

2000 ~ 2020 年阿尔泰山土地利用与生态系统服务价值的动态变化

张娜丽

(新疆大学生命科学与技术学院 / 新疆生物资源与基因工程重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘要:【目的】分析阿尔泰山不同生态功能区土地利用与生态系统服务价值的变化动态, 探索引起变化的原因, 为阿尔泰山区域土地利用格局的优化及生态保护与修复措施的制定提供理论依据。【方法】基于 GlobeLand 30 的遥感数据, 结合土地利用转移矩阵、生态系统服务价值当量因子法, 分析了 2000 ~ 2020 年间土地利用情况及生态系统服务价值的动态变化。【结果】① 草地和林地是阿尔泰山的主要土地利用类型, 占到研究区总面积的 80% 以上, 且近 20 年来, 这两种土地利用类型面积增加明显, 分别增加了 1156.42 km² 和 827.26 km²。② 研究区内共有 6715.91 km² 土地利用类型发生了改变, 其中转出面积最多的是裸地, 为 2962.41 km², 主要转为草地 (85.9%) 和林地 (11.3%); 转入面积最多的是草地, 为 3676.91 km², 主要来自于裸地 (贡献率 69.2%) 和林地 (贡献率 30.0%)。③ 与 2000 年相比, 2020 年研究区内生态系统服务价值增长了 10.47%, 其中草地和林地生态系统服务价值增加值最大, 分别增加了 18.52 × 10⁸ 元和 20.03 × 10⁸ 元。④ 近 20 年来各生态功能区生态系统服务价值均呈增加趋势, 其中高山冰川与泰加林景观保护亚区 (25.77 × 10⁸ 元) 和生物多样性保护与矿区修复亚区 (9.07 × 10⁸ 元) 增加最为明显。各生态功能区中, 高山冰川与泰加林景观保护亚区单位面积生态系统服务价值最高, 两河源水源涵养生态亚区最低。【结论】2000 ~ 2020 年间, 高山冰川与泰加林景观保护亚区及生物多样性保护与矿区修复亚区的生态系统服务价值的显著增加, 促进了研究区内生态系统服务价值的增加, 而林地和草地价值量的增加是引起两个生态功能区生态系统服务价值增加的主要原因。

关键词: 生态功能区; 生态系统服务价值; 土地利用; 阿尔泰山

中图分类号: F301 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2022)06-1286-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2021060203

张娜丽. 2000 ~ 2020 年阿尔泰山土地利用与生态系统服务价值的动态变化 [J]. 土壤通报, 2022, 53(6): 1286 - 1294

ZHANG Na-li. Dynamic Changes of Land Use and Ecosystem Services Value in Altai Mountains[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(6): 1286 - 1294

【研究意义】土地利用变化被认为是全球环境变化的核心议题和关键因素之一^[1-2], 直接影响着生态系统的质量和演变过程, 进而驱使生态系统的结构和服务功能发生相应改变^[3-4]。生态系统的服务功能是人类赖以生存及发展的基础, 可通过生态系统服务价值 (Ecosystem Services Value, ESV) 来表达和反映^[5-8]。阿尔泰山自然资源丰富, 为新疆水资源的重要战略储备区, 更是国家 25 个重点生态功能区之一, 在水源涵养、水土保持、生态平衡等方面发挥着巨大作用, 是新疆北部抵御自然灾害的天然生态屏障, 具有不可替代的生态地位^[9-10]。【前人研究进展】自 20 世纪 90 年代起, 国内外陆续开展了针对全球^[11-13]、全国^[14-16] 以及区域尺度^[17-19] 的生态系统服务价值评估研究, 这些研究在生态系统服务价值

评估的理论基础、方法和应用等方面均取得了显著进展。其中, 阿尔泰山区域的生态系统服务价值也得到了部分研究者的关注, 如谢斌等^[20] 研究了阿尔泰山湿地生态系统服务的效益和可持续利用, 并提出了科学的保护对策; 黄继红等^[21] 对新疆布尔津林场天然林生态系统服务功能进行了评价; 孙庆祥等^[22] 评价了阿尔泰山森林生态系统服务功能和价值等。【本研究切入点】以往研究只是针对阿尔泰山某一生态系统类型、及某一特定时间截面的生态系统服务价值所进行的研究, 没有从整体角度全面评价整个阿尔泰山区域的生态系统服务价值, 时间跨度也较为有限。而且, 近年来, 随着人们对生态环境保护意识的增加以及阿勒泰地区“山水林田湖草生态保护修复工程”试点工作的实施, 阿尔泰山及辐射区域

收稿日期: 2021-06-02; 修订日期: 2022-04-25

基金项目: 国家科技基础性专项 (2015FY110500-16) 资助

作者简介: 张娜丽 (1993-), 女, 河南周口人, 在读硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: 3075245238@qq.com

的生态系统格局发生了明显变化。但在时空尺度上如土地利用状况及生态系统服务价值等要素如何变化并不清楚, 亟待调查。【拟解决的问题】通过地面监测与遥感数据相结合的方法, 分析阿尔泰山整个区域内不同时段、不同生态功能区的土地利用类型及生态系统服务价值的演变趋势, 探讨引起这种变化的驱动因素。为阿尔泰山土地利用的空间规划及生态保护修复实践提供理论依据, 并为后续开展的“山水林田湖草生态保护修复工程”的效果评价提供参考。

1 研究区概况

阿尔泰山是亚洲中部的庞大山系之一, 山体西北—东南走向, 总面积 2.75 万 km², 地理坐标为 45°00′~49°10′ N, 85°31′~91°04′ E, 占阿勒泰地区面积的 23.3%, 属于大陆性温带寒冷气候区, 全区主要受北冰洋冷空气强烈影响。其中, 森林大多数分布在海拔 1000~2400 m 的阴坡和半阴坡, 草原主要分布在 700~900 m 的阳坡, 而草甸主要分布在 2400 m 以上的区域。阿尔泰山复杂多样的自然条件为各类植被的发育提供了多样化的环境, 形成了草原、森林、灌丛、草甸、沼泽及水生等多样化的生态系统类型。

依据地貌、气候、植被、水系以及经济发展的区域相似性与差异性特征, 将阿尔泰山划分成五大生态功能区^[10], 分别为: 高山冰川与泰加林景观保护亚区 (I-1)、生物多样性保护与矿区修复亚区 (I-2)、两河源水源涵养生态亚区 (I-3)、植被保护与水土流失防治亚区 (II-1)、草原保护与修复亚区 (II-2) (图 1)。本研究将在此基础上, 进行阿尔泰山不同生态功能区土地利用状况的调查和生态系统服务价值的评估。

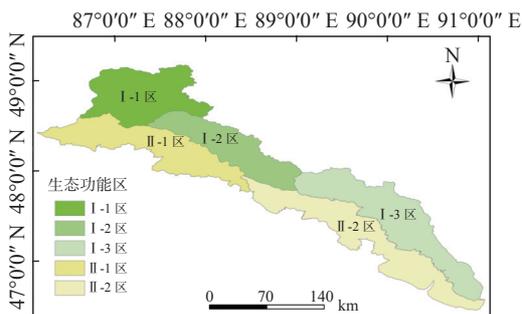


图 1 阿尔泰山生态功能区

Fig.1 Ecological function zones of Altai Mountains

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究采用的主要数据资料有: 2000、2010 和 2020 年三个基准年的 GlobeLand30 产品—GlobeLand 30-2000、GlobeLand30-2010 和 GlobeLand30-2020, 用阿尔泰山矢量边界对研究区地表覆盖数据进行提取、裁切和空间统计, 分别得到 2000、2010 和 2020 年阿尔泰山的 30 m 分辨率地表覆盖数据; 并结合研究区的具体情况, 将阿尔泰山土地利用类型分为耕地、林地、草地、湿地、水域、建筑用地和裸地 7 大生态系统类型。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用类型的转移分析 土地利用转移矩阵能够监测研究区内各土地利用类型之间相互转化特征, 表明其转移方向, 以及各种土地利用类型间的转换面积^[23-24]。本研究基于土地利用主导功能的新视角, 使用 ArcGIS 10.4 软件对 3 个时期的土地利用类型数据进行交叉分析 (ArcToolbox > Analysis Tools > Overlay > Intersect), 并结合 Excel 数据透视表进行处理, 建立了 2000~2020 年阿尔泰山土地利用类型转移矩阵^[24], 见式 (1)。

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & \dots & S_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, i 与 j 分别表示转移前后的土地利用类型; n 表示土地利用类型总数; S_{ij} 表示由 i 类用地转为 j 类用地的土地面积。

2.2.2 生态系统服务价值的估算 参照 Costanza 等^[11]的生态系统服务价值研究方法, 采用谢高地等^[25]的当量换算法确定阿尔泰山生态系统服务价值, 由公式 (2)、(3) 计算。考虑到数据的可获得性及中国境内阿尔泰山的气候、地形、地貌等对阿勒泰地区所产生的重要影响, 该地区的农田主要分布在阿尔泰山平原和丘陵地带。为此, 本研究用该区域单位面积的粮食产量, 结合相应的地区统计年鉴数据^[26], 最终确定出一个生态服务价值当量因子的经济价值量为 1228.57 元 hm⁻², 后根据单位面积生态系统服务价值当量因子表和修正后的价值当量, 得到阿尔泰山各土地利用类型生态系统服务价值当量。由此得到阿尔泰山各土地类型的单位面积生态服务价值 (表 1)。

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

$$ESV = \sum_{k=1}^n (A_k \times VC_k) \quad (3)$$

式中： ESV_f 为土地生态系统第 f 项服务功能价值，

VC_{fk} 为第 k 种土地利用类型的第 f 项服务功能价值系数； ESV 为土地生态系统服务总价值， A_k 为研究区第 k 种土地利用类型的分布面积； VC_k 为第 k 种土地利用类型的生态服务功能价值系数（元 hm^{-2} ），即单位面积生态服务价值。

表 1 不同土地利用类型单位面积生态服务价值(元 $hm^{-2} a^{-1}$)
Table 1 The equivalent of ecological services value per unit area in Altai Mountains

生态服务功能 Ecosystem service	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land
食物生产	1044.28	307.14	282.57	626.57	491.43	0.00	0.00
原料生产	491.43	712.57	417.71	614.29	147.43	0.00	0.00
水资源供给	24.57	368.57	233.43	3182.00	6425.42	0.00	0.00
气体调节	823.14	2346.57	1486.57	2334.28	589.71	0.00	24.57
气候调节	442.29	7015.13	3919.14	4422.85	1744.57	0.00	0.00
净化环境	122.86	2051.71	1290.00	4422.85	3513.71	0.00	122.86
水文调节	331.71	4594.85	2874.85	29768.25	67190.49	0.00	36.86
土壤保持	1265.43	2850.28	1806.00	2838.00	577.43	0.00	24.57
维持养分循环	147.43	221.14	135.14	221.14	49.14	0.00	0.00
生物多样性	159.71	2604.57	1646.28	9668.85	1572.57	0.00	24.57
美学景观	73.71	1142.57	724.86	5811.14	1216.28	0.00	12.29

2.2.3 生态系统服务价值的敏感性指数评价 考虑到生态服务功能价值指数的不确定性，在参照相关研究成果的基础上^[27-28]，选取经济学中常用的弹性系数概念来计算生态服务价值的敏感度指数（CS），以确定生态服务价值随时间的变化对于生态服务功能价值指数的依赖程度。CS 计算见公式（4）。

$$CS = \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(VC_{jk} - VC_{ik}) / VC_{ik}} \quad (4)$$

式中， ESV 是计算出的生态系统服务价值， VC 是调整系数， i 和 j 分别代表初始值和调整值（±50%）， k 代表土地利用类型。当计算结果 $CS \leq 1$ 时，说明生态价值对于生态价值系数是缺乏弹性的；当 $CS > 1$ 时，说明生态价值对于生态价值系数是富有弹性的、研究区总的生态价值量的变化对于生态价值系数是相对不稳定的。

3 结果与分析

3.1 阿尔泰山土地利用变化特征

图 2 为 2000、2010 和 2020 年三个年份的土地利用类型图。从图 2 中可以看出，不管哪个年份，研究区内土地利用类型均以草地为主，占总面积的 60%~65%，其次为林地，占总面积的 21%~25%；建筑用地、湿地、裸地、水域和耕地面积均较小。

2000~2020 年的 20 年间，除裸地呈显著减少趋势外，研究区内其他土地利用类型均呈增加趋势

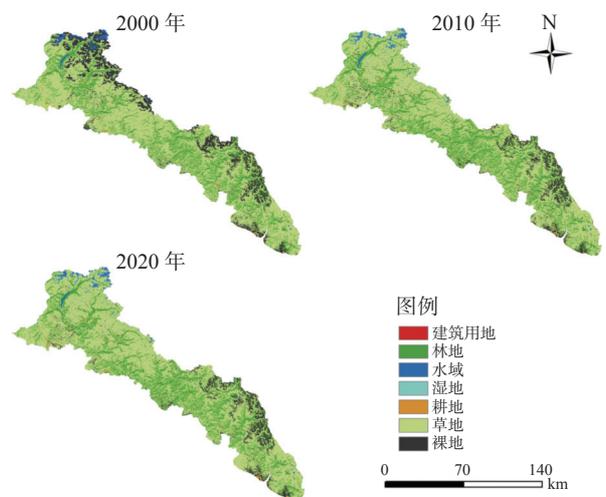


图 2 阿尔泰山不同年份土地利用变化
Fig.2 Change of land use in Altai Mountains in different years

（表 2）。各土地利用类型中，草地和林地面积增加显著，两者分别增加了 1250.00 和 827.26 km^2 ；其他土地利用类型虽然也呈增加趋势，但其变化量均较小。从不同时段来看，研究区内土地利用类型的变化有所不同（表 2）。在 2000~2010 年的 10 年间，耕地和裸地的面积呈减少趋势，而其它土地利用类型则呈增加趋势；在 2010~2020 年的 10 年间，林地和裸地的面积呈减少趋势，而其它土地利用类型则呈增加趋势。相比于 2000~2010 时段，各土地利用类型在 2010~2020 年间面积的变化均较小。因此，综合各时段土地利用类型的变化来看，林地和草地

表 2 阿尔泰山 2000~2020 年土地利用相对变化
Table 2 Relative change of land use in Altai Mountains from 2000 to 2020

土地利用类型 Land use type	2000~2010年		2010~2020年		2000~2020年	
	变化量 (km ²) Variation	年变化率 (%) Annual change rate	变化量 (km ²) Variation	年变化率 (%) Annual change rate	变化量 (km ²) Variation	年变化率 (%) Annual change rate
耕地	-1.62	-0.23	17.87	2.61	16.26	1.16
林地	888.76	1.52	-61.50	-0.09	827.26	0.71
草地	1156.42	0.69	93.58	0.05	1250.00	0.37
湿地	0.53	1.62	2.40	6.29	2.94	4.47
水域	1.48	0.04	71.77	1.84	73.25	0.94
建筑用地	0.02	0.06	4.60	14.62	4.62	7.39
裸地	-2045.60	-4.59	-128.72	-0.53	-2174.32	-2.44

的增加主要发生在 2000~2010 年间, 而耕地、湿地、水域和建筑用地面积增加主要发生在 2010~2020 年间。

3.2 土地利用类型转移特征

从表 3 可以看出, 2000~2010 年间, 阿尔泰山地区有 4001.81 km² 的土地利用类型发生了变化。各土地利用类型中, 草地的转入面积最大, 为 2388.33 km², 其中 91.4% 来自裸地; 同时也有 1236.50 km² 的草地面积转出, 其中 74.5% 的面积转为林地, 25.2% 的面

积转为裸地。林地的转入面积仅次于草地, 为 1210.7 km², 除了草地 (76.06%) 的贡献外, 裸地也贡献了 23.72%; 同时林地中也有 282.38 km² 转出, 主要转变为草地 (70.39%) 和裸地 (28.44%)。裸地的转入面积也较大, 达到了 392.77 km², 主要来自于草地 (79.28%) 和林地 (20.44%); 同时裸地也是转出面积最多的土地利用类型, 为 2472.59 km², 主要转入草地 (88.32%) 和林地 (11.62%)。

表 3 阿尔泰山 2000~2010 年土地利用转移矩阵 (km²)
Table 3 The transfer matrix of land use in Altai Mountains from 2000 to 2010

2000年土地利用类型 Land use type in 2000	2010年土地利用类型 Land use type in 2010							转出面积 Transfer-out area
	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land	
耕地	\	0.68	4.99	0.00	0.13	0.12	0.46	6.38
林地	0.59	\	198.77	0.03	2.69	0.00	80.30	282.38
草地	3.45	920.85	\	0.01	0.80	0.01	311.37	1236.50
湿地	0.01	0.01	0.00	\	0.01	0.00	0.01	0.03
水域	0.02	1.93	0.70	0.53	\	0.00	0.60	3.78
建筑用地	0.10	0.02	0.00	0.00	0.00	\	0.03	0.15
裸地	0.53	287.21	2183.88	0.00	0.93	0.03	\	2472.59
转入面积	4.71	1210.70	2388.33	0.58	4.56	0.17	392.77	4001.81

2010~2020 年间, 有 4690.87 km² 的土地利用类型发生变化, 变幅略高于 2000~2010 年间 (表 4)。各土地利用类型中, 仍是草地的转入面积最大, 为 2183.70 km², 这些面积中 64.59% 来自于林地, 33.45% 来自于裸地; 这一时期, 草地的转出面积显著增加, 达到 2089.41 km², 仍以转变为林地 (65.12%) 和裸地 (29.34%) 为主。林地的转入面积比上一时段有所增加, 为 1550.34 km², 主要来自于草地 (87.76%) 和裸地 (10.61%); 林地的转出面积显著增加, 达到了 1610.81 km², 其中 87.56% 的面积转入草地, 这一时期林地面积的增加主要与“天保工程”和“山水林田湖草项目”的实施有关^[9-10]。裸地的转出面积则显著下降, 仅为 927.41 km², 而转入面积则有所增加, 为 795.38 km²。从这些结果可以看出, 虽然这一时期,

草地、林地和裸地的转出和转入面积均较大, 但由于转入和转出面积差距较小, 导致这一时期研究区内土地利用类型面积的变化并不大。

表 5 反映了研究区近 20 年来土地利用类型转变的总体趋势。可以看出, 研究区内总共有 6715.91 km² 的土地利用类型发生了变化。各土地利用类型中, 转入面积最多的是草地, 为 3676.91 km², 同时草地转出的面积也较多, 仅次于裸地, 为 2431.13 km²。林地转入面积为 2125.23 km², 仅次于草地, 同时也有 1257.75 km² 转出。而裸地的转出面积最大, 为 2962.41 km², 转入面积则较小, 仅为 751.31 km²。这些结果表明, 近 20 年来草地和林地的面积增加显著, 其中草地的增加主要是由裸地转变而来的, 而林地的增加则主要是草地转变来的。

表 4 阿尔泰山 2010~2020 年土地利用转移矩阵 (km²)
Table 4 The transfer matrix of land use in Altai Mountains from 2010 to 2020

2010年土地利用类型 Land use type in 2010	2020年土地利用类型 Land use type in 2020							
	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land	转出面积 Transfer-out area
耕地	\	0.89	3.96	0.00	0.08	0.39	0.50	5.82
林地	2.22	\	1410.46	1.00	20.05	0.15	176.92	1610.81
草地	16.72	1360.54	\	0.94	93.75	4.39	613.08	2089.41
湿地	0.00	0.33	0.16	\	0.45	0.00	0.02	0.96
水域	0.07	24.10	24.41	1.31	\	0.01	4.78	54.68
建设用地	0.39	0.01	1.31	0.00	0.00	\	0.08	1.78
裸地	4.72	164.48	743.40	0.18	13.06	1.57	\	927.41
转入面积	24.13	1550.34	2183.70	3.43	127.39	6.50	795.38	4690.87

表 5 阿尔泰山 2000~2020 年土地利用转移矩阵 (km²)
Table 5 The transfer matrix of land use in Altai Mountains from 2000 to 2020

2000年土地利用类型 Land use type in 2000	2020年土地利用类型 Land use type in 2020							
	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water	建设用地 Construction land	裸地 Bare land	转出面积 Transfer-out area
耕地	\	1.30	5.99	0.00	0.10	0.31	0.68	8.37
林地	2.49	\	1101.26	0.97	17.42	0.12	135.48	1257.75
草地	18.82	1765.62	\	0.96	30.84	4.43	610.47	2431.13
湿地	0.00	0.20	0.13	\	0.36	0.00	0.02	0.71
水域	0.08	23.58	23.92	1.60	\	0.01	4.60	53.79
建设用地	0.38	0.01	1.30	0.00	0.00	\	0.06	1.75
裸地	3.23	334.53	2544.30	0.20	78.54	1.62	\	2962.41
转入面积	25.00	2125.23	3676.91	3.72	127.26	6.49	751.31	6715.91

3.3 不同生态功能区生态服务价值变化

根据公式 (2) 和 (3) 计算出整个阿尔泰山地区的生态服务价值 (表 6)。由表 6 可知, 阿尔泰山生态服务价值从 2000 年的 424.06×10^8 元增长至 2020 年的 468.47×10^8 元, 增幅为 10.47%。各土地利用类型中, 虽然草地对生态服务价值的贡献率由 2000 年的 58.47% 下降到 2020 年的 56.88%, 但其价值量仍增加了 18.52×10^8 元。这些研究结果

表明, 与其它类型相比, 研究区内草地对整个区域生态系统服务价值的贡献最大。与草地相反, 近 20 年来林地对生态系统服务价值的贡献率由 2000 年的 33.49% 增加到 2020 年的 34.59%, 其价值量增加了 20.03×10^8 元, 这些结果表明林地和草地价值量的增加是导致近 20 年来研究区生态系统服务价值增加的主要原因。

表 6 阿尔泰山 2000~2020 年土地利用类型生态系统服务价值
Table 6 Total ecosystem services values for various land uses in Altai Mountains from 2000 to 2020

年份 Year	土地利用类型 Land use types	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	湿地 Wetland	水域 Water	建设用地 Build land	裸地 Bare land	合计 Total
2000	价值量 (10 ⁸)	0.35	142.01	247.94	0.21	32.47	0.00	1.10	424.06
	贡献率 (%)	0.08	33.49	58.47	0.05	7.66	0.00	0.26	
2010	价值量 (10 ⁸)	0.34	163.53	265.07	0.24	32.59	0.00	0.59	462.37
	贡献率 (%)	0.07	35.37	57.33	0.05	7.05	0.00	0.13	
2020	价值量 (10 ⁸)	0.43	162.04	266.46	0.40	38.58	0.00	0.56	468.47
	贡献率 (%)	0.09	34.59	56.88	0.08	8.24	0.00	0.12	

为了解生态系统服务价值的变化规律, 本研究进一步计算了阿尔泰山不同生态功能区生态系统服务价值的变化 (图 3)。从图 3 中可以看出, 不同时

期不同生态功能区生态系统服务价值对整个研究区的贡献有所不同。2000 年各生态功能区生态系统服务价值的大小排序为 II-2 区 > I-3 区 > II-1 区 > I-1

区 > I-2 区; 而到了 2020 年, 则变化为 I-1 区 > II-2 区 > I-3 区 > II-1 区 > I-2 区。各功能区生态系统服务价值随着时间的变化均呈增加趋势, 但变化幅度有所差异。其中 I-1 区 (25.77×10^8 元) 和 I-2 区 (9.07×10^8 元) 在近 20 年来生态系统服务价值的变化幅度较大, 而 I-3 区 (3.32×10^8 元)、II-1 区 (2.37×10^8 元) 和 II-2 区 (3.59×10^8 元) 的变化幅度较小。这些结果表明近 20 年来研究区内生态系统服务价值的增加主要是由于 I-1 区和 I-2 区的生态系统服务价值的增加导致的。

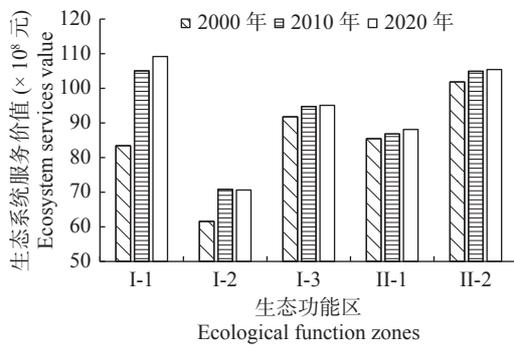


图 3 阿尔泰山不同生态功能区的生态服务价值

Fig.3 Ecosystem services values of different ecological function zones in Altai Mountains

为了更好地比较各个生态功能区生态系统服务价值的差异, 以 2020 年土地利用现状为例, 计算了 2020 年阿尔泰山不同生态功能区单位面积上的生态系统服务价值 (图 4)。从图 4 可以看出, 阿尔泰山不同生态功能区单位面积上的生态服务价值具有显著差异。各生态功能区中, I-1 区单位面积上的生态系统服务价值最大, 为 2.16×10^6 元 km^{-2} , 是研究区内生态环境最好的区域; 其次是 I-2 区, 其单位面积上的生态系统服务价值仅为 1.69×10^6 元 km^{-2} , 显著低于 I-1 区, II-1 区 (1.64×10^6 元 km^{-2}) 和 II-2 区 (1.65×10^6 元 km^{-2}) 单位面积上的生态系统服务价值差距不大, I-3 区为两河源水源涵养生态亚区, 但这一区域生态系统的干旱化特征最为明显, 再加上区域内分布的矿区生态破坏严重, 所以 I-3 区单位面积上的生态系统服务价值最小, 仅为 1.45×10^6 元 km^{-2} , 是研究区生态环境最差区域之一。

3.4 生态服务价值的敏感性分析

根据公式 (4) 和调整后的生态服务价值系数, 计算了阿尔泰山总生态系统服务价值的变化及其敏感度 (表 7)。从表 7 中可知, 研究区内建设用地、耕地、湿地和裸地生态系统服务价值的敏感度均接

近 0, 而草地生态系统服务价值的敏感度最大, 为 0.57~0.58。表明阿尔泰山各土地利用类型的生态系统服务价值的灵敏度皆小于 1, 且不同年份间的变化较小, 说明各土地利用类型生态系统服务价值系数对研究区内总的生态系统服务价值变化的影响较小, 即相对稳定且不具有弹性。

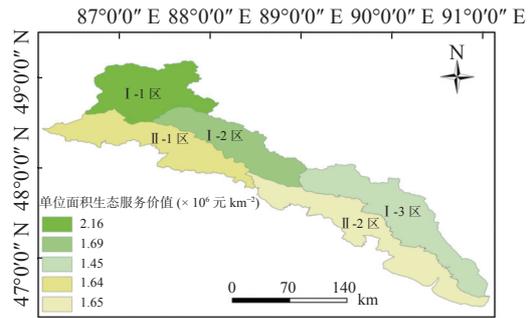


图 4 阿尔泰山不同生态功能区单位面积的生态服务价值空间变化

Fig.4 Spatial varieties of ecosystem services values in various ecological function zones in Altai Mountains

表 7 阿尔泰山 2000~2020 年各土地利用类型生态服务灵敏度
Table 7 Ecosystem services sensitivities of various land uses in Altai Mountains in 2000~2020

土地利用类型 Land use type	生态服务灵敏度(CS) Ecosystem service sensitivities		
	2000年 In 2000	2010年 In 2010	2020年 In 2020
耕地	0.00	0.00	0.00
林地	0.33	0.35	0.35
草地	0.58	0.57	0.57
湿地	0.00	0.00	0.00
水域	0.08	0.07	0.08
建筑用地	0.00	0.00	0.00
裸地	0.00	0.00	0.00

4 讨论

本研究发现草地和林地是阿尔泰山的主要土地利用类型, 占研究区总面积的 80% 以上; 近 20 年来研究区内草地和林地面积分别增加了 1156.42 km^2 和 827.26 km^2 , 表明区域内的生态环境在向好的方向发展。裸地在近 20 年间呈持续减少趋势, 尤其是 2000~2010 年间达到了 2045.60 km^2 。近 20 年来, 研究区内的土地利用类型除裸地面积减少外, 都处于增加趋势, 尤其是草地和林地这两种类型的面积增加极为明显。

土地利用类型变化是影响生态系统服务价值变化的重要因素。生态系统服务价值系数相对较低的裸地转变为价值量较高的草地和林地, 是导致研究

区生态系统服务价值增加的主要原因。表明在此期间开展的一系列生态工程使整个阿尔泰山生态有向好转化的趋势^[9,29]。生态工程在促进土地利用类型转化中发挥着重要作用,如 1995~2015 年基于 CLUE—S 模型的广西喀斯特山区生态系统服务价值变化研究中林地面积的增加^[30];北京市门头沟区 2005~2015 年间土地利用和生态系统服务价值及其空间分布变化中林地面积的增加等,均与退耕还林等工程的实施有关^[31]。

从不同生态功能区来看,近 20 年来 I-1 区和 I-2 区生态系统服务价值有着较大的增幅,分别为 25.77×10^8 元和 9.07×10^8 元,占到了研究区总增加量的 78.45%。2020 年,各生态功能区生态系统服务价值的大小顺序为 I-1 区 > II-2 区 > I-3 区 > II-1 区 > I-2 区,显示 I-1 区和 II-2 区对研究区总生态系统服务价值的贡献。相比于各个生态功能区的总生态系统服务价值,各生态功能区单位面积土地的生态系统服务价值的大小关系更能体现出不同生态功能区的重要程度。从图 4 可以看出, I-1 区单位面积生态系统服务价值显著高于其它生态功能区。此区域主要为自然保护区,植被状况较好,受人类活动的干扰较少,因此,具有较高的生态系统服务价值。但是,该区域为冰雪带和江河源头,植被一旦破坏,恢复过程缓慢;建议减少人类活动的扰动,保持生态系统的原真性。I-3 区单位面积的生态系统服务价值在各生态功能区中是最低的。该区海拔较高,是由苔藓、地衣等垫状植被组成,且生态系统的旱化特征非常明显,草地、灌丛功能退化,水源涵养功能下降,因此,生态系统服务价值相对较低,建议结合本区特点开展适宜的植被保护措施。I-2 区、II-1 区和 II-2 区单位面积的生态系统服务价值居中。

为了提高生态功能区的生态系统服务价值,提出如下建议:①鉴于前人对阿尔泰山地区藜科的驼绒藜 (*Ceratoides latens*)、木地肤 (*Kochia prastarta*)、胡秃子科的沙棘 (*Hippophae rhamnoides*)、蔷薇科的绣线菊 (*Spiraea hypericifolia*) 等饲料灌木生物学特性的分析,了解到饲料灌木林有适应性强,利用年限长,生物产量高,同等面积上饲料林的产量比草本高 2~4 倍等优点^[32-35]。所以应发展饲料灌木林,以减轻放牧对草地的压力,维持阿尔泰山的草畜平衡。②由于超载过牧导致的草地退化多发生在牧民定居点及农田周围的草场,所以应采取围栏禁牧、休牧、

减牧、轮牧等措施进行治理,逐渐降低牧民对牲畜数量的依赖,恢复草地生态系统健康稳定。

5 结论

(1) 草地和林地是阿尔泰山的主要土地利用类型,在 2000~2020 的近 20 年里,裸地面积呈明显减少的态势,其他土地利用类型面积具有不同程度增加,其中,草地和林地面积增加最大。

(2) 草地增加主要是由裸地转变而来,而林地增加则主要是由草地转变而来。

(3) 林地和草地价值量的增加是导致近 20 年来研究区生态系统服务价值增加的主要原因。不同生态功能区中,高山冰川与泰加林景观保护亚区和生物多样性保护与矿区修复亚区的生态系统服务价值有增加趋势。

(4) 阿尔泰山各土地利用类型的生态服务价值灵敏度皆远小于 1,表明其生态系统服务价值系数对阿尔泰山总的生态系统服务价值变化相对稳定不具有弹性。

参考文献:

- [1] Valbuena D, Verburg P H, Breg A K. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*[J], 2008, 128(1): 27 - 36.
- [2] 李丹,梅晓丹,张玉娟,等. 绥芬河市土地利用变化的时空格局研究[J]. *测绘科学*, 2019, 44(3): 78 - 85.
- [3] 李屹峰,罗跃初,刘纲,等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响—以密云水库流域为例[J]. *生态学报*, 2013, 33(3): 726 - 736.
- [4] 江凌,肖焱,饶恩明,等. 内蒙古土地利用变化对生态系统防风固沙功能的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(12): 3734 - 3747.
- [5] 伍星,沈珍瑶,刘瑞民,等. 土地利用变化对长江上游生态系统服务价值的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 236 - 241.
- [6] 肖建设,乔斌,陈国茜,等. 黄河源区玛多县土地利用与生态系统服务价值演变研究[J]. *生态学报*, 2020, 40(2): 510 - 521.
- [7] 邓楚雄,钟小龙,谢炳庚,等. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J]. *地理研究*, 2019, 38(4): 844 - 855.
- [8] 刘立程,刘春芳,王川,等. 黄土丘陵区生态系统服务供需匹配研究—以兰州市为例[J]. *地理学报*, 2019, 74(9): 1921 - 1937.
- [9] 刘洋,肖中琪,张怀清,等. 新疆阿尔泰山天然林保护工程区 2000-2016 年林地类型变化分析[J]. *林业资源管理*, 2019, (1): 70 - 77.
- [10] 徐海量,徐福军,叶茂,等. 新疆阿尔泰山生态保护管理规划总报告[R]. 2020.
- [11] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997,

- 387(6630): 253 - 260.
- [12] Pimentel D, Wilson C, McCulum A. Economic and Environmental benefits of biodiversity[J]. *Bioscience*, 1997, 47(11): 747 - 757.
- [13] Harrison P A, Berry P M, Simpson G, et al. Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review[J]. *Ecosystem Services*, 2014, 9: 191 - 203.
- [14] 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[J]. *生态学报*, 1999, 19(5): 607 - 613.
- [15] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量[J]. *中国科学: D辑*, 2004, 34(4): 375 - 384.
- [16] 毕晓丽, 葛剑平. 基于IGBP土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. *山地学报*, 2004, 22(1): 48 - 53.
- [17] 薛达元, 包浩生, 李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估[J]. *中国环境科学*, 1999, 19(3): 247 - 252.
- [18] Anne D G, Mary H R, Katle K A, et al. Modeling benefits from nature: using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning[J]. *International Journal of Biodiversity Science Ecosystem Services & Management*, 2012, 8(12): 107 - 121.
- [19] 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 - 196.
- [20] 谢 彬, 努尔巴依·阿布都沙力克, 吴玉秀. 阿尔泰山湿地生态系统服务功益与可持续利用[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 97 - 100 + 104.
- [21] 黄继红, 路兴慧, 郭仲军. 新疆布尔津林场天然林生态系统服务功能评估[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(5): 866 - 873.
- [22] 孙庆祥, 周华荣. 阿尔泰山森林生态系统服务功能及其价值评估[J]. *干旱区地理*, 2020, 43(5): 1327 - 1336.
- [23] 杨清可, 段学军, 王 磊, 等. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应—以长江三角洲核心区为例[J]. *地理科学*, 2018, 38(1): 97 - 106.
- [24] 阿迪莱·如则, 阿依吐尔逊·沙木西, 古丽米热·艾尔肯. 开都—孔雀河流域土地利用转型及其功能变化特征[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(4): 244 - 251.
- [25] 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.
- [26] 阿勒泰地区统计局. 阿勒泰地区统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [27] 岳书平, 张树文, 闫业超. 东北样带土地利用变化对生态服务价值的影响[J]. *地理学报*, 2007, 62(8): 879 - 886.
- [28] 王 成, 魏朝富, 邵景安, 等. 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.
- [29] 新疆维吾尔自治区林业和草原局. 十大林业工程. 新疆维吾尔自治区林业和草原局网站, 2011.
- [30] 赵国梁, 胡业翠. 基于CLUE-S模型的广西喀斯特山区生态系统服务价值变化研究[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(6): 198 - 203 + 210 + 345.
- [31] 张 辰, 易 扬, 孙 浩. 典型山区土地利用及生态系统服务价值变化—以北京市门头沟区为例[J]. *亚热带水土保持*, 2020, 32(4): 9 - 14 + 18.
- [32] 白永强, 王 力, 李得庆. 沙地饲料灌木林营造技术研究[J]. *干旱区研究*, 1996, 13(3): 65 - 68.
- [33] 靖德兵, 李培军, 寇振武, 等. 木本饲用植物资源的开发及生产应用研究[J]. *草业学报*, 2003, 12(4): 7 - 13.
- [34] 高 岩. 木本饲料资源的开发利用[J]. *中国农学通报*, 1990, 6(2): 14 - 15.
- [35] 袁凤莲. 发展饲料灌木林, 实现林牧业共赢[J]. *新疆林业*, 2009, (6): 17 - 18.

Dynamic Changes of Land Use and Ecosystem Services Value in Altai Mountains

ZHANG Na-li

(College of Life Sciences and Technology / Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, Xinjiang 830046, China)

Abstract: [Objective] The dynamic of change in terms of land use and ecosystem services value in different ecological function zones needs to be investigated, in order to explore the driving factors and to provide theoretical basis for the optimization of land use pattern and ecological protection and restoration in Altai Mountains. [Method] Based on the remote sensing data from GlobeLand 30, combined with land use transfer matrix and ecosystem service value equivalent factor method, the evolution of land use pattern and ecosystem services value were analyzed in different function zones in Altai Mountains during 2000 ~ 2020. [Result] ① Grasslands and forestlands are major land utilization types, which occupied above 80% in total research area, and the two land utilization types increased significantly, with increasing 1156.42 km² and 827.26 km² respectively in recent 20 years. ② In total of 6715.91 km² of the land utilization type in the research area had changed. The largest transferred area was bare land, accounting for 2962.41 km², which was mainly converted to grassland (85.9%) and forestland (11.3%). The area transferred to grassland was the largest, with 3676.91 km², mainly from bare land (69.2%) and forestland (30.0%). ③ Compared with 2000, the value of ecosystem services in the study area increased by 10.47% in 2020, of which grassland and forestland ecosystem services increased by 18.52×10^8 yuan and 20.03×10^8 yuan, respectively. ④ In recent 20 years, the ecosystem services value of every ecosystem function zone showed an increasing trend, and the most obvious increase was found in the alpine glacier and Tegarín landscape protection subregion (25.77×10^8 yuan), and the biodiversity protection and mining restoration subregion (9.07×10^8 yuan). Among the ecological function zones, the ecosystem services value per unit area of alpine glacier and Tegarín landscape protection subregion was the highest, while the water conservation ecological subregion of the two river sources was the lowest. [Conclusion] The ecosystem services values in alpine glacier and Tegarín landscape protection subregion, biodiversity protection and mining restoration subregion significantly increase from 2000 to 2020, and are caused by the increase of the ecosystem services value of forestlands and grasslands.

Key words: Ecological function zone; Ecological services value; Land use; Altai Mountains

[责任编辑: 韩春兰]