集聚;若 CEE_i 越接近1,表明该地区生态系统服务与经济协调性越好。参照人口-经济一致性指数分类标准^[53-54],将生态系统服务与经济协调水平分为4个大类、6个亚类(表3)。

3 结果与分析

3.1 黄河流域水域面积时空变化

整体来看,黄河流域水域面积由2000年的371.69万 hm^2 增加到2020年的457.93万 hm^2 ,增加

表3 生态系统服务与经济发展协调性分类标准

Table 3 Classification of coordination between ecosystem services and economic development

分类标准	类型	亚类
$CEE \leq 0.50$	经济集聚高于生态系统服务集聚	经济集聚极高于生态系统服务集聚
$0.50 < CEE < 0.80$		经济集聚较高于生态系统服务集聚
$0.80 \leq CEE < 1.20$, 且 $CEE \neq 1$	生态系统服务与经济集聚基本协调	生态系统服务与经济集聚基本协调
$CEE = 1$	生态系统服务与经济集聚完全协调	生态系统服务与经济集聚完全协调
$1.20 \leq CEE < 2.0$	生态系统服务集聚高于经济集聚	生态系统服务集聚较高于经济集聚
$CEE \geq 2.0$		生态系统服务集聚极高于经济集聚

了86.24万hm²,增幅达到23.20%(表4),其中上游增加了54.54万hm²,下游增加了33.14万hm²,中游反而减少了1.44万hm²,水域减少主要发生在2015年以后,在此之前,中游地区的水域面积也有小幅增加。从省域层面来看,研究时段内,仅有山西和陕西两省水域面积减少,分别减少了8.47%和7.27%,其余省(区)都有所增加,其中山东省增长幅

度最大,达到65.17%,青海省增加的面积最大,达到50.07万hm²。从71个地级行政单元层面来看,有48个水域面积增加,其中增加面积位列前三的是海西蒙古族藏族自治州(32.8万hm²)、东营市(13.08万hm²)和玉树藏族自治州(10.86万hm²),减少面积位列前三的是鄂尔多斯市(1.02万hm²)、朔州市(0.61万hm²)和榆林市(0.53万hm²)。

表4 黄河流域水域面积(单位:万hm²)Table 4 Water area change in the Yellow River Basin (Unit: $\times 10^4$ hm²)

省区/河段	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
青海省	200.39	205.30	208.11	214.25	250.46
四川省	1.42	1.42	1.47	1.55	1.73
甘肃省	10.73	10.95	11.03	11.27	12.06
内蒙古自治区	58.99	58.34	58.47	60.00	60.96
宁夏回族自治区	9.43	9.49	9.46	9.98	10.29
山西省	14.75	15.02	15.17	15.23	13.50
陕西省	14.72	15.48	15.30	15.64	13.65
河南省	13.46	15.48	15.72	15.65	16.33
山东省	47.80	48.31	49.59	50.04	78.95
上游地区	278.57	283.12	286.17	294.61	333.11
中游地区	37.99	39.90	39.96	40.45	36.55
下游地区	55.13	56.77	58.19	58.55	88.27
黄河流域	371.69	379.79	384.32	393.61	457.93

从水域类型的变化来看,水库坑塘面积增加最多、变化幅度最剧烈,滩地和滩涂面积缩小、变化较平缓。2000—2020年,水域面积增加的类型从高到低依次是水库坑塘(71.00万hm²)、河渠(8.52万hm²)、湖泊(7.13万hm²)和永久性冰川雪地(3.05万hm²),水域面积减少的类型分别是滩地(3.44万hm²)和滩涂(0.02万hm²),其中水库坑塘增加的面积主要发生在下游的山东省和上游的青海省,排名

前三的地级单元分别是海西蒙古族藏族自治州(26.75万hm²)、东营市(10.64万hm²)和滨州市(9.06万hm²),而滩地减少的面积主要在中、下游地区,以内蒙古自治区和山东省最多,排名前三的地级单元分别是巴彦淖尔市(2.20万hm²)、洛阳市(1.94万hm²)和鄂尔多斯市(1.32万hm²)。从变化幅度来看,由高到低依次是水库坑塘(215.35%)、河渠(18.10%)、永久性冰川雪地(16.88%)、湖泊

(5.31%)、滩地(-2.86%)和滩涂(-0.27%)。水库坑塘增幅最大的是青海省,增加了682.40%,排名前三的地级单元为海西蒙古族藏族自治州(11630.43%)、甘南藏族自治州(2000.00%)和海北藏族自治州(1566.67%),增幅为负的是玉树藏族自治州(-79.14%)、黄南藏族自治州(-26.67%)、大同市(-22.22%)和濮阳市(-11.11%)。滩涂面积变化幅度最小,除本身没有此类型的地区外,东营市是唯一面积增加的城市,增幅达到92.25%,而青岛市、滨州市和潍坊市的滩涂面积均有减少,但减幅较小。

3.2 黄河流域水域生态系统服务价值变化

黄河流域水域生态系统服务价值从2000年的2544.60亿元增长至2020年的10473.24亿元,20年间增加了3.11倍,这主要得益于上游地区的大幅增长,共增长了5711.40亿元,占总增量的72.04%,而下游和中游仅分别增长了1641.39亿、575.85亿元(表5)。从变化幅度来看,黄河流域水域生态系统服务价值的增幅从2000—2005年的66.09%逐步下降到2015—2020年的16.25%,总体上增幅逐渐趋缓,特别是陕西、山西和整个中游河段在2015—2020年甚至出现负增长现象。

表5 黄河流域水域生态系统服务价值(单位:亿元)

Table 5 Aquatic ecosystem service value of the Yellow River Basin(Unit: 100 million yuan)

省区/河段	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
青海省	1371.87	2284.53	3567.90	4903.82	5728.23
四川省	9.72	15.80	25.20	35.48	39.57
甘肃省	73.46	121.85	189.10	257.95	275.82
内蒙古自治区	403.85	649.19	1002.43	1373.30	1394.21
宁夏回族自治区	64.56	105.60	162.19	228.43	235.34
山西省	100.98	167.14	260.08	348.59	308.76
陕西省	100.77	172.26	262.31	357.97	312.19
河南省	92.15	172.26	269.51	358.20	373.48
山东省	327.24	537.58	850.19	1145.33	1805.65
上游地区	1907.09	3150.50	4906.18	6743.13	7618.50
中游地区	260.08	444.00	685.09	925.83	835.93
下游地区	377.42	631.72	997.63	1340.11	2018.81
黄河流域	2544.60	4226.22	6588.90	9009.07	10473.24

从省域层面来看,其绝对量变化差异很大,这主要是由于水域面积不同所致,最多的青海省增长了4356.35亿元,占总增量的54.94%,最少的四川省仅增长了29.85亿元;但各省域相对于自身2000年的基数均有较大幅度的增加,其中增幅最大的山东省增长了4.52倍,增幅最小的山西省也达到2.06倍,即使增量最少的四川省也提高了3倍。

从71个地级行政单元层面来看,其绝对量变化差异也很大,最多的是海西蒙古族藏族自治州,增长了1468.88亿元,占总增量的18.53%;最少的是鹤壁市,增长了1.40亿元,仅占总增量的0.02%。从变化幅度来看,增幅排名前五的地级单元依次为滨州市、东营市、潍坊市、海西蒙古族藏族自治州和郑州市,平均增幅高达624.50%,成为增幅最大的贡献者;后

五位依次为鹤壁市、朔州市、平凉市、延安市和乌海市,平均增幅仅为124.78%,与前者相差甚远。

从水域类型来看,生态系统服务价值的增加值从高到低排序依次为湖泊、水库坑塘、滩地、河渠、永久性冰川雪地和滩涂,分别增加了2491.86亿、2281.40亿、1993.16亿、949.5亿、586.57亿元和126.61亿元,但从增长幅度来看,水库坑塘的增幅最大,达到1010.75%,滩地的增幅最小,为242.15%。湖泊面积增量最大,且基本发生在上游地区,占总增长量的95.30%,仅青海省就贡献了近九成,主要是玉树藏族自治州(764.33亿元)、海南藏族自治州(429.09亿元)、海北藏族自治州(392.10亿元)、果洛藏族自治州(321.38亿元)和海西蒙古族藏族自治州(207.95亿元)这5个黄河源地区。湖泊的增幅同样

上游地区(277.11%)最大、下游(188.04%)次之、中游(165.62%)最小,其中甘肃省增幅最大,达到815.80%,地级行政单元中增幅排名前五的是甘南藏族自治州(1308.93%)、宝鸡市(1308.93%)、庆阳市(604.46%)、渭南市(453.51%)和玉树藏族自治州(356.01%)。水库坑塘增幅最大的是上游,其次是下游和中游地区,分别增加了1444.02%、978.60%和421.08%,但从绝对量变化看,下游地区增加最大,达到1185.14亿元,上游次之、中游最低,分别增加了925.31亿、170.95亿元。研究时间段内水库坑塘增幅最大的是青海省,共增加了2655.85%,分别是排在其后的四川省和山东省的2.12倍和2.55倍,

水库坑塘增幅排名前五位地级单元的是海西蒙古族藏族自治州、甘南藏族自治州、海北藏族自治州、果洛藏族自治州和定西市,平均增幅高达11850%,是整个青海省的4.46倍。

3.3 黄河流域水域生态系统服务与经济发展时空协调性

从省域、河段和全流域来看,生态系统服务价值的变异系数均高于GDP的变异系数(表6),说明水域生态系统服务价值的差异性要大于GDP的差异性,但二者的区域差异的空间形态并没有随时间发生太大变化。

表6 黄河流域水域生态系统服务价值与GDP的变异系数

Table 6 Variation Coefficient of the aquatic ESV and GDP in the Yellow River Basin

变异系数	地区	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年
ESV	地级市	2.1365	2.1362	2.1384	2.1536	2.2325
	省域	1.5168	1.5168	1.5199	1.5284	1.5579
	河段	1.0834	1.0728	1.0709	1.0808	1.0378
GDP	地级市	1.1325	1.0939	1.0421	1.0608	1.1817
	省域	1.1952	1.1475	1.0635	1.0459	1.0150
	河段	0.6578	0.5826	0.4919	0.4877	0.5288

运用 ArcGIS 自然断点法将黄河流域水域生态系统服务水平和经济发展水平各分为5种类型。整体上看,黄河流域水域生态系统服务水平从上游至

下游呈现高、低、中的空间形态,而经济发展水平则呈现低、中、高的空间形态,且这种空间格局长期保持稳定(图1)。

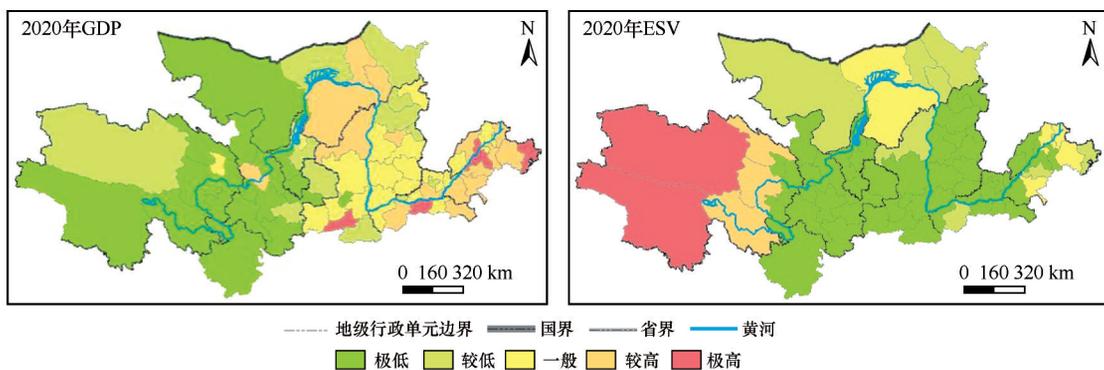


图1 黄河流域水域生态系统服务水平与经济发展水平类型

Fig.1 Classification of the aquatic ESV level and economic development level in the Yellow River Basin

在71个地级单元中,2020年青岛、郑州、济南和西安的GDP分别为12400.56亿、12003.04亿、10140.91亿元和10020.39亿元,占整个流域的28.78%,经济发展水平极高,而ESV仅分别为120.36亿、66.33亿、59.05亿元和35.91亿元,占全流域的2.69%,生态系统服务水平低,水域生态系统服

务与经济发展不协调,与往年相比,不协调性并没有发生改变。玉树藏族自治州、海西蒙古族藏族自治州、海南藏族自治州、海北藏族自治州、果洛藏族自治州属于生态系统服务水平高的地区,2020年的ESV分别是1896.68亿、1775.92亿、772.57亿、669.87亿元和555.76亿元,占整个流域的54.15%,

但同期其 GDP 仅占全流域的 0.65%，经济发展水平却属于较低和极低水平，该类型地区水域生态系统服务与经济发展也不协调，多年来不协调性也没有改变。研究时段内黄河流域水域生态系统服务水平和经济发展水平相匹配的地级单元数量极少，诸

如滨州、乌兰察布等也只是低水平的协调。

总体来看，2000—2020 年黄河流域水域生态系统服务与经济发展呈现出不协调特征，以经济集聚高于生态系统服务集聚为主，且长期保持不变(图 2)。

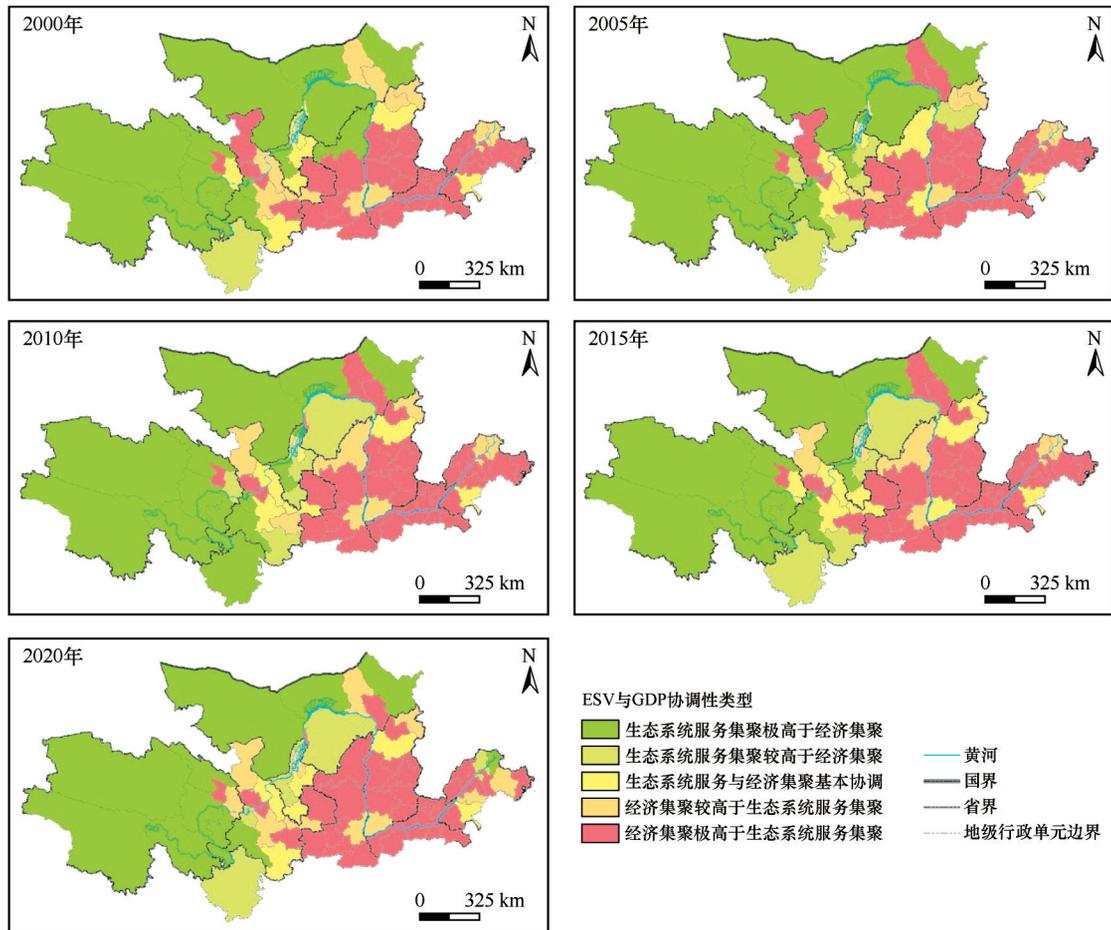


图2 黄河流域水域生态系统服务与经济发展协调性空间分布

Fig.2 Spatial distribution of coordination between aquatic ecosystem services and economic development of the Yellow River Basin

从时序演变上来看，黄河流域水域生态系统服务与经济发展长期以经济集聚高于生态系统服务集聚为主，生态系统服务与经济集聚基本协调、生态系统服务集聚高于经济集聚的地级单元数量相对较少，且变动不大。2000—2020 年，黄河流域 GDP 由 14 251.60 亿元增长至 154 821.22 亿元，共增长 140 669.62 亿元，增幅达到 986.34%，而 ESV 由 2 544.60 亿元增长至 10 473.2 亿元，共增长 7 928.64 亿元，增幅为 311.59%，无论是从总量还是变动情况来看，GDP 都远远大于 ESV，生态系统服务与经济发展整体上处于不协调状态。但对比发现，不协调的类型在此消彼长。生态系统服务集聚极高于经

济集聚的地级单元数量呈下降趋势，在 2000、2005 年和 2010 年均为 14 个，到 2015 年和 2020 年变为 11 个；生态系统服务集聚较高于经济集聚的地级单元数量先增后减，由 2000 年的 5 个上升至 2010 年的 8 个，之后又下降至 2020 年的 6 个；生态系统服务与经济集聚基本协调的地级单元数量变化趋势为先下降后上升，在 2000 年数量为 6 个，到 2010 年下降至 3 个，之后又上升到 2020 年的 8 个；经济集聚较高于生态系统服务集聚的地级单元数量呈波动变化，但整体来看 20 年间仅减少了 1 个；经济集聚极高于生态系统服务集聚的城市数量最多，占整个黄河流域的一半以上，20 年间一直保持在 36—38 个，变化

幅度很小。

从空间演化上来看,研究时间段内黄河流域水域生态系统服务与经济发展整体空间格局基本保持不变,主要呈现出不协调特征,其中上游地区以生态系统服务集聚高于经济集聚类型为主,中、下游地区以及各省会城市以经济集聚高于生态系统服务集聚类型为主,而生态系统服务与经济集聚基本协调的地区集中在流域中部。2000—2020年,上游地区青海、内蒙古大部分地区 CEE 指数始终大于2,属于生态系统服务集聚极高于经济集聚类型,这是由于该区域是国家重点生态功能区,以水源涵养、生态保护和修护为主,因此限制了产业的发展。河南、山西中部和东南部、陕西中部、甘肃庆阳、山东大部分地级市以及各省会城市20年间的 CEE 指数多为0.05—0.5,属于经济集聚极高于生态系统服务集聚类型,但过高的经济集聚使得二者协调性也较差;生态系统服务与经济集聚基本协调的地级单元主要为甘肃的白银市、定西市、陇南市、平凉市,宁夏的银川市、吴忠市、固原市,青海海东地区,内蒙古的乌海市,山西的运城市 and 忻州市,陕西的渭南市和榆林市以及山东的济宁市,变动范围并没有发生明显的变化。在研究时间段内,青海海东地区、宁夏银川市、内蒙古乌海市以及陕西渭南市和榆林市等的 CEE 指数呈下降趋势,表明其生态系统服务集聚逐渐减弱、经济集聚逐渐增强,二者不协调性加大;甘肃定西市、陇南市和平凉市,宁夏石嘴山市、吴忠市和固原市,内蒙古包头市,山西忻州市和运城市等的生态系统服务集聚表现为先增强后减弱,经济集聚类型变化则相反,说明二者协调性的变化波动较大。

4 结论

从水域面积变化来看,黄河流域水域面积逐年增长,其中上游地区面积增加最多、增幅较小,下游地区面积增加较多、增幅最大,中游地区面积有所减少,但减幅微小。不同地级单元水域面积变化差异也较大,海西蒙古族藏族自治州、东营市和玉树藏族自治州面积增加最多,鄂尔多斯市、朔州市和榆林市面积减少最多。从水域类型变化来看,水库坑塘面积增加最多、变化幅度最剧烈,滩地和滩涂面积缩小、变化较为平缓。

从水域生态系统服务价值变动情况来看,黄河流域水域生态系统服务价值逐年上升,其中上游地

区增长最大、下游次之、中游最低,但增幅逐渐趋缓,陕西、山西和整个中游河段在2015—2020年甚至出现了负增长。分水域类型看,生态系统服务价值增加值从高到低依次为湖泊、水库坑塘、滩地、河渠、冰川和滩涂,但从增长幅度来看,水库坑塘增幅最大,滩地增幅最小。

从水域生态系统服务与经济协调性来看,黄河流域水域生态系统服务与经济发展呈现出不协调特征,以经济集聚高于生态系统服务集聚为主,整体空间格局变化较为稳定。其中上游地区以生态系统服务集聚高于经济集聚类型为主,中、下游地区以及各省会城市以经济集聚高于生态系统服务集聚类型为主,而生态系统服务与经济集聚基本协调的城市集中在整个流域的中部。

整体看来,黄河流域水域生态系统服务与经济发展不协调,因此各省市要依据自身特点,以水定产,因地因时制宜进行产业布局和发展规划。上游地区生态脆弱,但却是国家重点生态功能区,肩负水源涵养和生态保护的重任,因此要以水资源保护为主,通过实施生态保护修复和建设工程来提高生态功能,对于产业的选择要尽量避开水体高排放、高消耗的产业。中游地区是中国重要的能源、化工、原材料和基础工业基地,工业基础好、体量大,对水资源的需求量大,但存在水质污染、用水效率低等问题,目前急需通过调整水资源利用方式,一方面要降低水资源利用量,同时大力提高水资源利用效率,以此促进产业转型升级,提高水生态系统服务价值,促进工业高质量发展。河套灌区、汾渭平原是主要粮食产区,要平衡好引水与节水的关系,在实施引黄灌溉工程中要提升引水技术,推行节约集约用水,大力发展节水农业,促进农业高质量发展。黄河下游以及区域中心城市等经济发展较好的地区,要发挥水资源的多功能性,提高水环境承载力,促进生态与经济的高水平协调发展。

参考文献:

- [1] SCEP (Study of Critical Environmental Problems). Man's Impact on the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action [M]. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1970.
- [2] 盛连喜. 环境生态学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [3] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展[J]. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [4] 马钢, 潘玲, 马增辉. 生态系统服务评价模型及实证研究[J].

- 安徽农学通报,2021,27(2):141-143.
- [5] 李丽,王心源,骆磊,等.生态系统服务价值评估方法综述[J].生态学杂志,2018,37(4):1233-1245.
- [6] 龙精华,张卫,付艳华,等.鹤岗矿区生态系统服务的价值[J].生态学报,2021,41(5):1728-173.
- [7] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The total value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997, 387(6630):253-260.
- [8] 朱玉鑫,姚顺波.基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调发展研究:以陕西省为例[J].生态学报,2021(9):3331-3342.
- [9] 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.
- [10] 谢高地,张彩霞,张雷明,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.
- [11] 漆信贤,黄贤金,赖力.基于Meta分析的中国森林生态系统生态服务功能价值转移研究[J].地理科学,2018,38(4):522-530.
- [12] 王彦芳.京津冀地区生态系统服务价值估算与分析[J].环境保护与循环经济,2017,37(7):50-54.
- [13] 裴颖.森林生态服务价值的评估与分析:以北京市密云区为例[J].绿色科技,2016(12):9-10.
- [14] 罗海平,朱勤勤,潘柳欣,等.粮食主产区农田生态系统服务价值动态演化与空间分异[J].统计与决策,2020,36(4):49-52.
- [15] 成波,李怀恩,黄康,等.基于河道生态基流保障的农田生态系统服务价值损失量研究[J].水资源与水工程学报,2018,29(4):255-260.
- [16] 石福习,宋长春,赵成章,等.河西走廊山地-绿洲-荒漠复合农田生态系统服务价值变化及其影响因子[J].中国沙漠,2013,33(5):1598-1604.
- [17] 李理,朱文博,李艳红,等.基于地形梯度特征洪河流域生态系统服务价值损益[J].水土保持研究,2019,26(5):287-295.
- [18] 曹生奎,曹广超,陈克龙,等.青海湖高寒湿地生态系统服务价值动态[J].中国沙漠,2014,34(5):1402-1409.
- [19] 王宏亮,高艺宁,王振宇,等.基于生态系统服务的城市生态管理分区:以深圳市为例[J].生态学报,2020,40(23):8504-8515.
- [20] 张艳芳,李云.1995—2015年关中平原城市群生态系统服务价值(ESV)及其时空差异[J].浙江大学学报(理学版),2020,47(5):615-623.
- [21] 霍冉,徐向阳,高俊莲,等.煤炭资源型城市生态系统服务空间特征及其与居民福祉关系[J].土壤通报,2020,51(1):31-39.
- [22] Sannigrahi S, Bhatt S, Rahmat S, et al. Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995-2015 [J]. Journal of Environmental Management, 2018, 223:115-131.
- [23] 李圆圆,谈明洪,郝海广.1992-2015年全球耕地变化对陆地生态系统服务价值的影响[J].Journal of Geographical Sciences, 2019, 29(3):323-333.
- [24] 祁黄雄,曹胜利,荣浩,等.中国国家级自然保护地生态系统服务价值评估[J].测绘与空间地理信息,2021,44(2):13-18.
- [25] 黄敏,杨飞,郑士伟.中国城镇化进程对生态系统服务价值的影响[J].水土保持研究,2019,26(1):352-359.
- [26] 和娟,师学义,付扬军.基于生态系统服务的汾河源头区域生态安全格局优化[J].自然资源学报,2020,35(4):814-825.
- [27] 邵明,董宇翔,林辰松.基于GWR模型的成渝城市群生态系统服务时空演变及驱动因素研究[J].北京林业大学学报,2020,42(11):118-129.
- [28] 程维金,周煜,王鹏程,等.基于生态系统服务空间分异的武汉市城市森林经营策略[J].湖北林业科技,2020,49(4):1-8.
- [29] 叶延琼,章家恩,陈丽丽,等.广州市水生态系统服务价值[J].生态学杂志,2013,32(5):1303-1310.
- [30] 孟阳阳,何志斌,刘冰,等.干旱区绿洲湿地空间分布及生态系统服务价值变化:以三大典型内陆河流域为例[J].资源科学,2020,42(10):2022-2034.
- [31] 吴彬,李岳霖,赵青瑛,等.广西北部湾滨海湿地生态系统服务价值评价及其影响因素研究[J].生态经济,2020,36(9):151-157.
- [32] 荔琢,蒋卫国,王文杰,等.基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究[J].自然资源学报,2019,34(8):1654-1665.
- [33] 管欣,张玉玲,贾晓宇,等.永定河上游流域水生态系统服务价值评估[J].自然资源学报,2020,35(6):1326-1337.
- [34] 杨文杰,赵越,赵康平,等.流域水生态系统服务价值评估研究:以黄山市新安江为例[J].中国环境管理,2018,10(4):100-106.
- [35] 谢启姣,刘进华.1987—2016年武汉城市湖泊时空演变及其生态服务价值响应[J].生态学报,2020,40(21):7840-7850.
- [36] 周俊俊,杨美玲,肖成权,等.石嘴山市水生态系统服务功能价值评价[J].宁夏工程技术,2018,317(3):247-252.
- [37] 杨文杰,赵康平,赵越,等.流域水生态系统服务价值评估研究:以黄山市新安江为例[C]//中国环境科学学会.2017中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第一卷).2017:397-407.
- [38] 刘梦圆,曾思育,孙傅,等.京津冀地区水生态系统服务演变规律及其驱动力分析[J].环境影响评价,2016,38(6):36-40.
- [39] 王斌,张彪,王建锋,等.太湖流域水生态系统服务及其空间差异[J].水土保持通报,2011,31(2):215-221.
- [40] 李同升,徐冬平.基于SD模型下的流域水资源-社会经济系统时空协同分析:以渭河流域关中段为例[J].地理科学,2006(5):5551-5556.
- [41] 王希义,彭淑贞,徐海量,等.大型输水工程的生态效益与社会经济效益评价:以塔里木河下游为例[J].地理科学,2020,40(2):308-314.
- [42] 张兆永.于田绿洲水生态系统服务价值估算与农业生态经济系统能值分析[D].乌鲁木齐:新疆大学,2011.
- [43] 秦晓川,付碧宏.青岛都市圈生态系统服务-经济发展时空协调性分析及优化利用[J].生态学报,2020,40(22):8251-8264.
- [44] 习近平.在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话

- [J].求是,2019(20):4-11.
- [45] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要[EB/OL].<http://www.xinhuanet.com/>,2021-03-13.
- [46] 曹越,侯妹娥,曾子轩,等.基于“三类分区框架”的黄河流域生物多样性保护策略[J].生物多样性,2020,28(12):1447-1458.
- [47] 连煜.坚持黄河高质量生态保护,推进流域高质量绿色发展[J].环境保护,2020,48(增刊1):22-27.
- [48] 阎晓,涂建军.黄河流域资源型城市生态效率时空演变及驱动因素[J].自然资源学报,2021,36(1):223-239.
- [49] 赵康杰,刘星辰.黄河流域水-能源复合生态效率评价及影响因素研究:兼与长江经济带的比较[J].煤炭经济研究,2020,40(8):28-35.
- [50] 杨开忠,苏悦,顾芸.新世纪以来黄河流域经济兴衰的原因初探:基于偏离:份额分析法[J].经济地理,2021,41(1):10-20.
- [51] 张新成,梁学成,宋晓,等.黄河流域旅游产业高质量发展的失配度时空格局及成因分析[J].干旱区资源与环境,2020,34(12):201-208.
- [52] 苏茂林.黄河年鉴2020[Z].黄河年鉴,2020:25,86-92.
- [53] 封志明,刘晓娜.中国人口分布与经济发展空间一致性研究[J].人口与经济,2013(2):3-11.
- [54] 郎明辰,马胜春.西北地区人口与经济的非一致性探析[J].中央民族大学学报(自然科学版),2019,28(3):76-83.

Spatio-temporal coordination between aquatic ecosystem services and economic development in the Yellow River Basin

Han Mengtao^a, Tu Jianjun^b, Xu Guiping^a, Jiang Li^a

(a. School of Geographical Sciences / b. College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The Yellow River Basin plays an important role in social economic development and ecological security. Based on the remote sensing interpretation data of 2000, 2005, 2010, 2015 and 2020 and the economic and social statistical data, we calculated the aquatic ecosystem service value of 71 cities (states and leagues) in 9 provinces of the Yellow River Basin, analyzed the time-space coordination between aquatic ecosystem services and economic development by constructing the consistency index. The consistent index of ecosystem services and economy was developed to explore their spatio-temporal coordination characteristics. The results show that: (1) From 2000 to 2020, the area of the Yellow River Basin increased year by year, in which the area of the upper reaches increases the most and increased by a big margin, and the area of the lower reaches increased larger and increased by a maximum margin, while the area of the middle reaches decreased slightly and decreased by a minor margin. The area of reservoirs, canals, lakes, permanent glaciers and snow land increased, and the area of beach land and tidal flat decreased. (2) During the study period, the increase of the aquatic ecosystem service value in the Yellow River basin gradually slowed down, and the increase of ecosystem service value in the lower reaches was the largest, followed by the upper reaches and the lowest in the middle reaches. In 2015-2020, there was even a decline in Shaanxi, Shanxi and the whole middle reaches. (3) The discordance between ecosystem services and economic development in the Yellow River basin is obvious, and the economic agglomeration is higher than the ecosystem services agglomeration, and this situation keeps for a long time. In the upper reaches of space, the concentration of ecosystem services is higher than that of economy, and in the middle and lower reaches and provincial capitals, the concentration of economy is higher than that of ecosystem services.

Key words: aquatic ecology; ecosystem services; economic development; spatio-temporal; Yellow River Basin