DOI: 10.5846/stxb201811182502
娄佩卿,付波霖,刘海新,高二涛,范冬林,唐廷元,林星辰.锡林郭勒盟草地生态系统服务功能价值动态估算.生态学报,2019,39(11): - .
Lou P Q, Fu B L, Liu H X, Gao E T, Fan D L, Tang T Y, Lin X C.Dynamic evaluation of grassland ecosystem services in Xilingol League.Acta Ecologica Sinica,2019,39(11): - .

锡林郭勒盟草地生态系统服务功能价值动态估算

娄佩卿[1],付波霖[1,*],刘海新[2],高二涛[1],范冬林[1],唐廷元[1],林星辰[1]
1 桂林理工大学测绘地理信息学院, 桂林　541004
2 河北工程大学矿业与测绘工程学院, 邯郸　056001

摘要: 定量评价草地生态系统服务功能价值及其动态变化,对草地资源保护具有重要意义。本文以锡林郭勒盟为研究区域,选用 2000—2015 年 MODIS 数据和年值降水量数据,构建了定量的生态服务价值估算体系,对草地生态系统提供产品、营养物质循环、维持碳氧平衡、涵养水源、保持土壤及文化娱乐六种服务功能进行了动态估算和对比分析,并探讨了研究区域内各旗、市、县草地生态服务价值的动态变化情况。研究结果表明:2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统提供的总服务价值年际增长率为 2.52%,年均增值 33.71 亿元,呈波动上升的趋势。但各旗、市、县之间草地资源发展不平衡(年际增长率范围-0.46%—1.71%),尤其在正镶白旗(年际增长率-0.30%)和太仆寺旗(年际增长率-0.46%)两地服务价值负增长;不同草地生态系统服务功能提供的服务价值相差悬殊,维持碳氧平衡功能约占比当年总价值 35%,而提供产品功能仅占比约 5%,对草地生态系统保护起着至关重要作用的涵养水源功能也仅占比约 1.5%。本文为动态估算内蒙古自治区,乃至京津冀地区的草地生态系统服务功能价值提供借鉴。

关键词: 锡林郭勒盟;MODIS;草地生态系统;生态服务价值;动态估算

Dynamic evaluation of grassland ecosystem services in Xilingol League

LOU Peiqing[1], FU Bolin[1,*], LIU Haixin[2], GAO Ertao[1], FAN Donglin[1], TANG Tingyuan[1], LIN Xingchen[1]
1 *Institute of surveying and Mapping, Guilin University of Technology, Guilin* 541004, *China*
2 *School of Mining and Mapping Engineering, Hebei University of Engineering, Handan* 056001, *China*

Abstract: Evaluating the value of ecosystem services is an important indicator to measure the development status of grassland ecosystems. Quantitative analysis of dynamic changes in ecosystem service values is of great significance to protect grassland resources. This paper used MODIS images and annual precipitation data from 2000 to 2015 to build a quantitative system for evaluating the value of ecological services of Xilingol League. The values of six service functions of grassland ecosystem, namely, product provision, nutrient cycling, carbon and oxygen balance maintenance, water conservation, soil maintenance, and entertainment, were calculated and dynamic changes in each banner, city and county of the research area were discussed. The results show that the total service value provided by the grassland ecosystem in Xilingol League from 2000 to 2015 exhibited a fluctuating increasing trend, with a 2.52% annual growth rate and increasing 3.371 billion yuan. However, the development of grassland resources among banneres, cities and counties was imbalanced (annual growth rate range from -0.46% to 1.71%), and even showed negative growth in service value in Zhengxiangbai Banner (annual growth rate was -0.30%) and Taipusi Banner (annual growth rate was -0.46%). The value derived from service functions provided by grassland ecosystem varied greatly. The function of maintaining carbon and oxygen balance accounted for 35% of

基金项目: 国家自然科学基金项目(41801071);广西自然科学基金项目(2018GXNSFBA281015);桂林理工大学科研启动基金资助项目(GUTQDJJ2017096)
收稿日期: 2018-11-18;　　**修订日期:** 2019-03-28
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: fbl2012@126.com

the total value, while product provisioning accounted for only 5%, and the function of water conservation, which played a vital role in the protection of grassland ecosystem only accounted for about 1.5%. This research will provide a reference for the dynamic estimation of grassland ecosystem services in Inner Mongolia Autonomous Region and even Beijing-Tianjin-Hebei region.

Key Words: Xilingol League; MODIS; grassland ecosystem; ecosystem service value; dynamic evaluation

草地生态系统是我国陆地上面积最大的生态系统,对发展畜牧业、维护生态平衡有着重大的作用和价值[1]。草地生态系统服务功能是指草地生态系统及其生态过程中所形成及维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用[2]。锡林郭勒盟是中国北方重要的畜牧业基地之一,也是中国北方重要生态屏障,因此动态估算锡林郭勒盟草地生态系统服务功能的价值对科学管理与合理利用当地草地资源、保护草地生态系统具有重要意义。

1997 年 Costanza 对多种类型的生态系统服务功能的价值进行了评估研究,且研究方法及成果沿用至今[3];2001 年,联合国“千年生态系统评估”工作的开展,首次在全球尺度上揭示了各类生态系统的现状和变化趋势,对生态系统服务功能的研究产生了深远影响[4];Aiming 等对英国草地生态系统的服务价值进行了估算研究[5];Gashaw 和 Sannigrahi 通过估算生态系统服务功能的价值来判断土地覆盖类型变化对生态系统影响,具有重要的借鉴意义[6-7]。国内对于生态系统服务功能的研究始于上世纪 80 年代,中国科学院建立了用于生态系统研究的 GERN 研究网络;谢高地等参考 Costanza 的方法进一步提出了适用于中国的区域草地生态系统服务功能价值的算法,为后人提供了极大便利[8];赵同谦和欧阳志云等将草地生态系统服务功能划分为调节功能、支持功能、产品提供和文化功能四个大类,并对草地生态系统的间接价值进行分类并提出相应算法[9-10];赵苗苗等人对青海省草地生态系统服务价值进行了估算[11]。

然而由于生态系统本身极其复杂且不断发展变化,很难通过某一年的生态服务功能价值对研究区域的生态系统发展趋势进行评价[12-13];另一方面,迄今为止很多学者的研究忽略了对研究区域内各个区划的草地生态系统服务价值分别进行估算,并对比分析其结果[14-17]。为了精确估算锡林郭勒盟草地的生态服务价值,本文利用 2000—2015 年的长时间序列 MODIS 数据和年值降水量数据,构建了定量的生态服务价值估算体系,分别估算了提供产品、营养物质循环、保持土壤、维持碳氧平衡、涵养水源及文化娱乐 6 种服务功能的价值,并动态分析了锡林郭勒盟各旗、市、县草地生态系统服务价值,以期为进一步协调各地草地资源的协调发展,制定更为合理的草地资源利用及保护政策提供依据。

1 数据源和处理方法

1.1 研究区域概况

锡林郭勒盟(Xilingol League)是内蒙古自治区所辖盟,地处内蒙古自治区中部,东经 115°13′—117°06′,北纬 43°02′—44°52′之间。海拔高度在 767—1300m 之间,全盟土地总面积约为 19.98 万平方公里(图 1)。锡林郭勒盟境内具有复杂多样的生态系统和丰富的野生动植物资源,草原、森林、湖泊、河流和沙地等各类生态系统形成有规律的结合格局,以针茅、羊茅、羊草等各种植物为建群种所构成的原生草原,具有极高的观赏、科研、保护价值,在内蒙古高原草原区具有很好的代表性,是优良的天然放牧场,中国北方重要的畜牧业基地之一,也是中国北方重要生态屏障。对锡林郭勒盟草地生态系统的服务功能价值进行动态估算对草原生态系统保护和区域畜牧业的可持续发展以及维护国家生态安全具有重要意义。

1.2 数据来源及预处理

1.2.1 数据来源

(1)降水量数据:气象站点降水量数据来源于中国气象数据网(http://data.cma.cn/)提供的国家级气象

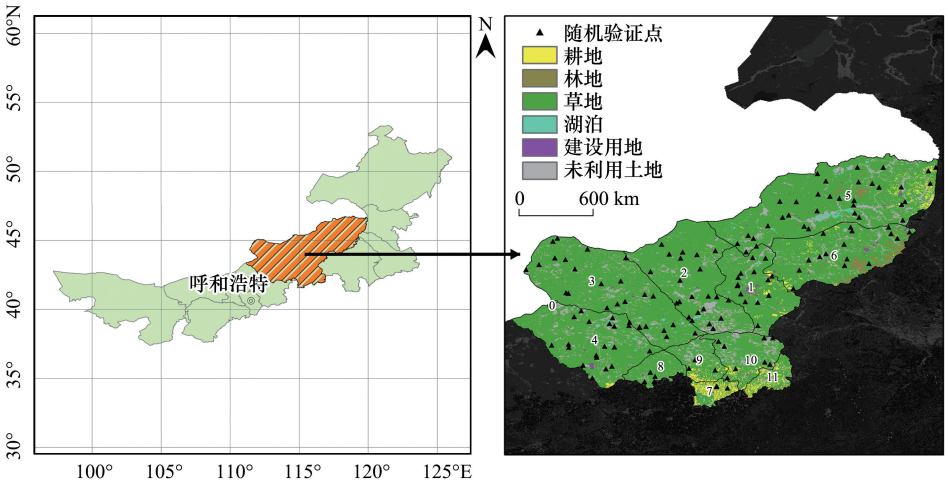

图 1　锡林郭勒盟所处位置、土地利用类型及随机验证点分布

Fig.1　Xilingol League location and land use types and random verification point distribution

0 二连浩特市 1 锡林浩特市 2 阿巴嘎旗 3 苏尼特左旗 4 苏尼特右旗 5 东乌珠穆沁旗 6 西乌珠穆沁旗 7 太仆寺旗 8 镶黄旗 9 正镶白旗 10 正蓝旗 11 多伦县

站点地面气象资料年值数据集,本文中选用的降水量数据均为该数据集中 2000—2015 年锡林郭勒盟及其周围十个国家级气象站点(表 1)的年值降水量数据。

表 1　气象站点位置信息

Table 1　Location information of weather stations

区站 Station	纬度/(°) Latitude	经度/(°) Longitude	区站 Station	纬度/(°) Latitude	经度/(°) Longitude
东乌珠穆沁旗	45.52	116.97	多伦	42.18	116.47
阿巴嘎旗	44.02	114.95	阿尔山	47.17	119.93
苏尼特左旗	43.87	113.63	朱日和	42.40	112.90
西乌珠穆沁旗	44.58	117.60	四子王旗	41.53	111.68
锡林浩特	43.95	116.12	赤峰	42.27	118.93

(2)本文所用的 2000—2015 年植被净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)数据源于 NASA (National Aeronautics and Space Administration)的数据共享网站(https://www.nasa.gov/),是由 MOD17A3 年产品合成 NPP 数据,分辨率为 1km,数据格式为 GeoTIFF,投影坐标系统为 WGS84。该数据参考 BIOME-BGG 模型和光能利用率模型建立 NPP 估算模型模拟得到陆地生态系统年 NPP 数值,在全球和区域 NPP 与碳循环研究中得到广泛应用[18]。

(3)本文所用的 2000—2015 年土地覆盖数据来源于 NASA 的数据共享网站(https://www.nasa.gov/),选用 MCD12Q1 年合成土地覆盖类型数据,分辨率为 500m,数据格式为 HDF。该数据集共有 5 种土地覆盖分类方案,本文选用第一种分类方案,即 IGBP(International Geosphere-Biosphere Program)分类方案,将土地利用类型共划分为 17 类。结合研究内容和区域特点,将 17 种土地利用类型合并为耕地、林地、草地、湖泊、建设用地及未利用土地 5 种土地利用类型(表 2)。

(4)本文所用的 2000—2015 年 NDVI 数据及 DEM 数据均源于中国地理空间数据云网站(http://www.gscloud.cn/),其中 NDVI 数据为 500m 分辨率的 MODND1M 月合成产品,DEM 数据为 30m 分辨率的 GDEMDEM 全球数字高程数据产品;土壤数据源于中国土壤数据库(http://www.gis.soil.csdb.cn/);验证数据源于中国科学院地理科学与资源研究所编制的 2010 年锡林郭勒盟 1:100,000 土地利用数据;经济数据源于 2000—2015 年锡林郭勒盟统计年鉴。

表 2 土地利用类型合并表

Table 2 Consolidation table of land use types

合并后土地利用类型 Combined land use types	原始土地利用类型 Original land use type	合并后土地利用类型 Combined land use types	原始土地利用类型 Original land use type
耕地	水田、旱地	湖泊	河渠、湖泊、水库、滩涂
林地	有林地、灌木林、疏林地	建设用地	城镇用地、农村居民点
草地	高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地	未利用土地	沙地、戈壁、裸地

1.2.2 数据预处理

(1)在 MRT 软件中对 MCD12Q1、MODND1M、GDEMDEM 原始数据进行格式转换、投影处理操作,对其重采样达到与 MOD17A3 数据分辨率一致。利用锡林郭勒盟行政矢量边界裁剪出目标区域数据,并在 ArcGIS10.2 软件中对处理后的 MCD12Q1 数据进行重分类操作,提取出研究区域内土地利用类型为草地的范围。

(2)根据草地利用类型与所有土地利用类型的像元比例推算出草地利用类型的土地面积约占锡林郭勒盟总面积的 84%,草地利用类型面积约为 16.79 万平方公里,通过查询 2015 年《锡林郭勒盟统计年鉴》可知,2015 年锡林郭勒盟实际草地面积为 17.95 万平方公里,精度达到 93.5%。在锡林郭勒盟行政边界范围内随机选取 150 点(图 1),结合 2010 年锡林郭勒盟 1:100,000 土地利用数据对随即点进行精度验证,各类别样点正确率均超过 85%(表 3),故 MCD12Q1 的精度满足本文要求。

表 3 MCD12Q1 锡林郭勒盟区域内各类型精度

Table 3 MCD12Q1 all types of accuracy in Xilingol League area

土地利用类型 Land use type	样点数 Sampling point number	正确数 Correct number	精度% Accuracy
耕地	26	23	88.4
林地	10	9	90.0
草地	78	70	89.7
湖泊	10	9	90.0
建设用地	20	17	85.0
未利用土地	6	6	100.0

(3)在 ArcGIS10.2 软件中通过栅格计算器功能对数据进行去异值处理,并将处理过的 MOD17A3 数据乘以其比例因子 0.0001 还原真值。并以提取出的草地利用类型范围为矢量边界对 NPP 数据进行裁剪。

(4)对年值降水量数据进行 Kriging 插值出其栅格图像,使其分辨率与 MOD17A3 数据保持一致,并以草地利用类型范围为矢量边界对插值出的年值降水量栅格数据进行裁剪。本文总体技术路线如图 2 所示。

1.3 研究方法

1.3.1 提供产品

锡林郭勒盟草地生态系统提供的产品主要有肉、毛、奶等畜牧业产品,本文采用市场价值法结合锡林郭勒盟实际情况对提供产品服务功能价值进行估算[18-19],主要公式(1)如下:

$$W_1 = \sum (P_i \times Q_i) \tag{1}$$

其中,W_1为生产有机物质功能的服务价值,单位是元;P_i为第 i 类产品的产量,单位为 t;Q_i第 i 类产品的单价,单位为元/t。

1.3.2 营养物质循环

草地生态系统所有生物的体内都存在营养元素,并通过营养物质循环与外界环境进行元素交换。氮和磷

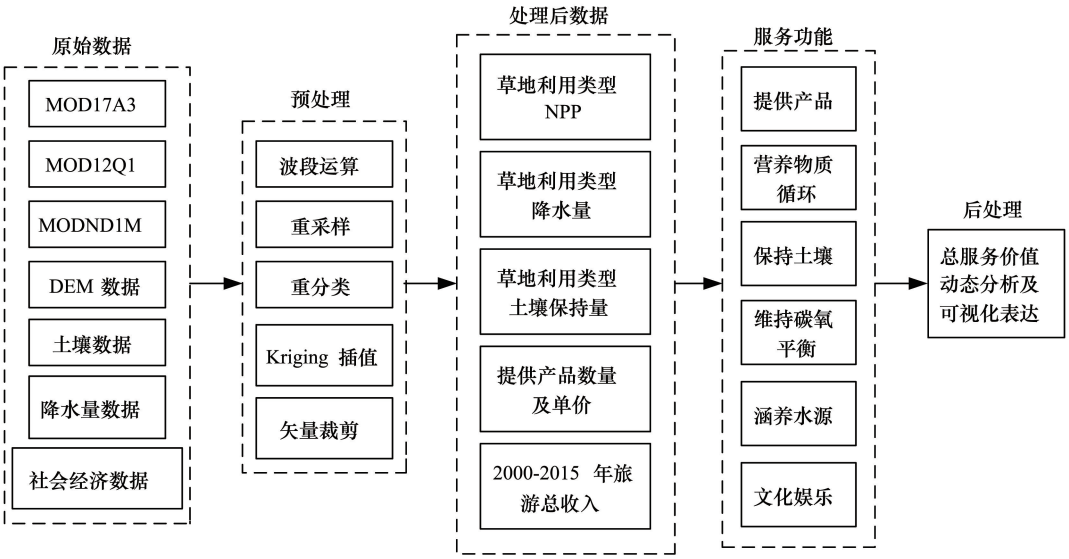

图 2　技术路线

Fig.2　Technical route

是参与草地生态系统物质循环的主要元素。在 NPP 的基础上采用市场价值法对营养物质循环价值进行估算,主要公式(2)如下:

$$W_2 = \mathrm{NPP} \times (P_N \times Q_N \times R_N + P_P \times Q_P \times R_P) \tag{2}$$

其中,W_2为营养物质循环功能的服务价值,单位是元 $m^{-2}\ a^{-1}$;P_N和 P_P分别是草地生态系统中氮和磷两种元素所占比例,分别为 0.01715 和 0.0011;Q_N和 Q_P分别是氮和磷折算成氮肥、磷肥的比例,由《化肥市场周报》可知分别取 46%、和 20.1%;R_N和 R_P为氮肥和磷肥的价格,分别为 2.1×10^{-3}元/g 和 2.6×10^{-3}元/g[20]。

1.3.3　保持土壤

锡林郭勒盟草地生态系统水土保持功能主要表现为减少表土损失、保持土壤养分及减少泥沙淤积三个相互联系的方面[21],本文采用 RUSLE 模型[22]估算出锡林郭勒盟潜在土壤侵蚀模数及草地覆盖土壤侵蚀模数,并根据公式(3)对保持土壤服务功能价值进行估算:

$$\begin{cases} T_h = S \times A_m - A_n \\ V_a = (T_h \times B)/(H \times 10000 \times \rho) \\ V_b = T_h \times \sum (C_i \times P_i) \\ V_c = T_h \times A_0 \times \rho \times C \end{cases} \tag{3}$$

其中 T_h为土壤保持总量;S 为草地面积;A_m为潜在土壤侵蚀模数;A_n为草地覆盖土壤侵蚀模数;V_a为减少土地表土损失价值;B 为单位面积草地年均收益;H 为表土平均厚度,取 0.5;ρ 为土壤容重;V_b为保持土壤养分价值;C_i为土壤中第 i 类养分含量;P_i为第 i 种养分市场价格;V_c为减少泥沙淤积的价值;A_o为土壤侵蚀转化为泥沙淤积江河湖泊及水库的比例,取 24%;其它同上。保持土壤功能服务价值(W_3)则等于 V_a、V_b及 V_c相加。

1.3.4　维持碳氧平衡

由光合作用和和呼吸作用的反应方程式得出生产每千克干物质会释放 1.2kg 氧气和固定 1.62kg 二氧化碳,把 NPP 作为基础物质量,采用影子工程法,利用工业制氧的价格来分别估算氧气和二氧化碳的价格,可得到维持碳氧平衡功能价值估算的公式(4)为:

$$W_4 = \mathrm{NPP} \times (1.2 \times P + 1.62 \times Q) \tag{4}$$

其中 W_4单位为元 $m^{-2}\ a^{-1}$;P 是工业制氧的价格,为 8.8×10^{-4}元/gC;Q 是按照瑞典碳税率换算的价格,为

7.39×10^{-4}元/gC[23]。

1.3.5 涵养水源

根据水库工程蓄水的成本和供水价格对锡林郭勒盟草地生态系统的涵养水源服务功能价值进行了估算，主要公式(5)如下：

$$W_5 = P \times Q \times R \times C \tag{5}$$

其中 W_5是涵养水源功能的服务价值，单位是元 $m^{-2}\ a^{-1}$；P 为年降水量，单位为 m；Q 是产流降水量和总降水量的比值，因为锡林郭勒盟地处淮河以北故取 0.4；R 是减少径流效益系数为 0.24；C 是库容成本取 0.67 元[24]。

1.3.6 文化娱乐

锡林郭勒盟草地生态系统为人类提供了娱乐、文化、科学教育等多个方面价值[25-26]，本文主要以旅游价值法(查询锡林郭勒盟统计年鉴)评估锡林郭勒盟文化娱乐功能的服务价值(W_6)。

1.3.7 草地生态系统总服务价值

本文选取了适用于锡林郭勒盟草地生态系统的六种服务功能对其进行价值估算，其总服务价值公式(6)为：

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + W_6 \tag{6}$$

式中，W 为锡林郭勒盟是草地生态系统提供的总服务价值，单位是元；W_1为提供产品功能提供的服务价值，W_2为营养物质循环功能提供的服务价值，W_3为保持土壤功能提供的服务价值，W_4为维持碳氧平衡功能提供的服务价值，W_5为涵养水源功能提供的服务价值，W_6为旅游景观功能提供的服务价值。

2 结果与分析

本文根据研究区域的特点选取适合的评价指标对锡林郭勒盟草地生态系统提供的服务价值进行了动态分析，以期提高人们对各种草地生态系统功能重要性的认识，促进当地草地资源保护政策的制定和实施。

2.1 提供产品

提供产品功能是畜牧业发展的产物之一，提供产品服务价值的变化情况可反映锡林郭勒盟畜牧业的发展态势。由图 3(a)和(b)可知 2000 年锡林郭勒盟提供产品功能提供的服务价值为 72.56 亿元；2005 提供了 67.33 亿元服务价值，较 2000 年年均减少 1.05 亿元，年均减少率为 1.44%；2010 年提供了 94.35 亿元，较 2005 年年均增加 5.40 亿元，年均增长率为 8.03%；2015 年提供了 104.03 亿元，较 2010 年年均增长 1.94 亿元，年均增长率为 2.05%。在 2000-2005 年发生了服务价值负增长，但在 2000—2015 年间仍呈增长态势，服务价值年均增长 2.10 亿元，年均增长率为 2.89%。

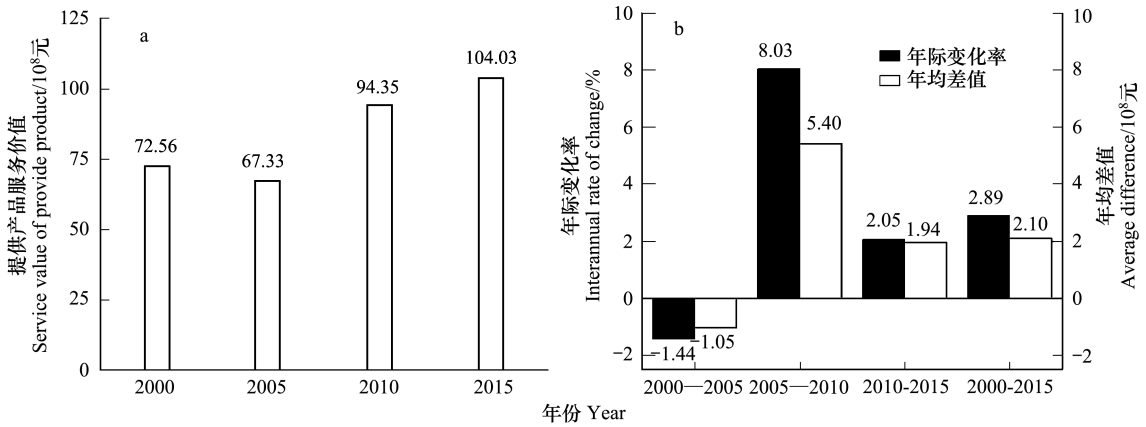

图 3 (a)2000—2015 年 W_1提供的服务价值量；(b)2000—2015 年 W_1年均增长率和年均差值

Fig.3 (a) Volume of service value provided by W_1 from 2000 to 2015; (b) Average annual growth rate and average annual difference of W_1 from 2000 to 2015

2.2　营养物质循环

2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统营养物质循环功能提供的服务价值仅低于维持碳氧平衡功能及保持土壤功能,其分布特征如图 4(a)-(d)所示。经统计得出(图 4(e)和(f))锡林郭勒盟草地生态系统营养物质循环功能 2000 年提供了 364.7 亿元的服务价值;2005 年提供了 386.62 亿元的服务价值,较 2000 年年均增长 4.4 亿元,年均增长率为 1.2%;2010 年为 341.99 亿元,较 2005 年年均减少 8.9 亿元,年均减少率为-2.3%;2015 年提供了 420.04 亿元,较 2010 年年均增长 15.6 亿元,增长率为 4.6%。在 2005-2010 年发生了服务价值负增长,但在 2000—2015 年间仍呈增长态势,服务价值年均增长 3.7 亿元,年均增长率为 1.00%。

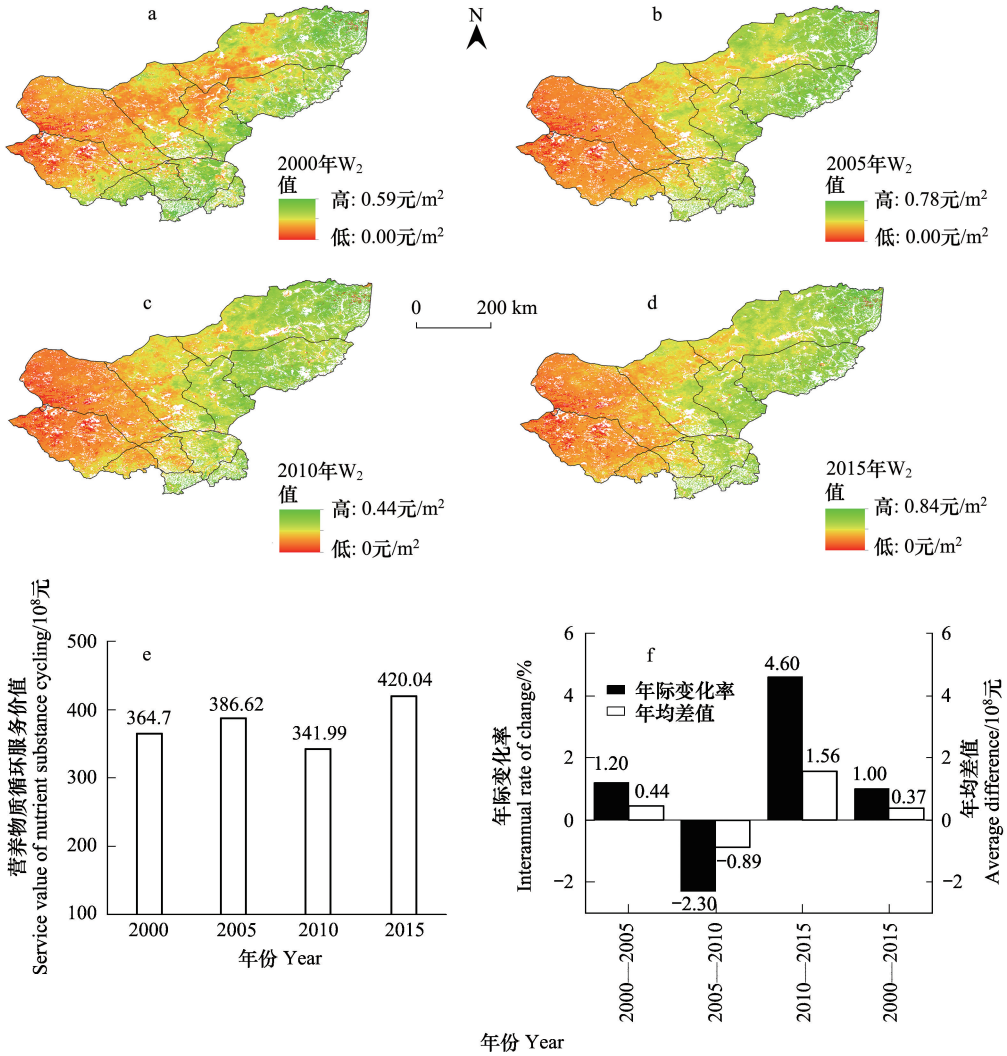

图 4　(a)-(d)2000—2015 年 W_2 分布特征图;(e)2000—2015 年 W_2 提供的服务价值量;(f)2000—2015 年 W_2 年均增长率和年均差值

Fig.4　(a)-(d) 2000—2015 W_2 distribution characteristics diagram;(e) Volume of service value provided by W_2 from 2000 to 2015;(f) Average annual growth rate and average annual difference of W_2 from 2000 to 2015

2.3　保持土壤

保持土壤功能是锡林郭勒盟草地重要功能之一,对保护当地生态系统,促进畜牧业发展具有重要作用。由图 5(a)和(b)可知 2000 年锡林郭勒盟保持土壤功能提供的服务价值为 386.89 亿元;2005 提供了 415.74 亿元服务价值,较 2000 年年均增加 5.77 亿元,年均增长率为 1.49%;2010 年提供了 403.28 亿元,较 2005 年年均减少 2.492 亿元,年均减少率为 0.60%;2015 年提供了 452.53 亿元,较 2010 年年均增长 9.85 亿元,年均增长率为 2.44%。在 2005-2010 年发生了服务价值负增长,但在 2000—2015 年间仍呈增长态势,服务价值年均

增长 4.38 亿元,年均增长率为 1.13%。

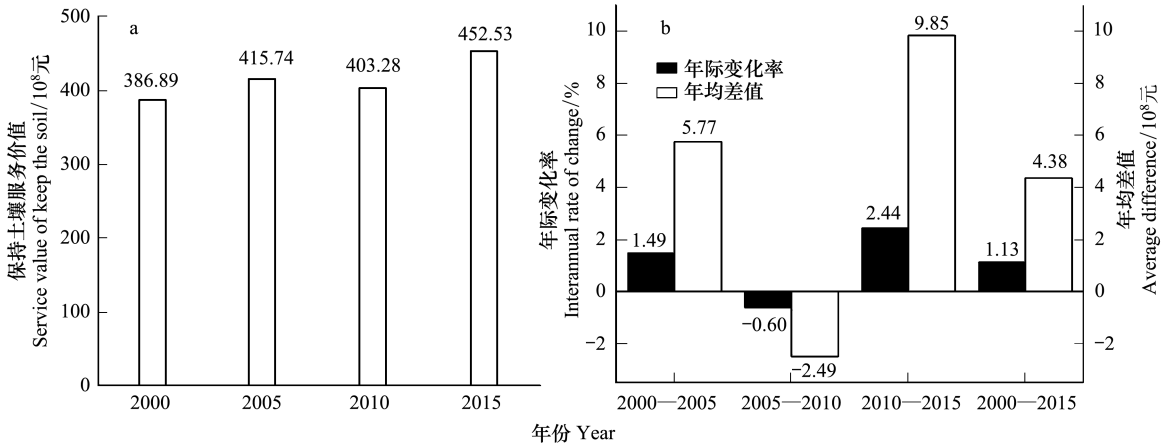

图 5 (a)2000—2015 年 W_3提供的服务价值量;(b)2000—2015 年 W_3年均增长率和年均差值

Fig.5 (a) Value of services provided by W_3 from 2000 to 2015; (b) Average annual growth rate and average annual difference of W_3 from 2000 to 2015

2.4 维持碳氧平衡

2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统维持碳氧平衡功能所提供的服务价值在本文所研究的六种生态系统服务功能中占比最高,约占总服务价值的 1/3。其分布特征如图 6(a)-(d)所示。经统计得出(图 6(e)和(f))锡林郭勒盟草地生态系统维持碳氧平衡功能在 2000 年提供了高达 479.38 亿元的服务价值;2005 年提供了 585.19 亿元的服务价值,较 2000 年年均增长 585.19 亿元,年均增长率为 4.4%;2010 年为 517.64 亿元,较 2005 年年均减少 13.5 亿元,年均减少率为-2.3%;2015 年提供了 659.06 亿元,较 2010 年年均增长 28.3 亿元,增长率为 5.5%。在 2005-2010 年发生了服务价值负增长,但在 2000—2015 年间仍呈增长态势,服务价值年均增长 12 亿元,年均增长率为 2.5%。

2.5 涵养水源

2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统涵养水源功能提供的服务价值最低,其分布特征与当年降水量有很大关系(图 7(a)-(d)),整体分布特征为东南部地区高于西北部地区。经统计得出(图 7(e)和(f))锡林郭勒盟草地生态系统涵养水源功能 2000 年提供了 22.06 亿元的服务价值;2005 年提供了 26.33 亿元的服务价值,较 2000 年年均增长 0.85 亿元,年均增长率为 3.9%;2010 年为 23.45 亿元,较 2005 年年均减少 0.58 亿元,年均减少率为 2.2%;2015 年提供了 27.33 亿元,较 2010 年年均增长 0.78 亿元,增长率为 3.3%。尽管在 2005-2010 年发生了服务价值负增长,但在 2000—2015 年间仍呈增长态势,服务价值年均增长 0.35 亿元,年均增长率为 1.6%。

2.6 文化娱乐

文化娱乐功能在所有 6 种服务功能中价值增长最为迅速,这与锡林郭勒盟大力发展旅游产业息息相关。由图 8(a)和(b)可知 2000 年锡林郭勒盟文化娱乐功能提供的服务价值为 9.89 亿元;2005 提供了 17.79 亿元服务价值,较 2000 年年均增加 1.58 亿元,年均增长率为 16.00%;2010 年提供了 91.90 亿元,较 2005 年年均增长 14.82 亿元,年均增长率为 83.32%;2015 年提供了 282.14 亿元,较 2010 年年均增长 38.05 亿元,年均增长率为 41.40%。在 2000—2015 年间呈快速增长态势,服务价值年均增长 18.15 亿元,年均增长率为 183.52%。

2.7 总服务价值

由图 9(a)可知 2000—2015 年锡林郭勒盟中部和北部地区总服务价值呈增长趋势,而南部地区呈现负增长。经统计得到锡林郭勒盟草地生态系统每年提供的总服务价值如图 9(b)和(d)所示。2000 年提供的总服

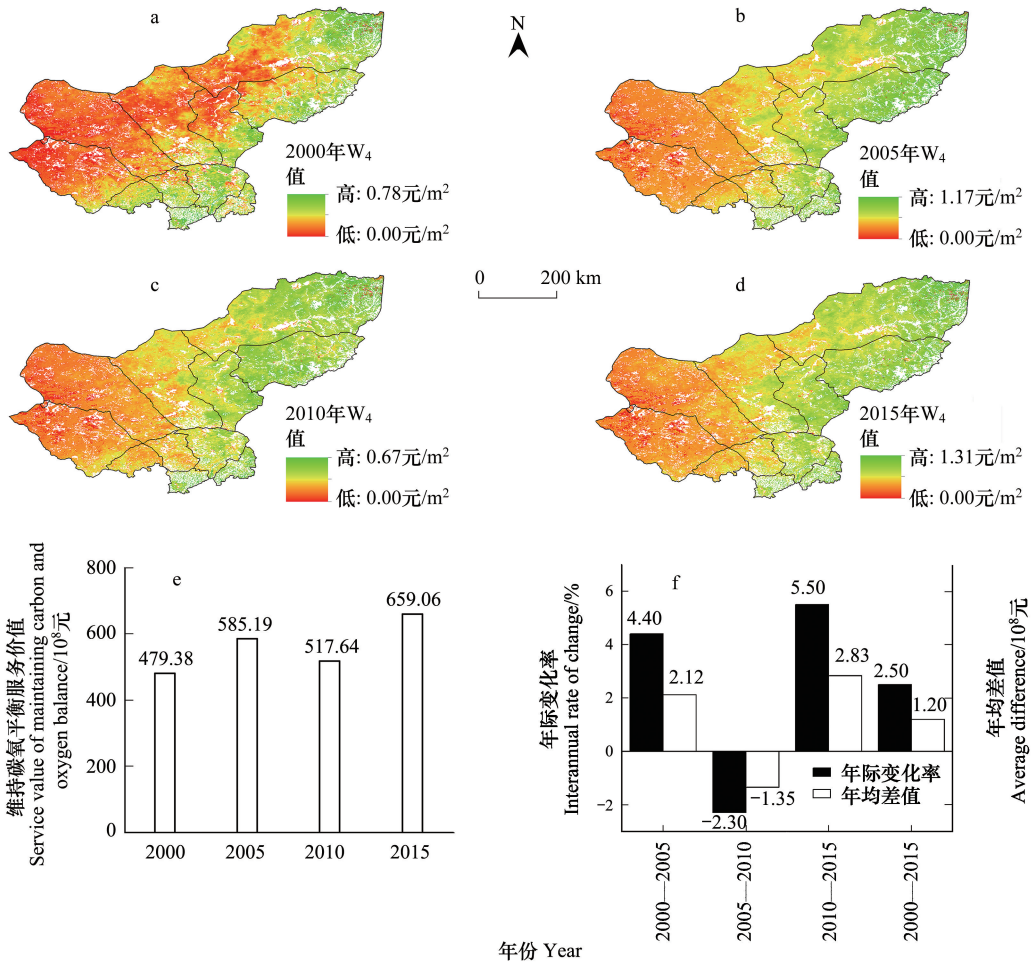

图 6　(a)-(d)2000—2015 年 W_4 分布特征图;(e)2000—2015 年 W_4 提供的服务价值量;(f)2000—2015 年 W_4 年均增长率和年均差值

Fig.6　(a)-(d) 2000—2015 W_4 distribution characteristics diagram;(e) Volume of service value provided by W_4 from 2000 to 2015;(f) Average annual growth rate and average annual difference of W_4 from 2000 to 2015

务价值为 1335.48 亿元;2005 年为 1499.00 亿元,较 2000 年年均增长 32.70 亿元,年均增长率为 2.45%;2010 年为 1472.61 亿元,较 2005 年年均减少 5.28 亿元,年均减少率为 0.36%;2015 年为 1841.10 亿元,较 2010 年年均增长 73.70 亿元,年均增长率为 5.00%;在 2005-2010 年发生了服务价值负增长,但在 2000—2015 年间仍是增长态势,服务价值年均增长 33.71 亿元,年均增长率为 2.52%。通过图 9(c)可知在 2000—2015 年这段时间内,位于中部地区的锡林浩特市年际增长率最高,达到了 1.71%;其次是位于东部地区的东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、镶黄旗、阿巴嘎旗、苏尼特左旗及多伦县等地区,年际增长率约为 1%左右;而位于西部地区的苏尼特右旗、二连浩特市及正蓝旗等地区增长较为缓慢,年际增长率约在 0.1%-0.2%;正镶白旗和太仆寺旗的年际增长率为负值,草地资源发生了退化。

由表 4 可以看出,2000—2015 年锡林郭勒盟区域内各草地生态系统服务功能按价值量可排序为维持碳氧平衡>保持土壤>营养物质循环>文化娱乐>提供产品>涵养水源。由图 10 可知 2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统服务功能中提供价值较高的维持碳氧平衡功能、营养物质循环功能及土壤保持功能均呈缩减趋势;文化娱乐功能从占比 0.74%增长到 14.50%,增长极为迅速;而提供产品及涵养水源功能占比基本不变。

3　结论和展望

3.1　结论

本文利用 2000—2015 年 MODIS 数据及对应年份降水量数据,构建了生态服务价值估算体系对锡林郭勒

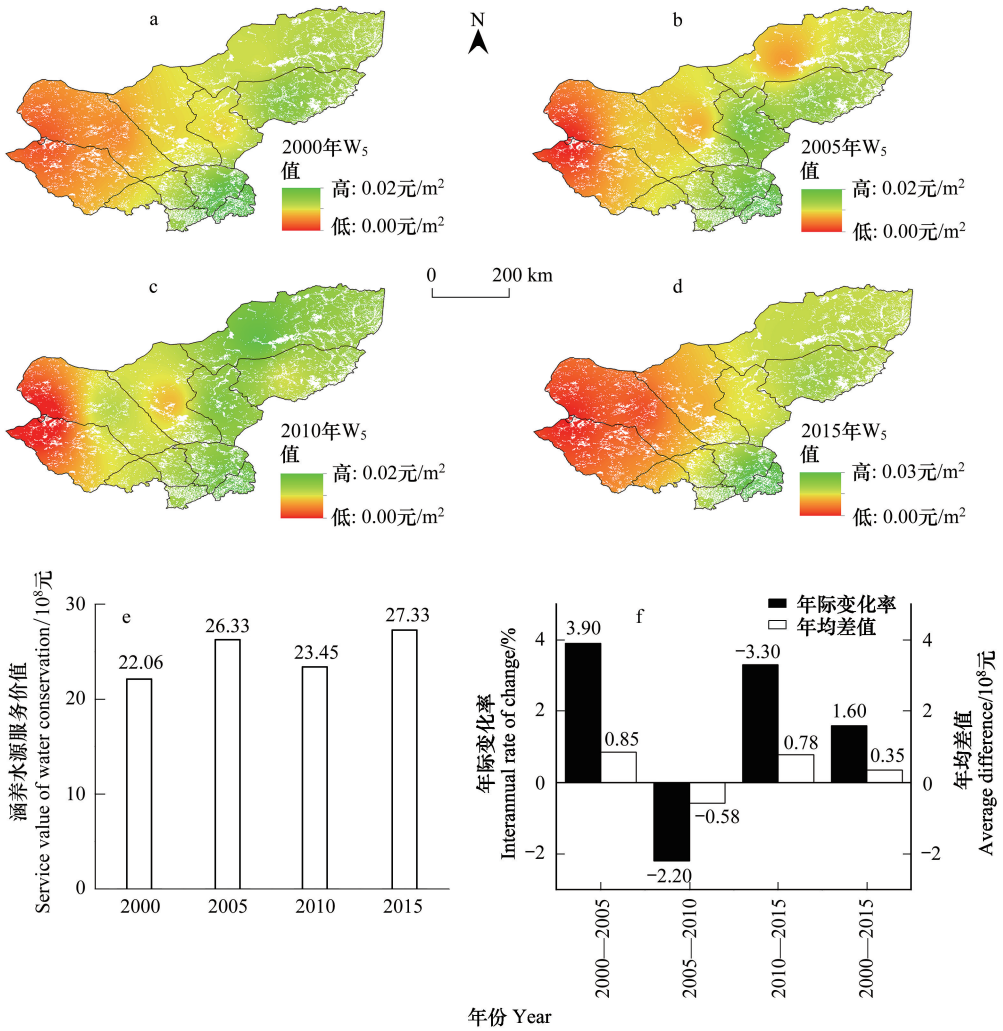

图 7 (a)-(d)2000—2015 年 W_5 分布特征图;(e)2000—2015 年 W_5 提供的服务价值量;(f)2000—2015 年 W_5 年均增长率和年均差值

Fig.7 (a)-(d) 2000—2015 W_5 distribution characteristics diagram;(e) Volume of service value provided by W_5 from 2000 to 2015 ; (f) Average annual growth rate and average annual difference of W_5 from 2000 to 2015

盟草地生态系统的服务价值的动态变化进行了分析,结果表明:

表 4 2000—2015 年各服务功能价值对比

Table 4 Annual service functional value

评价指标	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	评价指标	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
W_1	72.56	67.33	94.35	104.14	W_4	479.38	585.19	517.64	659.06
W_2	364.70	386.62	341.99	420.04	W_5	22.06	26.33	23.45	27.33
W_3	386.89	415.74	403.28	452.53	W_6	9.89	17.79	91.90	282.14

(1)锡林郭勒盟范围内草地生态系统提供服务功能价值较高的区划为东乌珠穆沁,西乌珠穆沁,锡林浩特市,正蓝旗,多伦县,太仆寺旗,正镶白旗和镶黄旗,而位于西北部地区的阿巴嘎旗,苏尼特左旗,苏尼特右旗和二连浩特市提供的服务价值较低。这反映了锡林郭勒盟各旗、市、县之间草地资源发展情况极不平衡,需要制定更为协调的草地资源发展战略。

(2)2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统所提供的总服务价值呈增加趋势,位于锡林郭勒盟中部地区的锡林浩特市年际增长率最高,达到了 1.71%,其次是位于东部地区的东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、镶黄旗、

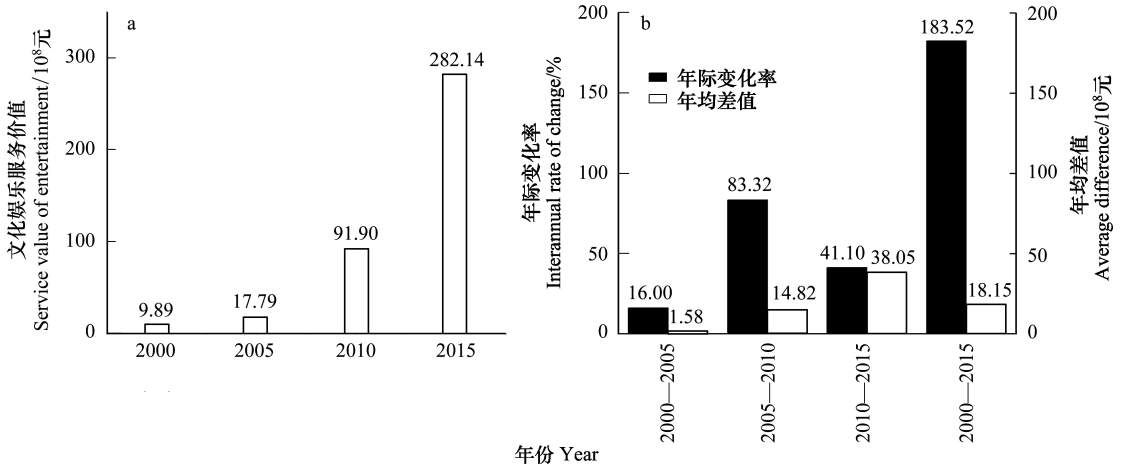

图 8　(a)2000—2015 年 W_6 提供的服务价值量;(b)2000—2015 年 W_6 年均增长率和年均差值

Fig.8　(a) Value of services provided by W_6 from 2000 to 2015; (b) Average annual growth rate and average annual difference of W_6 from 2000 to 2015

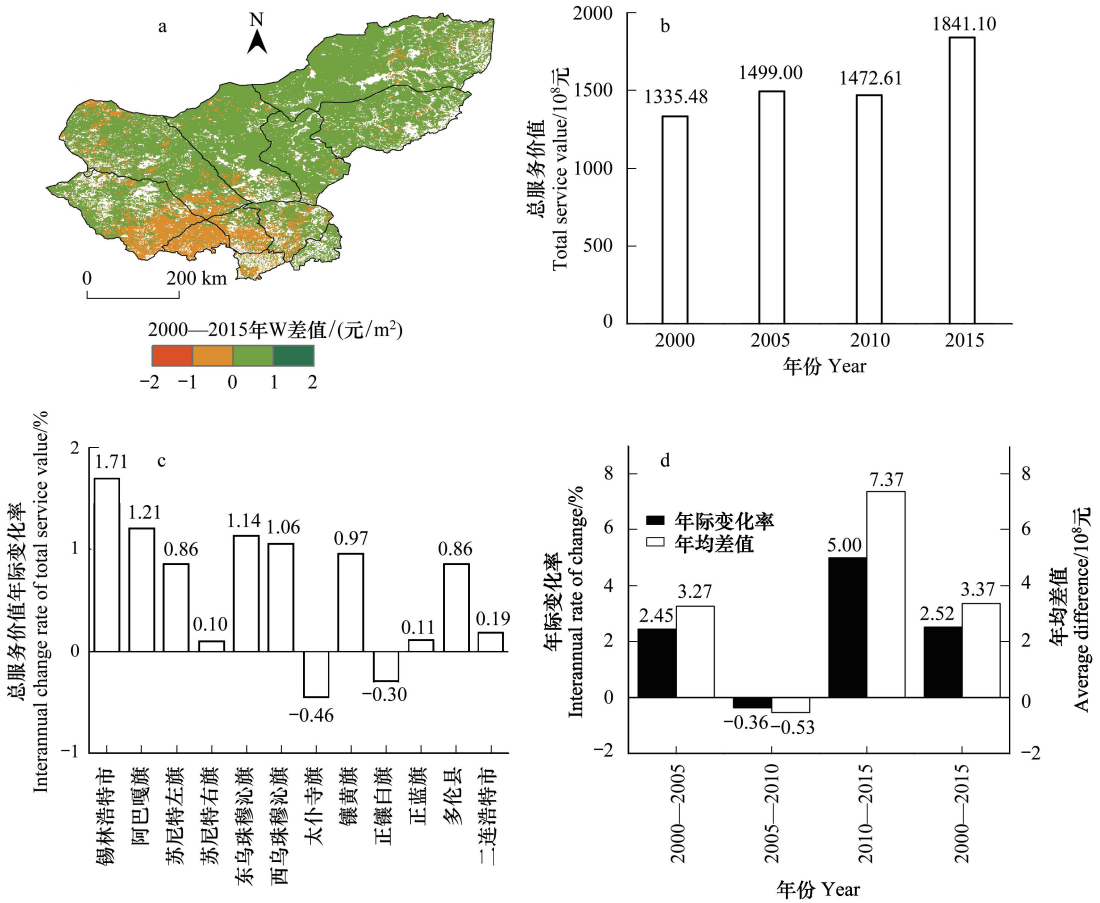

图 9　(a)2000—2015 年 W 的差值分布特征图;(b)2000—2015 年 W 的服务价值量;(c)2000—2015 年各区划的 W 的年均变化率(d)2000—2015 年 W 年均增长率和年均差值

Fig.9　(a) Distribution characteristics of the difference between 2000 and 2015 W; (b) Volume of service value from 2000 to 2015; (c) The average change rate of W years in different districts from 2000 to 2015 (d) The average annual growth rate and average annual difference of W years from 2000 to 2015

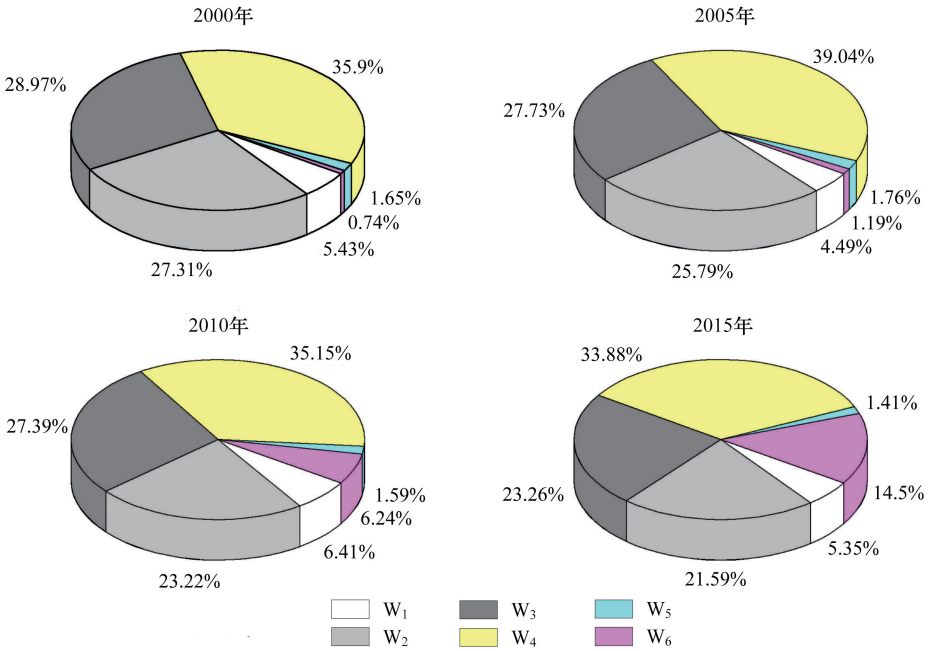

图 10 2000—2015 年锡林郭勒盟草地生态系统六种服务功能价值占比

Fig.10 The proportion of six service functions of grassland ecosystem in Xilingol League from 2000 to 2015

阿巴嘎旗、苏尼特左旗及多伦县等地区,年际增长率约为 1%左右;而位于西部地区的苏尼特右旗、二连浩特市及正蓝旗等地区增长较为缓慢,年际增长率约在 0.1%-0.2%;正镶白旗和太仆寺旗的年际增长率为负值,草地生态系统提供的服务价值出现下降趋势。对于增长缓慢和负增长的区域应该制定更为合理的草地资源管理方案,通过退耕还草,禁止过度放牧等措施来防止草地退化。

(3)锡林郭勒盟草地生态系统各种服务功能所提供的价值并不平衡,其中维持碳氧平衡功能、营养物质循环功能及土壤保持功能均呈缩减趋势;文化娱乐功能从占比 0.74%增长到 14.50%,增长极为迅速;而提供产品及涵养水源功能占比基本不变。对于以畜牧业及旅游业为支柱型产业的锡林郭勒盟,应适当调节不同草地种类的分布,提高其土壤保持及文化娱乐功能的服务价值。

锡林郭勒盟草地生态系统每年提供巨大的服务价值(表 4),各种草地生态系统服务功能对保护当地生态环境和生物多样性,平衡气体交换,水土保持及促进畜牧业和草原旅游业的发展具有重要意义。

3.2 展望

但是由于近三年的研究数据极难获取以及研究水平有限,本研究仍存在不足:缺乏长时间的动态的实际观测数据来与研究结果进行对比,无法进一步提高研究结果的精度;数据源的空间分辨率有待进一步提高;未对不同草地种类的生态系统服务功能价值进行对比。因此,利用 RS 与 GIS 相结合的手段建设更为合理的草地生态系统功能评估指标,更精细化的区分不同草种生态系统服务功能的异质性以及揭示生态系统随土地利用类型变化而发生的变化必然是以后研究的重点。

参考文献(References):

[1] 姜立鹏, 覃志豪, 谢雯, 王瑞杰, 徐斌, 卢琦. 中国草地生态系统服务功能价值遥感估算研究. 自然资源学报, 2007, 22(2): 161-170.

[2] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 草地生态系统服务功能分析及其评价指标体系. 生态学杂志, 2004, 23(6): 155-160.

[3] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, V.O'Neill R, Paruelo J, G.Raskin R, Sutton P, Belt M. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[4] Carpenter SR, Mooney HA, Agard J, Capistrano D, Defries RS, Diaz S, Dietz T, Duraiappah AK, Oteng-Yeboah A, Pereira HM, Perrings C, Reid WV, Sarukhan J, Scholes RJ, Whyte A. Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment.

Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America, 2009, 106(5): 1305-1312.

[5] AM Qi, PJ Murray, GM Richter. Modelling productivity and resource use efficiency for grassland ecosystems in the UK. European Journal of Agronomy, 2017, 89(10): 148-158.

[6] Gashaw T, Tulu T, Argaw M, Worqlul AW, Tolessa T, Kindu M. Estimating the impacts of land use/land cover changes on Ecosystem Service Values: The case of the Andassa watershed in the Upper Blue Nile basin of Ethiopia. Ecosystem Services, 2018, 31(10): 219-228.

[7] Sannigrahi S, Bhatt S, Rahmat S, Paul SK, Sen S. Estimating global ecosystem service values and its response to land surface dynamics during 1995 – 2015. Journal of Environmental Management, 2018, 223(10): 115-131.

[8] 谢高地, 张钇锂, 鲁春霞, 郑度, 成升魁. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.

[9] 赵同谦, 欧阳志云, 贾良清, 郑华. 中国草地生态系统服务功能间接价值评价. 生态学报, 2004, 24(6): 1101-1110.

[10] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 王效科, 苗鸿. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491.

[11] 赵苗苗, 赵海凤, 李仁强, 张丽云, 赵峰侠, 刘丽香, 沈瑞昌, 徐明. 青海省 1998-2012 年草地生态系统服务功能价值评估. 自然资源学报, 2017, 32(3): 418-433.

[12] 高雅, 林慧龙. 草地生态系统服务价值估算前瞻. 草业学报, 2014, 23(3): 290-301.

[13] 刘秀丽, 张勃, 任媛, 吴攀升, 李玫, 贾艳青, 罗正明. 五台山地区草地生态系统服务价值估算. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 24-29.

[14] Li GD, Fang CL. Global mapping and estimation of ecosystem services values and gross domestic product: A spatially explicit integration of national 'green GDP' accounting. Ecological Indicators, 2014, 46(6): 293-314.

[15] 田志会, 王润, 赵群, 马晓燕. 2000—2012 年北京绿地生态系统服务价值时空变化规律的研究. 中国农业大学学报, 2017, 22(6): 76-83.

[16] 何如海, 许典舟, 孙鹏, 高采烈. 基于生态足迹的安徽省耕地生态补偿评价. 安徽农业大学学报: 社会科学版, 2017, 26(4): 28-35.

[17] Song X P. Global Estimates of Ecosystem Service Value and Change: Taking Into Account Uncertainties in Satellite-based Land Cover Data. Ecological Economics, 2018, 143(7): 227-235.

[18] 方瑜, 欧阳志云, 肖燚, 郑华, 徐卫华, 白杨, 江波. 海河流域草地生态系统服务功能及其价值评估. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1694-1706.

[19] 董世魁, 汤琳, 张相锋, 刘世梁, 刘全儒, 苏旭坤, 张勇, 武晓宇, 赵珍珍, 李珏, 沙威. 高寒草地植物物种多样性与功能多样性的关系. 生态学报, 2017, 37(5): 1472-1483.

[20] 张良侠, 樊江文, 张文彦, 钟华平. 内蒙古草地植物叶片氮、磷元素化学计量学特征分析. 中国草地学报, 2014, 36(2): 43-48.

[21] 张雪峰, 牛建明, 张庆, 董建军, 张靖. 内蒙古锡林河流域草地生态系统土壤保持功能及其空间分布. 草业学报, 2015, 24(01): 12-20.

[22] 徐瑶, 陈涛. 藏北草地退化与生态服务功能价值损失评估——以申扎县为例. 生态学报, 2016, 36(16): 5078-5087.

[23] 郭伟. 北京地区生态系统服务价值遥感估算与景观格局优化预测[D]. 北京:北京林业大学, 2012.

[24] 张明阳, 王克林, 陈洪松, 章春华, 刘会玉, 岳跃民, 凡非得. 喀斯特生态系统服务功能遥感定量评估与分析. 生态学报, 2009, 29(11): 5891-5901.

[25] 焦亮, 赵成章. 祁连山国家自然保护区山丹马场草地生态系统服务功能价值分析及评价. 干旱区资源与环境, 2013, 27(12): 47-52.

[26] 刘吉平, 赵丹丹, 田学智, 赵亮, 刘家福. 1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力. 生态学报, 2014, 34(12): 3234-3244.