西北林学院学报 2019,34(5):167-171
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2019.05.26

基于 MODIS 的蒙古国 2003—2017 年荒漠化动态监测

陈 芳[1],刘虎俊[1],刘淑娟[1],Ariunaa Ochir[2]

(1.甘肃省治沙研究所 & 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室培育基地,甘肃 兰州 730070;
2.蒙古国立植物保护研究所,蒙古 乌兰巴托 210153)

摘 要:基于 MODIS 归一化植被指数(NDVI)产品数据,通过像元二分模型估算了蒙古国 2003—2017 年植被覆盖度,进行荒漠化监测。结果表明,蒙古国是一个受荒漠化危害极为严重的国家,极重度、重度荒漠化土地占国土面积的 50.70%;2003—2017 年,极重度和重度荒漠化所占国土总面积的比例从前期的 55.99%减少到后期的 50.70%,而轻度和非荒漠化土地所占面积比例从前期的 26.11%增加到 28.13%。土地利用转移矩阵显示,2003—2017 年研究区极重度荒漠化和重度荒漠化转出面积均>转入的面积,呈减少趋势。而非荒漠化和轻度荒漠化转入面积要>转出面积,呈增加趋势。近 15 年蒙古国生态环境整体趋于改善,荒漠化的发展态势不明显。

关键词:MODIS;荒漠化;植被覆盖度;蒙古国

中图分类号:S775 **文献标志码**:A **文章编号**:1001-7461(2019)05-0167-05

MODIS-based Desertification Dynamic Monitoring in Mongolia from 2003 to 2017

CHEN Fang[1], LIU Hu-jun[1], LIU Shu-juan[1], Ariunaa Ochir[2]

(1. *State Key Laboratory of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Gansu Desert Control Research Institute, Lanzhou* 730070, *Gansu, China*; 2. *Plant Protection Research Institute of Mongolia, Ulaanbaatar* 210153, *Mongolia*)

Abstract: Based on MODIS NDVI data, the vegetation coverage in Mongolia from 2003 to 2017 was estimated by the pixel binary model. Mongolia is a country that is seriously endangered by desertification. Extremely severe and severe desertification land accounted for 50.70% of the total land area. The percentage of extremely severe and severe desertification land decreased from 55.99% in 2003 to 50.70% in 2017. In the same period, the percentage of light and non desertification land increased from 26.16% to 28.13%. The land use transfer matrix showed that the area of extremely severe desertification and severe desertification was larger than the area transferred in 2003—2017, showing a decreasing trend. The area of desertification and light desertification was greater than the area transferred out, showing an increasing trend. There was no significant desertification development in Mongolia during the past 15 years.

Key words: MODIS; desertification; vegetation coverage; Mongolia

荒漠化是指由于气候变化和人类活动等因素引起,发生在干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化过程,是困扰全球的重大生态环境问题之一[1]。在 1977 年“世界荒漠化大会(UNCD)”之后,荒漠化问题引起了国际组织和各国政府的极大关注,各国也相继加强了对土地荒漠化的研究工作[2-4]。蒙古国属典型的内陆国家,其 90%的土地位于干旱、半干旱气候区,是全亚洲荒漠化危害最严重的国家之一。调查结果显示,蒙古国荒漠化已经对该国的草原生态平衡产生了巨大影响,对国家畜牧业及地区经济发展造成威胁。同时,蒙古国荒漠与中国北部的荒漠化联合作用,使得蒙古与我国北方地区变成

收稿日期:2018-10-19 **修回日期**:2019-02-25
基金项目:丝绸之路经济带沿线国家流沙固定及其植被恢复关键技术研发与示范(2016YFE0203400);中东亚典型荒漠化防治与生态安全合作研究(18YF1WA020)。
作者简介:陈 芳,女,副研究员,研究方向:荒漠化监测与防治。E-mail:chenfang2ff3@163.com

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

了沙尘天气的主要沙源地之一，对周边地区生态环境产生影响。因此，开展蒙古国土地荒漠化分布现状及动态变化规律研究不仅对蒙古社会经济发展具有理论意义，对我国生态环境建设也具有一定的参考价值[5]。

遥感是荒漠化现状及动态监测最常用的技术，MODIS归一化植被指数(NDVI)产品因与植被覆盖度具有较好的相关性，而被广泛用于荒漠化监测研究[6-9]。本研究以2003－2017年15 a生长季500 m分辨率的MODIS-NDVI植被指数产品为基本数据源，通过像元二分模型估算植被覆盖度，对蒙古国近15 a荒漠化现状及其动态进行监测，以期为蒙古国荒漠化防治提供科学依据。

1 研究区概况

蒙古国地处亚洲中部的蒙古高原，地理位置为87°44′－119°56′E，41°32′－52°15″N，国土面积156.65万km²，为世界上第2大内陆国家(图1)。

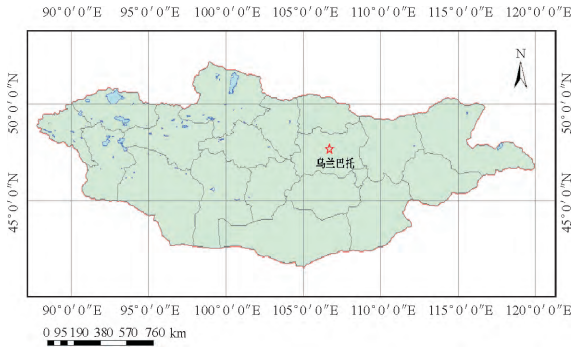

图1 研究区示意

Fig.1 Sketch map of the study area

蒙古国深居内陆，远离海洋，大部分地区属大陆性温带草原气候，季节变化明显，不同季节和单日温差很大。冬季最低气温可达－40℃，夏季最高气温可高至40℃，多年平均气温－2.7℃。年平均降雨量200～300 mm，其中约70%集中在7－8月。年日照时间2 600～3 600 h，是日照时间最长的国家之一。蒙古国地势高，平均海拔为1 580 m，自西向东逐渐降低。植被以自然植被为主，主要由北部西伯利亚针叶林和南部的中亚草原、荒漠组成。

蒙古国经济以畜牧业为主，放牧在人们的生产、生活中占据重要地位。近年来，随着全球气候变暖及人类生产活动影响的日益加剧，草原退化、荒漠化逐步成为该区域重要的环境生态问题。

2 材料与方法

2.1 数据来源

采用的植被指数产品为2001－2017年MODIS13A1数据归一化植被指数(NDVI)产品，免费下载于美国航天局(NASA)数据中心。数据空间分辨率为500 m×500 m，所用时间分辨率为16 d，行列号为h23v03、h23v04、h24v03、h24v04、h25v03、h25v04、h26v04。蒙古国7－8月植被生长进入旺盛期，采用同期的遥感影像进行植被覆盖度反演更加贴合实际情况。因此，采用每年DAY193，即7月上旬数据计算该国该年的植被覆盖度。矢量文件：蒙古国国家边界、水体等矢量数据。

2.2 数据处理

2.2.1 MODIS数据处理 采用ENVI扩展工具MCTK(MODIS Conversion Toolkit)完成影像的几何校正、投影转换和格式转换，利用ENVI的Seamless Mosaic完成数据拼接，获得2003－2017年NDVI影像，基于蒙古国边界矢量图和水体图完成蒙古国NDVI影像和水体掩膜，得到去水体的NDVI影像。最后根据像元二分模型，通过NDVI定量估算植被覆盖度。

2.2.2 基于像元二分模型的植被覆盖度估算 像元二分模型是普遍使用的将NDVI转化为植被覆盖度的线性回归模型，它假设遥感传感器所观测的到的信息S是由绿色植被贡献的信息S_v和土壤贡献信息S_s两部分组成，即

$$S=S_v+S_s \tag{1}$$

如果一个像元中植被覆盖面积比例为f_c，则土壤面积为$1-f_c$，若假设纯植被、裸土的遥感信息为S_{veg}和S_{soil}，则混合像元中植被、土壤的贡献信息可分别表示为：

$$S_v=S_{veg}\times f_c \tag{2}$$

$$S_s=S_{soil}\times(1-f_c) \tag{3}$$

$$S=S_v+S_s=S_{veg}\times f_c+S_{soil}\times(1-f_c) \tag{4}$$

即：

$$f_c=(S-S_{soil})/(S_{veg}-S_{soil}) \tag{5}$$

基于像元二分模型原理，在NDVI影像中，一个像元的NDVI值就是绿色植被贡献信息$NDVI_{veg}$和裸土贡献信息$NDVI_{soil}$两部分组成，这时就可得到：

$$NDVI=NDVI_{veg}\times f_c+NDVIS_{soil}\times(1-f_c) \tag{6}$$

即：

$$f_c=(NDVI-NDVI_{soil})/(NDVI_{veg}-NDVI_{soil}) \tag{7}$$

式中，$NDVI_{soil}$为裸土或无植被覆盖区域的NDVI值；$NDVI_{veg}$为完全被植被所覆盖的像元的NDVI值[10-14]。

由上可知，知道$NDVI_{soil}$和$NDVI_{veg}$的值就可以利用NDVI估算植被覆盖度。但受众多影响因素的

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

影响,$NDVI_{soil}$的值会随时间、空间而变化,而 $NDVI_{veg}$ 也会受植被类型和植被时空分布的影响。由于本研究没有植被和土地利用实测值,所以采用近似值代替的方法。在统计 NDVI 累计概率分布直方图基础上,将给定置信区间的最小值与最大值作为本研究有效的 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 值。本次研究以 0.5% 和 99.5%的累计百分比设为置信度区间,读取对应的像元值作为 $NDVI_{soil}$和 $NDVI_{veg}$值。

2.2.3　荒漠化程度分级标准　植被对地形、土壤、地貌、水文等环境要素的改变最为敏感,是荒漠化过程最好的标志。荒漠化程度与植被覆盖度呈负相关,通过植被覆盖阈值的荒漠化程度分级标准在许多文献中都有涉及。但受研究区域与研究目标的不同,文献中的分级阈值也不完全相同[15]。由于蒙古国荒漠化监测研究尚处于起步阶段,没有成熟的分级阈值标准。蒙古国与中国北方新疆、内蒙等干旱区环境条件相似,故本研究在参考中国北方荒漠化土地划分依据与划分标准基础上,基于野外调查和蒙古国土地荒漠化的特点和成因分析,确定不同植被覆盖度及其荒漠化程度的划分阈值,建立荒漠化程度分级标准[16-17]。

表 1　蒙古国荒漠化程度分级标准

Table 1　Desertification degree grading standard of Mongolia

类型名称	植被盖度范围/%	土地覆被特征
极重度荒漠化	<10	流动沙地、戈壁、裸地等,土地完全失去生产力
重度荒漠化	10～30	部分流沙地、半固定沙地、稀疏草地
中度荒漠化	30～50	固定沙地、中高盖度草地、疏林地
轻度荒漠化	50～70	优质草地、耕地等
非荒漠化	≥70	密林地等、土地表面基本被植被覆盖,植被旺盛

3　结果与分析

3.1　荒漠化土地空间分布格局

基于 ENVI 计算 2003—2017 年平均植被覆盖度,采用上述荒漠化强度分级标准进行分类,所得数据作为蒙古国研究期内土地荒漠化空间分布的现状数据(图 2)。由图 2 可知,蒙古国荒漠化程度由西南向东北逐渐减轻,极重度、重度荒漠化土地主要分布在蒙古国西南地区。其中,极重度荒漠化土地主要分布在西、南部的东戈壁省、南戈壁省、巴彦洪戈尔省、戈壁阿尔泰省、科布多省、中戈壁省、前杭爱省、乌布苏、巴彦乌列盖省等 9 个省,还有一些零星分布在扎布汗省,其地表景观主要为广袤戈壁和稀疏荒漠草原。非荒漠化、轻度荒漠化土地主要分布在北部的库苏古尔省、布尔干省、色楞格省、中央省、肯特省等的部分区域,这些区域多为山区,分布着大面积的西伯利亚针叶林,植被覆盖度较高。分别统计蒙古国不同荒漠化程度土地分布情况结果显示,蒙古国土地荒漠化问题极为严重,极重度、重度荒漠化土地占国土面积的比例分别达 23.17% 和 27.53%,超过国土总面积的 1/2。

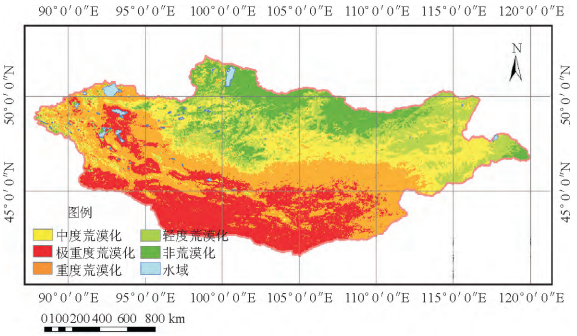

图 2　蒙古国荒漠化土地空间分布格局

Fig. 2　Annual vegetation coverage variations in Mongolia from 2003 to 2017

草场退化是蒙古国土地荒漠化的主要表现形式。蒙古国南部很多省的草场都出现了优良牧草丧失、生产力下降、土壤理化性质改变及土壤病虫害频发的现象。蒙古国是典型的草原畜牧业国家,草原畜牧业是国家经济支柱产业之一。荒漠化使得草原生态环境恶化、畜产品的产量和质量下降,而流沙覆盖水源、棚圈也对牧民的生活造成了较大影响。相关研究表明[15],蒙古国目前牲畜头数已经超过草原承载力,如果荒漠化防治力度不够,草原畜牧业可持续发展将会面临威胁。

3.2　蒙古国荒漠化动态分析

统计 2003—2017 年蒙古国平均覆盖度年度变化情况(图 3),植被覆盖度在 30%左右,虽然植被覆盖略有增加,但增加趋势并不明显。植被覆盖度最高值出现在 2011 年,平均为 34.51%。最低值出现在 2007 年,仅为 26.21%。植被覆盖受自然条件影响较大,使得以植被覆盖为划分标准的不同荒漠化土地面积也处于波动变化中。

为了分析蒙古国 15 a 尺度上荒漠化土地的时空变化,排除特殊年份变异性的影响,以 5 a 为时间间隔,将得到的 2003—2017 年 15 a 的植被覆盖图分成前(2003—2007 年)、中(2008—2012 年)、后(2013—2017 年)3 期,分别计算不同时期的植被覆盖平均值并进行荒漠化强度分类,即形成前(2003—2007 年)、中(2008—2012 年)、后(2013—2017 年)3 个时期的荒漠化遥感监测结果(表 2)。可以看出,相对于 2003—2007 年,2008—2012 年极度荒漠化

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

面积减少了5.09%、重度荒漠化面积增加3.42%，而轻度和非荒漠化面积分别增加了8.73%和6.81%。而到2013－2017年，极度荒漠化面积相对2008－2017年减少15.60%，轻度和非荒漠化分别增加了22.39%和10.17%。15年间，研究区同一时期不同荒漠化程度土地所占面积比例均发生较大变化，其中极重度和重度荒漠化合计所占国土总面积的比例从前期的55.99%减少到后期的50.70%，年均减少0.35%。轻度和非荒漠化土地所占面积比例年均增加0.27%和0.16%。蒙古国近15年来生态环境趋于改善，荒漠化的发展态势不明显。

利用土地利用转移矩阵对2003－2017年荒漠化土地动态变化进行进一步分析发现（表3），从2003年到2017年，非荒漠化土地主要转为轻度荒漠化，转移面积为68 129 km²。轻度荒漠化主要转为中度和非荒漠化土地，转移面积分别为154 178 km²和109 315 km²。中度荒漠化主要转为轻度和重度荒漠化，转移面积分别为117 536 km²和111 446 km²。重度荒漠化主要转为极重度，转移面积分别为102 826 km²。极重度荒漠化主要转为重度荒漠化，转移面积达61 836 km²。研究区极重度荒漠化和重度荒漠化转出面积均大于转入的面积，呈减少趋势。而非荒漠化和轻度荒漠化转入面积要＞转出面积，呈增加趋势。中度荒漠化土地转入和转出面积相差较小，面积基本稳定。

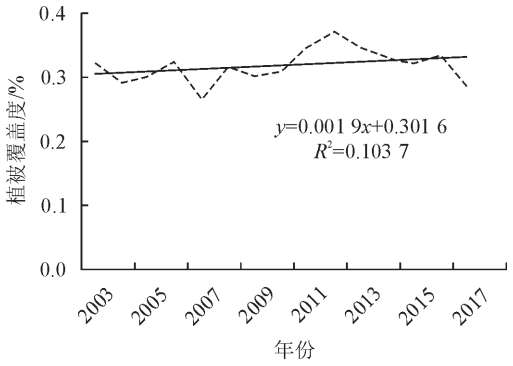

图3 2003－2017年蒙古国荒植被覆盖年变化

Fig. 3 Annual vegetation cover variation in Mongolia from 2003 to 2017

表2 不同时期蒙古国荒漠化动态变化

Table 2 Dynamic changes of desertification in different periods in Mongolia %

年份	前期（2003－2007年）	中期（2008－2012年）	后期（2013－2017年）	增长率（前期－中期）	增长率（中期－后期）
极重度荒漠化	28.93	27.45	23.17	－5.09	－15.60
重度荒漠化	27.06	27.99	27.53	3.42	－1.64
中度荒漠化	17.08	15.61	15.83	－8.62	1.43
轻度荒漠化	12.48	13.57	16.61	8.73	22.39
非荒漠化	13.63	14.56	16.04	6.81	10.17

表3 蒙古国2003－2017年荒漠化土地面积转移矩阵

Table 3 Conversion matrix of desertification in Mongolia from 2003 to 2017 km²

2003年	2017年				
	极重度荒漠化	重度荒漠化	中度荒漠化	轻度荒漠化	非荒漠化
极重度荒漠化	71 784	102 826	2 961	280	64
重度荒漠化	61 835	126 770	111 446	21 339	356
中度荒漠化	817	73 432	178 719	154 178	21 080
轻度荒漠化	59	3 782	117 536	182 501	68 192
非荒漠化	17	182	9 572	109 315	125 838

4 结论

以蒙古国为研究对象，以2003－2017年15年间7月的MODIS-NDVI影像数据为主要数据源，在ARCGIS和ENVI软件支持支持下，运用像元二分模型反演植被盖度，对蒙古国15 a的荒漠化分布和荒漠化动态变化进行了监测与分析。研究结果发现，近15 a蒙古国荒漠化土地总体荒漠化程度有所减轻，全区极重度荒漠化面积减少而轻度、非荒漠化土地面积增加。但是极重度、重度荒漠化合计面积占国土面积的50.7%，荒漠化问题极为严重。荒漠化土地面积转移矩阵分析结果显示，在2003－2017年不同程度荒漠化地变化趋势各有差异，极重度荒漠化和重度荒漠化转出面积均＞转入的面积，呈减少趋势。而非荒漠化和轻度荒漠化转入面积要大于转出面积，呈增加趋势。

参考文献：

[1] 王涛，朱振达. 我国沙漠化研究的若干问题——沙漠化的概念及其内涵[J]. 中国沙漠，2003，23(3)：209-214.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

WANG T,ZHU Z D. Study on sandy desertification in China definition of sandy desertification and its connotation[J]. Journal of Desert Research,2003,23(3):209-214. (in Chinese)

[2] 贺振,贺俊平. 基于 MODIS 的黄土高原土地荒漠化动态监测[J]. 遥感技术与应用,2011,26(4):476-481.
HE Z, HE J P. Desertification monitoring of Loess Plateau based on MODIS [J]. Remote Sensing Technology and Application,2011,26(4):476-481. (in Chinese)

[3] 滑永春,彭道黎,陈鹏飞. 基于 MODIS NDVI 的京津风沙源工程治理区荒漠化动态监测[J]. 西北林学院学报,2010,25(6):210-215.
HUA Y C,PENG D L,CHEN P F. MODIS NDVI based dynamic monitoring of desertification in the sandstorm source control project area around Beijing and Tianjin[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(6):210-215. (in Chinese)

[4] 陈芳,马全林,张德魁,等. 干旱荒漠区植被恢复动态遥感监测[J]. 草业科学, 2011, 28(6):1075-1078.
CHEN F,MA Q L,ZHANG D K,*et al*. Dynamic monitoring of the vegetation restoration in arid desert area[J]. Pratacultural Science,2011,28(6):1075-1078. (in Chinese)

[5] 李亚云,杨秀春,朱晓华,等. 遥感技术在中国土地荒漠化监测中的应用进展[J]. 地理科学进展,2009,28(1):209-214.
LI Y Y,YANG X C,ZHU X H,*et al*. The application of remote sensing technology to land desertification monitoring[J]. Progress in Geography,2009,28(1):209-214. (in Chinese)

[6] 梦翔冲,蒙古国沙质荒漠化对中国北方沙质荒漠化影响研究[M]. 长春:吉林大学,2012.

[7] 吕爱锋,周磊,朱文彬. 青海省土地荒漠化遥感动态监测[J]. 遥感技术与应用,2014,29(5):803-811.
LÜ A F,ZHOU L,ZHU W B. The remote sensing based dynamic monitoring of land desertification in Qinghai Province [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(5):803-811. (in Chinese)

[8] 张浩,余军,王锋,等. 陕西省荒漠化、沙化土地监测与动态变化分析[J]. 西北林学院学报,2015,30(1):184-188.
ZHANG H,YU J,WANG F,*et al*. Monitoring and dynamic analysis of desertification and sanded land of Shaanxi Province [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(1):184-188. (in Chinese)

[9] 张飞,塔西普拉提·特依拜,丁建丽,等. 新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测——以渭干河-库车河三角绿洲为例[J]. 林业科学,2011,47(7):27-35.
ZHANG F,TASHPOLAT·T,DING J L,*et al*. Dynamically monitoring vegetation cover by remote sensing in the typical salinization region of Xinjiang: a case study in delta oasis of Weigan and Kuqa Rivers[J]. Scientia Silvae Sinicae,2011,47(7):27-35. (in Chinese)

[10] 闫敏,李增元,陈尔学,等. 内蒙古大兴安岭根河森林保护区植被覆盖度变化[J]. 生态学杂志,2016,35(2):508-505.
YAN M,LI Z Y,CHEN E X,*et al*. Vegetation fractional coverage change in Daxinganling Genhe forest reserve of Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Ecology,2016,35(2):508-505. (in Chinese)

[11] 苗正红,刘志明,王宗明,等. 基于 MODIS NDVI 的吉林省植被覆盖度动态遥感监测[J]. 遥感技术与应用,2010,25(3):387-393.
MIAO Z H,LIU Z M,WANG Z M,*et al*. Dynamic monitoring of vegetation fraction change in Jilin Province based on MODIS NDVI[J]. Remote Sensing Technology and Application,2010,25(3):387-393. (in Chinese)

[12] 周金霖,马明国,肖青,等. 西南地区植被覆盖动态及其与气候因子的关系[J]. 遥感技术与应用,2017, 32(5):966-972.
ZHOU J S,MA M G,XIAO Q,*et al*. Vegetation dynamics and its relationship with climatic factors in southwestern China[J]. Remote Sensing Technology and Application,2017, 32(5):966-972. (in Chinese)

[13] 朱林富,谢世友,杨华,等. 基于 MODIS EVI 的重庆植被覆盖变化的地形效应[J]. 自然资源学报,2017,32(12):2023-2033.
ZHU L F,XIE S Y,YANG H,*et al*. The response of dynamic change in vegetation coverage to topography in Chongqing based on MODIS EVI[J]. Journal of Natural Resources,2017,32(12):2023-2033. (in Chinese)

[14] 何磊,王超,别强,等. 利用 MOD13Q1 产品监测肯尼亚 2001－2010 年荒漠化动态[J]. 中国沙漠,2013,33(1):46-52.
HE L,WANG C,BIE Q,*et al*. Monitoring of desertification dynamic in Kenya during 2001－2010 using MOD13Q1 data [J]. Journal of Desert Research,2013,33(1):46-52. (in Chinese)

[15] 丁国栋. 区域荒漠化评价中植被的指示性及盖度分级标准研究——以毛乌素沙区为例[J]. 水土保持学报,2004,18(1):158-160.
DING G D. Study on indicative feature and cover classification of vegetation in regional desertification assessment—taking Mu Us Sandland as an example[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2004,18(1):158-160. (in Chinese)

[16] 刘玉安,黄波,程涛,等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 水土保持通报,2012,32(1):92-97.
LIU Y A,HUANG B,CHENG T,*et al*. Vegetation coverage distribution and its changes in plan blue banner based on remote sensing data and dimidiate pixel model[J]. Scientia Geographica Sinica,2012,32(1):92-97. (in Chinese)

[17] 布仁高娃. 蒙古国荒漠化现状、成因及草原畜牧业前景研究[M]. 呼和浩特:内蒙古大学,2011.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net