

基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征

杨 强, 王婷婷, 陈 昊, 王运动

(南京林业大学土木工程学院, 南京 210037)

摘要: 锡林郭勒盟是中国华北地区的重要风沙源地之一, 也是中国北方重要的生态环境保护屏障, 其植被状况将直接影响着京津唐地区乃至东部地区生态环境质量的改善。该文以锡林郭勒盟为研究区, 以 MODIS EVI 遥感数据为主要数据源, 运用时间序列谐波法对 2000—2013 年增强型植被指数 EVI (enhanced vegetation index) 数据进行重构, 用线性混合像元模型对该数据进行混合像元分解提取植被信息, 研究植被覆盖度估算方法, 构建锡林郭勒盟 2000—2013 年植被覆盖度数据集, 完成该地区植被覆盖度的时空变化分析。结果表明: 2000—2013 年, 锡林郭勒盟年均植被覆盖度呈现小幅下降趋势, 年最大植被覆盖度有所增加。从空间分布上, 研究区东部及东南部地区(东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、多伦县和太仆寺旗等)植被覆盖度相对较高, 西北部地区(苏尼特左旗、苏尼特右旗等)植被覆盖度则较低; 从时间趋势上, 2000—2013 年, 研究区虽开展了大规模的退耕还林(草)、植树造林和封山育林(草)等生态环境保护措施的实施, 但由于受沙尘暴、干旱等气候灾害的影响, 以及研究区内牧业、矿业活动程度的加剧, 植被覆盖状况整体改善不明显, 且局部地区植被覆盖明显降低, 草场退化、沙化现象日益明显。中部地区由原本的低植被覆盖度逐渐演变成了较低植被覆盖度, 中植被覆盖度从 2000—2010 年有所降低, 而到 2013 年又有所回升, 从 2000—2013 锡盟部分高植被覆盖度区渐渐变成了较高植被覆盖度区。

关键词: 植被; 谐波分析; 像元; 时间序列分析; 分解; 覆盖度

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.22.026

中图分类号: S127; S285; S181.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-22-0191-08

杨 强, 王婷婷, 陈 昊, 王运动. 基于 MODIS EVI 数据的锡林郭勒盟植被覆盖度变化特征[J]. 农业工程学报, 2015, 31(22): 191—198. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.22.026 <http://www.tcsae.org>

Yang Qiang, Wang Tingting, Chen Hao, Wang Yundong. Characteristics of vegetation cover change in Xilin Gol League based on MODIS EVI data[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(22): 191—198. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.22.026 <http://www.tcsae.org>

0 引言

生态环境的背景状况是反映区域土地资源质量的重要方面, 对区域社会经济的可持续发展有着重大影响^[1]。在多元、多尺度时空信息支持下开展区域生态环境综合研究可为区域可持续发展提供决策支持和理论依据^[1]。植被是陆地生态系统的物质基础, 其在陆地表面的能量交换和物质循环循环过程中扮演着重要的生态角色^[2], 因而提高植被覆盖是控制水土流失、改善生态环境的有效措施和重要保证^[3-4]。植被覆盖度(FVC, fractional vegetation cover)是反映生态环境质量的重要指标之一, 同时也是重要的生态气候参数之一, 许多全球及区域气候数值模型、水文生态模型和土壤侵蚀模型等相关模型中均需要植被覆盖度的信息^[5-9]。

植被覆盖度作为全球干旱半干旱地区土地退化的敏感性指标, 是生态环境质量评价的重要手段^[10]。张月丛

等利用 SPOT-Vegetation 逐旬 NDVI 数据和 Hurst 指数分析了中国华北地区植被覆盖的空间格局及其变化趋势^[11]。王强等利用 GIMMS AVHRR NDVI 植被指数对 1982—2006 年中国三北防护林工程区的植被覆盖时空变化特征进行动态变化研究^[12]。袁丽华等利用 MODIS NDVI 植被指数数据、Theil-Sen Median 趋势分析和 Mann-Kendall 检验分析了黄河流域植被覆盖的时空变化特征^[13]。马琳雅等利用 MODIS EVI 植被指数数据和草地调查资料构建了甘南州植被覆盖度遥感反演模型, 描述了该地区不同等级草地植被覆盖度时空分布特征及面积变化动态^[2]。植被覆盖度是植被遥感监测过程中的重要参数, 但由于所采用的理论依据、研究背景与区域、遥感数据源和所用的植被指数或者波段等条件不同, 植被覆盖估算时往往采用经验统计值, 因而目前依然没有一种标准的方法能够准确地估算生成植被覆盖度^[11,14]。

草原退化是威胁干旱、半干旱地区生态安全与畜牧业可持续发展的重大生态环境问题^[15]。锡林郭勒盟地域辽阔, 是中国北方草原牧区和农牧交错带的重要组成部分, 其在气候变化与人类活动的共同作用下, 退化草原的面积已占全盟草原总面积的 64%^[16]。同时, 该地区土质疏松, 受冬春季强大季风环流的作用, 使其成为了中国重要的沙尘源地和沙尘向中国东南侵袭的中转站^[17]。本文以锡林郭勒盟为研究区, 结合遥感和地理信息系统, 获

收稿日期: 2015-05-11 修订日期: 2015-09-20

基金项目: 中国科学院数字地球重点实验室开放基金项目(2014LDE013); 2013 年大学生实践创新训练计划项目(201310298032Z)。

作者简介: 杨 强, 男, 河南许昌人, 讲师, 博士, 主要从事环境遥感与全球变化研究, 南京 南京林业大学土木工程学院, 210037。

Email: qiangyang@njfu.edu.cn。

取 2000—2013 年每年 23 期（除 2000 年 20 期外）的增强型植被指数（enhanced vegetation index, EVI）时间序列数据集，运用时间序列谐波法、混合像元分解方法和像元二分法定量地提取研究区各年份植被覆盖度估算的相关参数，实现对 EVI 数据的重构和植被覆盖度的估算，完成锡盟草原植被覆盖度的年际和年内时空变化特征分析，以期为草原植被恢复与保护政策的制定提供理论依据^[18]。

1 研究区概况与数据

1.1 研究区概况

锡林郭勒盟位于内蒙古自治区中东部，地处 $115^{\circ}13' \sim 17^{\circ}06'E$ 、 $43^{\circ}02' \sim 44^{\circ}52'N$ ，总面积约为 20.3 万 km^2 （图 1），是中国重要的畜产品基地和生态保护屏障^[3]。研究区北部与蒙古国接壤，南部紧邻中国河北省，是中国华北、东北和西北三大经济地区的交汇地带，是中国开展国际合作和国内交流的重要通道。研究区属大兴安岭向阴山山脉延伸的余脉，地貌以高平原为主，主要分布在区内的南部和中部，其北部和东西部边缘地区主要分布有低山丘陵，地势相对平坦。气候属于中温带半干旱大陆性气候，四季分明，年降水量相对较少，集中在夏秋两季^[3,15-16]。

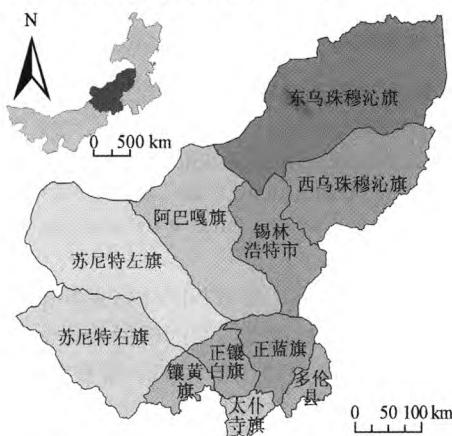


图 1 锡林郭勒盟地理位置及分区图

Fig.1 Geographical location and partition map of Xilin Gol League

1.2 数据源及其预处理

1.2.1 数据选取

植被指数常应用于植被的类型提取、生长状态监测、植被参数反演、时序监测等方面。王长耀等利用 MODIS 植被指数时间序列数据开展冬小麦的估产研究，结果表明 EVI 与小麦产量的相关性相对显著，能更有效地进行作物检测、估产及预测^[19]。左丽君等对 MODIS NDVI 和 MODIS EVI 在耕地信息提取中的应用及对比分析，指出 EVI 识别作物种类能力要明显强于 NDVI^[20]。EVI 时间序列相较于 NDVI 时间序列季节性更为明显，具有在高植被覆盖敏感性、降低土壤背景影响、消除大气传输干扰等特点，能够更好地反映高植被覆盖区的季节性变化特征，并且很少有突降现象，时间序列曲线较平滑^[21-22]。同时，锡林郭勒盟的土地利用类型以草原为主，耕地、林地、建设用地等其他土地利用类型面积比例相对较小，

总体植被类型与结构相对简单^[23]。因此，本研究选取 MODIS EVI 作为植被覆盖度时空变化监测的基础数据。

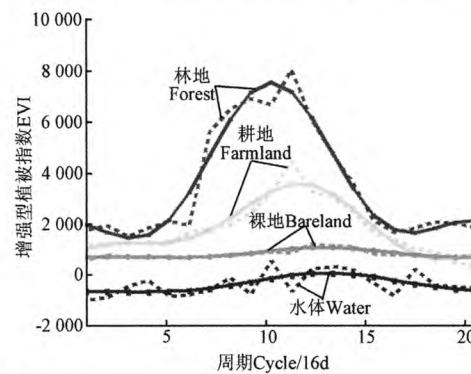
1.2.2 数据预处理

本文从 NASA 的陆地过程分布式数据档案中心（land processes distributed active archive center, LP DAAC）获取了研究区 2000—2013 年 Terra-MODIS EVI 数据（除 2000 年 20 期外，其他各年有 23 期），利用 MRT(MODIS reprojection tool) 将覆盖研究区的两轨数据（分别为 h25v04 和 h26v04）拼接到一起，进而利用行政边界矢量数据完成遥感数据的裁剪。在转换投影过程中，本文将原数据 ISIN (Integerized Sinusoidal) 投影转换为 Albers, Albers 投影需要有 3 个投影参数：第 1 标准纬度、第 2 标准纬度和中央经线，通常设置为 25° 、 47° 、 105° ，起始纬度为 0，偏移为 0。坐标系选取 WGS84，像素为 250 m。校正类型是最邻近像元法 Nearest Neighbor，输出类型是 TIFF 格式。

2 研究方法

2.1 MODIS EVI 的平滑处理

经过对 MODIS EVI 进行投影变化、拼接剪裁、最大值合成等数据预处理，本文获得锡林郭勒盟 2000—2013 年 EVI 时空序列数据集。该数据集虽已经过标准化的大气纠正处理，但其本身还存在着噪声云以及气溶胶和地物的双向性反射所形成的噪声。最大值合成算法（maximum value composite, MVC）作为目前常用的去云处理算法，其虽在一定程度上能够消除某些内部和外部噪声，但却不能确保最小视角范围内的最佳像元，其最终处理结果依然存在很多噪音。同时，若一个合成周期内所有图像中同一空间位置均覆盖有云，则采用 MVC 方法无法得到无云图像的植被指数数据。因此，在 MODIS EVI 产品的基础上还有待进一步的处理，于是本文采用时间序列谐波分析法（harmonic analysis of time series, HANTS）变换方法对周期为 16d 的 EVI 数据进行了滤波处理^[24-25]。HANTS 模型中各参数设置的合理与否直接决定了重建数据的质量，经过反复试验，本文平滑时所用频率数为 2，拟合误差为 1000，残余像元数为 8，对 EVI 时序数据进行平滑处理^[26]，平滑结果明显得到改善（图 2）。



注：虚线为平滑前；实线为平滑后。

Note: Dash lines show land use before smoothing; full lines show land use after smoothing.

图 2 研究区不同地类平滑前后对比

Fig.2 Comparison of EVI curve for different land use types before and after smoothing

从不同土地利用类型所对应的增强型植被指数的变化趋势(图2)中可知,研究区内植被生长期主要集中在4月中旬至9月下旬,全年植被指数呈现出上升下降的趋势,即在春季、夏季植被生长加速,在7月下旬至8月中旬,林地的植被指数首先达到峰值,耕地植被指数的峰值相比要比林地晚15~20 d,而草地通常介于二者之间^[15];在秋季中后期和冬季,植被指数总体呈下降趋势。因此,研究区内不同土地利用类型的植被指数主要呈现单峰变化,这也反映出了中国气候雨热同期对植被生长有着重要的促进作用。

2.2 植被覆盖度估算方法及实现

2.2.1 混合像元分解

本研究采用线性光谱混合模型对研究区遥感影像数据进行混合像元分解。线性光谱混合模型是假设在不同地物间不存在相互作用,位于同一像元区域的波谱是纯净地物波谱的线性加权组合,可表达为

$$T_j = \sum_{i=1}^n f_i \cdot T_{ji} + \varepsilon_j \quad (1)$$

式中, j 为光谱波段数量, $j=1, \dots, m$; i 为端元数量, $i=1, \dots, n$; T_j 为某像元波段 j 的光谱反射率; f_i 为端元 i 在该像元所占的比例; T_{ji} 是端元 i 在波段 j 该像元中的光谱反射率; ε_j 是波段 j 的残差; 模型需运用最小二乘法使均方根误差 RMS 最小。根据植被指数变化曲线,本文将 2000—2013 年 8 月 13 日植被指数数据集和每年植被生长期过程中植被指数数据集分别合成,作混合像元分解处理,提取研究区的纯净像元指数(pure pixel index, PPI),以分别获取研究区纯植被信息和裸地信息,并最终利用所获取的混合像元对年植被指数最大合成值进行叠加分析,获取纯净植被像元和裸地像元所对应的 NDVI 值(表 1)。从表 1 中可发现,不同年份的纯植被像元和裸地像元之间存在着不同程度的差异。由于研究区降水量年际差异变化波动明显,因而不同年份纯净植被像元的植被指数相对变化明显^[15-16]。对于裸地而言,由于地表土壤水分和有机质等含量存在着时空差异,裸地所对应的植被指数也存在着一定程度的差异^[10,21]。

表 1 2000—2013 年锡林郭勒盟纯净植被像元和土壤像元的 NDVI 值

Table 1 Corresponding NDVI value for pure vegetation and soil pixel during from 2000-2013 in Xinlin Gol League

年份 Year	纯植被 Pure vegetation	裸地 Bare land
2000	4921	957
2001	4894	931
2002	5044	967
2003	4924	947
2004	4996	979
2005	5004	979
2006	4974	971
2007	4988	997
2008	5021	962
2009	4591	1000
2010	4922	1013
2011	5023	1014
2012	4993	991
2013	5037	1019

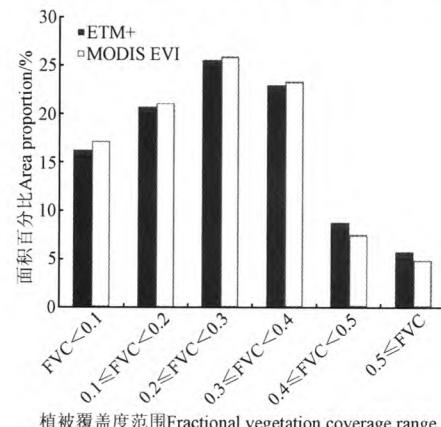
2.2.2 基于 EVI 的植被覆盖度估算及其精度分析

植被覆盖度是对植被指数的综合和简化^[27]。本文利用像元二分模型估算植被覆盖度,其公式为

$$FVC = \frac{EVI - EVI_{soil}}{EVI_{veg} - EVI_{soil}} \quad (2)$$

式中, EVI_{veg} 是纯植被覆盖像元值,因受植被类型的影响,其值在不同的时空尺度上会发生改变^[28],可结合土地利用图计算不同土地利用类型的 EVI_{veg} ^[29]; EVI_{soil} 为纯土壤像元的 EVI 值。 EVI_{soil} 的理论值应该接近零,但由于大气影响及地表温度、湿度、粗糙度、土壤类型等条件的不同, EVI_{soil} 会随着时间而变化^[9,30]。因此,采用一个固定的 EVI_{soil} 值是不可取的,理想的调整方法是从图像中计算 EVI_{soil} 。

为实现对 MODIS EVI 植被覆盖制图的可行性分析,本文以 2002 年 8 月 3 日的 Landsat ETM+ (行号为: 122, 列号为: 27, 云量为 4%) 为数据源,生成植被覆盖度,与上述植被覆盖估算数据进行空间对比分析,进而对植被覆盖度等级进行划分,对不同植被覆盖度等级所占该景遥感影像的面积比例进行空间统计,以定量地分析 MODIS EVI 植被覆盖数据集的精度(图 3)。由图 3 可知,尽管二者空间分辨率差异较大,但所生成的植被覆盖数据集不同等级所占面积比例之间差异相对较小,因而 MODIS EVI 植被覆盖估算数据集能够满足本文植被覆盖时空监测的需要。



注: FVC 为植被覆盖度。

Note: FVC is fractional vegetation cover.

图 3 Landsat ETM+与 MODIS EVI 不同植被覆盖度范围的面积比例

Fig.3 Area proportion of different levels of fractional vegetation cover estimated by Landsat ETM+ and MODIS

2.3 植被覆盖度变化时空分析

回归分析可通过单个像元时间变化特征来反映整个区域的空间变化规律和时空格局演变^[31]。本文利用 2000—2013 年植被覆盖度数据集,以像元为基本单位进行线性回归分析,得到不同空间位置上所在植被覆盖度像元的斜率,其公式为

$$\text{slope} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n i \cdot FVC_i - \left(\sum_{i=1}^n i \right) \left(\sum_{i=1}^n FVC_i \right)}{n \cdot \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i \right)^2} \quad (3)$$

式中, slope 是植被覆盖度回归方程的斜率,其可反映出

研究区植被覆盖度的变化幅度; n 是监测时间段的年数, FVC_i 是第 i 年的植被覆盖度。斜率 slope 为正, 则植被覆盖度呈现增加趋势, 反之则呈现降低趋势; 同时, 斜率绝对值越大, 植被覆盖度增加的幅度越大, 反之则增加的幅度越小。

3 结果与分析

3.1 锡林郭勒盟植被覆盖度总体趋势分析

在上述 2000—2013 年 MODIS EVI 植被覆盖度数据集构建的基础上, 本文利用最大合成法和算数平均法方法提取锡林郭勒盟最大植被覆盖度数据集和平均植被覆盖度数据集, 从时间和空间上来分析研究区植被覆盖度变化发展趋势。

2000—2013 年, 锡林郭勒盟最大植被覆盖度和平均植被覆盖度总体改变不明显, 区域生态环境未有明显改善(图 4)。研究区年均植被覆盖度波动变化不明显, 最低值 0.10 发生在 2011 年。从时间序列上看, 增幅差异不大, 2000—2001 年以 0.07 的幅度减小, 减小原因可能是 2000 年锡盟普遍受干旱影响较严重, 到 2001 年研究区又遭受了更为严重的雪灾、干旱、沙尘暴和草原蝗虫四灾并发的危害^[32]。2001—2003 年植被覆盖度小幅度地增加, 由 0.11 增至 0.13, 2003—2005 呈现从 0.13 小幅降低至 0.12, 2006—2008 年呈现出先降后增的状态, 为-0.06 和 0.21, 2008—2011 出现大幅度降低, 由 0.14 降至 0.10, 这与锡盟 2009 年汛期开始时干旱少雨的气候密切相关^[3]。到 2012 年则快速回升至 0.13, 2012—2013 又由 0.13 降至 0.12。因此, 2000—2013 年, 锡盟平均植被覆盖度受气候变化和人为因素的影响整体上有所下降。

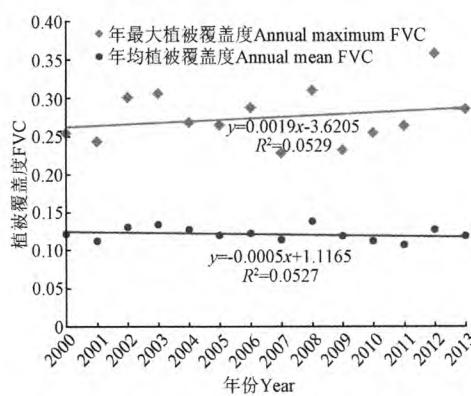


图 4 2000—2013 年锡林郭勒盟植被覆盖度变化趋势
Fig.4 Variation trend of fractional vegetation cover in Xilin Gol League during 2000-2013

2000—2013 年锡林郭勒盟年最大植被覆盖度波动变化相对明显, 最低值 0.22 出现在 2007 年, 在 2001、2007 和 2009 年出现波谷。从时间序列上可知, 植被覆盖度变化整体差异较大(图 4)。2000—2001 年植被覆盖度呈小幅降低趋势, 由 0.25 降至 0.24。2001—2003 年出现大幅度增长, 由 0.24 增至 0.31, 2003—2005 年呈下降趋势, 2005—2009 年植被覆盖度值波动式减小, 由 0.25 降至 0.23, 其中在 2008 年出现峰值为 0.31, 2009—2012 年则

呈上升趋势, 由 0.23 增至 0.36, 2012 年植被覆盖度的值为 0.36, 是整个研究时间段的峰值, 2012—2013 年又降低至 0.29。

3.2 各区县植被覆盖度的时间变化特征

受气候变化、人类活动和地理位置等多种因素影响, 锡林郭勒盟各区县植被覆盖度呈现着明显的时间波动和空间差异(表 2)。随着全球气候变暖的加剧, 锡林郭勒盟沙尘暴、干旱等自然灾害的交替作用, 导致研究区年均植被覆盖度呈下降趋势, 对锡林郭勒盟生态承载力产生不同程度的影响, 致使研究区草原沙化和荒漠化现象日益严重^[33]。西部苏尼特左旗、苏尼特右旗和阿巴嘎旗等地区植被覆盖度较低, 东部东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、正蓝旗和多伦县等地区年均植被覆盖度相对较高。

从年均植被覆盖度分析, 东部和东南部 4 个旗、县(东乌珠穆沁旗、西乌珠穆沁旗、多伦县、正蓝旗等)的年均植被覆盖度相对较高, 尤其是多伦县, 但是在 2000—2013 年期间这 4 个旗、县的植被覆盖度均呈现下降趋势, 正蓝旗的下降幅度最大。西南部各旗、县(如苏尼特左旗、苏尼特右旗、阿巴嘎旗和镶黄旗等)植被覆盖度极低。同时, 受草原开垦、矿产资源开发等活动不同程度的影响, 苏尼特左旗和镶黄旗植被变化呈下降趋势, 草地资源退化, 位于锡盟草原中南部浑善达克沙地面积也由 20 世纪 80 年代的 $2.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 增加到现在的 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ^[32]。

2000—2013 年, 研究区年最大植被覆盖度和年均植被覆盖度在地域上的分布差异相似, 东部及东南各旗、县的植被覆盖度较高。所有旗和县最大植被覆盖度呈现上升趋势, 增长最快地区为东乌珠穆沁旗和锡林浩特市, 增长趋势都为 0.37。中西部植被覆盖度则较低, 各县、旗都呈现缓慢上升趋势, 其中苏尼特右旗年变化率最大。

3.3 各区县植被覆盖度的空间变化特征

2000—2013 年锡林郭勒盟整体覆盖状况上呈现带状交变, 自西向东依次递减的分布规律(图 5)。低植被覆盖度($0 \leq FVC < 0.2$)区域逐渐扩张涵盖了整个西南地区, 包括苏尼特左旗、苏尼特右旗, 沙尘暴与干旱的交替作用致使研究区西南部植被覆盖区域不断向东蔓延。中部地区由原本的低植被覆盖逐渐演变成了较低植被覆盖度($0.2 \leq FVC < 0.4$), 可见在近年来全盟所采取的植树造林、退耕还林(草)、封沙固沙等一系列生态环境保护措施使研究区局部地区生态环境有了显著的改善。中植被覆盖度($0.4 \leq FVC < 0.6$)从 2000—2010 年有所降低, 而到 2013 年又有所回升。从 2000—2013 年研究区高植被覆盖度区($0.8 \leq FVC < 1.0$)面积减少, 而较高植被覆盖度($0.6 \leq FVC < 0.8$)区域面积增加, 由此可知, 在此期间锡林郭勒盟部分高植被覆盖区渐渐变成了较高植被覆盖区。

从空间位置上看, 锡林郭勒盟的东段是大兴安岭山地西北麓的山前丘陵和乌珠穆沁盆地, 中段为玄武岩台地, 西段为苏尼特剥蚀高平原, 中部是东西绵延约 400 km

的浑善达克沙地^[17], 因而独特的地理区位、气候条件和地质环境决定了该区的植被覆盖度的差异特征。同时, 随着人们对草地资源的过度开发和经济发展快速的影

响, 区域草原退化和沙化现象加剧, 植被覆盖度大幅度下降。因此, 植树造林和退耕还草(林)等生态保护工程是该地区抵御沙漠化和草地退化的有效措施^[32,34]。

表 2 2000—2013 年锡林郭勒盟各区县年均植被覆盖度和年最大植被覆盖度变化情况

Table 2 Variation of annual and maximum fractional vegetation cover in each county in Xilin Gol League during 2000-2013

指标 Index	区县 Region	2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	平均 Average
年均植被 覆盖度 Annual fractional vegetation cover/ 10^{-2}	阿巴嘎旗 Abaga Banner	10.08	9.97	12.42	12.38	11.39	11.22	11.07	11.20	14.08	11.92	10.50	8.93	12.50	10.89	11.32
	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	13.80	13.56	15.09	14.75	14.12	15.00	13.32	12.30	16.68	14.25	12.91	13.05	14.77	14.14	14.13
	多伦县 Duolun County	17.93	17.48	18.46	16.25	18.85	17.89	19.00	17.63	18.28	16.82	16.37	16.70	16.07	16.21	17.42
	苏尼特右旗 Sonid Right Banner	8.44	5.75	8.12	10.63	9.15	6.26	8.45	7.44	8.53	7.55	7.88	7.55	9.34	8.04	8.08
	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	8.16	6.64	8.92	9.97	7.82	6.29	7.94	8.84	9.08	9.17	7.00	6.27	8.42	7.41	7.99
	西乌珠穆沁旗 Xiwuzhumuqin Banner	15.78	17.28	17.26	17.47	16.96	17.58	15.91	13.45	18.18	13.44	14.99	14.10	16.60	15.79	16.06
	锡林浩特市 Xilinhot City	11.91	11.41	14.79	14.63	14.15	13.91	12.85	12.49	15.28	11.56	12.94	10.80	14.31	12.62	13.12
	镶黄旗 Xianghuang Banner	14.45	9.12	12.12	13.02	13.62	10.10	12.44	10.03	11.01	10.18	10.41	12.49	10.72	12.24	11.57
	正蓝旗 Zhenglan Banner	16.91	15.45	16.76	15.98	18.14	15.49	17.62	15.52	16.41	14.95	14.25	13.92	14.59	14.88	15.78
	正镶白旗 Zhengxiangbai Banner	15.10	12.37	13.71	13.63	15.64	12.29	14.94	12.72	13.09	12.37	11.58	12.77	12.28	13.56	13.29
年最大植被 覆盖度 Annual maximum fractional vegetation cover/ 10^{-2}	太仆寺旗 Taipusi Banner	17.85	14.16	16.78	14.69	16.87	15.53	18.01	15.18	17.67	14.91	14.80	15.11	15.65	15.41	15.90
	阿巴嘎旗 Abaga Banner	21.28	20.52	27.43	29.24	22.56	24.83	26.58	22.47	29.51	23.16	22.29	21.29	36.95	25.00	25.22
	东乌珠穆沁旗 East Ujimqin Banner	30.98	33.10	36.59	34.71	34.05	36.82	31.35	24.78	42.39	30.75	33.75	34.95	43.40	37.41	34.65
	多伦县 Duolun County	33.87	39.64	40.88	37.77	41.54	41.26	43.72	37.02	41.63	36.69	36.81	41.51	41.19	40.66	39.58
	苏尼特右旗 Sonid Right Banner	16.38	8.36	16.34	22.41	14.40	9.14	19.66	14.13	15.06	11.54	13.82	14.61	22.82	15.10	15.27
	苏尼特左旗 Sonid Left Banner	17.84	11.23	17.90	21.09	13.13	10.60	17.63	17.65	16.02	16.08	13.16	14.20	22.47	14.62	15.97
	西乌珠穆沁旗 Xiwuzhumuqin Banner	33.18	43.35	45.29	41.20	40.61	43.99	39.64	27.84	46.08	27.90	38.53	36.80	49.05	41.46	39.64
	锡林浩特市 Xilinhot City	24.11	23.67	34.83	32.41	30.01	31.47	30.38	25.90	34.09	21.55	29.93	26.92	42.60	30.96	29.92
	镶黄旗 Xianghuang Banner	29.25	16.89	25.67	30.46	25.11	18.64	29.53	18.33	22.85	16.95	18.82	30.67	26.48	29.72	24.24
	正蓝旗 Zhenglan Banner	31.95	31.69	35.96	35.79	36.17	31.92	40.08	29.80	34.35	29.59	28.68	34.27	37.91	35.54	33.84
	正镶白旗 Zhengxiangbai Banner	29.39	24.56	30.54	31.87	30.73	23.63	35.37	24.59	26.33	22.38	22.45	31.13	31.55	32.93	28.39
	太仆寺旗 Taipusi Banner	35.23	32.34	40.01	38.60	38.37	33.92	43.87	32.40	42.37	32.04	33.90	37.22	42.29	39.85	37.32

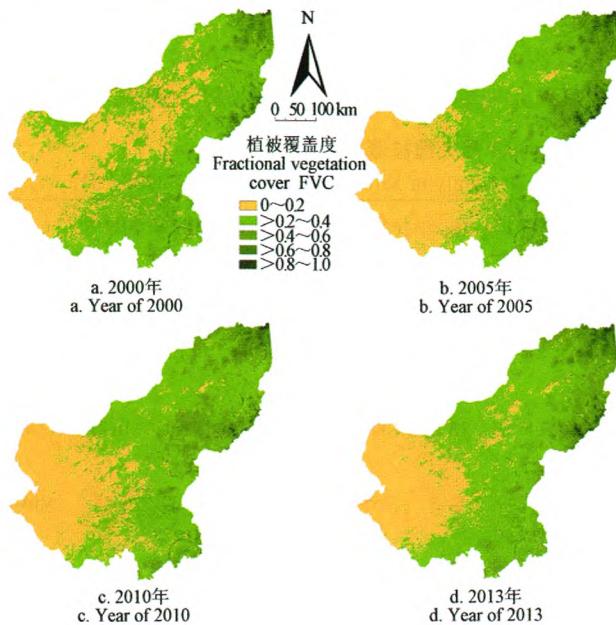


图 5 2000—2013 年锡林郭勒盟年均最大植被覆盖度空间分布

Fig.5 Spatial distribution of annual mean maximum fractional vegetation cover in Xilin Gol League during 2000-2013

4 结 论

本文利用 2000—2013 年 MODIS EVI 数据, 开展锡林郭勒盟植被覆盖度估算方法研究, 完成对研究区 14 年来植被覆盖度变化特征分析, 得到以下结论:

1) 2000—2013 年, 锡林郭勒盟年平均植被覆盖度和年最大平均植被覆盖度未有明显改善。年均植被覆盖度呈现下降趋势, 这与气候变化和人为因素, 特别是长期的过度放牧有着紧密的联系; 年最大植被覆盖度有较小幅度的增加。

2) 各县、旗的年最大植被覆盖度总体呈现上升趋势, 局部地区有所下降。阿巴嘎旗和苏尼特右旗植被覆盖度呈上升趋势, 这可能与锡盟近年来退耕还林(草)、天然林保护等生态保护措施的实施相关; 其它各县、旗年均植被覆盖度呈现不同幅度的下降趋势, 其中正蓝旗、西乌珠穆沁旗和多伦县等下降幅度最大。受气候变暖、干旱、沙尘暴频发与干旱等自然灾害的作用, 加上区内草地资源的不合理利用, 致使这些地区草原植被覆盖度下降, 局部地区甚至出现沙化、荒漠化现象。

3) 2000—2013 年锡盟低植被覆盖度($0 \leq FVC < 0.2$)区域逐渐扩张涵盖了整个西南地区。中部地区由原本的低植被覆盖度逐渐变成了较低植被覆盖度($0.2 \leq FVC < 0.4$), 中植被覆盖度($0.4 \leq FVC < 0.6$)从 2000—2010 年有所降低, 而至 2013 年又有所回升。2000—2013 年锡盟高植被覆盖度($0.8 \leq FVC < 1.0$)区面积减少, 而较高植被覆盖度($0.6 \leq FVC < 0.8$)区域面积在增加, 部分高植被覆盖度区转化为较高植被覆盖度区。

[参 考 文 献]

- [1] 李加洪, 蒋卫国, 武建军. 基于遥感与 GIS 的北方农牧交错带生态环境背景状况评价与分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(1): 71—75.
- [2] Li Jiahong, Jiang Weiguo, Wu Jianjun. Comprehensive assessment and analysis of eco-environment in farming-pasturing interlock area of northern China[J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(1): 71—75. (in Chinese with English abstract)
- [3] 马琳雅, 崔霞, 冯琦胜, 等. 2001—2011 年甘南草地植被覆盖度动态变化分析[J]. 草业学报, 2014, 23(4): 1—9.
- [4] Ma Linya, Cui Xia, Feng Qisheng, et al. Dynamic changes of grassland vegetation coverage from 2001 to 2011 in Gannan prefecture[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2014, 23(4): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [5] 王颖, 张科利, 李峰. 基于 10 年 MODIS 数据的锡林郭勒盟草原植被覆盖度变化监测[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(9): 165—169.
- [6] Wang Ying, Zhang Keli, Li Feng. Monitoring of fractional vegetation cover change in Xilingol League based on MODIS data over 10 years[J]. Journal of Arid land Resources and Environment, 2012, 26(9): 165—169. (in Chinese with English abstract)
- [7] 汪芳甜, 安萍莉, 蔡璐佳, 等. 基于 RS 与 GIS 的内蒙古武川县退耕还林生态成效监测[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 269—277.
- [8] Wang Fangtian, An Pingli, Cai Lujia, et al. Monitoring effects of ecosystem restructuring project for restructuring grain plots to forestry in Wuchuan county of Inner Mongolia based on RS and GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(11): 269—277. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李巧萍, 丁一汇. 植被覆盖变化对区域气候影响的研究进展[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(1): 131—140.
- [10] Li Qiaoping, Ding Yihui. Research progress in the effect of vegetation change on regional climate[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(1): 131—140. (in Chinese with English abstract)
- [11] 姚云军, 程洁, 赵少华, 等. 基于热红外遥感的农田蒸散估算方法研究综述[J]. 地球科学进展, 2012, 27(12): 1308—1318.
- [12] Yao Yunjun, Chen Jie, Zhao Shaohua, et al. Estimation of farmland evapotranspiration: A review of methods using thermal infrared remote sensing data[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(12): 1308—1318. (in Chinese with English abstract)
- [13] Qi J, Marsett R C, Moran M S, et al. Spatial and temporal dynamics of vegetation in the San Pedro river basin area[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2000, 105(1): 55—68.
- [14] Zhang X, Wu B, Ling F, et al. Identification of priority areas for controlling soil erosion[J]. Catena, 2010, 83(1): 76—86.
- [15] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京: 中国科学院, 2003.
- [16] Li Miaomiao. The Method of Vegetation Fraction Estimation by Remote Sensing[D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2003. (in Chinese with English abstract)
- [17] 何雅枫, 花立民, 邸利. 不同植被指数反映植被覆盖度的比较分析——以甘肃河西走廊地区为例[J]. 中国农学通报, 2014, 30(19): 45—50.
- [18] He Yafeng, Hua Limin, Di Li. Comparative on the reflection effect of the vegetation on the earth's surface by different

- vegetation indices: A case study in Hexi Corridor[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(19): 45—50. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张月丛, 赵志强, 李双成, 等. 基于 SPOT NDVI 的华北北部地表植被覆盖变化趋势[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 745—755.
Zhang Yuecong, Zhao Zhiqiang, Li Shuangcheng, et al. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China[J]. Geographical Research, 2008, 27(4): 745—755. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王强, 张勃, 戴声佩, 等. 基于 GIMMS AVHRR NDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1613—1620.
Wang Qiang, Zhang Bo, Dai Shengpei, et al. Dynamic changes in vegetation coverage in the Three-North Shelter Forest Program based on GIMMS AVHRR NDVI[J]. Resources Science, 2011, 33(8): 1613—1620. (in Chinese with English abstract)
- [13] 袁丽华, 蒋卫国, 申文明, 等. 2000-2010年黄河流域植被覆盖的时空变化[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7798—7806.
Yuan Lihua, Jiang Weiguo, Shen Wenming, et al. The spatio-temporal variations of vegetation cover in the Yellow River Basin from 2000-2010[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7798—7806. (in Chinese with English abstract)
- [14] 贾坤, 姚云军, 魏香琴, 等. 植被覆盖度遥感估算研究进展[J]. 地球科学进展, 2013, 28(7): 774—782.
Jia Kun, Yao Yunjun, Wei Xiangqin, et al. A review on fractional vegetation cover estimation using remote sensing[J]. Advance in Earth Sciences, 2013, 28(7): 774—782. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王海梅, 李政海, 韩国栋, 等. 锡林郭勒地区植被覆盖的空间分布及年代变化规律分析[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1472—1477.
Wang Haimei, Li Zhenghai, Han Guodong, et al. Spatial distribution and temporal changing of vegetation cover in Xilingol steppe region[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2009, 18(4): 1472—1477. (in Chinese with English abstract)
- [16] 杨光梅, 阎庆文, 李文华. 锡林郭勒草原退化的经济损失估算及启示[J]. 中国草地学报, 2007, 29(1): 44—49.
Yang Guangmei, Min Qingwen, Li Wenhua. Estimation and enlightenment of economic losses due to grassland degradation in Xilingol steppe[J]. Chinese Journal of Grassland, 2007, 29(1): 44—49. (in Chinese with English abstract)
- [17] 李政海, 鲍雅静, 王海梅, 等. 锡林郭勒草原荒漠化状况及原因分析[J]. 生态环境, 2008, 17(6): 2312—2318.
Li Zhenghai, Bao Yajing, Wang Haimei, et al. The analysis on degeneration status and the driving force of Xilingol steppe[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(6): 2312—2318. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王海梅. 锡林郭勒盟荒漠化状况的时空变化规律分析[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(13): 7839—7841.
Wang Haimei. Study on the spatial-temporal change law of desertification in Xilingol League[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2012, 40(13): 7839—7841. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王长耀, 林文鹏. 基于 MODIS EVI 的冬小麦产量遥感预测研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 90—94.
Wang Changyao, Lin Wenpeng. Winter wheat yield estimation based on MODIS EVI[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2005, 21(10): 90—94. (in Chinese with English abstract)
- [20] 左丽君, 张增, 董婷婷, 等. MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 在耕地信息提取中的应用及对比分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 167—172.
Zuo Lijun, Zhang Zeng, Dong Tingting, et al. Application of MODIS/NDVI and MODIS EVI to extracting the information of cultivated land and comparison analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transaction of the CSAE), 2008, 24(3): 167—172. (in Chinese with English abstract)
- [21] 李文梅, 覃志豪, 李文娟, 等. MODIS NDVI 与 MODIS EVI 的比较分析[J]. 遥感信息, 2010, 6: 73—78.
Li Wenmei, Qin Zihao, Li Wenjuan, et al. Comparison and analysis of MODIS NDVI and MODIS EVI[J]. Remote Sensing Information, 2010, 6: 73—78. (in Chinese with English abstract)
- [22] Liu H Q, Huete A. A feedback based modification of NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1995, 33: 457—463.
- [23] 徐广才, 康慕谊, 李亚飞. 锡林郭勒盟土地利用变化及驱动力分析[J]. 资源科学, 2011, 33(4): 690—697.
Xi Guangcai, Kang Muyi, Li Yafei. Analysis of land use change and its driving force in Xilingol League[J]. Resources Science, 2011, 33(4): 690—697. (in Chinese with English abstract)
- [24] 赵伟, 李召良. 利用 MODIS/EVI 时间序列数据分析干旱对植被的影响[J]. 地理科学进展, 2007, 26(6): 40—47.
Zhao Wei, Li Zhaochang. Impact of drought on the vegetation state using MODIS/EVI time-series data[J]. Progress in Geography, 2007, 26(6): 40—47. (in Chinese with English abstract)
- [25] Jakubauskas M E, Legates D R, Kastens J H. Harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2001, 67(4): 461—470.
- [26] 侯光雷, 张洪岩, 王野乔, 等. 基于时间序列谐波分析的东北地区耕地资源提取[J]. 自然资源学报, 2010, 25(9): 1607—1617.
Hou Guanglei, Zhang Hongyan, Wang Yeqiao, et al. Application of harmonic analysis of time series to extracting the cropland resource in northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(9): 1607—1617. (in Chinese with English abstract)
- [27] 赵翠娥, 丁文荣. 基于 ENVI 和 GIS 技术的龙川江流域植被覆盖度动态监测[J]. 林业调查规划, 2013, 38(5): 14—18.

- Zhao Cuie, Ding Wenrong. Dynamic monitoring of vegetation coverage in Longchuan river drainage basin based on ENVI and GIS technology[J]. Forest Inventory and Planning, 2013, 38(5): 14–18. (in Chinese with English abstract)
- [28] Kaufman Y J, Tanre D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1992, 30(2): 261–270.
- [29] 黎良财, 邓利, 曹颖, 等. 基于 NDVI 像元二分模型的矿区植被覆盖动态监测[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 18–23.
- Li Liangcai, Deng Li, Cao Ying, et al. Vegetation dynamic monitoring in mining area based on DNVI serial images and dimidiate pixel model[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(6): 18–23. (in Chinese with English abstract)
- [30] Toby N, Carlson, David A, et al. On the relation between NDVI fractional vegetation cover and leaf area Index[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62(3): 241–252.
- [31] 李双双, 延军平, 万佳. 近 10 年陕甘宁黄土高原植被覆盖时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(7): 960–970.
- Li Shuangshuang, Yan Junping, Wan Jia. The spatial-temporal changes of vegetation restoration on Loess Plateau in Shaanxi-Gansu-Ningxia region[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(7): 960–970. (in Chinese with English abstract)
- [32] 王忠华, 郭元朝. 锡林郭勒盟草原退化沙化原因分析及其保护利用对策[J]. 内蒙古科技与经济, 2002, 2: 49–51. Wang Zhonghua, Guo Yuanchao. The cause analysis of grassland degradation and desertification in Xinlin Gol and its' protection and utilization countermeasures[J]. Inner Mongolia Science Technology and Economy, 2002, 2: 49–51. (in Chinese with Chinese abstract)
- [33] 马清霞, 王星晨, 高志国. 锡林郭勒草原荒漠化气候因素分析[J]. 北方环境, 2011, 23(12): 31–34. Ma Qingxia, Wang Xingchen, Gao Zhiguo. Climate factors analysis of the desertification in Xinlin Gol grassland[J]. Northern Environment, 2011, 23(12): 31–34. (in Chinese with English abstract)
- [34] 李博. 中国北方草地退化及其防治对策[J]. 中国农业科学, 1997, 30(6): 1–9. Li Bo. The rangeland degradation in North China and its preventive strategy[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1997, 30(6): 1–9. (in Chinese with English abstract)

Characteristics of vegetation cover change in Xilin Gol League based on MODIS EVI data

Yang Qiang, Wang Tingting, Chen Hao, Wang Yundong

(School of Civil Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Xilin Gol League located in the middle of Inner Mongolia is not only one of the most important sand sources, but also the important protection barrier of ecological environment in North China. The condition of vegetation in the Xilin Gol League will affect the quality of ecological environment in Beijing-Tianjin-Tangshan (BTT) and even the eastern region in China directly. In this paper, the Xilin Gol League was selected as the research area, and the data set of fractional vegetation cover in Xilin Gol League during 2000–2013 was built based on MODIS EVI (enhanced vegetation index). The MODIS EVI data set during 2000–2013 was reconstructed by using the harmonic analysis of time series, because the product of MODIS EVI has noisy data under the effect of atmospheric conditions and land surface conditions. In order to extract the pure vegetation and pure bare land information for estimating the fractional vegetation cover effectively, the linear model was utilized in the decomposition of mixed pixels in the MODIS EVI data set. Then the fractional vegetation cover data set was estimated and built with the extracted information mentioned above based on MODIS EVI in Xilin Gol League. The temporal and spatial variation of vegetation in the study region was analyzed by spatiotemporal series analysis during 2000–2013. According to the study method and results, the average fractional vegetation cover showed a slight decline in Xilin Gol League and the annual maximum fractional vegetation cover increased with smaller amplitude on the whole. From the spatial distribution and variation, the fractional vegetation cover in eastern and southeastern area of Xilin Gol League was relatively high, such as East Ujimqin Banner, West Ujimqin Banner, Duolun County and Taibus Banner. However, the fractional vegetation cover of northwestern area including Sonid Left Banner and Sonid Right Banner was relatively low. From the temporal trend, with the influences of sandstorm, drought and other weather disasters, as well as the intensified husbandry activities in the study area, the overall improvement of fractional vegetation cover was not obvious, and the fractional vegetation coverage decreased significantly in part of the area, although the study area had carried out large-scale ecological environment protection measures, such as returning grain plots to forestry (grass) and afforestation for about 30 years, especially during 2000–2013. The phenomenon of grassland degradation and land desertification was becoming more and more serious. The fractional vegetation cover was gradually turning into the lower situation from the low status in the central area of Xilin Gol League, the fractional vegetation coverage between 0.4 and 0.6 decreased during 2000–2010, but was raised since 2013, and the area with high fractional vegetation cover gradually became higher in part of Xilin Gol League during 2000–2013. Through the study, the trend of spatial and temporal variation in Xilin Gol League was revealed clearly for the local region, and the cause of the phenomenon was also directly pointed out. Thus, the study content and result provide the reference for the protection and restoration of the local region, and even for the whole China. At the same time, the estimation method of fractional vegetation cover in the study can innovate the thinking and provide theoretical basis to some extent for arid and semi-arid region.

Key words: vegetation; harmonic analysis; pixels; time series analysis; decomposition; cover