

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0220

张艳珍,王钊齐,杨悦,李建龙,张颖,章超斌.蒙古高原草地退化程度时空分布定量研究.草业科学,2018,35(2):233-243.

Zhang Y Z, Wang Z Q, Yang Y, Li J L, Zhang Y, Zhang C B. Research on the quantitative evaluation of grassland degradation and spatial and temporal distribution on the Mongolia Plateau. Pratacultural Science, 2018, 35(2): 233-243.



蒙古高原草地退化程度 时空分布定量研究

张艳珍,王钊齐,杨悦,李建龙,张颖,章超斌

(南京大学生命科学院生态学系,江苏 南京 210023)

摘要:为了实现大面积遥感定量评估蒙古高原草地退化状况,利用 NDVI 数据反演 1982—2013 年草地植被覆盖度,并以 1982—1985 年覆盖度作为基准数据,计算 1986—1999 年和 2000—2013 年草地退化指数。结果表明,1986—1999 年和 2000—2013 年,蒙古高原草地覆盖度分别达到 14.60% 和 18.43%,呈上升趋势;1986—1999 年显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)增加的面积分别为 298.86 和 189.67 km²,2000—2013 年增加面积分别为 443.32 和 92.46 km²;相对 1986 年,2007 年的草地覆盖度最差,2001 和 1995 年也较差,而 2013 年草地覆盖度最好,表现为初期一般、中期变差、后期变好且好于初期;草地退化程度方面,1986—1999 年重度退化草地面积所占百分比最大,达 50.35%;2000—2013 年中度和重度退化草地面积百分比分别是 39.42% 和 30.34%,总和接近 70%,草地退化状况有由极重度、重度向中度和轻度转变的趋势,草地趋于好转。

关键词:蒙古高原草地;草地覆盖度;像元二分模型;草地退化定量评估;草地退化评价指数

中图分类号:S812.6⁺8

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)02-0233-11^{*}

Research on the quantitative evaluation of grassland degradation and spatial and temporal distribution on the Mongolia Plateau

Zhang Yan-zhen, Wang Zhao-qi, Yang Yue, Li Jian-long, Zhang Ying, Zhang Chao-bin

(School of Life Sciences, Department of Ecology, Nanjing University, Nanjing 210046, Jiangsu, China)

Abstract: In this study, we used remote sensing technology to obtain a quantitative evaluation of the present situation of grassland degradation on the Mongolia Plateau. The time scale investigated was 1982 to 2013. We used NDVI data inversion vegetation coverage, and took vegetation coverage in the period 1982—1985 as the main indicator of ecosystem health. Furthermore, we calculated the grassland degradation index(GDI) and evaluated grassland degradation in the Mongolia Plateau during the period 1986—2013 to gain a quantitative estimate of the Mongolia Plateau grassland degradation time and space distribution characteristics. The results showed that the grassland vegetation coverage reached 14.60% and 18.43%, respectively, in the periods 1986—2000 and 2001—2013, with both showing an increase trend. The areas of significant($P < 0.05$) and highly significant($P < 0.01$) increase were 298.86 and 189.67 km² in the period 1986—1999, respectively, and the areas of significant($P < 0.05$) and highly significant($P < 0.01$) increase were 443.32 and 92.46 km² in the period 2001—2013, respectively. Compared with 1986, the worst grassland coverage was in 2007, whereas it was poor in 2001 and 1995. The best grassland coverage was recorded in 2013. In terms of the GDI, in the period 1986—1999, severely degraded grassland area had the largest area percentage(50.35%), whereas in the period 2000—

* 收稿日期:2017-05-03 接受日期:2017-07-17

基金项目:国际 APN 全球变化项目(No. ARCP2015-03CMY-Li & CAF2015-RR14-NMY-Odeh);“the Public Sector Linkages Program supported by the Australian Agency for International Development”(PSLP: No. 64828);国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2010CB950702);国家 863 计划专题项目(2007AA10Z231)

第一作者:张艳珍(1990-),女,内蒙古乌审旗人,在读硕士生,主要从事草地遥感监测研究。E-mail:zyzwill7@126.com

通信作者:李建龙(1962-),男,吉林长春人,教授,长江学者讲座教授,博士,主要从事生态环境遥感监测研究。E-mail:jlli2008@nju.edu.cn

2013, the percentage areas of moderately and seriously degraded grassland were 39.42% and 30.34%, respectively. Collectively, the results showed that grassland degradation conditions are improving on the Mongolia Plateau, from extremely serious and serious degradation to moderate and light grassland degradation.

Key words: Mongolia Plateau grassland; grassland vegetation coverage; dimidiate pixel model; quantitative evaluation of grassland degradation; grassland degradation index(GDI)

Corresponding author: Li Jian-long E-mail:jlli2008@nju.edu.cn

草地是陆地生态系统的组成成分,在全球碳循环中扮演重要角色,不仅有保持水土、防风固沙等生态功能,更是草原区畜牧业生产发展、经济进步的重要环节^[1-3]。蒙古高原作为东北亚地区的一个特殊地貌单元,远离海洋,草地是其主要植被覆盖类型,荒漠化是其重要的地貌特征,是全球变化研究中的必要环节^[4-7]。近 40 年来,由气候变化和人类活动引起的蒙古高原草地退化形式加剧,裸地面积有扩大趋势,荒漠化十分严重^[8-11]。草地退化一方面直接影响内外蒙古广大牧民群众的生活水平和社会经济的健康发展;另一方面,作为我国北方重要的生态屏障,草地退化会加重高原荒漠化、沙化和水土流失,造成严重的生态环境问题。

草地植被覆盖变化可表征草地植被长势、生态系统健康程度以及植被退化状况,获取草地植被覆盖度变化特征在区域生态环境评价中有重要意义^[12]。遥感监测手段随着计算机和遥感等技术的发展已经成为大尺度区域乃至全球范围植被覆盖变化监测研究的主要手段^[10]。归一化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)由于与植被覆盖度存在极显著线性相关关系^[13],是可以反映植被生长分布及其年际变化且可用来进行植被变化监测的一种遥感数据^[14]。在现有的 NDVI 数据中,EOS/MODIS NDVI 的光谱性能稳定,辐射定标精度优越,空间相关性高,能较好地估算出高原地区的草地生长状况^[15-18]。

草地退化是一种人为因素和气候因素等对草地生态系统进行干扰超过自我调节阈值,使其出现逆向交替的现象^[19]。目前,关于草地退化监测和评价的方法主要有实测法和遥感监测法等。实测法适用于小范围内的植被退化监测,而针对大尺度区域,遥感技术则成为了重要手段。近年来,有不少针对我国重要牧区的草地退化状况研究。薛存芳等^[20]利用实测法选择了种群自然生殖枝高度、草地植被覆盖度和草地生物量 3 个评价指标,加权得到草地退化指数 GDI,结果显示,与 2002 年相比,2006 年中国内蒙古地区草地植被

退化状况呈现出整体改善、局部恶化的状况。曹旭娟等^[21]利用遥感监测法基于 NDVI 反演藏北地区草地植被覆盖度,以覆盖度作为判断草地退化的标准,综合计算逐年草地退化指数,得出该地区草地退化程度分布结果。由于蒙古高原覆盖面积较大,涉及到两个行政单元,本研究采用遥感监测法,以草地植被覆盖度为指标监测草地退化,建立蒙古高原草地退化评价指标,参照国家标准(GB19377—2003)^[22],以 1982—1985 年植被状况为基准,研究蒙古高原 1986—1999 年和 2000—2013 年(2000 年以来,我国陆续实施了“退牧还草”、“京津源风沙治理”等工程,蒙古国则实施草地管理及土地法等举措,为判断生态治理工程的实际意义选择了 2000 年为前后两段时期的节点)的植被退化时空分布特征,通过精确定量监测和分析蒙古高原草地退化程度及其时空分布,积累蒙古高原草地退化基本数据,有利于高原草地资源的可持续发展和生态环境的改善。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区是蒙古高原主体部分(图 1),包括蒙古国和中国内蒙古自治区两个行政单元 33 个行政区(蒙古国 21 个省市,中国内蒙古 12 个盟市),位于 87°43′—126°04′ E 和 37°22′—53°20′ N,面积约为 2.74×10^6 km²,其中蒙古国和中国内蒙古自治区的面积分别为 1.56×10^6 和 1.18×10^6 km²。蒙古高原位于欧亚大陆中部,东抵大兴安岭西麓,西达阿尔泰山脉和萨彦岭,南部以阴山山脉为界,北临萨彦岭、肯特山脉和亚布洛夫山脉^[23]。平均海拔约 1 580 m,地势西高东低,年降水量约 269 mm,各地分布不均,东北部地区最多,年总量 300~400 mm,降水量随着离海洋距离的增加由东北向西南逐渐减小,西南部地区降水量仅约 100 mm。蒙古高原年均温是 4.12 °C,分布特征基本与降水量一致。高原自然植被覆盖受气候因子影响,由东向西南依次有森林、森林草原、草甸草原、典型草原、荒漠草原和戈壁荒漠,生态环境多样且脆弱^[24]。

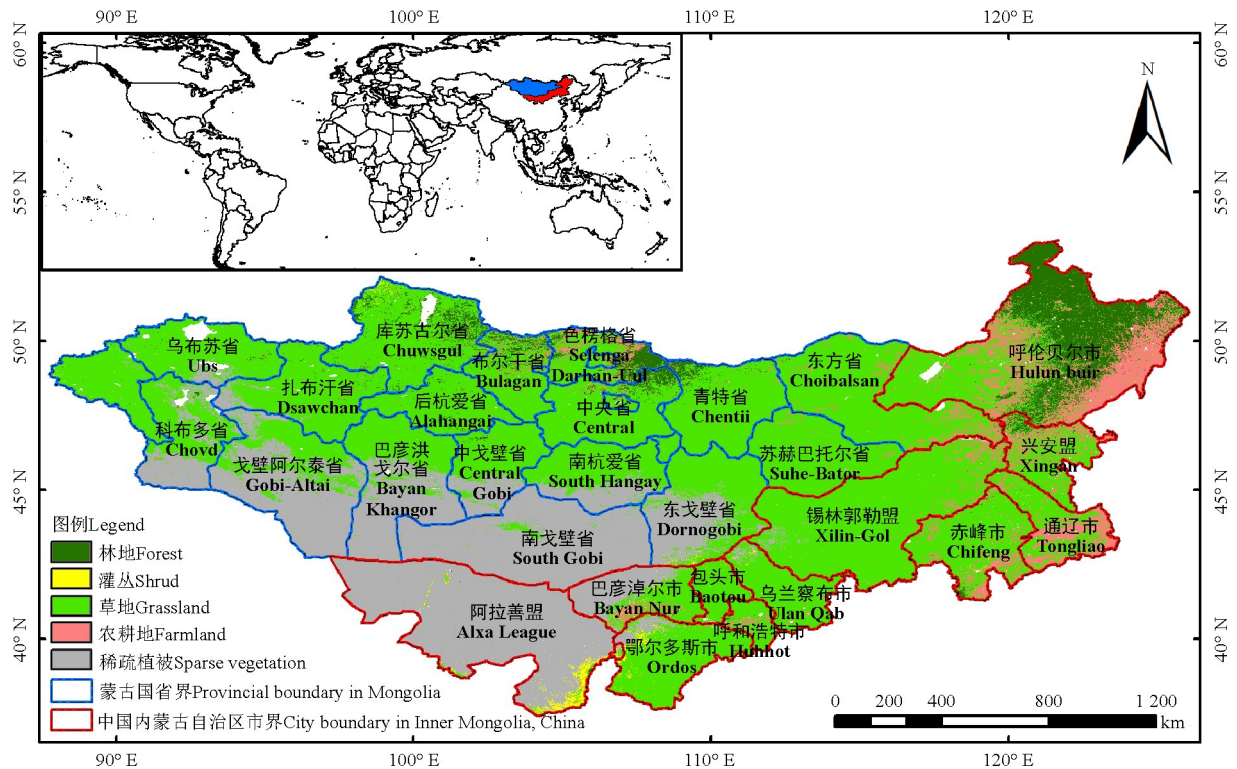


图 1 研究区位置图及国际生物圈计划 (IGBP) 植被类型

Fig. 1 Location of the study area and the land use map from International Geosphere-Biosphere Programme(IGBP)

1.2 数据来源

1982—2006 年 GIMMS NDVI 数据来自美国国家航天航空局(NASA),时间分辨率为 15 d,空间分辨率为 8 km,该数据集制作过程中已经经过辐射校正、图像几何精校正、除云和除坏线等处理,数据误差小且精度较高,已被广泛应用于大尺度区域植被覆盖变化研究中;2001—2013 年 EOS/MODIS NDVI 数据来自 NASA 地球观测系统 EOS/MODIS NDVI 数据中的 MOD13A2 级数据产品,时间分辨率为 16 d,空间分辨率 1 km。土地覆盖分类数据采用 MODIS 数据 MOD12C1 产品中的 IGBP 2001 年数据,通过投影变换、重采样、裁剪和类型合并等预处理,生成空间分辨率 1 km 的,包括林地、灌丛、草地、农耕地和稀疏植被 5 类,并提取草地覆盖类型用于分析草地植被覆盖度面积动态和草地退化程度分析。

1.3 研究方法

1.3.1 植被覆盖度(vegetation fraction, Fv)的计算
植被覆盖度是反映草地资源是否发生退化的直观指标,由于植被盖度与归一化植被指数(NDVI)存在极显著线性相关关系^[18],本研究利用像元二分模型近似估算植被覆盖度,具体计算公式如下:

$$F_v = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100\%.$$

(1)

式(1)中:Fv 表示草地的覆盖度,NDVI_{min}代表研究范围内的 NDVI 最小值(或裸地 NDVI 值),NDVI_{max}代表研究范围内的 NDVI 最大值(或纯植被 NDVI 值)。

1.3.2 草地覆盖度的变化趋势计算
本研究利用线性回归方程在像元基础上分析蒙古高原 1986—1999 年和 2000—2013 年最大草地覆盖度的变化趋势,具体的计算公式如下:

$$S = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times C_i) - (\sum_{i=1}^n i) \times (\sum_{i=1}^n C_i)}{n \times (\sum_{i=1}^n i^2) - (\sum_{i=1}^n i)^2}.$$

(2)

式(2)中:S 代表趋势斜率,n 为研究年限 14,i=1 为 1986 或 2000 年,i=2 为 1999 或 2013 年,C_i 为第 i 年的最大覆盖度值,S 为正值则草地覆盖度呈上升趋势,若为负值则草地覆盖度呈下降趋势。关于变化趋势显著性分析则使用 F 检验,显著性检验结果仅代表变化趋势可置信程度的高低,而与其变化的快慢没有关系^[25]。显著性分析计算公式为:

$$F = U \times \frac{n-2}{Q};$$

(3)

$$U = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \hat{y})^2;$$

(4)

$$Q = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2.$$

(5)

式(5)中: $n=14$,为研究年限; U 为误差平方和; Q 是回归平方和; y_i 是第*i*年覆盖度实际观测值; $\hat{y}_i$ 是回归模拟值; $\bar{y}$ 则代表14年内覆盖度的平均值。根据*F*检验结果可将变化趋势分为6个等级:分别是极显著减少($S<0,P<0.01$),显著减少($S<0,0.01<P<0.05$),无显著减少($S<0,P>0.05$),无显著增加($S>0,P>0.05$),显著增加($S>0,0.01<P<0.05$),极显著增加($S>0,P<0.01$)。

1.3.3 草地退化评价指标 建立基于遥感监测草地退化的评价指标选择原则既要考虑遥感原理和数据特点,也要有科学性、可行性和针对性。由于尚未有针对蒙古高原整体或是蒙古国内的草地退化评价,而内、外蒙古植被类型和环境条件具有区域延伸性,参照我国国家标准(GB 19377—2003),将20世纪80年代初研究区域未退化草地植被特征定为未退化草地标准^[20,26]。本研究以蒙古高原1982—1985年间的最大草地植被覆盖度为未退化草地基准,将草地退化程度分为5个级别,覆盖度高于未退化草地覆盖度的90%的退化程度评分为1分,覆盖度为未退化草地覆盖度的75%~90%评分为2分,覆盖度为未退化草地覆盖度的60%~75%评分为3分,覆盖度为未退化草地覆盖度的30%~60%评分为4分,覆盖度小于未退化草地覆盖度的30%为评分为5分。在此基础上,选用草地退化指数(grassland degradation index,GDI)判断并监测蒙古高原的草地退化情况^[26]。GDI的具体计算公式如下:

$$GDI=\frac{\sum_{i=1}^5D_i\times A_i}{A}。$$

(6)

式(6)中:GDI为草地退化指数; D_i 为草地退化等级*i*的评分; A_i 为草地退化等级*i*的分布面积; A 为研究区的草地植被总面积。根据计算得出的GDI值,参照蒙古高原草地退化总和判别指标(表1),得出草地退化等级结果。

1.4 数据分析

采用MODIS Reprojection Tools(MRT)软件对下载的数据进行格式转换、数据拼接和裁剪,采用最大值合成法消除部分大气、云和太阳高度角的干扰,为进一步消除干扰,采用三点平滑方法对两种NDVI数据进行进一步修正,得到研究区逐年NDVI数据。植被覆盖度的反演以及草地退化程度级别等利用ENVI 5.1中的Band Math工具计算;遥感制图在ArcGIS

10.2中进行;统计数据的统计分析和图表制作利用Excel 2010和Sigma Plot 12.5实现。

表 1 蒙古高原草地退化综合判别指标
Table 1 Integrated evaluation indices of grassland degradation on the Mongolia Plateau

草地退化指数 Grassland degradation index(GDI)	草地退化程度 Grassland degradation degree
GDI<1	未退化草地 Non-degraded grassland
1≤GDI<1.3	轻度退化草地 Lightly degraded grassland
1.3≤GDI<2	中度退化草地 Moderately degraded grassland
2≤GDI<4	重度退化草地 Seriously degraded grassland
GDI≥4	极重度退化草地 Extremely seriously degraded grassland

2 结果与分析

2.1 蒙古高原草地植被覆盖度时空分布特征和变化趋势分析

蒙古高原1986—1999年和2000—2013年草地植被覆盖度空间分布整体呈现由东北向西南逐渐减小的趋势(图2)。1986—1999年和2000—2013年平均覆盖度分别为15.60%和18.43%,总体呈增加趋势。其中,1986—1999年草地覆盖度显著和极显著增加的区域主要分布在蒙中国杭爱山南麓、中国阴山山脉地区、中国赤峰市中南部和通辽市南部少数区域;2000—2013年草地覆盖度显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)增加的区域主要分布在蒙古国杭爱山脉东部、中国肯特山脉区域、中国东方省东部地区、中国兴安盟东部和中国鄂尔多斯南部和东部一带。从变化率来看,2000年前变化率较大区域主要集中分布于中国呼和浩特及其邻近区域和通辽市、赤峰市南部地带,2000年后变化率较大区域则主要分布在蒙古国东方省和苏赫巴托尔省地区。在年际变化过程中(表2),1986—1999年间,草地覆盖度面积最大的是30%~60%,在中国内蒙古、蒙古国和蒙古高原分别达到1 225.74、2 193.53和3 415.42 km²;面积最小的是90%~100%,中国内蒙古、蒙古国和蒙古高原面积分别为14.24、1.36和15.60 km²。2000—2013年间,草地覆

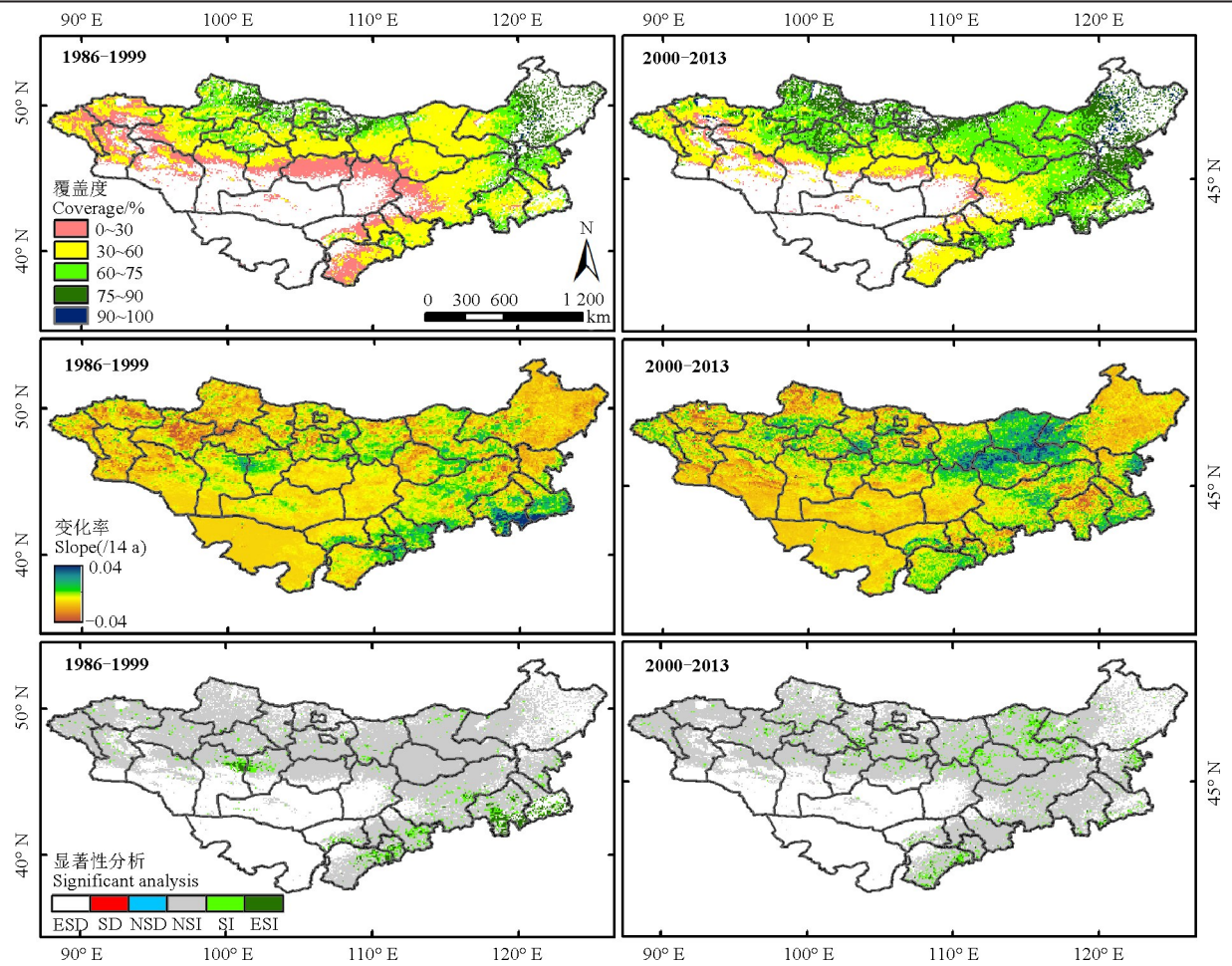


图 2 蒙古高原草地覆盖度时空分布、变化趋势和显著性分析

Fig. 2 The space distribution features and change trend analysis of grassland vegetation coverage in the Mongolia Plateau

ESD: 极显著减少 ($P < 0.01$); SD: 显著减少 ($P < 0.05$); NSD: 减少不显著 ($P > 0.05$); NSI: 增加不显著 ($P > 0.05$); SI: 显著增加 ($P < 0.05$); ESI: 极显著增加 ($P < 0.01$).

ESD: Extreme significantly decrease ($P < 0.01$); SD: Significantly decrease ($P < 0.05$); NSD: No significantly decrease ($P > 0.05$); NSI: No significantly increase ($P > 0.05$); SI: Significantly increase ($P < 0.05$); ESI: Extreme significantly increase ($P < 0.01$).

表 2 蒙古高原不同草地植被覆盖度的面积变化

Table 2 Change of area statistics of grassland coverage in the Mongolia Plateau

年份 Year	覆盖度 Coverage	面积 Area/km ²		
		中国内蒙古 Inner Mongolia, China	蒙古国 Mongolia	蒙古高原 Mongolia Plateau
1986—1999	0~30%	416.42	1 092.36	1524.14
	30%~60%	1 225.74	2 193.53	3 415.42
	60%~75%	479.94	663.73	1 133.50
	75%~90%	312.65	217.48	531.03
	90%~100%	14.24	1.36	15.60
2000—2013	0~30%	83.64	370.30	455.07
	30%~60%	815.20	1 666.79	2 487.42
	60%~75%	800.50	1 433.72	2 237.61
	75%~90%	689.28	665.99	1 357.53
	90%~100%	60.36	31.65	82.06

表 3 蒙古高原草地植被覆盖度变化率显著性面积统计

Table 3 Area statistics of grassland coverage about different significance levels in the Mongolia Plateau

年份 Year	研究区 Study area	面积 Area/km ²		
		不显著增加 No significantly increase	显著增加 Significantly increase	极显著增加 Extreme significantly increase
1986—1999	中国内蒙古 Inner Mongolia, China	1 378.33	180.40	155.76
	蒙古国 Mongolia	2 834.20	126.60	35.27
	蒙古高原 The Mongolia Plateau	3 706.37	298.86	189.67
2000—2013	中国内蒙古 Inner Mongolia, China	1 622.03	166.61	49.96
	蒙古国 Mongolia	3 068.41	292.08	43.18
	蒙古高原 The Mongolia Plateau	4 526.09	443.32	92.46

盖度面积较大的是 30%~60%和 60%~75%，蒙古高原分别达到 2 487.42 和 2 237.61 km²；其次依次是 75%~90%、0~30%和 90%~100%，面积分别为 1 357.53、455.07 和 82.06 km²。整体来看，草地植被覆盖度 0~30%和 30%~60%呈下降趋势，60%以上覆盖度的面积均呈上升趋势。从变化速率显著性分析的面积统计可以看出(表 3)，两个研究时段草地覆盖度均呈现上升趋势，1986—1999 年无显著($P>0.05$)增加、显著($P<0.05$)增加和极显著($P<0.01$)增加的草地面积分别为 3 706.37、298.86 和 189.67 km²；2000—2013 年无显著增加、显著增加和极显著增加的面积分别为4 526.06、443.32 和 92.46 km²。

2.2 蒙古高原草地植被覆盖度差值分析

研究时段为 1986—2013 年，为达到蒙古高原草地覆盖在不同时段变化情况直观判断的目的，选择 1986 年作为基准比较年，将 1995、2001、2007 和 2013 年的草地覆盖度分别与 1986 年的草地覆盖度进行差值计算(图 3)。然后，根据实际情况将草地覆盖度变动幅度进行区间面积统计(表 4)。相对于 1986 年，1995、2001 和 2007 年草地覆盖度依次变差，而 2013 年草地覆盖度最好，且高于 1995 基准比较年差值，表现为初期一般、中期变差、后期变好且好于初期的情况(图 3)。空间分布来看，变化最为剧烈的草地区域主要集古中在蒙国肯特山脉附近、东方省、扎布汗省和苏赫巴

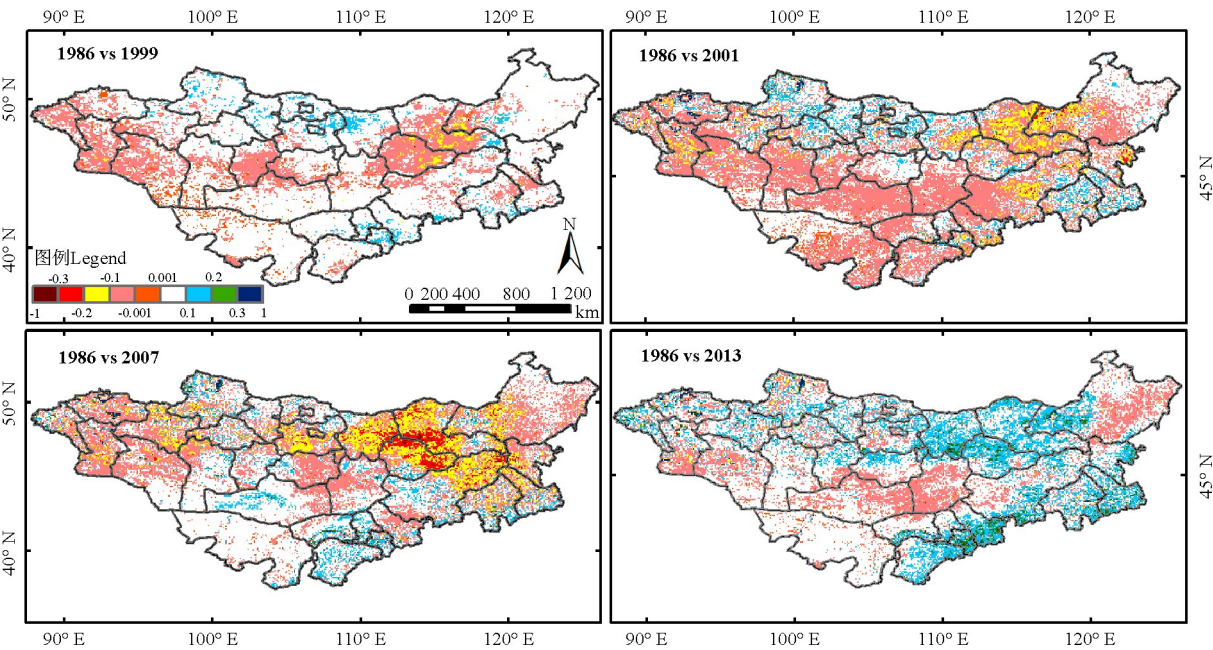


图 3 1986 年与 1999、2001、2007、2013 年蒙古高原草地植被覆盖度差值图

Fig. 3 The differential chart of grassland vegetation coverage in the Mongolia Plateau between 1986 and 1999, 2001, 2007 and 2013

托尔省东部, 中国内蒙古呼伦贝尔西部、兴安盟东部扎赉特旗附近区域和锡林浩特中东部地区; 相对稳定的草地区域集中于蒙古国高原北部蒙古国萨彦岭、南部阴山山脉区域以及中国赤峰市和通辽市南部。

从覆盖度变动幅度来看(表 4), 相对 1986 年, 草地覆盖度面积负变化区域主要集中于 $[-0.1, -0.001)$, 少数集中在 $[-0.2, -0.1)$, 特定时期少数区域集中表现为 $[-0.3, -0.2)$; 草地覆盖度面积正变化区域主要集中于 $[0.001, 0.1)$ 和 $[0.1, 0.2)$ 。其中, 2001 年较 1986 年草地覆盖度负变化的面积最大, 达到 $16\,730.99\text{ km}^2$, 其次依次是 2007 年的 $15\,843.23\text{ km}^2$ 、1995 年的 $13\,684.29\text{ km}^2$ 和 2013 年的 $13\,160.72\text{ km}^2$; 2013 年较 1986 年草地覆盖度正变化面积最大, 达到 $8\,496.5\text{ km}^2$, 其次依次为 1995 年、2007 年和 2001 年, 面积分别为 $7\,972.93$ 、 $5\,813.99$ 和 $4\,926.23\text{ km}^2$ 。

2.3 蒙古高原草地退化状况时空分布特征

通过计算草地退化指数 GDI, 得出 1986—1999 年和 2000—2013 年蒙古高原草地退化程度分布特征(图 4)。从空间分布来看, 退化程度区域性明显, 两阶段草

地植被退化均呈现东北向西南依次逐渐严重趋势。未退化和轻度退化区域主要集中于高原北部蒙古国萨彦岭区域、中国大兴安岭区域; 高原中部区域主要表现出中度和重度退化, 极重度退化出现在草地与非草地过渡区域。

1986—1999 年重度退化草地面积所占百分比最大, 为 50.35% , 其次依次为极重度退化、中度退化、轻度退化和未退化, 面积比例分别是 20.37% 、 18.88% 、 9.50% 和 0.90% (图 5); 2000—2013 年中度和重度退化草地面积百分比超过了 30% , 分别是 39.42% 和 30.34% , 未退化草地面积最小, 仅占 1.95% 。结果表明, 草地退化状况由极重度、重度向中度和轻度变化, 草地退化状况转好。

3 讨论和结论

本研究以覆盖度作为表征草地退化的主要指标, 从 2000 年前后 14 年蒙古高原草地年际变化可以看出, 草地有明显的恢复趋势, 中国内蒙古、蒙古国和蒙古高原覆盖度上升斜率分别为 0.23 、 0.28 和 0.26 。中国

表 4 蒙古高原草地植被覆盖度正负变化面积统计
Table 4 Positive and negative variation statistics of grassland vegetation coverage area in the Mongolia Plateau

年份 Year	变化差值范围 Differential range								km ²
	$[-1\sim-0.3)$	$[-0.3\sim-0.2)$	$[-0.2\sim-0.1)$	$[-0.1\sim-0.001)$	$[0.001\sim0.1)$	$[0.1\sim0.2)$	$[0.2\sim0.3)$	$[0.3\sim1)$	
1995—1986	0.00	0.90	106.25	13 577.13	7 585.45	380.24	6.56	0.68	
2001—1986	1.81	64.88	651.98	16 012.33	4 072.60	716.63	94.50	42.50	
2007—1986	17.41	352.21	1 080.60	14 393.01	4 864.51	791.69	108.74	49.06	
2013—1986	0.23	2.49	69.18	13 088.83	6 020.84	2 071.00	336.61	68.05	

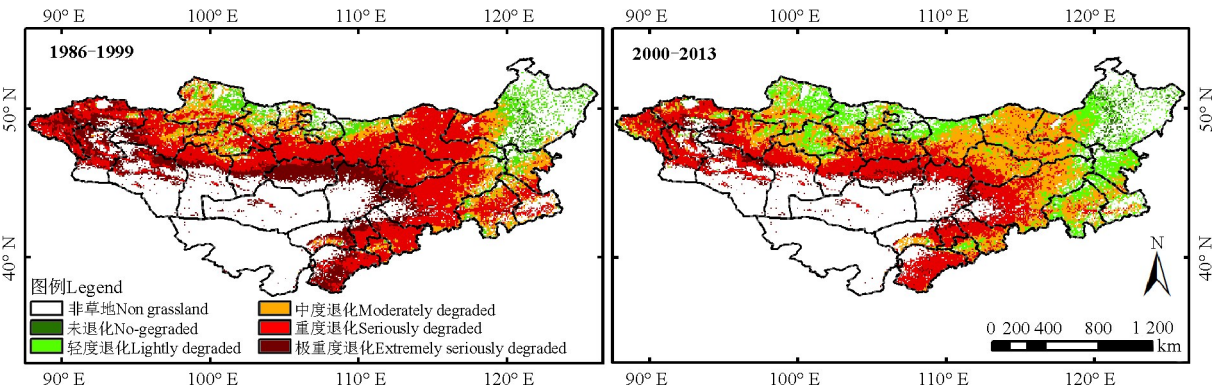


图 4 1986—1999 年和 2000—2013 年蒙古高原草地退化分布图
Fig. 4 Grassland degradation on the Mongolia Plateau during the periods 1986—1999 and 2000—2013

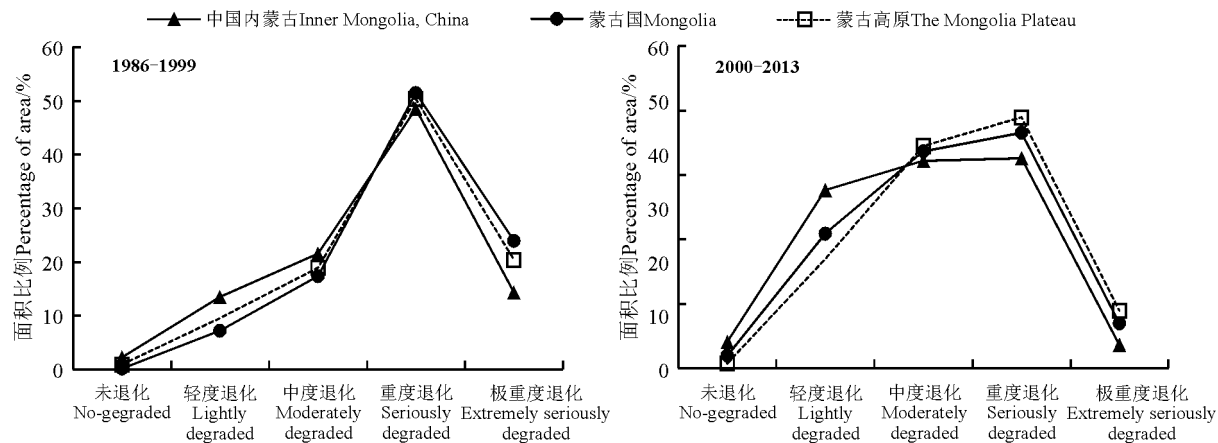


图 5 1986—1999 和 2000—2013 年蒙古高原草地退化程度面积百分比统计图

Fig. 5 Statistics of grassland degradation degree areas on the Mongolia Plateau during the periods 1987—1999 and 2000—2013

表 5 近期关于蒙古高原草地覆盖相关研究分析对比

Table 5 Recent grass overlay comparing related research on the Mongolia Plateau

研究区 Study area	研究时段 Time scale	覆盖度 Fv	归一化植被指数 NDVI	净初级生产力 NPP	植被状况描述 Vegetation description	参考文献 Reference
蒙古高原 Mongolia Plateau	2002—2012		0.32—0.52		先退化后改善趋势 A tread to improve after degradation	[30]
蒙古高原 Mongolia Plateau	1982—2006		0.26—0.30		植被整体呈改善趋势 A trend of improvement	[10]
蒙古高原 Mongolia Plateau	1982—2006		0.203 8		高原植被覆盖呈上升趋势 A trend of improvement	[28]
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	2000—2010	草原区 Grassland 0.4			Fv 整体上呈现上升趋势 Fv showed an overall ascendant trend	[31]
中国内蒙古 Inner Mongolia, China	2001—2010			281.3 g · (m ² · a) ⁻¹	NPP 呈上升趋势 NPP showed an overall ascendant trend	[32]
中国鄂尔多斯 Ordos, China	2001—2013		0.14—0.20		生长季呈增加趋势 An increase trend in the growing season	[33]
中国锡林郭勒草原 Xilin Gol grassland, China	2000—2010			0~0.5 kg · m ⁻²	波动变化, 呈现增加趋势 Fluctuation change, showed a trend of increase	[34]
中国浑善达克沙地 Otindag Sandy Land, China	2000—2014		0.2—0.4		生长季平均值呈上升趋势 The length of the growing season is increasing	[35]

内蒙古大兴安岭地区、蒙古国肯特山脉及萨彦岭东部山区主要植被类型是森林, 植被覆盖度最高, 均高于 60%; 南部和西南部与荒漠区过渡带草地覆盖度最低, 小于 30%。近年来, 针对蒙古高原植被覆盖状况的研

究已有不少(表 5), 张宏斌等^[27]利用 NDVI 分析中国内蒙古植被的研究结果表明, 2000—2008 年草原植被总体趋于恢复。包刚等^[28]基于 GIMMS NDVI 分析蒙古高原植被覆盖状况认为, 1982—2006 年高原植被年平均上升趋势为 0.000 4, 蒙古国的年均上升趋势(0.000 5)比中国内蒙古的年均上升趋势(0.000 3)更加显著。周锡饮等^[29]研究蒙古高原地区 1981—2006 年植被覆盖的时空变化显示, 草原区呈现上升趋势, 森林区和荒漠区植被有下降趋势。本研究 1986—1999 年草地植被覆盖度显著和极显著增加的高原面积分别为 2 98.86 和 189.67 km²; 2000—2013 年分别为 443.32 和 92.46 km², 增加面积也呈现出上升趋势。

从草地退化程度的空间分布特征来看, 草地退化区域性较为明显, 极重度退化区域主要集中在高原西南部草地植被和荒漠区的过渡地带, 调查发现, 该区有大量矿产资源, 是主要矿区; 草地退化程度由西南向东北方向逐渐减弱, 除人为因素外, 另一方面是由于蒙古高原典型的干旱半干旱气候类型, 水热

分布不均, 地带性明显。高原东部和北部分别受太平洋和北冰洋水汽影响, 年降水量最多, 随着离两个海洋距离的增加, 降水量逐渐减少^[36]。蒙古高原草地退化程度区域性明显, 1986—1999 年和 2000—2013 年两阶段草地植被退化程度均呈现东北向西南依次逐渐严重趋势。未退化和轻度退化区域主要集中于高原北部蒙古国萨彦岭区域、中国大兴安岭区域; 高原中部区域主要表现出中度和重度退化, 极重度退化出现在草地与非草地过渡区域。草地植被退化程度明显改善与 21 世纪以来我国实施退耕还林还草、退牧还草和京津风沙源治理、蒙古国实施土地法等一系列环境治理工程的实施息息相关^[31]。本研究结果表明, 草地退化状况有由极重度、重度向中度和轻度变化的趋势, 退化状况转好, 在蒙古高原草地地带性植被条件下, 利用草地退化指数方法可以评估草地退化基况和程度, 不过, 鉴于评价因子相对单一, 今后研究中应该考虑多因子综合评价, 从土壤、植被和生产力等多方面着手分析。

参考文献 References:

- [1] Ojima D S, Dirks B O, Glenn E P, Owensby C E, Scurlock J O. Assessment of budget for grasslands and drylands of the world. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1993, 70(1/4): 95-109.
- [2] White R P, Murry S, Rohweder M. *Grassland Ecosystems*. Washington DC, USA: World Resources Institute, 2000.
- [3] 刘桂香. 草原环境质量检测评价现状、问题及对策. *中国草地学报*, 2009, 31(3): 8-12.
Liu G X. Current situation of monitoring, assessment, problems and countermeasures of grassland eco-environmental quality. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(3): 8-12. (in Chinese)
- [4] 王银柱, 戴良先, 刘晓英, 刘刚, 武高林. 我国草原现状及其生态恢复途径初探. *草业与畜牧*, 2007(5): 29-32.
Wang Y Z, Dai L X, Liu X Y, Liu G, Wu G L. Grassland status and ecological restoration approaches in China. *Caoye Yu Xumu*, 2007(5): 29-32. (in Chinese)
- [5] 张凯, 高会旺, 张仁建, 朱燕君, 王跃思. 我国沙尘的来源、移动路径及对东部海域的影响. *地球科学进展*, 2005, 20(6): 627-636.
Zhang K, Gao H W, Zhang R J, Zhu Y J, Wang Y S. Sources and movement routes of sand-dust aerosols and their impact probabilities on China seas in 2000—2002. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(6): 627-636. (in Chinese)
- [6] 孙艳玲, 郭鹏, 延晓东, 赵天宝. 内蒙古植被覆盖变化及其与气候、人类活动的关系. *自然资源学报*, 2010, 25(3): 407-414.
Sun Y L, Guo P, Yan X D, Zhao T B. Dynamics of vegetation cover and its relationship with climate change and human activities in Inner Mongolia. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(3): 407-414. (in Chinese)
- [7] 师华定, 周锡饮, 孟凡浩, 白鹤鸣. 30 年来蒙古国和内蒙古的 LUCC 区域分异. *地球信息科学学报*, 2013, 15(5): 719-725.
Shi H D, Zhou X Y, Meng F H, Bai H M. Mongolia and Inner Mongolia LUCC regional differentiation over the past 30 years. *Journal of Geo-information Science*, 2013, 15(5): 719-725. (in Chinese)
- [8] Wang L, Zhen L, Liu X L, Batkhishig O, Wang Q X. Comparative studies on climate changes and influencing factors in central Mongolia Plateau Region. *Geographical Research*, 2008, 27(1): 171-180.
- [9] 马梅, 张圣微, 魏宝成, 锡林郭勒草原近 30 年草地退化的变化特征及其驱动因素分析. *中国草地学报*, 2017, 39(4): 86-93.
Ma M, Zhang S H, Wei B C. Temporal and spatial pattern of grassland degradation and its determinants for recent 30 years in Xilingol. *Chinese Journal of Grassland*, 2017, 39(4): 86-93. (in Chinese)

- [10] 戴琳,张丽,王昆,王仁礼.蒙古高原植被变化趋势及其影响因素.水土保持通报,2014,34(5):218-225.
Dai L,Zhang L,Wang K,Wang R L.Vegetation changing trend and its affecting factors in Mongolian Plateau,Bulletin of Soil and Water Conservation,2014,34(5):218-225.(in Chinese)
- [11] 马崇勇,张卓然,杜桂林,单艳敏,季彦华.内蒙古草原蝗害与绿色防控技术应用现状.草业科学,2017,34(5):1113-1120.
Ma C Y,Zhang Z R,Du G L,Shan Y M,ji Y H.Locust plague and its present situation after the application of green control technology in grasslands of Inner Mongolia,Pratacultural Science,2017,34(5):1113-1120.(in Chinese)
- [12] 毛飞,卢志光,张佳华,侯英雨.近 20 年藏北地区 AVHRR NDVI 与气候因子的关系.生态学报,2007,27(8):3198-3205.
Mao G,Lu Z G,Zhang J H,Hou Y Y.Relations between AVHRR NDVI and climate factors in Northern Tibet in recent 20 years.Acta Ecologica Sinica,2007,27(8):3198-3205.(in Chinese)
- [13] 王茜,陈莹,阮玺睿,李小冬,王小利,史健宗,王志伟.1982—2012 年中国 NDVI 变化及其与气候因子的关系.草地学报,2017,25(4):691-700.
Wang Q,Chen Y,Ruan X R,Li X D,Wang X L,Shi J Z,Wang Z W.The changes of NDVI in China from 1982 to 2012 and its relationship with climatic factors.Acta Agrestia Sinica,2017,25(4):691-700.(in Chinese)
- [14] 邢文渊,李大平,王蕾,石玉,肖然,肖继东.巴里坤草原面积动态及其气象因素分析.草业科学,2014,31(3):408-414.
Xing W Y,Li D P,Wang L,Shi Y,Xiao R,Xiao J D.Dynamic variation of grassland area and meteorological influence analysis in Barkol.Pratacultural Science,2014,31(3):408-414.(in Chinese)
- [15] Schulz C,Koch R,Cierjacks A,Kleinschmit B.Land change and loss of landscape diversity at the Caatingaphytogeographical domain:Analysis of pattern-process relationships with MODIS land cover products(2001—2012).Journal of Arid Environments,2017,136:54-74.
- [16] Zhou W,Gang C,Zhou L,Chen Y Z,Li J L,Ju W M,Odeh I.Dynamic of grassland vegetation degradation and its quantitative assessment in the northwest China.Acta Oecologica,2014,55(2):86-96.
- [17] Zhou W,Gang C,Chen Y,Mu S J,Sun Z G,Li J L.Grassland coverage inter-annual variation and its coupling relation with hydrothermal factors in China during 1982—2010.Journal of Geographical Sciences,2014,24(4):593-611.
- [18] 杜子涛,占玉林,王长耀.基于 NDVI 序列影像的植被覆盖变化研究.遥感技术与应用,2008,23(1):47-50.
Du Z T,Zhan Y L,Wang C Y.Study on vegetation-cover changes based on NDVI serial images.Remote Sensing Technology and Application,2008,23(1):47-50.(in Chinese)
- [19] 任又成,张志斌.三江源生态逆向演变现状调查及防治对策.安徽农业科学,2014,15(1):4720-4763.
Ren Y C,Zhang Z B.Sanjiangyuan Ecological Reverse Evolution Survey and Countermeasures.Journal of Anhui Agricultural Sciences,2014,15(1):4720-4763. (in Chinese)
- [20] 曹旭娟,干珠扎布,梁艳,高清竹,张勇,李玉娥,万运帆,旦久罗布.基于 NDVI 的藏北地区草地退化时空特征分析.草业学报,2016,25(3):1-8.
Cao X J,Ganzhuzhabu,Liang Y,Gao Q Z,Zhang Y,Li Y E,Wan Y F,Danjiuluobu.Temporal and spatial distribution of grassland degradation in northern Tibet based on NDVI.Acta Prataculturae Sinica,2016,25(3):1-8.(in Chinese)
- [21] 胡云峰,徐芝英.蒙古高原地形与植被指数的特征尺度及多尺度耦合关系.地理科学,2014,34(12):1511-1517.
Hu Y F,Xu Z Y.Characteristic scales and the multi-scale correlation between DEM and NDVI factors:A case study in the Mongolian Plateau.Scientia Geographica Sinica,2014,34(12):1511-1517.(in Chinese)
- [22] 中华人民共和国国家标准 GB19377:天然草地退化 沙化 盐渍化的分级标准.中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2003.
GB19377—2003:Parameters for degradation,sandification and salification of rangelands.General Administration of quality supervision,inspection and Quarantine of the People's Republic of China,2003.(in Chinese)
- [23] 胡云峰,徐芝英.蒙古高原地形与植被指数的特征尺度及多尺度耦合关系.地理科学,2014,34(12):1511-1517.
Hu Y F,Xu Z Y.Characteristic scales and the multi-scale correlation between DEM and NDVI factors:A case study in the Mongolian Plateau.Scientia Geographica Sinica,2014,34(12):1511-1517.(in Chinese)
- [24] Bao G,Bao Y H,Qin Z H,Xin X P,Bao Y L,Bayarsaikhan S,Zhou Y,Chuntai B.Modeling net primary productivity of terrestrial ecosystems in the semi-arid climate of the Mongolian Plateau using LSWI-based CASA ecosystem model.International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,2016,46:84-93.

- [25] Chen X Q, Tan Z J, Schwartz M D, Xu C X. Determining the growing season of land vegetation on the basis of plant phenology and satellite data in northern China. *International Journal of Biometeorology*, 2000, 44(2): 97-101.
- [26] 高清竹, 李玉娥, 林而达, 江村旺扎, 万运帆, 熊伟, 王宝山, 李文福. 藏北地区草地退化的时空分别特征. *地理学报*, 2005, 60(6): 965-973.
Gao Q Z, Li Y E, Lin E D, Jiang C W Z, Wan Y F, Xiong W, Wang B S, Li W F. Temporal and spatial distribution of grassland degradation in northern Tibet. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(6): 965-973. (in Chinese)
- [27] 张宏斌, 唐华俊, 杨桂霞, 李刚, 陈宝瑞, 辛晓平. 2000—2008 年内蒙古草原 MODIS NDVI 时空特征变化. *农业工程学报*, 2009, 25(9): 168-175.
Zhang H B, Tang H J, Yang G X, Li G, Chen B R, Xin X P. Change of spatial-temporal characteristics based on MODIS NDVI data in Inner Mongolia grassland from 2000 to 2008. *Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(9): 168-175. (in Chinese)
- [28] 包刚, 秦志豪, 包玉海, 周义. 1982—2006 年蒙古高原植被覆盖时空变化分析. *中国沙漠*, 2013, 33(3): 918-927.
Bao G, Qin Z H, Bao Y H, Zhou Y. Spatial-temporal changes of vegetation cover in Mongolia Plateau during 1982-2006. *Journal of Desert Research*, 2013, 33(3): 918-927. (in Chinese)
- [29] 周锡饮, 师华定, 王秀茹, 孟凡浩. 蒙古高原近 30 年来土地利用时空变化特征与动因分析. *浙江农业学报*, 2012, 24(6): 1102-1110.
Zhou X Y, Shi H D, Wang X R, Meng F H. Study on the temporal and spatial dynamic changes of land use and driving forces analysis of Mongolia Plateau in recent 30 years. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2012, 24(6): 1102-1110. (in Chinese)
- [30] 缪丽娟, 蒋冲, 何斌, 刘强, 朱枫, 崔雪锋. 近 10 年来蒙古高原植被覆盖变化对气候的响应. *生态学报*, 2014, 34(5): 1295-1301.
Miu L J, Jiang C, He B, Liu Q, Zhu F, Cui X F. Response of vegetation coverage to climate change in Mongolian Plateau during recent 10 years. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(5): 1295-1301. (in Chinese)
- [31] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 刚成诚, 周伟, 居为民. 2001—2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征. *地理学报*, 2012, 67(9): 1255-1267.
Mu S J, Li J L, Chen Y Z, Gang C C, Zhou W, Ju W M. Spatial Differences of variations of vegetation coverage in Inner Mongolia during 2001—2010. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(9): 1255-1267. (in Chinese)
- [32] 穆少杰, 李建龙, 周伟, 杨红飞, 章超斌, 居为民. 2001—2010 年内蒙古植被净初级生产力的时空格局及其与气候的关系. *生态学报*, 2013, 33(12): 3752-3764.
Mu S J, Li J L, Zhou W, Yang H F, Zhang C B, Ju W M. Spatial-temporal distribution of net primary productivity and relationship with climate factors in Inner Mongolia from 2001 to 2010. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(12): 3752-3764. (in Chinese)
- [33] 额尔敦格日乐, 包刚, 包玉龙, 杭玉玲, 布仁吉日嘎拉. 2001—2013 年西鄂尔多斯国家级自然保护区植被覆盖变化. *水土保持研究*, 2016, 23(1): 110-116.
Erdengerel, Bao G, Bao Y L, Hang Y L, Burenjirigala. Vegetation Coverage Changes in West Ordos National Natural Reserves During the Period from 2001 to 2013. *Research of Soil and Water Conservation*, 2016, 23(1): 110-116. (in Chinese)
- [34] 刘海江, 尹思阳, 孙聪, 等. 2000-2010 年锡林郭勒草原 NPP 时空变化及其气候响应. *草业科学*, 2015, 32(11): 1709-1720.
Liu H J, Yin S Y, Sun C, Peng F L, Zhou P. Temporal and spatial variation of net primary productivity (NPP) and its responses with climatic changes in the Xilingol grassland from 2000 to 2010. *Pratacultural Science*, 2015, 32(11): 1709-1720. (in Chinese)
- [35] 元志辉, 包刚, 银山, 雷军, 包玉海, 萨楚拉. 2000—2014 年浑善达克沙地植被覆盖变化研究. *草业学报*, 2016, 25(1): 33-46.
Yuan Z H, Bao G, Yin S, Lei J, Bao Y H, Sa C L. Vegetation changes in Otindag sand Country during 2000—2014. *Acta Parat-aculturae Sinica*, 2016, 25(1): 33-46. (in Chinese)
- [36] 包刚, 包玉海, 覃志豪, 周义, Shiirev-Adiya. 近 10 年蒙古高原植被覆盖变化及其对气候的季节响应. *地理科学*, 2013, 33(5): 613-621.
Bao G, Bao Y H, Qin Z H, Zhou Y, Shiirev-Adiya. Vegetation cover changes in Mongolian Plateau and Its response to seasonal climate change in recent 10 years. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(5): 613-621. (in Chinese)

(责任编辑 武艳培)