

DOI: 10.5846/stxb201809182037

宁珊,张正勇,周红武,李丽,赵贵宁.基于生态服务价值的玛纳斯河流域土地利用结构优化.生态学报,2019,39(14): - .

Ning S, Zhang Z Y, Zhou H W, Li L, Zhao G N. Optimization of land use structure based on ecological service value in Manas River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(14): - .

基于生态服务价值的玛纳斯河流域土地利用结构优化

宁珊¹, 张正勇^{1,*}, 周红武², 李丽¹, 赵贵宁¹

¹ 石河子大学理学院, 石河子 832000

² 鸿合科技股份有限公司, 乌鲁木齐 830000

摘要:通过土地利用结构优化能够实现区域生态效益的最大化。本文采用 5 期 Landsat 遥感影像数据,基于单位面积当量因子法,估算了玛纳斯河流域 1990—2015 年各项生态系统服务价值及其变化;并借助灰色线性规划模型(GLP)进行土地结构优化,探讨了最大化生态效益目标下优化前后研究区生态服务价值的比对及变动。结果表明:(1)该流域草地和未利用地是主要的土地利用类型,所占比例达 70%;建工地和耕地面积逐期增加,而其他土地利用类型均逐渐减少。(2)研究期内流域生态服务价值(ESV)总体呈下降趋势,2015 年较 1990 年减少了 14.97%;各单项 ESV 大小依次为:水文调节>气候调节>土壤保持>生物多样性>气体调节>净化环境>美学景观>食物生产>原料生产>维持养分循环>水资源供给;从空间分布来看,流域生态服务价值呈片状分布,ESV 等级分界线较明显,其中 ESV 最高的低山区占总价值的 35.84%,气候、水文调节是主要的生态服务功能,其原因在于草地覆盖面积大。(3)优化配置后,未利用地面积明显减少,而其他土地利用类型均有所增加;总 ESV 较优化前增加了 5.29%,且各单项 ESV 也均增加,特别是水文调节和气候调节的增加最为明显。本研究可为区域土地利用规划和生态文明建设等方面提供一定理论基础和实践参考。

关键词:生态服务价值;土地利用;结构优化;灰色线性规划

Optimization of land use structure based on ecological service value in Manas River Basin

NING Shan¹, ZHANG Zhengyong^{1,*}, ZHOU Hongwu², LI Li¹, ZHAO Guining¹

¹ School of Science, Shihezi University, Shihezi 832000, China

² Hitevision Co., Ltd, Urumqi 830000, China

Abstract: Regional ecological benefits can be maximized by the optimization of land use structure. In this study, the unit area equivalent factor method was used to estimate the values of ecosystem services and their changes, which were based on Landsat remote sensing image data for the Manas River Basin from 1990 to 2015. The grey structure planning model, which optimizes the land structure, was used to discuss comparisons and changes in the ecological service value (ESV) of the study area before and after optimization for maximizing ecological benefits. The results show that: (1) The grassland and unused land are the main types of land use, accounting for 70% in the basin; the area of the constructed and cultivated land is gradually increasing, whereas that of the others is slowly decreasing. (2) ESV of the river basin, decreased by 14.97% when 1990 and 2015 values were compared, showed a downward trend during the study period. The size of each individual ESV was as follows: hydrological regulation > climate regulation > soil conservation > biodiversity > gas regulation > purification environment > aesthetic landscape > food production > material production > maintaining nutrient cycle > water supply. From the perspective of spatial distribution, the value of watershed ecological services is distributed in a patch, and

基金项目:国家自然科学基金项目(41761108, 41461086, 41641003);石河子大学“3152”高层次人才培养支持计划项目(CZ0227)

收稿日期:2018-09-18; **网络出版日期:**2019-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyz0815@163.com

the division of ESV is obvious. The low mountain area has the highest ESV of about 35.84%, and climate and hydrological regulation are the main ecological service functions because the grass area is large. (3) After optimizing the configuration, the unused land area was found to be significantly reduced, whereas the other types were increased; the total ESV increased by 5.29%, and the individual values had also increased, especially hydrological and climate regulation. This study can provide a theoretical basis and practical reference for regional land-use planning and ecological civilization construction.

Key Words: ecological service value; land use; structural optimization; grey linear programming

生态系统通过其结构和生态过程能够提供人类赖以生存的物质基础与自然环境,即人类生活所必需的生态产品和保证人类生活质量的生态功能两部分^[1]。土地作为陆地生态系统的重要组成部分,其利用结构与自然界生态系统的服务功能紧密相连,因而土地利用结构的变化必将对生态系统的服务价值产生一定影响^[2]。近年来,伴随着我国社会经济的不断发展,对土地的消耗和需求逐年上涨,土地供需矛盾日益突出,土地利用结构优化调控势在必行^[3],因此,在土地利用结构优化背景下研究生态系统的服务价值变化对促进区域生态建设和区域可持续发展具有重要意义。

生态系统服务价值(Ecosystem Services Values, ESV)已成为生态系统可持续研究的热点。目前,对于生态系统服务价值的估算方法可分为两类:一类是单位面积服务功能价格法^[4];另一类是基于单位面积价值当量因子的方法^[5]。其中前一种方法涉及的参数很多,计算非常复杂,而且各个参数的标准也难以统一^[6]。而后一种方法对数据需求和专业技术要求较简单,能够实现生态系统服务的快速评估,评估结果直观且易于理解,成为了近年来众多学者常用的生态系统服务评估技术之一^[7]。土地利用变化对生态系统服务功能的维持起重要作用^[8],其中土地利用结构的变化直接决定区域土地生态效益,当前土地利用结构优化的方法主要包括:注重土地利用数量、面积及结构的优化模式,如:张磊^[9]采用灰色线性规划法对土地利用结构进行分析,谭峻^[10]建立最优化非线性规划模型,模拟得到土地利用最优化结构,赵阳等^[11]采用多目标线性规划法,通过调整土地利用类型实现流域生态服务的权衡优化;另外还有部分学者通过改变土地利用的空间结构以实现其优化,如魏丽娜^[12]采用信息熵和模糊数学法、何鑫等^[13]采用模拟退火遗传算法及郭凌志^[14]运用蚁群优化算法分别对区域的土地利用结构进行了优化配置研究。灰色线性规划是一种动态的线性规划,可通过调整不同的参数得到不同的结果,从而使规划灵活多变,为决策者提供更大的选择空间,因此成为了众多学者所采用的方式^[15]。土地利用变化受到各种复杂因素的影响,涉及诸多变量,而有些影响因素又具有不确定性^[16],据此,本文以生态服务功能为视角,将灰色线性规划(Grey Linear Programming, GLP)与GIS空间分析相结合,同时关注各土地利用类型的面积、数量及空间结构的变化,对区域生态服务价值进行比较研究,探索适合研究区土地资源利用优化的配置方案,进而提出土地资源优化的可行性措施与建议。

玛纳斯河流域拥有着独特的山地-绿洲-荒漠生态系统,形成了干旱区特有的景观形态及空间格局,作为新疆最大的绿洲农耕区和我国第四大灌溉农业区^[17],其生态问题一直是科学家关注的焦点。本文选取西北干旱区典型流域——玛纳斯河流域作为研究区,借助遥感影像提取研究区土地利用数据,采用单位面积当量因子法,估算流域生态服务价值并分析其时空变化规律;基于生态效益最大化原则,利用GLP进行研究区土地利用结构优化,探讨优化前后土地利用结构及生态服务价值变化,为实现干旱区内陆河流域土地利用合理规划及生态恢复提供科学依据。

1 研究区概况

玛纳斯河流域位于准噶尔盆地南缘,发源于天山北坡,流域总面积5156km²,地理范围介于43°05′—45°55′N, 85°00′—87°00′E之间(图1)^[18],地跨乌苏市、和静县、奎屯市、沙湾县、呼图壁县、尼勒克县、玛纳斯县、石河子市、克拉玛依市和和布克赛尔县等10个市县。解放后兴修水库,渠灌事业迅速发展,成为著名的棉粮

产地。西部大开发以来,土地利用已由传统的水土开发、农业垦殖主导型,转向现代城市经济、生态经济模式,使流域土地利用变化过程及生态服务均发生了新的改变^[19]。

2 研究方法

2.1 数据来源与预处理

本研究选择玛纳斯河流域 4 期 Landsat ETM 影像 (2000、2005、2010 和 2015 年) 和 1 期 Landsat TM 影像 (1990 年) 作为遥感数据源,其由美国地质勘察局 (USGS) 官方网站 (<https://glovis.usgs.gov/>) 提供,空间分辨率为 30m; DEM 数据由地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>) 提供,空间分辨率为 30m。基于 Envi 5.3 软件,对遥感影像进行大气校正、拼接以及裁剪等预处理后,根据《中国土地分类系统》、流域内景观类型及遥感影像等特点,采用面向对象法进行土地利用分类解译,将土地利用类型划分为冰川/永久积雪、草地、林地、耕地、水域、建工用地和未利用地等 7 种类型。粮食数据来源于《2016 年新疆统计年鉴》、《2016 年新疆生产建设兵团统计年鉴》及文献资料等。社会经济数据主要来源于《石河子市总体规划 (2014 年)》及统计年鉴等。

2.2 生态系统服务价值评估

本研究结合玛纳斯河流域实际情况,对谢高地等提出的生态系统服务价值系数进行订正^[5],基于玛纳斯流域所在的 10 个市县的相应年份平均农田粮食单位面积产量作为流域逐年修订系数,制定出流域单位生态系统服务价值当量表 (表 1),并且运用 Costanza 生态服务价值公式^[20] (式 1) 计算流域生态系统服务价值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_{2i} V_{ci}) \quad (1)$$

式中:ESV 为研究区年生态系统服务总价值,元/a; V_{ci} 为第 i 类土地利用类型的生态系统服务价值当量,元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); A_{2i} 为第 i 类土地利用类型的面积。

2.3 灰色线性规划

灰色线性规划模型借助于灰色 GM(1,1) 模型和灰数理论,在一定程度上避免了一般线性规划中出现的问题,其形式如下:目标函数为 $\max(\min) Z = \otimes (C) X$,约束条件为 $\otimes (A) X \leq \otimes (B)$ 和 $\sum X \leq \otimes (Y)$ 或 $\geq \otimes (Y)$;其中 $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 为决策变量, $X_j \geq 0$ ($j = 1, 2, \dots, n$), Z 为目标函数, $\otimes C = (\otimes c_1, \otimes c_2, \dots, \otimes c_n)$ 为 X_j 的价值系数, $\otimes B = (\otimes b_1, \otimes b_2, \dots, \otimes b_n)$ 为资源限制量,可通过灰色 GM(1,1) 模型来预测^[21]。最后采用 Lingo 软件求出最优解。

本文根据玛纳斯河流域土地利用现状和生态经济发展需求,以 2015 年为基础年,以 2020 年为目标年,构建了基于生态效益最大化的目标函数 (社会效益及经济效益为约束函数),即在保证社会效益和经济效益的基础上,生态效益最大时的土地利用结构作为最优土地利用结构。

2.3.1 变量的设置

本文从流域土地利用的实际情况出发,根据模型变量的设置原则,将土地利用优化配置的模型设置为 7 个决策变量:冰川(x_1)、草地(x_2)、水域(x_3)、林地(x_4)、建工用地(x_5)、耕地(x_6)和未利用地(x_7)。

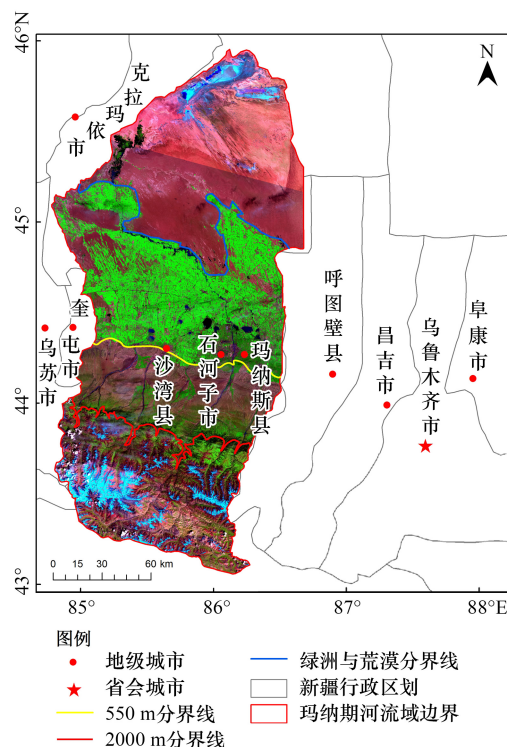


图 1 研究区示意图

Fig.1 Schematic diagram of the study area

2.3.2 目标函数及约束条件的建立

根据生态系统服务价值理论,当研究区各类土地资源利用的总体生态服务价值达到最大时,必然实现了土地用地优化的目标,即各类土地利用产生的生态效益最大化。因此,生态效益目标函数为:

$$\text{Maxf}(x) = 109.89x_1 + 387.23x_2 + 1900.64x_3 + 843.05x_4 + 8.83x_5 + 84.53x_6 + 13.91x_7 \quad (2)$$

受社会经济发展的制约,并考虑到流域各种土地资源的限制,确定了 8 个约束条件如下:

(1) 土地总面积:研究区总面积不会发生变化,故优化后各土地利用类型总面积也不会发生变化,即 $S = 340.1 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(2) 冰川:近几十年来,随着全球变化及人类活动的加剧,冰川面积呈现减少趋势。但由于冰川生态服务价值较大,因此现有冰川面积不能继续减少,且冰川增加非人力所能控制,即冰川面积需保持现状,即 $x_1 = 12.14 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(3) 草地:由于研究区生态较脆弱,容易发生沙漠化和盐碱化,同时参照研究区草地资源现状和后备资源条件及畜牧业的情况,研究区应扩大草地面积。即 $x_2 \geq 122.37 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(4) 水域:为保证研究区居民用水、生活用水及工业用水等及时供应,现有水域面积需要增多。5 期数据中,2000 年水域面积最大,其原因在于 1995 年左右发生了气候突变,导致降水增多、气温上升以及径流量增多。突变现象比较罕见,若在一般情况下,水域面积不会超过 2000 年水域面积。即 $2.35 \leq x_3 \leq 4.02 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(5) 林地:基于新疆脆弱的生态系统,防风固沙是主要治理目标。因此,应以现有林地面积为底线,优化后林地面积不能少于 $7.4 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。即 $x_4 \geq 7.4 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(6) 建工用地:根据《石河子市总体规划(2014 年)》,为保证社会经济正常发展,并且考虑到整个流域的生态文明建设,在 2015 年的基础上,2020 年石河子市的建工用地面积需控制在 $4.97 \times 10^4 \text{hm}^2$ 范围之内。由于研究区内其他城市的规划资料难以获取,为此本研究根据石河子规划的限定条件去推算整个流域的面积限额。即 $7.62 \leq x_5 \leq 9.71 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(7) 耕地:其面积限定条件与建工用地大体一致,到 2020 年耕地面积不能超过 $71.23 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。即 $70.83 \leq x_6 \leq 71.23 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

(8) 未利用地:据流域实际情况,为实现土地的高效利用,将进一步开发未利用地为其他土地利用类型,故其面积将减小。即 $x_7 \leq 117.35 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

表 1 玛纳斯河流域不同土地利用类型单位面积生态服务价值/(元/hm²)

Table 1 Ecosystem service value per unit area for different land use types in Manas River Basin

一级类型 First class types	二级类型 Second class types	冰川 Glacier	草地 Grassland	水域 Wetland	林地 Woodland	建工用地 Construction land	耕地 Cropland	未利用地 Unutilized land
供给服务 Provision services	食物生产	0.00	7.49	14.02	10.81	0.00	23.65	0.11
	原材料生产	0.00	11.02	7.81	24.82	0.00	5.24	0.32
	水资源供给	23.11	6.10	116.42	12.84	0.00	-27.93	0.21
调节服务 Regulation services	气体调节	1.93	38.73	28.57	81.64	0.00	19.05	1.39
	气候调节	5.78	102.40	63.02	244.28	0.00	9.95	1.07
	净化环境	1.71	33.81	97.91	71.58	0.00	2.89	4.39
	水文调节	76.29	75.01	1353.23	159.86	0.00	31.99	2.57
支持服务 Support service	土壤保持	0.00	47.19	34.67	99.40	0.00	11.13	1.61
	维持养分循环	0.00	3.64	2.68	7.60	0.00	3.32	0.11
	生物多样性	0.11	42.91	111.49	90.52	0.00	3.64	1.50
文化服务 Cultural service	美学景观	0.96	18.94	70.83	39.70	8.84	1.61	0.64
总计 Total		109.89	387.23	1900.64	843.05	8.84	84.53	13.91

3 结果与分析

3.1 玛纳斯河流域土地利用变化分析

在 Arc GIS 软件的支持下,运用马尔科夫转移矩阵方法,对玛纳斯河流域 1990—2015 年间土地利用分类数据(图 2)分析得到:近 30 年来研究区林地、冰川、草地和未利用地等面积持续减少,建工用地和耕地的面积则逐期增加,且建工用地增加幅度显著,其递增速率为 $0.18 \times 10^4 \text{ hm}^2/\text{a}$ 。流域草地和未利用地是主要的土地利用类型,占整个流域的 70% 左右;水域、建工用地和林地所占面积较小。研究期间,变化最大的是建工用地,其次是耕地,有 12.24% 的建工用地转变为耕地,新增的建工用地主要由耕地 $2.35 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 和草地 $0.98 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 转变而来,新增的耕地主要由草地和林地转变而来;冰川面积变化较小,有 5.47% 的冰川转变为未利用地。

3.2 玛纳斯河流域生态服务价值时空变化

3.2.1 生态服务价值时间变化

根据公式(1),计算了各年份的生态系统服务总价值以及单项服务价值,由图 3 可知,1990—2015 年间流域 ESV 总体呈下降趋势,由 1990 年的 789.58×10^6 元减少至 2015 年的 671.34×10^6 元,约减少了 14.97%。研究区 ESV 从高到低排列依次是草地、林地、水域、耕地、未利用地、冰川/永久积雪和建工用地。草地是流域 ESV 主体,占整个流域 72%。1990—2000 年间,虽然水域、耕地和建工用地价值呈现增长趋势,但是同期草地和林地分别减少了 60.49×10^6 和 3.5×10^6 元,因此,流域的总 ESV 在该时段实际损失 41.19×10^6 元。与 1990—2000 年相似,2000—2015 年耕地和建工用地依旧增长,但草地、水域、林地和未利用地有所降低,尤其是草地和水域,分别减少 58.62×10^6 与 31.7×10^6 元,在该时段流域的总 ESV 损失 77.04×10^6 元。综上所述,流域中各种土地利用类型的变化导致了生态服务价值的转变,从而使生态效益逐期下降。

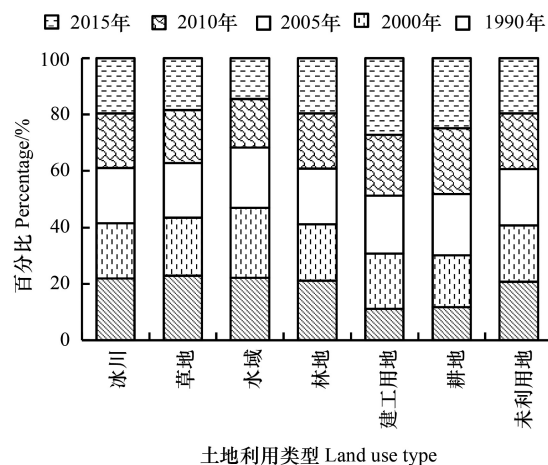


图2 玛纳斯河流域各土地利用类型面积比例

Fig.2 Percentage of Land Use Types in the Manas River Basin

Gl: 冰川, Glacier; Gr: 草地, Grassland; We: 水域, Wetland; Wo: 林地, Woodland; Co: 建工用地, Construction land; Cr: 耕地, Cropland; Un: 未利用地, Unutilized land

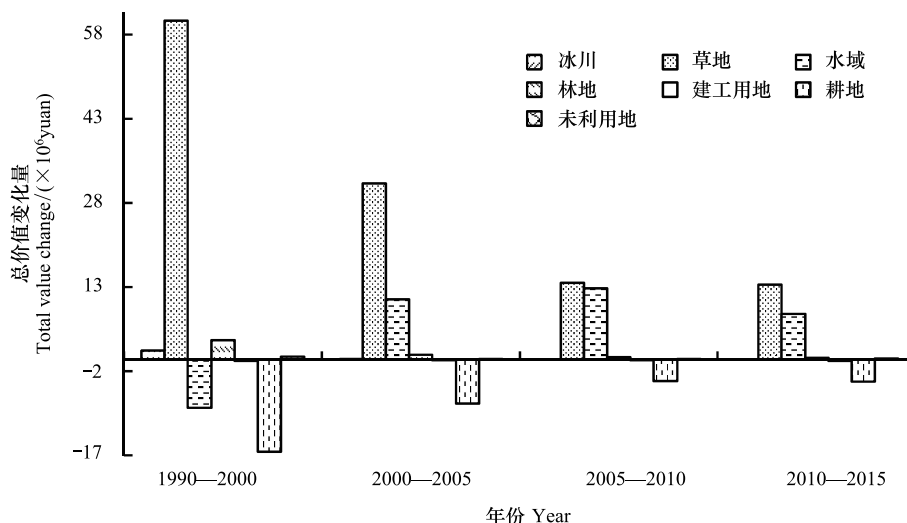


图3 玛纳斯河流域 1990—2015 年生态总价值变化

Fig.3 Changes in the total value of ecosystem in the Manas River Basin from 1990 to 2015

从表 2 中可知,在生态服务总价值结构中水文调节、气候调节、土壤保持和生物多样性所占比例最高,这四者的 ESV 占总价值的 70% 左右,尤其调节服务功能对于流域的 ESV 起决定性作用,其次是支持服务;水资源供给最小,仅为 0.12×10^6 元。研究期间,只有食物生产逐期增加,且速率显著,为 0.25×10^6 元/年,主要原因在于耕地(食物生产价值最高系数者)的增长;其他的二级服务类型均减少,特别是气候调节,其次为水文调节,原因在于水域和林地(气候调节和水文调节价值最高系数者)的减少。从一级服务功能类型服务 4 个单项来看,占总体比例从大到小依次是:调节服务、支持服务、供给服务和文化服务;从 11 个二级服务功能来看,从大到小依次是:水文调节、气候调节、土壤保持、生物多样性、气体调节、净化环境、美学景观、食物生产、原料生产、维持养分循环和水资源供给。

表 2 玛纳斯河流域 1990—2015 年生态系统服务价值表/(10^6 元)

Table 2 Manas River Basin 1990—2015 Ecosystem Services Value Table

一级类型 First class types	二级类型 Second class types	1990	2000	2005	2010	2015	年均 Annual average
供给服务 Provision services	食物生产	20.85	24.27	25.75	26.43	27.17	24.89
	原料生产	21.3	20.51	20.02	19.79	19.6	20.25
	水资源供给	8.67	2.41	-1.34	-3.58	-5.57	0.12
调节服务 Regulation services	气体调节	75.24	72.58	70.92	70.14	69.48	71.67
	气候调节	184.13	169.20	161.15	157.38	153.9	165.15
	净化环境	67.72	62.91	59.76	57.97	56.39	60.95
	水文调节	200.41	199.01	187.95	177.54	170.47	187.07
支持服务 Support service	土壤保持	87.2	81.66	78.52	77.04	75.69	80.02
	维持养分循环	7.52	7.57	7.55	7.55	7.55	7.55
	生物多样性	80.07	74.13	70.22	68.06	66.19	71.73
文化服务 Cultural service	美学景观	36.47	34.14	32.32	31.24	30.47	32.93

3.2.2 生态服务价值空间变化

结合玛纳斯河流域生态服务价值分布情况及地貌、海拔等分析,将全流域划分为 4 个区域(图 1),按照海拔的高低依次是高山区、低山区、绿洲区和荒漠区。图 4 是利用 Arc GIS 绘制出的研究区 5 个时期 ESV 空间分异图,ESV 按照从低到高划分为 6 个等级,从图中可以看出,玛纳斯河流域 ESV 空间分布差异显著,ESV 最高的区域主要分布在流域 550—2000m 的中南部的低山区,其 ESV 为 258.88×10^6 元,占总 ESV 的 35.84%,气候调节和水文调节是主要的生态服务功能,其原因主要在于草地覆盖面积大(气候调节和水文调节价值系数较高者);ESV 最低的区域分布在最北部的荒漠区,其 ESV 仅为 82.41×10^6 元,占总 ESV 的 11.41%,主要的土地类型是未利用地,其所有生态服务功能价值均较低;高山区和绿洲区的 ESV 相差不大,高山区 ESV 占总价值的 27.73%,绿洲区 ESV 占总价值的 25.02%,高山区位于流域最南部(海拔 2000m 以上),广泛分布着裸土和裸岩等未利用地,虽然人类活动对北部和南部影响较小,但其区域土地类型限制了 ESV 的高低;绿洲区位于流域中部其主要土地类型是耕地,耕地由于需要大量水资源(水资源供给为负值),所以 ESV 较低;四个区域中,主要的生态功能有气候调节和水文调节,两者 ESV 占总价值的 50% 左右,在荒漠区和绿洲区中,水文调节最高,而低山区和高山区中以气候调节为主。总体来看,玛纳斯河流域生态服务价值呈片状分布,ESV 等级分界线较明显。

3.3 优化前后生态服务价值变化

通过计算,得到生态效益最大化的玛纳斯河流域各类土地利用结构优化下的生态服务价值结果。由表 3 和图 6 可知,土地利用结构优化后,研究区总 ESV 由 671.34×10^6 元增加到 706.83×10^6 元,增加了 5.29%;且各项生态服务功能也均增加,特别是水文调节和气候调节。结合土地利用结构变化分析,可知未利用地面积明显减少,幅度达 $0.2 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$,其价值减少了 0.69×10^6 元,主要是盐碱地、沙漠化土地以及荒草地被开发利用

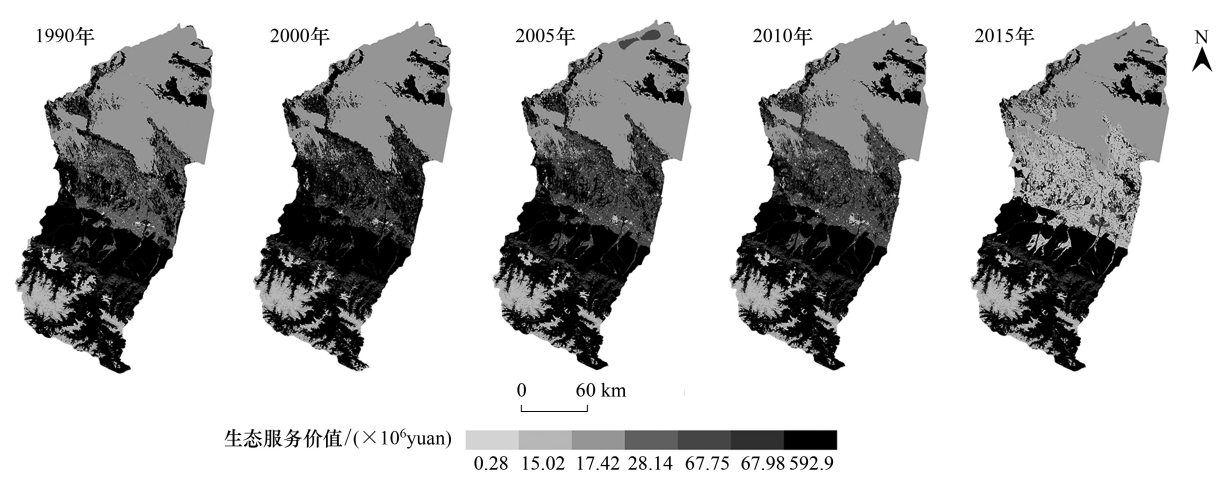


图 4 玛纳斯河流域 ESV 的空间分异

Fig.4 Spatial differentiation of the ESV in the Manas River Basin

的缘故;而林地增加显著,幅度达 19.57%,其价值增加 12.26×10^6 元;此外,草地、水域、建工用地及耕地也都呈略微增加趋势;作为生态系统脆弱的干旱区,林地、草地及水域面积的增加无疑大大提高了其生态服务价值,改善了当地的局部小气候;建工用地呈增加趋势,这有利于区域经济的发展和人民生活水平的提高;不同类型土地利用面积的变化极大地改善了当地的生态环境,增加了单位面积土地的经济价值。

表 3 优化前后玛纳斯河流域土地利用及生态价值变化

Table 3 Land Use and Ecological Value Changes in Manas River Valley Before and After Optimization

变量 Variable	土地利用类型 Land use type	现状面积 Current area/ 10^4hm^2	优化面积 Optimized area/ 10^4hm^2	现状生态价值 Current ecological value/ 10^6 元	优化生态价值 Optimize ecological value/ 10^6 元
x_1	冰川	12.14	12.14	13.35	13.35
x_2	草地	122.37	123.5	473.88	478.23
x_3	水域	2.36	3.37	44.79	64.05
x_4	林地	7.41	8.86	62.44	74.7
x_5	建工用地	7.62	8.75	0.67	0.77
x_6	耕地	70.84	71.1	59.88	60.1
x_7	未利用地	117.35	112.38	16.32	15.63
	总计 Total	340.1	340.1	671.34	706.83

本文以实现生态效益最大化为目标建立模型,以生态服务价值为基础计算各类用地的优化面积,以流域土地利用类型及生态服务价值优化前后进行比较,使各类土地利用产生的生态效益、经济效益和满足人类各项需求的社会效益都有了一定程度的提高和改善,最终实现了优化目标。该优化方案有利于保证玛纳斯河流域社会经济的稳定发展及生态效益的最大化。

4 讨论

参照已有流域生态系统服务价值的研究成果,将研究区生态功能价值与其进行对比,结果显示:我国流域生态系统服务价值呈现复杂多样性;调节服务为各个流域生态服务的结构主体。近 20 年来西北干旱区流域的生态服务价值总体呈下降趋势^[22-26],在人类干扰和自然因素的双重影响下,生态环境呈现恶化趋势,大部分生态服务功能减弱,特别是土壤保持与水源涵养功能;而近 30 年来西南湿润区^[27-28]和青藏高原地区^[29-30]的生态服务价值基本呈上升趋势,流域内林地和水域面积在逐年增加,水源涵养与废物处理功能价值也相应增加,说明退耕还林、退耕还湖等生态保护工程措施起到了一定效果;除了塔里木河流域外^[33],新疆地区的生

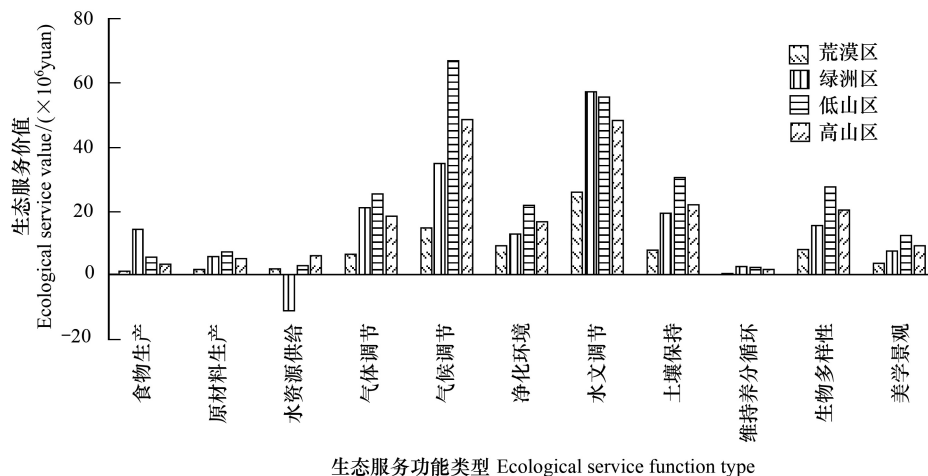


图5 玛纳斯河流域不同区域不同服务功能价值

Fig.5 Value of different service functions in different areas of the Manas River Basin

Dd: 荒漠区, Desert district; Od: 绿洲区, Oasis district; 低山区: Ld, Low altitude district; 高山区: Hd, High altitude district; Fp: 食物生产, Food production; Rp: 原材料生产, Raw material production; Ws: 水资源供给, Water supply; Gr: 气体调节, Gas regulation; Cr: 气候调节, Climate regulation; Pe: 净化环境, Purifying the environment; Hr: 水文调节, Hydrological regulation; Sr: 土壤保持, Soil retention; Mc: 维持养分循环, Maintain nutrient cycling; Bi: 生物多样性, Biodiversity; Al: 美学景观, Aesthetic landscape; Ov: 优化生态价值, Optimize ecological value; Cv: 现状生态价值, Current ecological value

态服务价值呈下降趋势,南部流域有一定差异,南部流域的调节服务功能稍弱于北部流域,南部流域以净化环境为主,而北部则以水文调节为主。各流域的单位面积生态服务价值系数有所差异,其原因在于订正方法的不同,例如:白元^[31]利用货币量的价值量评价法,对塔里木河流域价值系数进行了修正;刘海^[28]采用江西省相应年份农田粮食单位面积产量与全国的比值作为潘阳湖流域逐年修订系数;王原^[30]运用青藏高原平均自然粮食产量的经济价值计算纳木错流域各当量因子的生态价值;本研究则是基于玛纳斯流域所在市县的相应年份平均农田粮食单位面积产量作为逐年修订系数,计算得到单位面积生态服务价值。

近年来,随着研究的逐步深入以及3S技术的发展,有关于区域生态服务价值的研究越来越多,并取得了一系列成果,例如:王宗明等^[32]利用当量因子法,探讨了三江平原土地利用变化及其引起的生态服务价值变化;罗维等^[33]估算了洋河流域土地遥感数据对其生态服务价值的影响并从行政区划角度进行时空分析;王学超等^[24]以新疆玛纳斯河流域为研究区,将土地利用变化、生态系统服务与人类福祉联系起来,探讨三者之间关系。但以往的相关研究,大多侧重于区域生态服务价值时空研究及社会经济方面相关研究,而通过土地利用结构优化提高生态服务价值的研究较少。此外,土地利用结构优化的研究方法众多,灰色线性规划方法相比其他方法效果较好,不仅能弥补一般线性规划方法的缺陷,还能根据研究区土地利用总体规划和生态经济发展的要求,充分考虑到各种因素的影响,制定最优规划方案,为合理调整土地结构提供科学的参考依据^[34]。根据流域土地利用类型及生态服务价值现状与优化后结构比较看,本文利用此方法建立的模型能够较好地实现优化目标,使得生态服务总价值增加了5.29%,各单项服务价值也均增加,进一步促进了该区域生态与经济的可持续发展。

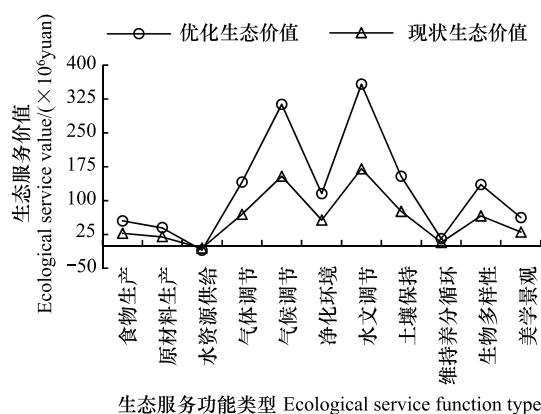


图6 优化前后生态系统各项服务价值

Fig.6 Before and after the optimization of ecosystem services

针对流域内不同区域的现有土地利用变化特点,据优化目标,为优化配置方案更好的实施提出保障措施:从可持续发展的观念出发,在保障流域内耕地保有量及满足人类各项需求的基础上,合理分配有限的土地资源,实现土地资源可持续利用与社会经济协调发展。在绿洲区和低山区可以打造观光发展农业,保护、发展了土地资源且极大的改善了生态环境。除去耕地,草地、林地和水域均是维持生态服务价值稳定不可或缺的,应合理利用避免其面积持续减少。根据土地利用总体规划,对未利用地进行因地制宜的开发利用,使得其他土地类型得以补充;另外,可以通过征收闲置费等手段减少对土地的闲置,加强对闲置土地的管理以提高土地利用效率。加强土地信息化建设以土地现代化的管理对其进行动态实时监测,可及时获取土地资源的利用情况便于从宏观角度对所有地类进行调整从而保障土地资源的合理利用。

5 结论

(1)1990—2015 年间玛纳斯河流域草地和未利用地是主要的土地利用类型,建工用地和耕地面积逐期增加,而其他土地利用类型均逐渐减少。变化最大的是建工用地,新增的建工用地主要由耕地 $2.35 \times 10^4 \text{hm}^2$ 和草地 $0.98 \times 10^4 \text{hm}^2$ 转变而来。

(2)研究期内流域生态系统服务价值总体呈下降趋势,与 1990 年相比,2015 年减少 14.97%。草地是 ESV 构成中贡献最大的,占总价值的 72%。各单项 ESV 大小依次为:水文调节>气候调节>土壤保持>生物多样性>气体调节>净化环境>美学景观>食物生产>原料生产>维持养分循环>水资源供给。550—2000m 的低山区 ESV 最高,占总价值的 35.84%,气候调节和水文调节是主要的生态功能,其原因在于草地覆盖面积大。总体来看,玛纳斯河流域生态服务价值呈片状分布,ESV 等级分界线较明显。

(3)基于 GLP 进行土地结构优化后,未利用地面积明显减少,其他土地类型均有所增加,总 ESV 和单项 ESV 与优化前相比均有显著增加,特别是水文调节和气候调节。通过建立模型进行优化计算,对流域土地利用类型及生态服务价值优化前后进行比较,较好地实现了优化目标。

参考文献 (References):

- [1] Fisher P, Fisher R. Tomorrow we live: fascist visions of education in 1930s Britain. *British Journal of Sociology of Education*, 2009, 30(1): 71-82.
- [2] Semwal R L, Nautiyal S, Sen K K, Rana U, Maikhuri R K, Rao K S, Saxena K G. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: a case study from central Himalaya, India. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004, 102(1): 81-92.
- [3] 谢余初, 巩杰, 齐姗姗, 张影, 郭建军. 甘肃白龙江流域生态系统粮食生产服务价值时空分异. *生态学报*, 2017, 37(5): 1719-1728.
- [4] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. *生态学报*, 1999, 19(5): 607-613.
- [5] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [6] 李哲, 张飞, Kung H T, 张月, 井云清. 1998-2014 年艾比湖湿地自然保护区生态系统服务价值及其时空变异. *生态学报*, 2017, 37(15): 4984-4997.
- [7] 李婷, 吕一河. 生态系统服务建模技术研究进展. *生态学报*, 2018, 38(15): 5287-5296.
- [8] 王航, 秦奋, 朱筠, 张传才. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [9] 张磊, 王云. 上海浦东新区农业发展环境规划研究. *中国环境科学*, 1995, (2): 95-100.
- [10] 谭峻. 北京市土地利用结构优化研究. *测绘与空间地理信息*, 2013, 36(7): 1-4.
- [11] 赵阳, 张艺, 涂志华, 贾剑波, 余新晓, 孙佳美, 梁鸿儒. 基于生态服务价值的多目标水源地土地利用结构优化. *中国环境科学*, 2014, 34(1): 232-238.
- [12] 魏丽娜. 基于信息熵—模糊综合评判法的甘肃省土地利用结构分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- [13] 何鑫, 王昌全, 李琼芳. 基于模拟退火遗传算法的土地利用结构优化模型. *农业系统科学与综合研究*, 2004, 20(3): 215-216, 220-220.
- [14] 郭凌志. 基于蚁群算法的长沙市城乡结合部乡镇土地利用结构优化研究[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2013.
- [15] 戴金华, 赵筱青. 基于灰色线性规划的土地利用结构优化——以云南省澜沧县为例. *云南地理环境研究*, 2009, 21(3): 26-31.
- [16] 魏慧, 赵文武, 张骁, 王新志. 基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例. *生态学报*, 2017, 37(11): 3830-3839.

- [17] 黄湘, 陈亚宁, 马建新. 西北干旱区典型流域生态系统服务价值变化. 自然资源学报, 2011, 26(8): 1364-1376.
- [18] 张添佑, 王玲, 王辉, 彭丽, 罗冲. 玛纳斯河流域盐渍化灌区生态环境遥感监测研究. 生态学报, 2017, 37(9): 3009-3018.
- [19] 胡蒙蒙, 张军民, 徐丽萍, 唐湘玲, 王玲. 基于生态绿当量的玛纳斯河流域土地利用生态效益研究. 干旱区研究, 2016, 33(5): 996-1002.
- [20] 王飞, 高建恩, 邵辉, 张通, 张元星, 许秀泉, 赵春红, 王宏杰. 基于 GIS 的黄土高原生态系统服务价值对土地利用变化的响应及生态补偿. 中国水土保持科学, 2013, 11(1): 25-31.
- [21] 张树华, 王百田, 张春林, 张晨光. 晋西黄土丘陵沟壑区土地利用结构优化研究——以山西方山县为例. 资源与产业, 2007, 9(2): 51-55.
- [22] 张广朋, 徐海量, 杜清, 张沛. 近 20a 叶尔羌河流域生态服务价值对土地利用/覆被变化的响应. 干旱区研究, 2016, 33(6): 1303-1310.
- [23] 王希义, 徐海量, 潘存德, 凌红波, 张广朋. 和田河流域土地生态系统服务价值变化及敏感性研究. 水土保持研究, 2017, 24(6): 334-340.
- [24] Wang X C, Dong X B, Liu H M, Wei H J, Fan W G, Lu N H, Xu Z H, Ren J H, Xing K X. Linking land use change, ecosystem services and human well-being: A case study of the Manas River Basin of Xinjiang, China. Ecosystem Services, 2017, 27: 113-123.
- [25] 汪洋, 靳瑰丽, 李卫红, 张博. 伊犁河谷土地利用变化对生态服务价值的影响. 环境与可持续发展, 2017, 42(2): 151-155.
- [26] 周厚侠, 望勇. 基于 RS 和 GIS 的黑河中游生态服务价值对土地利用变化的影响. 生态经济, 2016, 32(4): 184-188.
- [27] Wang M K, Mo H W. The impact of spatial heterogeneity on ecosystem service value in a case study in Liuyang River Basin, China. Journal of Resources and Ecology, 2018, 9(2): 209-217.
- [28] 刘海, 殷杰, 林苗, 陈晓玲. 基于 GIS 的鄱阳湖流域生态系统服务价值结构变化研究. 生态学报, 2017, 37(8): 2575-2587.
- [29] 姜翠红, 李广泳, 程滔, 陈占涛, 张浩然. 青海湖流域生态服务价值时空格局变化及其影响因子研究. 资源科学, 2016, 38(8): 1572-1584.
- [30] 王原, 陆林, 赵丽侠. 1976-2007 年纳木错流域生态系统服务价值动态变化. 中国人口·资源与环境, 2014, 171(S3): 154-159.
- [31] 白元, 徐海量, 凌红波, 傅彦仪. 塔里木河干流区土地利用与生态系统服务价值的变化. 中国沙漠, 2013, 33(6): 1912-1920.
- [32] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125-128.
- [33] 罗维, 易海杰, 李红举, 贾文涛, 冯兆忠. 洋河流域土地利用时空变异及其对生态服务功能价值的影响. 生态学报, 2017, 37(16): 5342-5351.
- [34] 马杰. 基于灰色预测模型的宁夏现代服务业人才需求预测. 中国集体经济, 2018, (10): 122-124.