



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

基于土地利用的北方农牧交错区碳固定和土壤保持时空变化

常虹, 杨武, 石磊, 刘亚红, 邱晓, 伊风艳, 孙海莲

引用本文:

常虹, 杨武, 石磊, 等. 基于土地利用的北方农牧交错区碳固定和土壤保持时空变化[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(3): 484–493.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0310>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西部绿洲城市土地利用转型的生态环境效应——以乌鲁木齐市为例

阿依吐尔逊·沙木西, 刘新平, 祖丽菲娅·买买提, 陈前利, 冯彤

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 149–159 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0113>

京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 刘施含, 冯喆

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 583–593 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0595>

基于MCE-CA耦合模型的嘉兴市土地利用预测情景下生态敏感性评价

荣月静, 张慧, 赵显富

农业资源与环境学报. 2015(4): 343–353 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2014.0359>

黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究

戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 张英男

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 319–327 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0066>

京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析

苏锐清, 曹银贵, 王文旭, 邱敏, 宋蕾

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 574–582 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0266>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

常虹, 杨武, 石磊, 等. 基于土地利用的北方农牧交错区碳固定和土壤保持时空变化[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(3): 484–493.

CHANG Hong, YANG Wu, SHI Lei, et al. Spatial and temporal changes of carbon sequestration and soil conservation based on land-use in the farming pastoral ecotone of north China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(3): 484–493.



开放科学 OSID

基于土地利用的北方农牧交错区 碳固定和土壤保持时空变化

常虹^{1,2,3}, 杨武⁴, 石磊^{2,3}, 刘亚红^{2,3}, 邱晓^{2,3}, 伊风艳^{2,3}, 孙海莲^{2,3*}

(1. 内蒙古大学生态与环境学院, 呼和浩特 010021; 2. 内蒙古自治区农牧业科学院, 呼和浩特 010031; 3. 生态草业可持续发展内蒙古自治区工程研究中心, 呼和浩特 010031; 4. 浙江大学环境与资源学院, 杭州 310058)

摘要:为探讨农牧交错区土地利用变化及其对生态系统服务的影响,以内蒙古达茂旗为研究区,通过土地利用转移矩阵和变化动态度的计量,采用模型模拟生态系统服务碳固定、土壤保持功能的方法,分析2000—2015年该旗碳固定和土壤保持演变特征。结果表明:草地、未利用地和耕地是主要的土地利用类型,16年间,草地、建设用地、未利用地、林地面积明显增加,耕地面积显著减少。土地利用类型变化主要是从耕地向草地、从草地向建设用地转移。2000—2015年,全旗碳固定量从183.25万t减少到181.65万t,土壤保持量从170.58万t减少到107.32万t,这一变化主要是由于研究区草地质量的降低使得单位面积提供的生态系统服务减少。各土地利用类型提供的碳固定和土壤保持均表现为草地>耕地>未利用地>建设用地>灌木林>林地>盐碱地>水域>沙漠。综上,在今后的生态治理中,应考虑在扩大草地面积、保护农田的基础上,适度利用草地、农田等生产生活用地,提高草地质量,科学优化土地利用结构,保障生态系统良性演化,提高生态系统服务功能。

关键词:土地利用变化;生态系统服务;碳固定;土壤保持;农牧交错区

中图分类号:F323.211

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)03-0484-10

doi: 10.13254/j.jare.2020.0310

Spatial and temporal changes of carbon sequestration and soil conservation based on land-use in the farming pastoral ecotone of north China

CHANG Hong^{1,2,3}, YANG Wu⁴, SHI Lei^{2,3}, LIU Ya-hong^{2,3}, QIU Xiao^{2,3}, YI Feng-yan^{2,3}, SUN Hai-lian^{2,3*}

(1. College of Ecology and Environment, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China; 2. Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Hohhot 010031, China; 3. Inner Mongolia Engineering Research Center of Ecological Grass Industry Sustainable Development, Hohhot 010031, China; 4. College of Environmental and Resource Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: To provide scientific support for the planning and management of land resources in the farming pastoral ecotone, land-use change and ecosystem services evaluation should be carried out. In this study, the land-use transfer matrix and change dynamic degree of Damao Banner from 2000 to 2015 were measured, and the evolution characteristics of ecosystem services soil conservation and carbon sequestration were analyzed for the same period. The results showed that grassland, unused land, and cropland were the main types of land-use. In the past 16 years, grassland, building land, unused land, and forest areas had increased significantly, whereas cropland areas had

收稿日期:2020-06-12 录用日期:2020-08-17

作者简介:常虹(1983—),女,山西右玉人,硕士,助理研究员,主要从事草地生态学研究。E-mail:1258400875@qq.com

*通信作者:孙海莲 E-mail:1272933369@qq.com

基金项目:内蒙古科技厅关键技术攻关项目(2019GG012);国家重点研发计划项目(2016YFC0503404);内蒙古科技创新引导项目(KCBI2018061)

Project supported: Key Technology Project of Inner Mongolia Science and Technology Department (2019GG012); The National Science and Technology Major Project of the Ministry of Science and Technology of China (2016YFC0503404); Inner Mongolia Science and Technology Innovation Guide Project (KCBI2018061)

decreased significantly. Land-use types had mainly changed from cropland to grassland and from grassland to building land. From 2000 to 2015, carbon sequestration throughout the banner decreased from 1 832 500 t to 1 816 500 t, and soil conservation decreased from 1 705 800 t to 1 073 200 t. These changes were mainly due to the decrease in grassland quality in the study area, which resulted in a decrease in ecosystem services provided per unit area. The services of carbon sequestration and soil conservation provided by various land-use types were grassland > cropland > unused land > building land > shrub > forest > saline alkali land > water > sand. In future ecological management, grassland and cropland areas should be used moderately to protect and expand production land. Moreover, the quality of grassland and cropland should be improved and the land-use structure should be optimized scientifically to effectively improve ecosystem services.

Keywords: land-use change; ecosystem service; carbon sequestration; soil conservation; farming pastoral ecotone

生态系统服务是生态系统结构、过程和功能直接或间接为人类提供的生命支持产品和服务,包括供给服务、调节服务、文化服务和支持服务^[1]。这些服务的可持续供给是经济社会可持续发展的基础,为人类提供着直接福利。生态系统产品包括农业产品、工业原材料,以及支撑与维持人类生存环境的生态服务,如气候调节、水源涵养、水土保持、土壤肥力更新、养分循环、固碳释氧等^[2-4]。土地利用变化,如土地利用类型和方式的改变,使区域生态环境发生相应改变,直接影响生态系统过程、结构和质量的演变,导致生态系统服务发生改变^[5-6]。合理的土地利用方式有利于促进生态向良性方向发展,使生态系统处于健康状态,提供稳定有序的生态系统服务,反之,则会导致生态系统恶化,生态系统服务逐渐弱化甚至消失。随着社会经济发展的不断驱动,土地利用类型和方式正在发生快速转变^[7-10],土地利用格局和覆被状况变化显著,土地利用变化下生态系统服务评估成为具有重要意义的研究课题^[11]。

目前,土地利用变化对生态系统服务的影响已成为研究热点,学术界从多个角度开展了研究,多数研究探讨土地利用类型及生态系统服务价值时空演变^[12-17],还有学者从土地利用变化对生态系统服务价值影响切入开展实证研究^[14-17]。近年来涌现出以关注重大生态工程及政策实施、城镇化扩展为主要特征的土地利用变化对生态系统服务的影响研究,其中,雷金睿等^[18]应用空间自相关理论定量分析了土地利用与生态系统服务价值的关联模式及规律,杨清可等^[7]采用“三生空间”概念分析了长江三角洲土地利用功能转型与生态系统服务价值时空演变,孔君洽等^[19]基于土地利用变化对荒漠绿洲碳储量动态影响进行评估,陈淑青^[20]指出土地利用方式对区域生态安全具有重要影响,上述研究均具有代表性。但相关研究主要聚焦在城市化发展较快、土地利用变化剧烈的发达地区^[12-13],近年来也出现了在气候恶劣、生态脆

弱、经济欠发达地区的相关研究^[14-17],关注生态环境特殊且敏感的北方农牧交错区的研究较薄弱。农牧交错区处于半干旱地区向半湿润地区、草原牧区向农耕区的过渡地带,具有草地、耕地、林地、水域、荒漠等多种土地利用类型,植被类型及生态景观十分特殊,是陆地生态系统中较为敏感的地段,对区域环境变化和人为干扰反应十分明显^[21],且随着经济的快速发展和人类对农牧交错区资源的过度开发利用,该区域的生态环境受到严重破坏,生态系统服务功能严重受损,为人类提供的福祉也大幅减少,直接威胁到社会的可持续发展^[22-23]。密切关注这一区域土地利用变化对生态系统服务的影响在构筑北方生态安全屏障和支撑农牧交错区经济发展方面具有重要的作用。

近年来,国家对北方农牧交错区实施退耕还林还草等重大生态工程,该区域土地利用类型发生了显著变化,对生态系统结构和功能产生了深刻影响。达尔罕茂明安联合旗(简称达茂旗)位于北方农牧交错区中西部,是北方农牧交错区典型代表区域,该旗自2000年以来实施了一系列生态治理工程和保护政策,2002年实施了京津风沙源工程,2008年实施了禁牧政策,2011年实施草原生态保护补助奖励政策。政策实施以来,达茂旗土地利用结构发生了显著变化,是研究土地利用变化对生态系统服务影响的典型代表。本研究以达茂旗为例,通过土地利用类型转移矩阵、土地利用变化动态计量了2000—2015年达茂旗土地利用变化特征,选择了区域内最受关注且生态功能较强的碳固定和土壤保持2种生态系统服务分析其演变状况,以为农牧交错区科学规划管理土地资源、精准实施生态恢复与保护工程提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

达茂旗位于内蒙古自治区中西部,109°16′~111°25′E、41°20′~42°40′N之间,属于阴山北麓农牧交错

区中西部区域。总面积 18 177 km², 辖 7 镇、2 乡、3 苏木, 总人口 12 万。海拔 1 050~1 730 m 之间, 地形南高北低, 由西南向东北倾斜, 丘陵、低山间盆地交错分布, 南部为丘陵区, 中西部有低山, 北部为高原及台地。属中温带半干旱大陆性气候, 年平均降水量 255.6 mm, 且年际变化悬殊、地区分布不均, 东南部大于西北部, 年平均蒸发量为 2 200~2 800 mm, 蒸发量是降水量的 10~13 倍, 年均气温 3.4 ℃。主要风向为北风和西北风。土壤共分 6 个土类、14 个亚类、144 个土属、165 个土种, 主要以栗钙土、棕钙土为主, 明显地带性分布, 草甸土、潮土、盐土、石质土为非地带性土壤。土地利用类型以草地、耕地为主, 草地主要分布在中部和北部, 面积约为 1.5 万 km², 耕地主要分布在南部, 面积约为 0.08 万 km² (图 1)。

1.2 研究方法

1.2.1 土地利用变化

土地利用动态度模型是研究区域特定时间内不同土地利用类型的变化幅度和速率, 包括单一土地利用动态度和综合土地利用动态度^[17]。

单一土地利用动态度 (K) 表示某一类土地利用类型面积的年变化率, 反映了该类土地变化的剧烈程度。模型表达式为:

$$K = \frac{S_j - S_i}{S_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: i 为第 i 类土地利用类型; S_i 、 S_j 分别为研究期初和研究期末某一土地利用类型的面积, km²; T 为研究

时段长度, a。

综合土地利用动态度 (L) 表示研究区内所有土地资源即综合土地利用变化的年变化率。模型表达式为:

$$L = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \Delta dS_{i-j}}{2 \sum_{i=1}^n dS_i} \right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: dS_i 为研究初期第 i 类土地利用类型面积; ΔdS_{i-j} 表示研究时段第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值, km²; n 为土地利用类型总数; T 为研究时段长度, a。

土地利用转移矩阵是对各土地利用类型间相互转化的数量和方向定量研究的主要方法。本研究采用土地利用转移矩阵表征土地利用变化的结构特征和各类型间的转移方向。利用 ArcGIS 软件将 2000、2015 年土地覆被数据进行空间叠加, 构建区域土地利用的转移矩阵, 计算土地类型转入/转出贡献率^[15], 分析 2000—2015 年的土地空间格局变化特征和驱动机制。土地类型转入/转出贡献率计算方法如下:

$$L_i^+ = \frac{\sum_{j=i}^n S_{ji}}{S_i} \times 100\% \quad (3)$$

$$L_i^- = \frac{\sum_{j=i}^n S_{ij}}{S_i} \times 100\% \quad (4)$$

式中: L_i^+ 为除第 i 类外的其他土地类型向第 i 类土地类

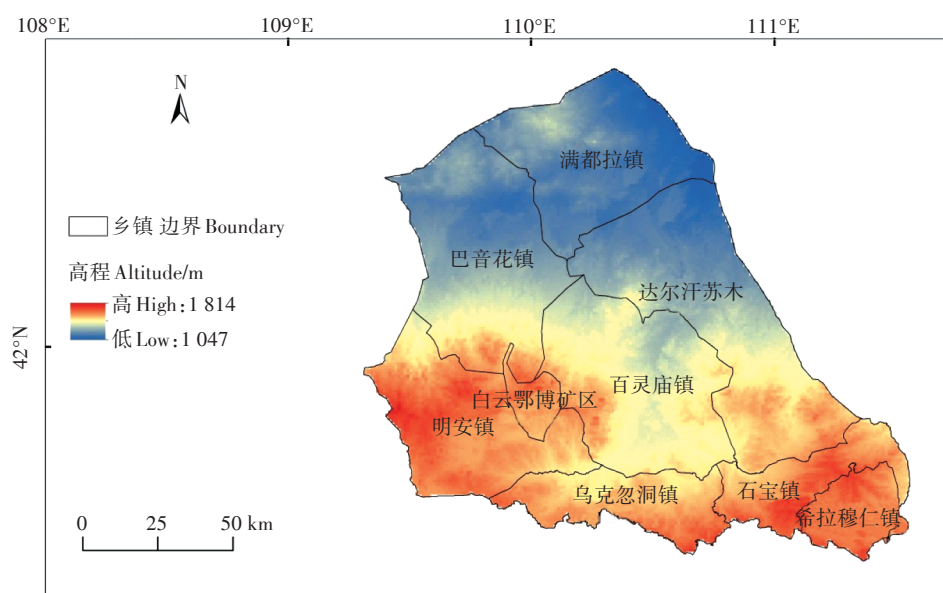


图 1 达茂旗研究区域示意图

Figure 1 Sketch map of Damao Banner

型转入的面积占土地总转移面积的比例; S_{ji} 为第*j*种土地类型向第*i*种土地类型转移的面积; S_i 为土地类型转移的总面积; n 为土地利用类型数量; L_i 为第*i*类向除第*i*类外的其他土地类型转移的面积占土地总转移面积的比例; S_{ij} 为第*i*种土地类型向第*j*种土地类型转移的面积。

1.2.2 碳固定和土壤保持评估

达茂旗地处阴山北麓农牧交错区,属于干旱荒漠区,草原面积占总面积的50%以上。因此本研究选取碳固定、土壤保持2类关键生态系统服务功能进行评估^[15]。

固碳量计算:生态系统CO₂固定和O₂释放以净第一性生产力和土壤呼吸损失的碳量为基础,通过质量平衡和光合作用方程,估算固碳量。根据光合作用方程,每生产1 kg干物质能释放O₂ 1.19 kg,生态系统固定CO₂ 1.63 kg。

$$6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2 \quad (5)$$

$$Q_{\text{icO}_2} = 1.63 \times \text{NPP} \quad (6)$$

式中: Q_{icO_2} 为生态系统固碳量,t;NPP为生态系统净初级生产力,t,采用改进的CASA模型反演^[24]。

土壤保持计算:运用修正的通用土壤流失方程(RUSLE)来估算潜在土壤侵蚀量和实际土壤侵蚀量,两者之差即为生态系统土壤保持量^[25]。其中,实际土壤侵蚀是指当前地表覆盖和水土保持因素下的土壤侵蚀量,潜在土壤侵蚀量是生态系统在没有植被覆盖和水土保持措施下可能产生的侵蚀量($C=1, P=1$),土壤保持量即为:

$$A_c = R \times K \times L \times S \times (1 - C \times P) \quad (7)$$

式中: A_c 为单位面积土壤保持量,t·hm⁻²·a⁻¹;R为降雨侵蚀力因子,用多年平均年降雨侵蚀力指数表示;K为土壤可蚀性因子,表示标准小区降雨侵蚀力形成的单位面积上的土壤流失量;L为坡长因子;S为坡度因子;C为植被覆盖因子;P为土壤保持措施因子。各因

子的计算方法参考文献[25–26]。

1.2.3 数据来源

本研究使用的数据主要包括:达茂旗2000、2015年降水量和月降水量等气象数据,土壤机械组成,土壤有机质数据,30 m DEM数据,2000、2015年MODIS数据(250 m分辨率的16 d最大值合成植被指数MOD13Q1产品),2000、2015年土地利用数据,达茂旗行政边界数据,详见表1。

2 结果与分析

2.1 2000—2015年达茂旗土地利用变化

达茂旗土地利用类型包括草地、耕地、灌木林、建设用地、林地、未利用地、沙漠、水域和盐碱地。该区域地处农牧交错区,受气候因素和地理条件的影响,草地是主要的土地利用类型,占全旗总面积的80%以上,构成了该区域生态系统的主体;其次是未利用地,占全旗总面积的8%以上;耕地面积占全旗总面积的6%以上(图2)。

从各地类面积变化来看,2000—2015年,建设用地、林地、草地和耕地的面积变化最明显,其中建设用地、林地、草地面积各增加86.90、18.80、191.03 km²,分别增加了64.05%、38.90%、1.27%;而耕地面积减少314.85 km²,减幅27.83%。根据土地利用数据计算土地利用变化动态度(表2),从单一土地利用动态度来看,2000—2015年,建设用地和林地的增幅较大,动态度分别为4.27%、2.59%。耕地、灌木林减幅较大,动态度分别为-1.86%、-1.01%,转为草地和建设用地。整体来看,综合土地利用动态度为0.12%,土地利用变化较平缓。

从土地利用转移矩阵分析(表3)来看,2000—2015年,土地利用类型变化主要是从耕地向草地、从草地向建设用地转移。转入贡献率最高的土地利用类型是草地,转入面积为368.12 km²,转入贡献率为

表1 数据来源表

Table 1 Principal data sources

数据名称 Data	精度 Resolution	来源 Source	年份 Year
年降水量和月降水量等气象数据	1 km	中国气象数据网、内蒙古自治区气象局	2000、2015
土壤机械组成	1 km	寒区旱区科学数据中心	—
土壤有机质含量	1 km	寒区旱区科学数据中心	—
土地利用	100 m	中国科学院资源环境科学数据中心	2000、2015
DEM	30 m	地理空间数据云	—
植被指数 MOD13Q1 产品	250 m	https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/	2000、2015
县级行政边界	1:100 万	环境保护部卫星环境应用中心	2000

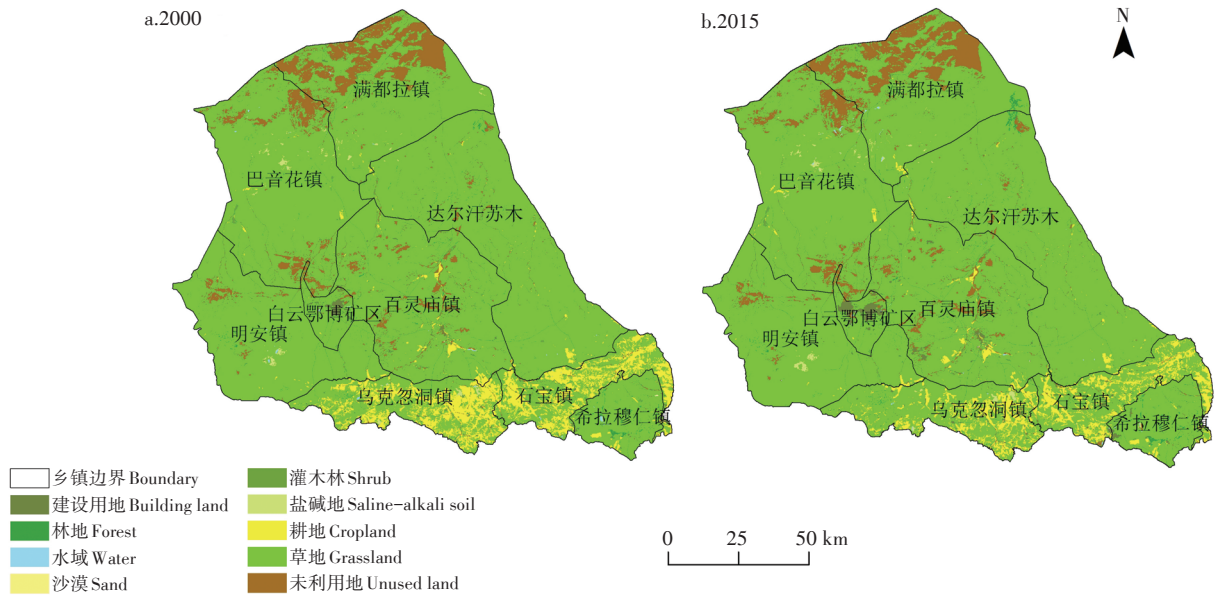


图2 2000—2015年土地利用类型及各类型面积变化

Figure 2 Land use types and area change of each type from 2000 to 2015

表2 2000—2015年达茂旗土地利用类型面积变化

Table 2 Area change of different land use types in Damao Banner from 2000 to 2015

土地利用类型 Land use types	面积 Area/km ²		面积变化 Change in area/km ²	土地利用动态度 Land use dynamics/%
	2000	2015		
草地	14 998.68	15 189.71	191.03	0.08
耕地	1 131.45	816.60	-314.85	-1.86
灌木林	56.39	47.86	-8.53	-1.01
建设用地	135.67	222.57	86.90	4.27
林地	48.33	67.13	18.80	2.59
未利用地	1 462.00	1 486.11	24.11	0.11
沙漠	1.02	1.47	0.45	2.91
水域	17.26	15.08	-2.18	-0.84
盐碱地	57.91	62.20	4.28	0.49

表3 2000—2015年达茂旗土地利用变化转移矩阵

Table 3 Land use change transfer matrix in Damao Banner from 2000 to 2015

年份 Year	土地利用类型 Land use types	2015转移面积Transfer area in 2015/km ²									转出面积 Transfer out/km ²	转出贡献率 Transfer out contribution rate/%
		草地 Grassland	耕地 Cropland	灌木林 Shrub	建设用地 Building land	林地 Forest	未利用地 Unused land	沙漠 Sand	水域 Water	盐碱地 Saline-alkali land		
2000	草地	14 821.59	40.89	0.27	79.00	18.40	29.12	0	4.85	4.57	177.09	31.14
	耕地	352.28	774.39	0	3.17	0.74	0.83	0	0.02	0.02	357.06	62.78
	灌木林	6.17	0.04	47.59	2.50	0	0	0	0.08	0	8.80	1.55
	建设用地	0	0	0	135.67	0	0	0	0	0	0	0
	林地	0.36	0	0	0	47.97	0	0	0	0	0.36	0.06
	未利用地	2.33	0.20	0	1.98	0	1 453.14	0.45	3.65	0.25	8.86	1.56
	沙漠	0	0	0	0	0	0	1.02	0	0	0	0
	水域	4.71	1.08	0	0.25	0.02	3.02	0	4.70	3.48	12.56	2.21
	盐碱地	2.26	0	0	0	0	0	0	1.77	53.88	4.03	0.71
	转入面积/km ²	368.12	42.21	0.27	86.90	19.16	32.97	0.45	10.38	8.32	568.76	—
	转入贡献率/%	64.72	7.42	0.05	15.28	3.37	5.80	0.08	1.82	1.46	—	—

64.72%,其主要转入来源是耕地(占草地转入总量的95.70%)。转入贡献率仅次于草地的是建设用地,转入面积为86.90 km²,转入贡献率为15.28%,其主要转入来源是草地(占建设用地转入总量的90.91%)。转入贡献率最小的为灌木林和沙漠,仅为0.05%、0.08%。转出贡献率最高的土地利用类型是耕地,转出面积为357.06 km²,转出贡献率为62.78%,主要转为草地。转出贡献率仅次于耕地的土地利用类型是草地,转出面积为177.09 km²,转出贡献率为31.14%,主要转为建设用地。转出贡献率最小的为建设用地和沙漠,均为0。

2.2 2000—2015年生态系统服务时空分布与变化

达茂旗碳固定(图3)和土壤保持服务(图4)空间分布上基本相似,南部高于北部区域。从时间上看(表4),2000—2015年,全旗碳固定量从183.25万t减少到181.65万t,减少1.6万t,平均每平方千米碳固定量由102.33 t减少到101.43 t,降低了0.87%;全旗土壤保持量从170.58万t减少到107.32万t,减少63.26万t,平均每平方千米土壤保持量由1524 t减少到959 t,降低了37.08%。从全旗范围上看,2000—2015年,碳固定在北部区域满都拉镇、巴音花镇呈增加趋势,南部区域呈降低趋势,而土壤保持在全旗范围内

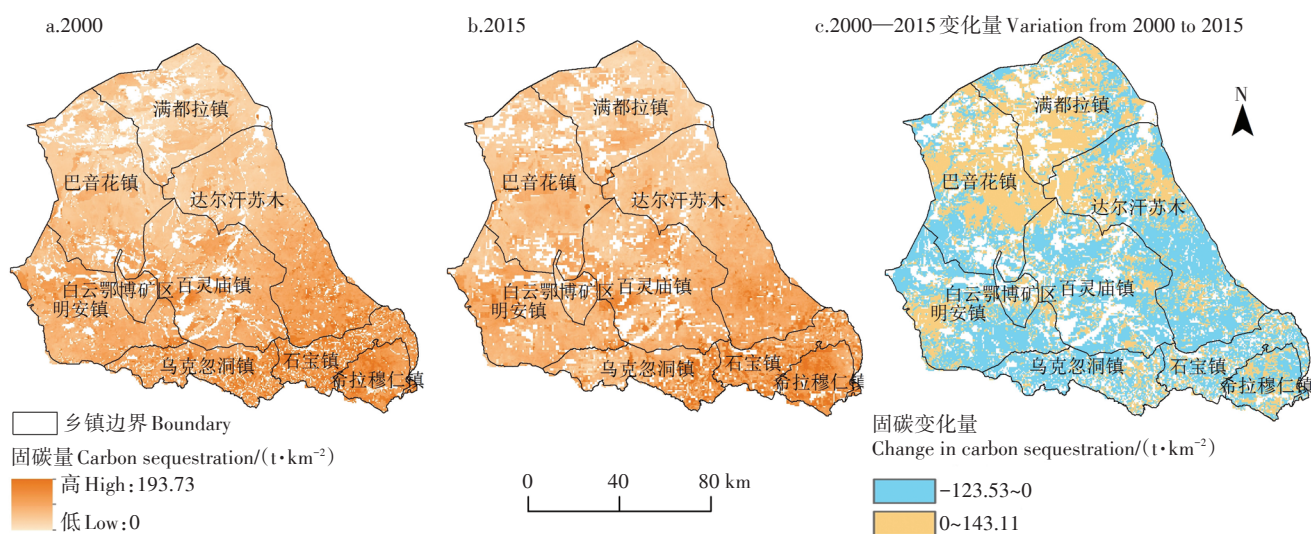


图3 达茂旗2000—2015年碳固定服务变化

Figure 3 Change of carbon sequestration service in Damao Banner from 2000 to 2015

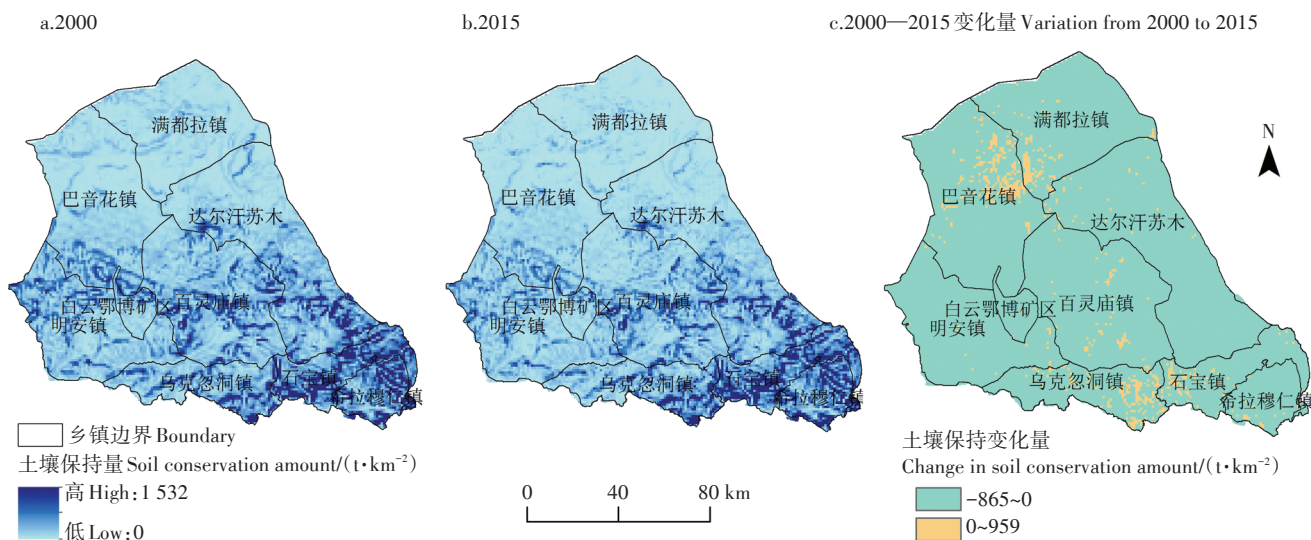


图4 达茂旗2000—2015年土壤保持服务变化

Figure 4 Changes of soil conservation service in Damao Banner from 2000 to 2015

表4 2000—2015年达茂旗生态系统服务变化

Table 4 Ecosystem services changes in Damao Banner from 2000 to 2015

生态系统服务 Ecosystem services	2000		2015		变化量 Variable quantity/ 10^4 t	变化率 Rate of change/%
	总量 Gross/ 10^4 t	单位面积量 Quantity per unit area/($t \cdot km^{-2}$)	总量 Gross/ 10^4 t	单位面积量 Quantity per unit area/($t \cdot km^{-2}$)		
碳固定	183.25	102.33	181.65	101.43	-1.60	-0.87
土壤保持	170.58	1 524	107.32	959	-63.26	-37.08

呈降低趋势,只在西北部巴音花镇和南部的乌克忽洞镇和石宝镇部分区域呈增加趋势。

2.3 2000—2015年各土地利用类型生态系统服务变化

2000—2015年,由于受到生态保护工程和政策的实施以及城市化发展等因素的影响,达茂旗土地利用结构发生显著变化,对该区域的生态系统服务产生明显影响。同时,受降水等气候条件和人为因素的影响,历年的生态系统服务也发生改变。

2000—2015年不同土地利用类型的生态系统服务变化见表5。不论碳固定还是土壤保持,各土地利用类型提供的服务量均表现为草地>耕地>未利用地>建设用地>灌木林>林地>盐碱地>水域>沙漠。草地作为面积占比80%以上的土地利用类型,碳固定和土壤保持服务量所占比例最大,分别占该区域的83.50%和79.54%。未利用地面积占该区域总面积的8%,但碳固定和土壤保持服务量分别仅占该区域的4%、5%。耕地面积占该区域总面积的6%,碳固定和土壤保持服务量却分别占该区域的10.73%、14.61%,可见耕地提供相关生态系统服务的能力较强。其余土地利用类型,如建设用地、灌木林、林地、盐碱地、水域、沙漠,碳固定和土壤保持服务量占该区域服务量的比例较小,均不足1%,其中沙漠最小,占比为0。

就碳固定服务来看,2000—2015年,草地、耕地、灌木林、建设用地、林地的碳固定量均不同程度减少,其中草地的碳固定量减少最多,为2.04万t;未利用地、盐碱地的碳固定量有所增加。在土壤保持方面,2000—2015年,各土地利用类型的土壤保持量均不同程度减少,其中草地的土壤保持量减少最多,为53.14万t,其次为耕地和未利用地,分别减少4.63万t和4.52万t(表5)。

3 讨论

达茂旗作为农牧交错区的典型区域,草地和耕地是其主要的土地利用方式。2000—2015年,达茂旗各项生态恢复治理工程和生态保护政策的实施对该区域土地利用结构变化具有重要影响,且受到城市化发展的影响,该地区土地利用发生了明显的变化,表现为建设用地、林地、草地面积大幅增加,耕地面积显著减少。且草地的主要转入来源是耕地,建设用地的主要转入来源是草地。土地利用动态度表现为建设用地和林地的增幅较大,耕地、灌木林的减幅较大。由此可见,该旗生态恢复治理工程及政策,尤其是退耕还林、退牧还草政策取得了阶段性成果,草地、林地面积逐渐增加,达茂旗土地利用结构逐渐优化,区域

表5 2000—2015年达茂旗各地类生态系统服务变化

Table 5 Changes in ecosystem services in Damao Banner from 2000 to 2015

土地利用类型 Land use types	碳固定 Carbon sequestration					土壤保持 Soil conservation				
	服务量 Quantity/ 10^4 t		百分比 Proportion/%		变化量 Variation/ 10^4 t	服务量 Quantity/ 10^4 t		百分比 Proportion/%		变化量 Variation/ 10^4 t
	2000	2015	2000	2015		2000	2015	2000	2015	
草地	153.71	151.67	83.88	83.50	-2.04	138.51	85.37	81.20	79.54	-53.14
耕地	19.69	19.48	10.74	10.73	-0.20	20.31	15.68	11.91	14.61	-4.63
灌木林	0.51	0.47	0.28	0.26	-0.04	0.39	0.26	0.23	0.24	-0.13
建设用地	1.17	1.08	0.64	0.60	-0.08	1.60	0.95	0.94	0.89	-0.65
林地	0.45	0.41	0.25	0.23	-0.04	0.33	0.21	0.19	0.20	-0.12
未利用地	7.40	8.12	4.04	4.47	0.72	9.22	4.71	5.41	4.39	-4.52
沙地	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0
水域	0.10	0.11	0.06	0.06	0.01	0.06	0.05	0.04	0.04	-0.01
盐碱地	0.22	0.29	0.12	0.16	0.07	0.14	0.09	0.08	0.08	-0.05

生态环境趋于改善。随着城市化的发展,建设用地持续扩张,虽然占研究区面积比例仅为1.24%,土地利用开发强度还不高,但其带来的溢出效应对生态系统造成微弱的负面影响,且建设用地的主要转入来源为草地,可见该旗草地转为建设用地的现象依然严峻。研究结果与已有农牧交错区相关研究相互印证^[27-28],可见达茂旗近年来土地利用变化在农牧交错区具有代表性。

2000年和2015年,达茂旗全旗碳固定量分别为183.25万t和181.65万t,土壤保持量分别为170.58万t和107.32万t。与其他地区相比^[29],农牧交错区地处从农区向牧区的过渡地带,在气候、植被、地形等方面表现出强烈的过渡特征,区域生态环境多样且脆弱,但提供的生态系统服务非常可观,对维系当地生产及人民生活起到重要作用。全旗碳固定和土壤保持服务空间分布上呈南部区域高于北部区域的态势,这主要由于:一方面,南部区域降雨量大于北部区域;另一方面,南部区域植被覆盖率较北部区域高,南部区域草地类型为草甸草原、典型草原、耕地,而北部区域草地类型主要是荒漠草原。

2000—2015年,全旗碳固定量减少1.6万t,平均每平方千米碳固定量由102.33t减少到101.43t,降低了0.87%;全旗土壤保持量减少63.26万t,平均每平方千米土壤保持量由1524t减少到959t,降低了37.08%。经分析可知,虽然北部部分区域碳固定和土壤保持服务呈增加趋势,但全旗总体仍呈降低趋势。近年来生态恢复工程及政策的实施,使得该区域生态有所恢复,但是当地居民对草地和农田掠夺式的经营方式仍然没有转变,使本就脆弱的生态进一步恶化,草地和林地的面积增加,但质量没有进一步提高,总体退化的趋势还没有得到完全遏制,单位面积土地提供的生态系统服务降低。这与肖建设等^[17]在黄河源区玛多县的研究结果一致。碳固定在北部区域满都拉镇、巴音花镇呈增加趋势,这是由于该区域土地利用类型由2000年的未利用地转变为2015年的草地,植被覆盖度增加,碳固定功能增强。土壤保持在全旗范围内呈降低趋势,只在西北部巴音花镇和南部的乌克忽洞镇、石宝镇部分区域呈增加趋势,该区域分布着零星的沙漠,2000—2015年,该区域的沙漠转变为草地,土壤保持功能增加。该旗在增加草地面积的同时应注意提高草地的质量,并加大农田的投入与保护。

达茂旗各土地利用类型提供的碳固定和土壤保

持服务量均表现为草地>耕地>未利用地>建设用地>灌木林>林地>盐碱地>水域>沙漠。草地碳固定和土壤保持服务量所占比例最大。耕地碳固定和土壤保持服务量分别占该区域的10.73%、14.61%。其余土地利用类型,如建设用地、灌木林、林地、盐碱地、水域、沙漠,碳固定和土壤保持服务量占该区域服务量的比例均不足1%。草地和农田生态系统是该旗的主体生态系统,也是当地农牧民主要依赖的生计来源。该地区为温带半干旱大陆性气候,是适宜草地生长的生境。生态系统服务能力的提高应考虑扩大草地面积,保护农田,适度利用草地、农田等生产生活用地,结合当地生态系统服务功能的主导需求或均衡需求,科学优化土地利用结构,保障生态系统朝着良性方向演化,使该土地利用情景下的生态服务达到最优。

此外,本研究针对达茂旗典型生态系统服务碳固定和土壤保持进行分析,未就生态系统服务中的其他服务类型,如水源涵养、净化空气等功能进行计算分析,这将是下一步研究工作的重点,并在此基础上进一步对土地利用变化的驱动机制等进行深入探讨。

4 结论

本研究选取农牧交错区典型区域达茂旗为研究区,探讨了2000—2015年达茂旗土地利用变化与生态系统服务演变特征,结论如下:

(1)草地是主要的土地利用类型,占全旗总面积的80%以上,其次是未利用地和耕地。16年间,草地、建设用地、未利用地、林地面积明显增加,而耕地面积大幅减少。

(2)建设用地和林地的土地利用动态度分别为4.27%、2.59%,增幅较大。耕地、灌木林的土地利用动态度分别为-1.86%、-1.01%,减幅较大。土地利用类型变化主要是从耕地向草地、从草地向建设用地转移。

(3)达茂旗碳固定和土壤保持服务空间分布表现为南部区域高于北部区域。2000—2015年,全旗碳固定量减少了0.87%,土壤保持量减少了37.08%。

(4)各类土地利用类型提供的碳固定和土壤保持服务均表现为草地>耕地>未利用地>建设用地>灌木林>林地>盐碱地>水域>沙漠。草地的碳固定和土壤保持服务量分别占该区域的83.50%和79.54%,耕地碳固定和土壤保持服务量分别占该区域的10.73%、14.61%。

达茂旗提高生态系统服务功能应在适度利用草

地、农田等生产生活用地的基础上,注意扩大草地面积,保护农田,科学优化土地利用结构,保障生态系统朝良性方向演化。

参考文献:

- [1] 秦传新, 陈丕茂, 张安凯, 等. 珠海万山海域生态系统服务价值与能值评估[J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1847-1853. QIN Chuan-xin, CHEN Pi-mao, ZHANG An-kai, et al. Evaluation of ecosystem service and emergy of Wanshan waters in Zhuhai, Guangdong Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(6): 1847-1853.
- [2] 王晓东, 蒙古军. 土地利用变化的环境生态效应研究进展[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014, 50(6): 1133-1140. WANG Xiao-dong, MENG Ji-jun. Research progress on the environmental-ecological impacts of land use change[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2014, 50(6): 1133-1140.
- [3] Costanza R D, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [4] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640. OUYANG Zhi-yun, WANG Ru-sun, ZHAO Jing-zhu. Ecosystem services and their economic valuation[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635-639.
- [5] 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. LI Yi-feng, LUO Yue-chu, LIU Gang, et al. Effects of land use change on ecosystem services: A case study in Miyun reservoir watershed[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 726-736.
- [6] 江凌, 肖赓, 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. JIANG Ling, XIAO Yi, RAO En-ming, et al. Effects of land use and cover change (LUCC) on ecosystem sand fixing service in Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(12): 3734-3747.
- [7] 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. YANG Qing-ke, DUAN Xue-jun, WANG Lei, et al. Land use transformation based on ecological-production-living spaces and associated eco-environment effects: A case study in the Yangtze River Delta[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(1): 97-106.
- [8] Costanza R, de Groot R, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [9] 王航, 秦奋, 朱筠, 等. 土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报, 2017, 37(4): 1286-1296. WANG Hang, QIN Fen, ZHU Jun, et al. The effects of land use structure and landscape pattern change on ecosystem service values[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [10] Rockstrom J, Steffen W, Noone K, et al. A safe operating space for humanity[J]. *Nature*, 2009, 461: 472-475.
- [11] Long H L, Liu Y Q, Hou X G, et al. Effects of land use transitions due to rapid urbanization on ecosystem services: Implications for urban planning in the new developing area of China[J]. *Habitat International*, 2014, 44: 536-544.
- [12] 徐志涛, 陈鹏飞, 周世健, 等. 白洋淀流域土地覆被变化及其生态服务价值评价[J]. 生态科学, 2018, 37(6): 83-90. XU Zhi-tao, CHEN Peng-fei, ZHOU Shi-jian, et al. Study on land cover change and its impact on ecological services in Baiyangdian watershed[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(6): 83-90.
- [13] 钟业喜, 朱治州. 长江经济带土地利用及其生态系统服务价值演变研究[J]. 江西师范大学学报(哲学社会科学版), 2018, 51(3): 100-107. ZHONG Ye-xi, ZHU Zhi-zhou. A study of the evolution of land utilization and ecosystem services value in the economic belt of the Changjiang River[J]. *Journal of Jiangxi Normal University(Philosophy and Social Sciences Edition)*, 2018, 51(3): 100-107.
- [14] 熊吕英, 师学义. 黄山丘陵区土地利用变化对生态系统服务价值的影响——以长河流域为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(2): 335-340. XIONG Lü-ying, SHI Xue-yi. Effects of land use change on ecosystem service value in the Loess hilly area: A case study of the Changhe River basin[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(2): 335-340.
- [15] 卢周扬帆, 许端阳, 张绪教, 等. 阿拉善干旱荒漠区土地利用变化对生态系统服务的影响[J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 296-302. LU Zhou-yang-fan, XU Duan-yang, ZHANG Xu-jiao, et al. Impact of land use change on ecosystem services in arid desert region of Alxa[J]. *Research Soil and Water Conservation*, 2019, 26(6): 296-302.
- [16] 李益敏, 段亚苹, 蒋德明, 等. 人类活动条件下兰坪县土地利用景观格局及生态系统服务价值[J]. 水土保持研究, 2019, 26(1): 293-300. LI Yi-min, DUAN Ya-ping, JIANG De-ming, et al. Study on landscape pattern of land use and ecosystem service value under human activities in Lanping County[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2019, 26(1): 293-300.
- [17] 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. XIAO Jian-she, QIAO Bin, CHEN Guo-qian, et al. Land use change and evolution of ecosystem service value in Maduo County of source region of the Yellow River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(2): 510-521.
- [18] 雷金睿, 陈宗铸, 吴庭天, 等. 海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J]. 生态学报, 2019, 39(7): 2366-2377. LEI Jin-rui, CHEN Zong-zhu, WU Ting-tian, et al. Spatial autocorrelation pattern analysis of land use and the value of ecosystem services in northeast Hainan Island[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(7): 2366-2377.
- [19] 孔君治, 杨荣, 苏永中, 等. 基于土地利用/覆被变化的荒漠绿洲碳储量动态评估[J]. 生态学报, 2018, 38(21): 7801-7812. KONG Jun-qia, YANG Rong, SU Yong-zhong, et al. Effect of land use and cover change on carbon stock dynamics in a typical desert oasis[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(21): 7801-7812.
- [20] 陈淑青. 基于生态安全指数的荒漠生态系统生态安全评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2016. CHEN Shu-qing. Evaluation of desert ecosystem ecological security based on ecological security index[D].

- Beijing: Beijing Forestry University, 2016.
- [21] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 北方农牧交错带的地理界定及其生态问题[J]. 地球科学进展, 2002, 17(5): 739-747. ZHAO Ha-lin, ZHAO Xue-yong, ZHANG Tong-hui, et al. Boundary line on agro-pasture Zigzag zone in north China and its problems on eco-environment[J]. *Advance in Earth Sciences*, 2002, 17(5): 739-747.
- [22] 王林峰, 张平宇, 李鹤, 等. 东北西部农牧交错带社会生态系统脆弱性[J]. 中国科学院大学学报, 2018, 35(3): 345-352. WANG Lin-feng, ZHANG Ping-yu, LI He, et al. Vulnerability of social-eco-system in agro-pastoral ecotone in western Northeast China[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2018, 35(3): 345-352.
- [23] 潘志华, 安萍莉, 郑大玮, 等. 农牧交错带生态系统结构变化及其对系统退化的影响[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(5): 50-53. PAN Zhi-hua, AN Ping-li, ZHENG Da-wei, et al. Eco-systematical structure change and its impacts on ecological degradation in the northern ecotone[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2002, 7(5): 50-53.
- [24] 王莉雁, 肖赓, 欧阳志云, 等. 国家级重点生态功能区县生态系统生产总值核算研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154. WANG Li-yan, XIAO Yi, OUYANG Zhi-yun, et al. Gross eco-system product accounting in the national key ecological function area [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(3): 146-154.
- [25] 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 等. 基于GIS重庆土壤侵蚀及土壤保持分析[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7130-7138. XIAO Yiang, OUYANG Zhi-yun, XU Wei-hua, et al. GIS-based spatial analysis of soil erosion and soil conservation in Chongqing, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(21): 7130-7138.
- [26] Renard K G, Foster G R, Weesies G A. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation(RUSLE)[C]//USDA Agriculture Handbook Number 703. Washington D C: U S Department of Agriculture, 1997: 404.
- [27] 孙亚楠. 农牧交错带土地利用变化对生态系统服务的影响——以武川县为例[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2018. SUN Ya-nan. Effects of land-use change on ecosystem services in agro-pastoral ecotone: A case of Wuchuan County[D]. Huhhot: Inner Mongolia University, 2018.
- [28] 陈晓. 农牧交错区生态系统服务价值评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2018, 28(1): 46-49. CHEN Xiao. Ecosystem service value evaluation of farming-pastoral transitional zone[J]. *Journal of EMCC*, 2018, 28(1): 46-49.
- [29] 许丁雪, 吴芳, 何立环, 等. 土地利用变化对生态系统服务的影响——以张家口-承德地区为例[J]. 生态学报, 2019, 39(20): 7493-7501. XU Ding-xue, WU Fang, HE Li-huan, et al. Impact of land use change on ecosystem services: Case study of the Zhangjiakou-Chengde area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(20): 7493-7501.