

DOI: 10.20103/j.stxb.202310312361

李敏, 朱志梅, 焦璇, 褚夕, 董少侠, 张雪静, 牛苗苗. 榆林市土地退化中性评价. 生态学报, 2024, 44(19): 8564-8574.

Li M, Zhu Z M, Jiao X, Chu X, Dong S X, Zhang X J, Niu M M. Neutral assessment of land degradation in Yulin City, Shaanxi Province. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(19): 8564-8574.

榆林市土地退化中性评价

李 敏¹, 朱志梅^{1,2,*}, 焦 璇¹, 褚 夕¹, 董少侠¹, 张雪静¹, 牛苗苗¹

¹ 西北大学城市与环境学院, 西安 710127

² 陕西省地表系统与环境承载力重点实验室, 西安 710127

摘要: 土地质量是保障粮食安全的重要因素之一, 在维持社会经济的高质量发展和生态系统的可持续性发展方面发挥着举足轻重的作用。榆林市经济高速发展, 资源化开发频繁, 土地质量退化严重, 土地退化是限制榆林市生态发展的重要因素, 因此掌握其 2000—2020 年土地变化情况至关重要, 通过土地退化中性(Land degradation neutrality, LDN) 评估可以揭示土地变化情况。基于生态系统服务价值评估(Ecosystem service value, ESV) 提出综合的 LDN 评估规则, 分析榆林市 2000—2020 年的 LDN 变化情况。研究表明: (1) 2000—2020 年, 榆林市的 ESV 总体上呈现出先升后降再升的趋势, 其中 2020 年 ESV 最高为 239.21 亿元, 2000 年最低为 232.03 亿元, (2) 基于 ESV 修订后的 LDN 评估: ① 土地利用/土地覆盖变化(Land-Use and Land-Cover Change, LUCC) 稳定区域面积为 37261.53km², 占比 86.89%, 恢复区域面积为 2851.75km², 略大于退化区域面积 2769.65km²; ② 2000—2020 年净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP) 显著增加, 增加、稳定和减少的区域面积分别为 37501.55km², 5870.24km² 和 93.09km², 退化面积非常少; ③ 土地有机碳(Soil Organic Carbon, SOC) 稳定、恢复和退化的面积分别为 37761.65km², 2756.83km² 和 2364.47km², 退化区域面积最少。④ 根据 LUCC、NPP 和 SOC 对 LDN 进行综合分析, 研究结果表明榆林市 LDN 稳定、恢复和退化区域面积数值分别为 4764km²、35057km² 和 3046km², 恢复区域面积最大, 退化区域面积最小, 2000—2020 年榆林市实现了 LDN 目标。研究成果可为榆林市土地利用保护工作提供理论依据。

关键词: 榆林市; 生态系统服务价值; 价值当量因子; 土地退化中性

Neutral assessment of land degradation in Yulin City, Shaanxi Province

LI Min¹, ZHU Zhimei^{1,2,*}, JIAO Xuan¹, CHU Xi¹, DONG Shaoxia¹, ZHANG Xuejing¹, NIU Miaomiao¹

¹ College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710127, China

² Shaanxi Key Laboratory of Earth Surface System and Environmental Carrying Capacity, Xi'an 710127, China

Abstract: Land quality is one of the important factors to ensure food security, and it plays a significant role in maintaining the high-quality development of social economy and the sustainable development of ecosystem. With the rapid economic development and frequent resource exploitation in Yulin, the land quality is seriously degraded. Land degradation is a vital factor which limits the ecological development of Yulin, so it is very important to master the land change from 2000 to 2020. We can use Land degradation neutral (LDN) assessment to reveal land change. In a recent research, a comprehensive LDN assessment rule based on ecosystem service value (ESV) was proposed, so we chose this method to analyze the LDN changes in Yulin City from 2000 to 2020. The research showed that: (1) From 2000 to 2020, as a whole, the general trend of ESV in Yulin City experienced three phases. At first, it rose, then it fell, at last it rose again, with the highest ESV of 23.921 billion in 2020 and the lowest ESV of 23.203 billion in 2000. (2) The LDN assessment based on revised ESV: ① The area of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) stable region is 37261.53km², which accounted for 86.89%.

基金项目: 国家自然科学基金(30700648)

收稿日期: 2023-10-31; **网络出版日期:** 2024-07-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhzhmx@126.com

While, the area of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) recovery region is 2851.75km², slightly larger than that of the degraded region whose area was 2769.65km². ②During the twenty years from 2000 to 2020, the net primary productivity (NPP) increased significantly, and areas of increased region, stable region and decreased region were 37501.55km², 5870.24km², and 93.09km², respectively, with very little degradation area. ③ The stable region had the highest area of soil organic carbon (SOC) content, and its area is 37761.65km². Compared with that of stable region, the area of recovery region was smaller, it is 2756.83km². While, the degraded region area of soil SOC was least, just 2364.47km². ④ We used a combinative way based on LUCC, NPP and SOC to perform a comprehensive analysis of LDN. The result showed that the area of stable region, recovery region and degraded region of LDN in Yulin City was 4764km², 35057km² and 3046km², respectively, with the largest recovery area and the smallest degraded area. The LDN target was achieved in Yulin City from 2000 to 2020. The research results of this paper can provide a theoretical basis for the land use and protection work in Yulin city.

Key Words: Yulin City; ecosystem service value; value equivalent factor; land degradation neutral

掌握研究区域土地退化情况有助于扩绿工程的顺利开展和生产生活的安全发展。土地退化是指土地受到自然因素(干旱、暴雨和洪水等)或人为因素(过量砍伐、滥用化肥和种植过度等)导致土地质量和生产力下降的过程,为了有效的缓解和改善土地退化现象,保障生产性土壤的数量和质量^[1],2015年联合国防治荒漠化公约(The United Nations convention to combat desertification, UNCCD)正式提出土地退化中性的概念,即在一定的时空尺度和生态系统下,为维持生态系统功能和服务并加强粮食安全,使得相应土地资源数量和质量维持稳定或增加的一种状态^[2]。目前国际上 LDN 的评估主要以土地利用、土地生产力和碳存量三大指标为基准^[3],可以较为全面准确的掌握研究区域的土地退化的关键因素,评价土地的退化情况,为制定出台生态土地保护措施、政策和法律等提供重要依据。LDN 适用于各种生态系统与土地利用类型,当前已经广泛应用于国家发展计划制定^[4-6]、环境管制法规^[7]、国土资源摸底调查^[8]、森林生态系统评估^[9-10]、矿山生态系统评估^[8,11]和沙地生态系统评估^[12]等多种尺度。Dengiz^[13]使用三项指标为位于半湿润陆地生态系统中的退化流域生成土地生产力动态图,研究发现 2001—2015 年土地出现下降的早期迹象。Marijana^[14]分析塞族实体共和国的土地退化指标趋势,为评估该地区的 LDN 提供参考框架,获得该地区土地退化的现状、驱动因素等。

但由于研究区域特征的不同,仅依靠三大指标进行评估不够准确和科学。例如,UNCCD 评估规则中将土地利用中耕地转化为草地的过程视作土地退化,而我国为控制水土流失,从 1999 年开始积极推进退耕还草工程,榆林市是重要战区之一,因此在对榆林市的 LDN 评估过程中,需要将耕地转化为草地定义为土地恢复。并且,LDN 评估标准和参数的选择存在重叠和缺失现象^[1],土地利用评估中忽略了水域对可持续土地管理的发展的作用和蕴涵的巨大的 ESV。

一般来说,土地质量情况会对生态系统服务的供应产生影响,土地退化常伴随着生态系统服务的减少^[15-16]。通过 ESV 评估,可以有效地获取生态系统服务。Costanza 等人^[17]根据“生态系统服务单位面积值”对全球生态系统服务的价值进行估算。谢高地^[18]采用当量因子法核算了中国生态系统提供的 11 种生态服务类型的价值。Elbasit 等人^[19]基于栅格遥感模型评估了南非 2001—2019 年的生态系统服务价值,发现由于土地利用的变化,南非的生态系统服务总价值会随着时间的推移而变化。因此,对榆林市的 LDN 进行评估时也要考虑 ESV 的变化情况。

陕北榆林地处陕、甘、宁、蒙、晋五省区交界地,是陕西省杂粮生产的主要地区,拥有丰富的能源和矿产资源。21 世纪西部大开发战略开始实施,以榆林市为代表,不断扩大产业化发展,加大粗放式、高强度的能源开发活动,对耕地、草地和林地等生态环境造成了不同程度的影响,生产性土地的质量和数量发生改变。并且,榆林市位于自然条件比较恶劣的过渡地带,特殊的地理环境和气候特征使其土地易于沙漠化,加上退耕还草政策实施前当地居民以放牧为主的养殖方式,植被难以快速恢复,自然和人为因素致使榆林市成为我国水土

流失和风沙破坏最严重的地区之一^[20]。因此,如何掌握榆林市土地退化情况,客观准确的评估土地退化中性是当前亟待解决的问题,也是制定落实土地保护措施,保障人民粮食生产安全以及实现生态环境的可持续性发展的重要基石。本文基于 ESV 对 UNCCD 的 LDN 评估规则进行修订,提出适合榆林市的 LDN 评估方法并进行区域评估,旨在得到更准确的 LDN 评估,为未来榆林市的生态修复工作提供参考资料。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

榆林市位于陕西省最北部,地理坐标在 107°28′—111°15′E,36°57′—39°35′N 之间,是省内土地面积最大的地级市。榆林地处陕北地区和河套地区,黄土高原和毛乌素沙地交界处,是黄土高原与内蒙古高原的过渡区。特殊的环境使得榆林市的土壤类型以风沙土和黄绵土为主,地貌主要分为风沙草滩区、黄土丘陵沟壑区、梁状低山丘陵区三大类^[21]。气候干旱,降水不均,风沙频发,土地贫瘠,植被类型以耐寒、耐旱、耐风蚀的干草原和沙生植物为主,全区容易受到风蚀、水蚀和人为活动的影响^[22],是中国水土流失和风沙破坏最严重的地区之一^[23]。全市 2020 年常住人口为 362 万人,实现地区生产总值 4089.67 亿元,其中第一产业占比 6.7%,第二产业占比 62.5%,第三产业占比 30.8%。近年来,以陕西省为代表实施了一系列国家林业生态工程和退耕还草工程,在荒芜的沙坡上大面积种植各种植被,榆林市土地有所扩绿,生态环境治理已初见成效^[24-25](图 1)。

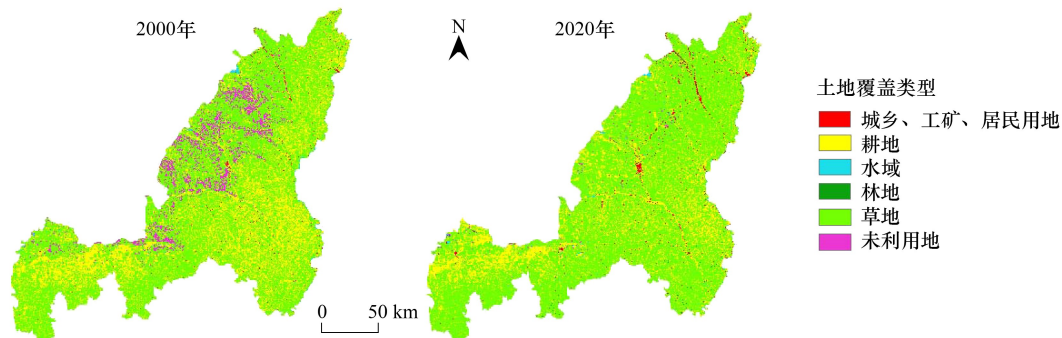


图 1 榆林市 2000 年、2020 年的土地覆盖类型分布

Fig.1 Distribution of land coverage types in Yulin city in 2000 and 2020

1.2 数据来源

基于美国卫星 Landsat MSS、TM/ETM 和 Landsat8 卫星遥感数据,采用人机交互式目视判读的方式构建中国多时期土地利用/覆盖遥感监测数据集^[26]。从中国科学院资源与环境科学数据中心获取榆林市 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年五期 30m 分辨率的遥感影像,对其进行几何校正、裁剪和镶嵌等预处理,根据统一的土地利用/覆被分类体系、结合遥感影像解译标志,在 ARCMAP 软件环境下进行人机交互土地利用/覆被类型的判读解译。土地利用/覆被分类体系与全国县级土地利用现状分类系统结合,根据土地资源及其利用属性进行一级分类,将榆林市土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、城乡、工矿、居民用地和未利用地六类;根据土地资源的自然属性进行二级分类。用于估算 ESV 的粮食作物面积来自 2021 榆林市统计年鉴,粮食净利润来自 2001 年、2006 年、2011 年、2016 年和 2021《全国农产品成本效益数据汇编》。

研究采用的 NPP 数据来源于美国国家航空航天局 (<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/>) 的 MODIS 产品 MOD17A3HGF,空间分辨率为 500m,时间分辨率为 1a,范围是 2000—2020 年。

在中国科学院资源环境科学与数据中心下载研究区域 2000—2020 年的网格化土地利用数据,数据分辨率为 1000m,然后使用 QGIS 3.12 进行处理,利用 TREND-EARTH 插件生成土地有机碳层^[27-32]。

1.3 方法

1.3.1 ESV 估算

榆林市的土地类型被分为草地、耕地、城乡、工矿、居民用地、林地、水域和未利用地 6 个主要土地分类和 21 个次要土地利用分类^[33]。依据《榆林市统计年鉴》和《全国农产品成本收益资料汇编》得到小麦、稻谷和玉米的播种面积和净利润,依照谢高地等人^[18]的处理方法计算出榆林市 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年和 2020 年对应的一个标准当量因子的生态系统服务价值量,然后取五期价值量的平均值为常数 D ,计算为 906.85 元/hm²。

根据实际情况,结合谢高地的生态系统服务价值当量表获取不同土地利用类型所对应的当量因子,再和 D 值相乘得到榆林市单位面积生态系统服务价值系数表(表 1),最后采用“单位面积等效系数法”对榆林市的 ESV 进行估算,将土地利用面积与系数表的相乘,获取五期 ESV^[34-35],公式如下:

$$ESV = \sum_{k=1}^m (S_k \times VC_k) \quad (1)$$

式中, S_k 为土地利用类型为 k 的面积; VC_k 为单位面积生态系统服务价值系数。

然后按照斜率公式评估 ESV 的变化趋势,公式为:

$$\theta_{ESV} = \frac{(n \times \sum_{i=1}^n i \times ESV_i - \sum_{i=1}^n i \times \sum_{i=1}^n ESV_i)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (2)$$

式中, i 是年份序列号, n 是总年数(5 年), ESV_i 是第 i 年的 ESV, θ_{ESV} 是 ESV 变化趋势的斜率。 θ_{ESV} 值为负值表示 ESV 在降低,0 表示 ESV 不变,而正值表示 ESV 增加。

表 1 榆林市各土地利用类型单位面积生态系统服务价值系数/(元 hm⁻² a⁻¹)

Table 1 Ecosystem service value coefficient per unit area of different land use types in Yulin City

生态系统分类 Ecosystem classification		供给服务 Provisioning services			调节服务 Regulating services				支持服务 Supporting services			文化服务 Cultural services
一级分类 Primary classification	二级 分类	食物 生产	原料 生产	水资源 供给	气体 调节	气候 调节	净化 环境	水文 调节	土壤 保持	维持养 分循环	生物 多样性	美学 景观
耕地	水田	770	362	18	607	326	90	244	934	108	117	54
Cultivated land	旱地	1233	81	-2385	1006	516	154	2466	9	172	190	81
林地	有林地、疏林地、其他林地	247	571	296	1880	5622	1635	3503	2288	175	2082	912
Forest land	灌木林	172	389	199	1278	3835	1160	3037	1559	117	1423	625
草地	高覆盖度草地	199	299	163	1033	2738	906	2004	1260	99	1151	507
Grassland	中、低覆盖度草地	90	126	72	462	1215	399	888	562	45	507	226
水域	河渠、湖泊、水库坑塘	725	208	7517	698	2076	5033	92716	843	63	2312	0
Water area	滩地	462	453	2348	1723	3264	3264	21972	2094	163	7136	4289
未利用土地	盐碱地、沙地	9	27	18	99	90	281	190	117	9	108	45
Unused land	沼泽地	462	453	2348	1723	3264	3264	21972	2094	163	7136	4289
	裸土地、裸岩石质地	0	0	0	18	0	90	27	18	0	18	9

1.3.2 榆林市 LDN 评估

1) LUCC 评估

基于 ArcGIS 软件的一系列地理处理,输入 2000 年和 2020 年的土地利用面积数据,获取榆林市 2000—2020 年的土地利用转移矩阵。不同土地类型的生态系统服务价值总系数不同,以此为参考依据,分析土地利用类型转移结果,判别土地利用的退化、稳定和恢复情况,并计算退化、稳定和恢复区域的面积。

2) NPP 评估

采用一元线性回归方程计算榆林市 2000—2020 年 NPP 的年际变化趋势,线性回归方程的斜率为 NPP 变

化趋势斜率,公式为:

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times \text{NPP}_i - \left(\sum_{i=1}^n i \right) \left(\sum_{i=1}^n \text{NPP}_i \right)}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (3)$$

式中, θ_{slope} 为 NPP 的变化斜率, i 为时间变量, n 为研究期年数, NPP_i 是第 i 年的 NPP。

使用 T 检验检验显著趋势,测试结果分为显著降低($\theta_{\text{NPP}} < 0, P < 0.05$)、显著增加($\theta_{\text{NPP}} > 0, P < 0.05$)和无显著变化($P > 0.05$),分别对应于 NPP 的退化、恢复和稳定。

3) SOC 评估

参照“土地利用转换系数”法,利用 QGIS 3.12 中的 TREND-EARTH 插件使用生成了 2000 年和 2020 年的 SOC 存量层。具体而言,使用 QGIS 3.12 的 TREND-EARTH 插件中的“下载原始数据”选项下载 250 m 分辨率的 SOC 网格层,其中下载的 2020 年 SOC 网格数据和 LUCC 数据用作“使用定制数据 SOC”选项的输入,以获得 2 年的 SOC 库存数据。在 ArcGIS 中,“光栅计算器”工具用于比较 2020 年和 2000 年 SOC 网格层数据之间的差异。如果像素级别的库存变化超过 10%,则认为是 SOC 退化或恢复,而其他区域被认为是稳定的,获得 SOC 变化表(表 2)。

表 2 榆林市不同土地利用转移的 SOC 变化

Table 2 The SOC changes of different land use transfers in Yulin City

2000 年	2020 年					
	水域	未利用土地	城乡、工矿、居民用地	耕地	草地	林地
水域 Water area	稳定	退化	退化	退化	稳定	稳定
未利用土地 Unused land	恢复	稳定	稳定	恢复	恢复	恢复
城乡、工矿、居民用地 Constructive land	恢复	稳定	稳定	恢复	恢复	恢复
耕地 Cultivated land	恢复	退化	退化	稳定	恢复	恢复
草地 Grassland	稳定	退化	退化	退化	稳定	稳定
林地 Forest land	稳定	退化	退化	退化	稳定	稳定

SOC:土地有机碳 soil organic

4) LDN 评估

LUCC、NPP、SOC 三大指标的评估结果共同决定 LDN 的结果:①如果三项指标中有一项指标结果为退化,则 LDN 评估结果为退化;②如果三项指标结果均为稳定,则 LDN 评估结果为稳定;③如果三项指标结果没有退化,并且至少有一个指标出现恢复结果,则 LDN 评估结果为恢复^[36]。

2 结果

2.1 榆林市 ESV

2.1.1 ESV 的变化

2000—2020 年,榆林市的 ESV 总体上呈现出先升后降再升的趋势,其中 2020 年 ESV 最高为 239.21 亿元,2000 年最低为 232.03 亿元(表 3)。其中,不同土地利用类型的年均 ESV 从低到高依次为:①城乡、工矿、居民用地为 0;②未利用土地为 4.65 亿元;③林地为 38.23 亿元;④水域为 46.01 亿元;⑤耕地为 56.84 亿元;⑥草地为 89.57 亿元。斜率公式结果表明(表 4),耕地、水域和未利用土地的 ESV 随着时间变化呈现出下降的趋势,林地、草地的 ESV 则呈现出上升的趋势。

2.1.2 ESV 评估

2000—2020 年,榆林市 ESV 增加的土地面积 21284.70km²,ESV 减少的土地面积 20694.07km²,分别占总面积的 49.63%和 48.25%(图 2)。

表 3 2000—2020 年不同土地利用类型的 ESV

Table 3 ESV of different land use types from 2000 to 2020

土地利用类型 Land use type		生态系统服务价值 总系数/(元/hm ²) Total coefficient of ecosystem service value	总 ESV/亿元 Total ecosystem service value				
			2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
耕地 Cultivated land	水田	3636.48	0.69	0.69	0.69	0.67	0.65
	旱地	3527.64	58.2	56.82	55.3	55.35	55.17
	小计	7164.12	58.89	57.5	55.99	56.02	55.82
林地 Forest land	有林地	19216.14	1.84	1.89	1.71	1.7	1.68
	灌木林	13802.27	14.37	14.71	15.15	15.04	14.9
	疏林地	19216.14	14.32	14.41	14.89	14.63	14.57
	其他林地	19216.14	2.3	7.67	8.4	8.34	8.61
	小计	71450.69	32.83	38.68	40.15	39.71	39.76
草地 Grassland	高覆盖度草地	10365.3	1.18	3.91	4.68	4.66	4.15
	中覆盖度草地	4597.73	46.72	46.37	49.12	48.79	48.73
	低覆盖度草地	4597.73	39.48	38.92	37.61	37.13	36.38
	小计	19560.76	87.38	89.21	91.41	90.59	89.26
水域 Water area	河渠	112195.49	25.6	25.77	18.78	19.06	24.54
	湖泊	112195.49	2.18	1.15	1.13	1.21	1.24
	水库坑塘	112195.49	11.83	12.31	12.47	12.81	16.23
	滩地	47174.34	8.47	8.46	9.55	9.37	7.91
	小计	383760.81	48.07	47.69	41.93	42.45	49.93
城乡、工矿、居民用地 Constructive land	城镇用地	0	0	0	0	0	0
	农村居民点	0	0	0	0	0	0
	其他建设用地	0	0	0	0	0	0
	小计	0	0	0	0	0	0
未利用土地 Unused land	沙地	997.54	4.42	4.41	4.22	4.1	4.04
	盐碱地	997.54	0.11	0.11	0.09	0.09	0.1
	沼泽地	47174.34	0.31	0.24	0.36	0.25	0.28
	裸土地	181.39	0.01	0.01	0.01	0.04	0.03
	裸岩石质地	181.39	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	小计	49532.2	4.86	4.77	4.69	4.49	4.44
总计	531468.58	232.03	237.85	234.17	233.26	239.21	

ESV:生态系统服务价值 Ecosystem service value

表 4 ESV 斜率变化

Table 4 Changes of ESV slope

土地类型 Land type	θ_{ESV}	ESV 变化趋势 The variation trend of ESV
耕地 Cultivated land	-38.1	下降
林地 Forest land	74.45	上升
草地 Grassland	25.71	上升
水域 Water area	-7.63	下降
城乡、工矿、居民用地 Constructive land	0	0
未利用土地 Unused land	-5.58	下降

 θ_{ESV} 是 ESV 变化趋势的斜率

2.1.3 基于 ESV 完善 LUCC 评估规则

以 LUCC、NPP 和 SOC 三大指标综合评估 LDN 的国际通用方法,从多个角度反映生态系统服务,且进行

的是像素级别的处理,可以获得更加精细和准确的结果,充分了解研究区域的细节信息,但缺乏整体性,而ESV评估则从整体出发,量化榆林市的生态系统服务,进行更加全面的分析。因此,两种方法互为补充,在进行细节分析的基础上,也有整体分析,使得评估结果更加科学完备。

UNCCD 中将农田向草地的转化视为退化,而我国由于国情的需要,从 1999 年开始就大力推动退耕还草、退耕还林工程,而这种转变的目的就是为了保护生态环境,因此退耕还草不能被视为退化,而应视作恢复。基于 ESV 评估中计算出的生态系统服务价值总系数的大小,对 LUC 评估规则进行修改完善,判别不同土地利用类型之间的转化情况,ESV 总系数小的转化为大的视为恢复,反之视为退化(表 5)。并且在评估中将水域纳入考虑,将 UNCCD 中考虑的 7 种土地利用类型扩大为 21 种,以便进行更加全面和详细的评估,获得更加准确的结果。研究表明:与 UNCCD 评估规则相比,本研究中充分考虑水域的 ESV,并且水域 ESV 最大,水域转化为其他六种土地利用类型时视为土地退化,而城乡、工矿、居民用地的 ESV 最低,当其转变为其他土地类型时则视作土地恢复,土地利用类型不变表示土地稳定。

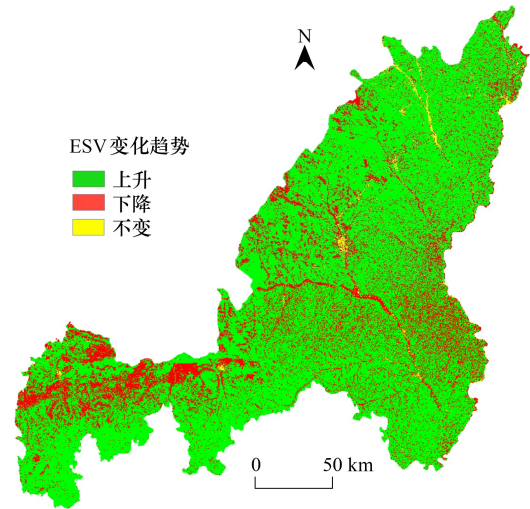


图 2 榆林市 ESV 变化的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of ESV changes in Yulin City

ESV: 生态系统服务价值 Ecosystem service value

表 5 基于 ESV 修改后的 LUC 评估规则和 UNCCD 的比较

Table 5 Compares the modified LUC evaluation rules based on ESV with UNCCD

2000 年	2020 年					
	城乡、工矿、居民用地	耕地	草地	未利用土地	林地	水域
城乡、工矿、居民用地 Constructive land	0	+	+	+	+	+(0)
耕地 Cultivated land	-	0	+(-)	+	+	+(0)
草地 Grassland	-	-(+)	0	+	+	+(0)
未利用土地 Unused land	-	-	-	0	+	+(0)
林地 Forest land	-	-	-	-	0	+(0)
水域 Water area	-(0)	-(0)	-(0)	-(0)	-(0)	0

+、-、0 分别表示土地的恢复、退化和稳定;括号外的表示基于 ESV 修订后的土地变化判别情况,括号内表示 UNCCD 规定的土地变化判别情况;UNCCD:联合国防治荒漠化公约 United nations convention to combat desertification; LUC: 土地利用/土地覆盖变化 Land-use and land-cover change

2.2 榆林 LDN 评估

以基于 ESV 修订后的 LUC 评估规则为标准,分析榆林市 2000—2020 年的土地利用转移矩阵,结果表明:榆林市恢复土地面积为 2851.75km²,占总面积 6.65%,稳定土地面积为 37261.53km²,占总面积的 86.89%,退化土地面积为 2769.65km²,占总面积的 6.46%。因为恢复土地面积略大于退化土地面积,所以从 LUC 的角度来看,榆林市在 2000—2020 年实现了 LDN 目标。

分析 2000—2020 年 NPP 栅格数据,结果表明 NPP 显著减少的区域面积为 93.09km²,NPP 保持稳定的区域面积为 5870.24km²,NPP 显著增加的区域面积为 37501.55km²,分别占总区域的 0.21%、13.51%和 86.28%。NPP 恢复区域面积远大于退化面积,因此从 NPP 指标的角度出发,榆林市实现 LDN。

基于土地利用变化数据,按照表 3 对榆林市 2000—2020 年 SOC 的变化情况进行分析,结果表明:研究区域 SOC 稳定的面积为 37761.65km²,占总研究区的 88.06%,SOC 恢复区域面积为 2756.83km²,占总研究区的

6.43%,SOC 退化面积为 2364.47km², 占总研究区的 5.51%。SOC 恢复区域面积大于退化区域面积, 因此从 SOC 指标的角度出发, 榆林市实现了 LDN。

基于上述三个评估指标的结果, 根据 10AO 原则对 LDN 进行综合分析, 研究结果为: 榆林市 LDN 稳定、恢复和退化区域面积分别为 4764km²、35057km² 和 3046km², 占总面积的 11.11%、81.78% 和 7.11% (图 3)。研究区域 LDN 恢复面积远大于退化面积, 这表明 2000—2020 年, 在国家生态保护方针的指引和一系列退耕还林和生态保护措施的实施下, 榆林市卓有成效的完成了土地保护工作, 80% 以上的区域实现了 LDN 目标。同时, 也证明了我国生态保护工程的科学性和高效性。

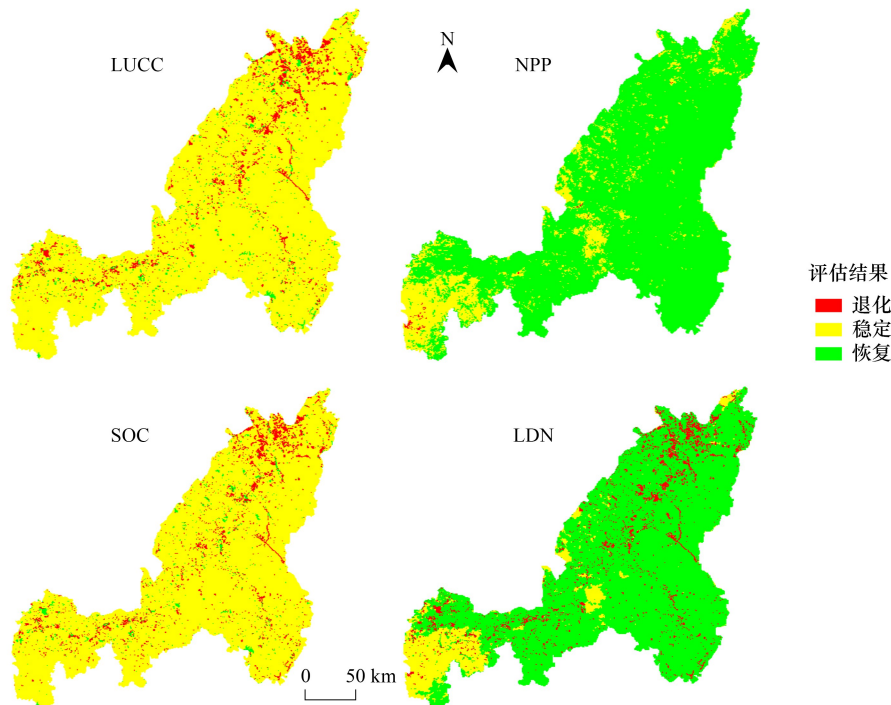


图 3 评估结果图

Fig.3 Evaluation results chart

LUCC: 土地利用/土地覆盖变化 Land-Use and Land-Cover Change; NPP: 净初级生产力 Net Primary Productivity; SOC: 土地有机碳 soil organic; LDN: 土地退化中性 Land Degradation Neutrality

3 讨论

3.1 ESV 和 LDN 评估的意义

土地利用的变化, 既有土地利用类型的变化, 也有 ESV 的变化, 不同的研究角度会得到不同的研究结果。ESV 从整体上对生态系统服务进行评估, 更加全面综合, 而 LDN 基于像素级遥感数据, 从小尺度对土地变化情况进行评估, 更加具体准确, 尽管两者都对生态系统服务进行评估, 但是由于评估的方法和指标不同, 得到的结果也不完全一致。通过对 ESV 和 LDN 评估进行相关性分析, 结果表明两者没有显著的相关性, 因此, 将 ESV 和 LDN 作为两个独立的评估指标进行评估, 有助于更加全面准确的对生态系统服务进行评估。

2000—2020 年, 随着退耕还林还草工程的大力实施, 生态环境大有改善, 榆林市的 ESV 在总体上呈现出上升的趋势, 但是在 2010—2015 年 ESV 出现了轻微的下降, 其主要原因是此阶段榆林市大量开采矿产资源和建设能源化工基地, 在社会经济快速发展的同时, 也引发了一系列地质环境问题, 而 2015 年后随着人们环保意识的不断提高, 国家和政府对生态环境不断重视, 全省以改善环境质量为目标, 部署了一系列环保工作, 使得 ESV 又开始出现上升趋势。水域、草地、林地的 ESV 在总体上呈现出上升趋势, 耕地和未利用地总体上

表现为下降趋势,这些改变与人类活动和对生态环境质量的重视密切相关。不同土地利用类型的生态系统单项服务价值不同,因此,在进行分析时应根据研究区域的特点进行详细的划分和评估,以便得到更加准确的LUCC评估方法。

3.2 修改评估规则的必要性

榆林市地处水土流失区域,土地贫瘠,生态系统脆弱,城市化进程和现代化发展使得土地生产力进一步下降。为了促进经济和环境的和谐发展,我国启动了退耕还林工程。该工程规模浩大、开展迅速,自1999年开始试点起,到如今已取得丰硕的成果,有效的控制水土流失状况,减少了经济、生态和社会效益^[37]。自榆林市开始实施退耕还林草工程后,黄土高原生态脆弱区的生态环境状况极大地改善了,植被覆盖水平在工程实施的这些年来明显提升,呈现出土壤侵蚀强度降低,生态服务价值升高的趋势,取得明显的水土保持效益^[38-39]。退耕还林能够明显改善榆林市的生态状况,因此明确不同土地利用类型之间的生态系统服务价值系数至关重要。UNCCD制定的评估规则是从粮食安全的角度出发,对粮食安全非常重视,该规则科学合理,因为据统计全球粮食短缺情况仍在,故对于存在粮食安全危机的地区,该评估规则尤为适用。而我国国情决定着我国粮食安全已经受到保障,粮食供应充足,在此基础上,我国已开始将关注点转向生态环境保护,因此一系列的以粮换绿的措施开始实施。并且,IPCC的一级SOC评估方法也认为耕地转化为草地有益于提高SOC的含量,属于恢复土地。基于此,本研究将UNCCD制定的LUCC的评估规则进行修改,将农田向草地的转换定义为恢复而非退化,切合我国国情和政策。

《榆林市水资源管理办法》提出:经济社会发展应当与水资源条件相适应,要坚持以水定城,以水定产等,要推进水资源节约集约利用,并且土地绿化要遵循“水决定绿化”的原则。因此,水域是评估可持续性发展的重要指标,水域的变化在一定程度上反映着土地管理情况,故在进行LDN的评估时,也应当将水域变化纳入其中。并且水域提供丰富的生态系统服务,当土地利用类型发生改变时,生态系统服务价值也会发生改变。因此,基于ESV对榆林市的LUCC评估规则进行修订。因为水域生态系统服务价值系数最高,因此研究将水域向其他土地利用类型转变定义为退化,而其他土地类型向水域的转变定义为恢复,研究区域土地的恢复、稳定、退化情况可以通过ESV的变化来进行判定。与UNCCD的评估规则相比,分析水域变化的新规则更有助于榆林市土地利用的持续性管理和生活的高质量发展。

对榆林市2000—2020年的遥感影像数据进行处理,得到土地利用转移矩阵(表6),可以发现退耕还林、还草的面积分别375.74km²、1901.06km²,水域发生变化的面积为69.81km²,分别占林地、草地和水域总面积的16%、10%和13%,因此若将退耕还林、还草定义为退化、忽略水域变化情况都将会对研究区域的LUCC评估情况产生较大的影响,使得榆林市土地利用的退化区域增大2276.79km²,恢复区域减少2346.60km²,进而影响LDN的评估。

表6 2000—2020年与榆林市土地转移矩阵/km²
Table 6 Land transfer matrix from 2000 to 2020 and Yulin City

2000年	2020年						
	耕地	林地	草地	水域	城乡、工矿、居民用地	未利用地	总计
耕地 Cultivated land	14165.45	375.74	1901.06	29.61	168.04	42.41	16682.30
林地 Forest land	98.42	1773.83	66.61	2.40	26.18	33.06	2000.50
草地 Grassland	1353.40	204.86	16679.50	25.96	377.05	225.71	18866.47
水域 Water area	26.44	2.46	16.45	472.52	10.02	3.74	531.63
城乡、工矿、居民用地 Constructive land	12.26	1.02	5.11	0.81	142.84	0.19	162.22
未利用地 Unused land	158.37	13.60	248.22	11.03	181.19	4027.39	4639.80
总计 Total	15814.33	2371.50	18916.94	542.33	905.32	4332.50	42882.92

由于各国实际情况不同,土地利用情况也有所不同,因此在进行具体分析时,应根据研究区域的特点和当地政策,对评估方法和规则进行适当修改,这样才能够得到科学准确的评估结果。UNCCD 侧重于粮食安全,因此更加注重耕地,而我国已经进入“以耕换绿”的阶段,榆林市水土流失严重,因此研究更侧重于生态效益,将评估规则进行修改,切合研究区域的特点,有助于全面合理的分析榆林市土地变化情况。

3.3 评估情况

研究表明,2000—2020 年榆林市耕地面积逐渐减少,林地面积呈现出增长的趋势,说明在退耕还林工程的导向下,研究区域开始向生态友好型土地转换。同时,城乡、工矿、居民用地的面积也在逐渐升高,这是因为当地不断加快的城镇化、工业化和产业化发展,使得建设用地需求增长。并且土地变化伴随着 ESV 的不断升高,这就说明我国土地政策的正确性,因此在未来也要稳步开展生态保护工程。

各个区域的土地类型不同,在进行 LUCC 评估时需要根据区域实际情况进行分析研究。近年来,榆林市 NPP 显著增长,这可能是因为长期实施的生态修复和防治工程。自退耕还林工程提出后,榆林市打造生态文明示范区,大力推行防林护林工作,限制放牧,治土治沙双管齐下,有效的防治了土地沙漠化,使得生态环境持续好转,NPP 显著提高。由于没有系统成熟的方法来对 SOC 进行评估,对于 SOC 的评估主要依靠的是 IPCC 开发的方法,但这种方法只考虑了土地利用变化数据,但并未将土地使用、土地管理措施等因素考虑在内,这样就会使得数据的准确度不够高,因此未来还是需要长期数据观测或者通过实验获取 SOC,以保障数据的科学性和可靠性。

4 结论

基于我国国情和榆林市的现实状况,本研究结合 ESV 对 UNCCD 中的 LDN 评估规则进行以下修改:(1)考虑生态效益,将“退耕还草”的定义由退化改为恢复;(2)遵循“水决定绿化”原则,考虑水域提供的生态系统服务;(3)将土地利用类型进行细化分类,旨在得出更加精确的结论。研究结果表明:①2000—2020 年,榆林市的 ESV 总体上呈现出先升后降再升的趋势,ESV 不变、增加和减少的土地面积分别占 2.12%、49.63%和 48.25%;②LUCC 的总体趋势比较稳定,其稳定、恢复、退化的土地面积分别为 86.89%、6.65%和 6.46%,以微弱的优势实现了 LDN 目标;③NPP 显著增长,其稳定、恢复、退化的土地面积分别占 13.51%、86.28%、0.21%,高效实现了 LDN;④SOC 稳定区域占比较大,约占 88.06%,而恢复、退化区域占比为 6.43%和 5.51%,也实现了 LDN;⑤LDN 恢复面积远大于退化面积,稳定、恢复和退化区域面积分别占总面积的 11.11%、81.78%和 7.11%。基于上述评估结果,可知榆林市生态修复工程卓有成效,实现了 LDN 目标。

参考文献(References):

- [1] 王梦婧,吕悦风,吴次芳. 土地退化中性研究的国际进展及其中国路径. 中国土地科学, 2020, 34(2): 64-74.
- [2] Cowie A, Orr B, Sánchez V, Chasek P, Crossman N, Erlewein A, Louwagie G, Maron M, Metternicht G, Minelli S, Tengberg A, Walter S, Welton S. Land in balance: the scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 2018, 79: 25-35.
- [3] Kiani-Harchegani M, Sadeghi S H. Practicing land degradation neutrality (LDN) approach in the Shazand Watershed, Iran. *The Science of the Total Environment*, 2020, 698: 134319.
- [4] Wunder S, Bodle R. Achieving land degradation neutrality in Germany: implementation process and design of a land use change based indicator. *Environmental Science & Policy*, 2019, 92: 46-55.
- [5] Cowie A, Waters C, Garland F, Orgill S, Baumber A, Cross R, O'Connell D, Metternicht G. Assessing resilience to underpin implementation of Land Degradation Neutrality: a case study in the rangelands of western New South Wales, Australia. *Environmental Science and Policy*, 2019, 100: 37-46.
- [6] Gichenje, Muñoz-Rojas, Pinto-Correia. Opportunities and limitations for achieving land degradation-neutrality through the current land-use policy framework in Kenya. *Land*, 2019, 8(8): 115.
- [7] Gilbey B, Davies J, Metternicht G, Magero C. Taking Land Degradation Neutrality from concept to practice: early reflections on LDN target setting and planning. *Environmental Science & Policy*, 2019, 100: 230-237.
- [8] Barkemeyer R, Stringer L C, Hollins J A, Josephi F. Corporate reporting on solutions to wicked problems: sustainable land management in the

- mining sector. *Environmental Science & Policy*, 2015, 48: 196-209.
- [9] Reygadas Y, Spera S A, Salisbury D S. Effects of deforestation and forest degradation on ecosystem service indicators across the Southwestern Amazon. *Ecological Indicators*, 2023, 147: 109996.
- [10] Cha S, Kim C B, Kim J, Lee A L, Park K H, Koo N, Kim Y S. Land-use changes and practical application of the land degradation neutrality (LDN) indicators: a case study in the subalpine forest ecosystems, Republic of Korea. *Forest Science and Technology*, 2020, 16(1): 8-17.
- [11] 于昊辰, 卞正富, 陈浮. 矿山土地生态动态恢复机制: 基于 LDN 框架的分析. *中国土地科学*, 2020, 34(9): 86-95.
- [12] Cong W W, Li X Y, Pan X B, Liu X P, Lu Q, Wang F. A new scientific framework of dryland ecological quality assessment based on IOAO principle. *Ecological Indicators*, 2022, 136: 108595.
- [13] Dengiz O. Potential impact of land use change on land productivity dynamics with focus on land degradation in a sub-humid terrestrial ecosystem. *Theoretical and Applied Climatology*, 2018, 133(1): 73-88.
- [14] Kapović Solomun M, Barger N, Cerda A, Keesstra S, Marković M. Assessing land condition as a first step to achieving land degradation neutrality: a case study of the Republic of Srpska. *Environmental Science & Policy*, 2018, 90: 19-27.
- [15] Assessment M E. *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [16] 李晓松, 卢琦, 贾晓霞. 地球大数据促进土地退化零增长目标实现: 实践与展望. *中国科学院院刊*, 2021, 36(8): 896-903.
- [17] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [18] 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. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [19] Abd Elbasit Mohamed A M, Jasper K, Gang L, AbuZreig Majed M, Rashid H. Valuation of ecosystem services in South Africa, 2001—2019. *Sustainability*, 2021, 13(20): 11262.
- [20] 孙建国, 王涛, 颜长珍. 气候变化和人类活动在榆林市荒漠化过程中的相对作用. *中国沙漠*, 2012, 32(3): 625.
- [21] 白欣. 榆林市植被覆盖度时空变化及影响因素分析[D]. 西安: 长安大学, 2022.
- [22] 高荣, 姚巍, 石长春, 高天健, 马存平, 赵斐, 张麦芳. 近 20 年榆林市沙化与荒漠化土地变化及其驱动因素分析. *陕西林业科技*, 2022, 50(5): 73-80.
- [23] 刘彦随, Jay Gao. 陕北长城沿线地区土地退化态势分析. *地理学报*, 2002, 57(4): 443-450.
- [24] 贾科利, 常庆瑞. 陕北农牧交错带土地荒漠化景观格局动态监测研究. *水土保持学报*, 2007, 21(2): 188-191.
- [25] 王罡, 赵波, 李羽佳. 毛乌素沙漠即将从陕西版图“消失” 陕西日报, 2020-04-23(1).
- [26] 孟庆涛. 3S 支持下的土地利用/覆被变化动态监测——以内蒙古乌兰布市为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2005.
- [27] Sims N C, England J R, Newnham G J, Alexander S, Green C, Minelli S, Held A. Developing good practice guidance for estimating land degradation in the context of the United Nations Sustainable Development Goals. *Environmental science & policy*, 2019: 92.
- [28] 邓元杰, 姚顺波, 侯孟阳, 张童越, 鲁亚楠, 龚直文, 王怡菲. 退耕还林还草工程对生态系统碳储存服务的影响——以黄土高原丘陵沟壑区子长县为例. *自然资源学报*, 2020, 35(4): 826-844.
- [29] 刘冠, 李国庆, 李洁, 张艳如, 鲁奇, 杜盛. 基于 InVEST 模型的 1999—2016 年麻塔流域碳储量变化及空间格局研究. *干旱区研究*, 2021, 38(1): 267-274.
- [30] 王天福, 龚直文, 邓元杰. 基于土地利用变化的陕西省植被碳汇提质增效优先区识别. *自然资源学报*, 2022, 37(5): 1214-1232.
- [31] 葛杰. 陕西省气象干旱时空变化特征与成因分析[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [32] Giuliani G, Chatenoux B, Benvenuti A, Lacroix P, Santoro M & Mazzetti P. Monitoring land degradation at national level using satellite Earth Observation time-series data to support SDG15 - exploring the potential of data cube. *地球大数据(英文)*, 2020, 4(1): 20.
- [33] 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.
- [34] 李佳鸣, 冯长春. 基于土地利用变化的生态系统服务价值及其改善效果研究——以内蒙古自治区为例. *生态学报*, 2019, 39(13): 4741-4750.
- [35] Chen J H, Yan F, Lu Q. Spatiotemporal variation of vegetation on the qinghai-tibet plateau and the influence of climatic factors and human activities on vegetation trend (2000—2019). *Remote Sensing*, 2020, 12(19): 3150.
- [36] 杨春霞, 马慧. 榆林市退耕还林工程取得的成果及发展对策. *现代农业科技*, 2014(14): 182-188.
- [37] 张琨, 吕一河, 傅伯杰. 黄土高原典型区植被恢复及其对生态系统服务的影响. *生态与农村环境学报*, 2017, 33(1): 23-31.
- [38] 刘逸滨, 刘宝元, 成城, 张加琼, 陆绍娟. 退耕还林草 20 年来榆林市植被覆盖度时空变化及影响因素分析. *水土保持学报*, 2022, 36(2): 197-208, 218.
- [39] 卢琦, 雷加强, 李晓松, 杨有林, 王锋. 大国治沙: 中国方案与全球范式. *中国科学院院刊*, 2020, 35(6): 656-664.