中国生态农业学报(中英文)
Chinese Journal of Eco-Agriculture

草原植被长势遥感监测方法适宜性研究

饶新宇，李红军，张圣微，雒　萌，刘志强，张静文

Suitability analysis of remote sensing monitoring methods for grassland vegetation growth

RAO Xinyu, LI Hongjun, ZHANG Shengwei, LUO Meng, LIU Zhiqiang, and ZHANG Jingwen

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12357/cjea.20210280

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于遥感的广西甘蔗种植面积提取及长势监测

Sugarcane planting area and growth monitoring based on remote sensing in Guangxi

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(2): 410–422

不同生育时期冬小麦籽粒蛋白质含量的高光谱遥感监测模型

Winter wheat grain protein content monitoring model driven by hyperspectral remote sensing images at different growth stages

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(6): 865–875

基于MODIS数据和植被特征估算草地生物量

Estimation of grassland biomass using MODIS data and plant community characteristics

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(4): 530–541

棉花生长初期灌溉信息遥感提取与校正

Using remote sensing to extract and correct irrigation data during early cotton growth stage

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(8): 1216–1223

倒伏水稻特征分析及其多光谱遥感提取方法研究

Characteristic analysis of lodging rice and study of the multi-spectral remote sensing extraction method

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(4): 751–761

基于三温模型和热红外遥感的不同大豆品种蒸腾特征研究

Transpiration characteristics of different soybean varieties based on the Three-Temperature Model and thermal infrared remote sensing

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(10): 1553–1563

关注微信公众号，获得更多资讯信息

中国生态农业学报(中英文) 2021 年 12 月 第 29 卷 第 12 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Dec. 2021, 29(12): 2084−2092

DOI: 10.12357/cjea.20210280

饶新宇, 李红军, 张圣微, 雒萌, 刘志强, 张静文. 草原植被长势遥感监测方法适宜性研究[J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2021, 29(12): 2084−2092

RAO X Y, LI H J, ZHANG S W, LUO M, LIU Z Q, ZHANG J W. Suitability analysis of remote sensing monitoring methods for grassland vegetation growth[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021, 29(12): 2084−2092

草原植被长势遥感监测方法适宜性研究*

饶新宇[1,2], 李红军[2**], 张圣微[1,3**], 雒 萌[1], 刘志强[1], 张静文[4]

(1. 内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院 呼和浩特 010018; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心/中国科学院农业水资源重点实验室/河北省节水农业重点实验室 石家庄 050022; 3. 内蒙古自治区水资源保护与利用重点实验室/内蒙古自治区农牧业大数据研究与应用重点实验室 呼和浩特 010018; 4. 衡水市园林中心 衡水 053000)

摘 要: 草原植被长势遥感监测具有时效性高、覆盖范围广的特点, 及时高效的草原长势遥感监测信息对于草地资源的保护与合理利用具有重要意义。为明确不同作物长势遥感监测方法在草原长势信息监测中的差异及其应用的局限性, 本研究利用 MODIS 数据的 NDVI 产品, 将直接监测法、植被生长过程曲线法、同期对比法、基于 NDVI 百分位数法分别在内蒙古自治区西乌珠穆沁旗草原进行了应用和适宜性研究, 并对其长势遥感监测结果进行了验证。结果表明, 直接监测法利用草原 NDVI 数值直观地反映了草原植被长势的空间异质性, NDVI 数值与草原单位面积产草量干重显著相关 (R^2=0.5502), 但对不同类型草原内部的长势差异信息反映不够清晰; 植被生长过程曲线法集总地反映了监测区域草原整体长势随时间的变化, 以及相对于参考年份的差异, 但不同草原类型需要单独监测才能反映其各自的生长过程, 本研究中草甸草原和典型草原 NDVI 过程曲线的峰值分别为 0.73 和 0.55, 与全区域集总式监测结果 (峰值为 0.60) 差异较大; 同期对比法因参考年份的不同产生不同的评价结果; 基于 NDVI 的百分位法能够定量地评价草原的长势, 长势评分与草原单位面积产草量干重相关性的决定系数为 0.5047。实际监测中应依据草原监测目标选择适宜的方法或组合。随着天-空-地一体草情长势监测平台的建设和发展, 将能提供实时的地面监测辅助信息, 有效提高草原植被长势遥感监测的效率与精度。

关键词: 草原植被; 长势; 遥感; NDVI; MODIS 数据

中图分类号: TP79; S812 **开放科学码(资源服务)标识码(OSID):**

Suitability analysis of remote sensing monitoring methods for grassland vegetation growth*

RAO Xinyu[1,2], LI Hongjun[2**], ZHANG Shengwei[1,3**], LUO Meng[1], LIU Zhiqiang[1], ZHANG Jingwen[4]

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences / Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Chinese Academy of Sciences / Hebei Key Laboratory of Water-saving Agriculture, Shijiazhuang 050022, China; 3. Key Laboratory of Protection and Utilization of Water Resources of Inner Mongolia Autonomous Region / Inner Mongolia Autonomous

* 内蒙古自治区科技成果转化专项 (2020CG0054)、国家自然科学基金项目 (41971262, 51779116, 52079063) 和内蒙古自治区杰出青年培育基金项目 (2019JQ06) 资助

** 通信作者: 李红军, 主要从事精准农业技术研究与应用, E-mail: lhj@sjziam.ac.cn; 张圣微, 主要从事草原生态水文与定量遥感研究, E-mail: zsw@imau.edu.cn

饶新宇, 主要从事草原遥感监测研究。E-mail: 497760845@qq.com

收稿日期: 2021-05-11 接受日期: 2021-08-08

* This study was supported by the Inner Mongolia Science and Technology Achievement Transformation Special Project (2020CG0054), the National Natural Science Foundation of China (41971262, 51779116, 52079063), and the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region (2019JQ06).

** Corresponding authors: LI Hongjun, E-mail: lhj@sjziam.ac.cn; ZHANG Shengwei, E-mail: zsw@imau.edu.cn

Received May 11, 2021; accepted Aug. 8, 2021

Region Key Laboratory of Big Data Research and Application of Agriculture and Animal Husbandry, Hohhot 010018, China; 4. Garden Center of Hengshui City, Hengshui 053000, China)

Abstract: The research and application of grassland vegetation growth monitoring methods have important scientific significance and application value for the sustainable use of grassland resources and the improvement of the ecological environment. Remote sensing monitoring has characteristics such as high timeliness and wide coverage, and several remote sensing monitoring methods have been increasingly used in crop growth monitoring. As the monitoring objects are all plants, these monitoring methods were tried to introduce to monitor grassland vegetation growth in this study. We applied four remote sensing monitoring methods for the crop growth: direct monitoring, vegetation growth process curve, same period comparison, and NDVI percentiles to the grassland vegetation growth monitoring of West Ujimqin County in Inner Mongolia; to clarify the suitability and limitation of these remote sensing monitoring methods for crop growth when monitoring grassland vegetation growth using MODIS Vegetation Index Products (NDVI). The monitoring results provided by the direct monitoring method and the NDVI percentile method were compared with the ground sampling data. The direct monitoring method could intuitively reflect the spatial heterogeneity of grassland vegetation growth by the grassland NDVI, and the NDVI value was significantly correlated with the dry weight of grassland yield per unit area (R^2=0.5502). However, this method could not provide details on the growth of different types of grasslands owing to the limitation of the NDVI grade. The vegetation growth process curve method could only collectively reflect the changes in the overall growth of the grassland in the monitored area over time, showing that the growth was better or worse than that of the reference year. In this study, the NDVI peak values of the vegetation growth process curves for the meadow grassland and typical grassland were 0.73 and 0.55, respectively, significantly different from the whole regional lumped monitoring results (NDVI peak value was 0.60). This means that different grassland types should be monitored separately to reflect their respective growth processes. For the same period comparison method, if the selected reference year was different, the method would provide different monitoring results for grassland growth; the results from grassland growth monitoring were semi-quantitative comparative. Using the statistical analysis of NDVI data of different grassland types for 5 years, the NDVI percentile method could quantitatively evaluate the growth of corresponding grassland types, as shown in this study. The determination coefficient of the correlation between the growth score provided by the NDVI percentile method and the dry weight of grassland yield per unit area was 0.5047. To achieve a reasonable classification of these semi-quantitative monitoring results of grassland growth, the assistance of ground grassland monitoring information is required. There is an urgent need to establish a sky-air-ground integrated grassland growth monitoring platform to improve the efficiency and accuracy of grassland vegetation growth monitoring.

Keywords: Grassland vegetation; Growth; Remote sensing; NDVI; MODIS data

草地资源是陆地生态系统的重要组成部分, 在人类活动、自然生态平衡及陆地生态系统的能量流动和物质循环中发挥着重要作用[1-2]。我国是草地资源大国, 拥有各类天然草地约 3.9×10^8 hm^2[3], 牧草种类繁多, 保障了我国畜牧业的发展[4]。但由于长期的掠夺式放牧、气候变化、鼠虫害以及大面积草地的开垦, 草地资源大规模退化, 恶化的草原生态环境威胁到畜牧业的可持续发展[5-7]。草地资源作为畜牧业发展的基础, 保护和建设草地资源也是我国西部大开发战略的重要内容, 对促进农业经济结构的战略性调整具有重要意义[8]。2021 年我国中央一号文件指出, 要科学开展大规模国土绿化行动, 稳步恢复草原生态环境。草地作为可更新资源, 地域辽阔, 要实现可持续利用离不开对草原的快速监测。因此开展草原植被长势监测方法的研究和应用, 对于草地资源的管理、保护以及生态环境的改善, 具有重要的科学意义和应用价值[9]。

草原植被长势是指其植被的生长状况和趋势。传统的草原植被长势监测多采用地面人工调查的方法, 主要测量和记录牧草的植被覆盖度、高度、牧草发育期和产草量等植被长势信息。人工监测方法耗时费力, 且只能得到若干点的数据, 覆盖范围有限, 代表性较差, 无法快速反映辽阔草原长势的时空变异, 影响到草原管理措施的时效性[2, 10-12]。遥感具有高空间、高时间分辨率, 以及敏感波段与地表植被状况存在密切相关的特征[13-14], 为植被长势的大范围快速监测提供了支持[15-16]。遥感技术首先在农作物长势监测中得到发展和广泛应用。作物长势遥感监测的实质是通过遥感反演获得可反映其生长特征的生物学指标。因为植物的生长都需要叶片的光合作用, 因此叶面积指数 (LAI) 就是一个与作物长势特征密切相关的综合指数。基于近红外和红光波段对植被特征的敏感反映, 将这 2 个波段组合后形成的植被指数则可实现对 LAI 的估算[17]。常用的植被指数包括归一化植被指数 (NDVI)、垂直植被指数 (PVI)、比值植被指数 (RVI) 和增强型植被指数 (EVI) 等, 其

中 NDVI 最为常用[18-20], 可直接用于对作物长势的监测。由于农作物和草原植被长势监测对象均是地表植被, 因而草原植被长势遥感监测的方法多是借鉴于农作物长势的遥感监测。李楠等[21] 基于长时间序列的 MODIS NDVI 数据分析了若尔盖高原植被生长季 NDVI 的变化趋势、波动程度及未来变化趋势。田海静等[5] 利用 MODIS NDVI 对我国北方草原草地植被长势动态变化进行动态监测, 分析发现近 20 年我国北方草原整体植被呈现恢复状态, 但局部地区植被存在退化现象。

农作物长势的遥感监测方法主要包括: 直接监测法、植被生长过程曲线法、同期对比法, 其中同期对比法的应用最为广泛[22]。考虑到同期对比法中不同时期土地利用变化以及参照年份作物长势不确定性对监测评价的影响, Li 等[23] 提出了利用作物多年同期 NDVI 大数据的百分位数评估法, 从而实现了作物长势的定量遥感监测评价。上述遥感监测方法都是利用了植被的 NDVI, 从不同角度对其长势进行评估。这些方法在草原植被长势监测中适宜性如何? 其评估结果对草地长势的反映有何差异? 与农作物长势遥感监测相比, 草原植被遥感监测的研究相对较弱, 对于上述问题的研究, 将有助于遥感技术在草原植被长势监测中应用和发展。基于此, 本研究以内蒙古自治区西乌珠穆沁旗 (简称西乌旗) 草原植被监测为例, 对目前常用的长势遥感监测方法进行适宜性分析, 比较不同方法对草地植被长势监测的差异及存在的问题, 以期为不同遥感监测方法的选择或综合应用提供依据, 促进草原植被遥感监测技术的研究和应用。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

西乌旗位于锡林郭勒盟东部 (116°31′~119°46′E, 43°93′~45°37′N), 下辖 2 个苏木, 5 个镇, 土地面积 22 434.5 km^2, 总人口 9 万。全旗可利用草场面积 20 290 km^2, 占土地总面积的 90%, 草原类型主要包括草甸草原和典型草原 (图 1)。西乌旗属于温带干旱半干旱大陆性气候, 冬春寒冷漫长, 4 月中旬—10 月中旬日平均气温高于 0 ℃。近 5 年 (2016—2020 年) 年平均气温为 2.82 ℃, 年平均降水量为 402 mm。

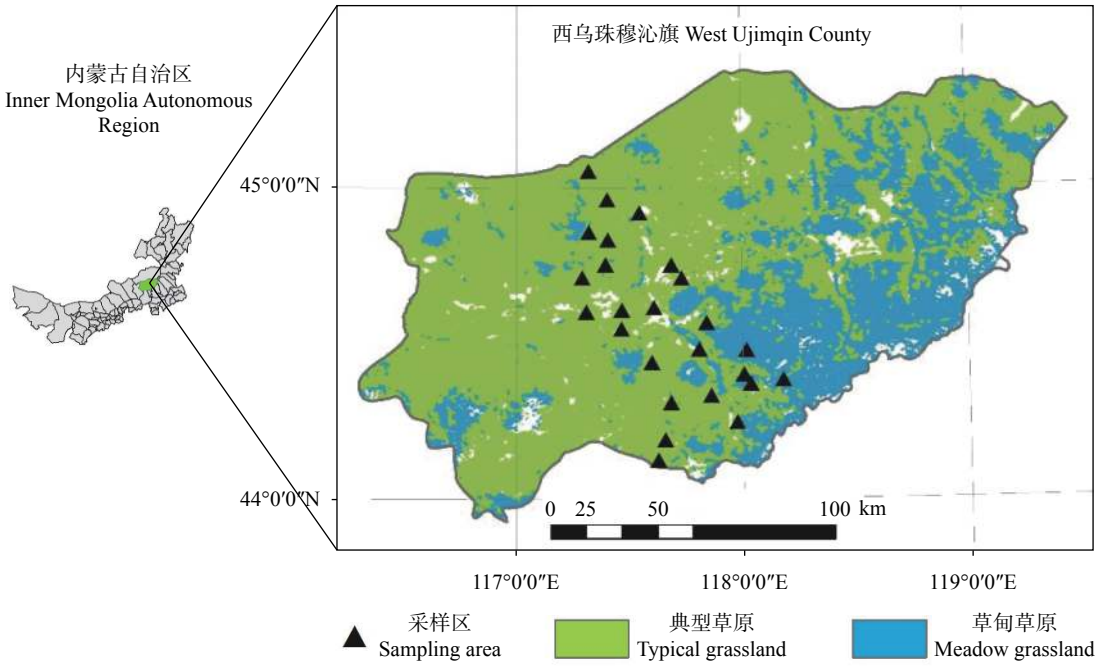

图 1 西乌旗草原类型及采样区分布

Fig. 1 Distribution of grassland types and sampling areas of the study area

1.2 数据来源与处理

1.2.1 遥感数据与数据预处理

本研究使用 MODIS 的植被产品 MODIS13Q1 数据 (http://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov), 数据格式为 hdf, 空间分辨率为 250 m, 时间间隔为 16 d, 时间跨度为 2016—2020 年。MODIS NDVI 产品提高了空间分辨率及其对地表植被叶绿素的相关性, 能够很好地反映植被长势的变化, 是目前植被长势评估中应用较为广泛的数据产品。利用 MRT (MODIS Reprojection Tools) 对 MODIS13Q1 数据进行 NDVI

数据提取、拼接、投影及格式转换等预处理。为了去除噪声的影响, 利用 TIMESAT 软件里的 Savitzky-Golay 滤波对 MODIS NDVI 时间序列进行平滑处理。

获得内蒙古草原 NDVI 植被指数序列数据后, 参考 http://www.globallandcover.com 官网提供的土地覆盖类型数据, 对研究区草原用地类型进行提取。利用决策树法通过 NDVI 阈值调整, 获得研究区典型草原与草甸草原的分布, 对分类结果进行去斑处理, 结合地面调查数据对草原类型分类精度进行检验, 总体精度达 81% (图 1)。

1.2.2　地面实测数据

研究区草地生物量地面监测调查时间为 2017 年 7 月 31 日至 8 月 1 日。在西乌旗选择长势均一、具有代表性的 24 个样区 (图 1), 每个样区设置 3 个 1 m×1 m 的样方, 记录每个样区的地理位置, 采集全部地上生物量并称重, 在实验室内 105 ℃ 恒温下烘干至恒重, 称取地上生物量干重, 用于指示其草原长势。

2　研究方法

2.1　直接监测法

直接监测法利用遥感反演的植被指数通过不同等级阈值的划分来直接区分草原长势的差异。本研究利用 MODIS NDVI 数据, 通过对 NDVI 的等级划分来实现对草原植被长势的差异判读。

NDVI 计算公式:

$$\mathrm{NDVI} = (\mathrm{NIR} - R) / (\mathrm{NIR} + R) \tag{1}$$

式中: NIR 为近红外波段反射率, R 为红光波段反射率。

2.2　植被生长过程曲线法

草原植被生长是一个随着时间渐变的过程, 按时间序列统计监测区域内草原 NDVI 的平均值, 即构建监测地区草原植被 NDVI 随时间的变化过程曲线, 通过当年草原生长过程与参考年份的生长曲线的比较, 来评价当年长势好于、持平于或差于参考年份。如果生长曲线高于参考年份, 则表示其长势要好于同期, 反之亦然。

2.3　同期对比法

利用当年草原植被 NDVI 与去年或某一参考年份同期的草原植被 NDVI 相减, 得到相比参考年份草原植被长势的变化情况, 按照差值结果设定相应的阈值, 将草原植被长势分为: 好于参考年, 与参考年持平, 差于参考年。计算公式为:

$$\Delta\mathrm{NDVI} = \mathrm{NDVI}_1 - \mathrm{NDVI}_2 \tag{2}$$

式中: ΔNDVI为当年与参考年草原植被 NDVI 的差值, NDVI_1为当年 NDVI 值, NDVI_2为参考年份草原的 NDVI 值。

2.4　基于 NDVI 的百分位数法

基于 NDVI 的百分位数法利用了多年同期同类地物 NDVI 的大数据, 分析获得任一 NDVI 数值在这一大数据中对应的百分位数, 进而实现对其长势的定量评价。该方法仍属于同期对比, 对研究区内本年度及过去 4 年的同期草原 NDVI 大数据进行统计, 计算不同 NDVI 值对应的像素数量, 按照 NDVI 值的大小进行排序, 统计不同 NDVI 值对应的累计百分位, 建立近 5 年同期的 NDVI 百分位查询表。计算公式如下:

$$\mathrm{NDVI}_{\mathrm{int}} = \mathrm{INT}(\mathrm{NDVI} \times 100) \tag{3}$$

草地 NDVI 取值范围为 0 到 1, 为了便于计算, 将 NDVI 值乘以 100 后取整 ($\mathrm{NDVI}_{\mathrm{int}}$), 统计不同 NDVI 值对应的像素数量, 再进行百分位数的计算。

$$P_n = \frac{\sum_{j=0}^{n} \mathrm{NUM}_{\mathrm{ndvi},j}}{\mathrm{NUM}_{\mathrm{all}}} \times 100 \tag{4}$$

式中: P_n为 $\mathrm{NDVI}_{\mathrm{int}}=n$ 时的百分位数 (%), n 的取值范围为 0 到 100, $\mathrm{NUM}_{\mathrm{ndvi},j}$ 为 $\mathrm{NDVI}_{\mathrm{int}}=j$ 时的像素数量, $\mathrm{NUM}_{\mathrm{all}}$ 为所有像素的数量。

建立 NDVI 百分位查询表后, 查询任一草原像素 $\mathrm{NDVI}_{\mathrm{int}}$ 对应的百分位数, 以其百分位数代表其当前的长势评分, 生成对应的百分位数图像, 从而评价当前草原植被长势在这几年中的长势水平, 如果百分位数较高, 则反映其长势在近 5 年中处于较好的水平, 反之亦然。本研究考虑到草甸草原与典型草原整体长势的自然差异, 对两种草原类型分别建立 NDVI 百分位查询表进行长势评价。

3　结果与分析

3.1　直接监测法结果

利用西乌旗 2020 年 7 月 26 日草原的 NDVI 数据, 按照 0.1 的间隔进行长势等级划分, 实现对其长势差异的直接监测, 其分布如图 2 所示。该时期西乌旗草原植被处于盛草期, 草地植被覆盖度普遍较高, 植被指数 NDVI 趋于全年最大值。在草地长势分布上, 西乌旗东南部大部分地区草原植被的 NDVI>0.6, 西北部大部分地区 NDVI<0.6, 长势存在明显的区域差异。西乌旗草甸草原集中在其东南部, 而西北部多为典型草原, 草地长势与草原类型的空间分布基本一致。直接监测法能够区分草地长势的空间差异, 但由于 NDVI 等级划分阈值的限制, 对同一类型草地内部的长势差异信息反映不够清晰, 即使典

型草原长势较好, 草甸草原长势偏差, 其二者在自然条件上的差异仍会造成其整体长势的地区差别。图 2 中草甸草原 NDVI>0.7 的比例为 60%, 典型草原 NDVI<0.6 的比例为 73%。

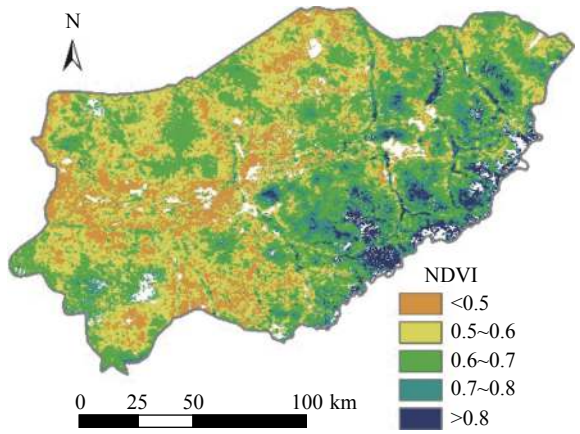

图 2 基于 NDVI 数值的西乌旗草原长势等级划分 (2020 年 7 月 26 日)

Fig. 2 Division of grassland growth based on NDVI for the study area (July 26, 2020)

3.2 植被生长过程曲线法监测结果

从 11 月中旬到翌年 1 月底, 西乌旗大部分地区被雪覆盖, 长势监测没有意义。本研究选取雪地消融后的时段, 计算各个时期该区域全部草原的 NDVI 平均值, 按照时间序列构建其生长过程曲线。按照同样的时间步长构建 2016—2020 年平均 NDVI 的变化曲线, 并对二者进行比较, 如图 3 所示。

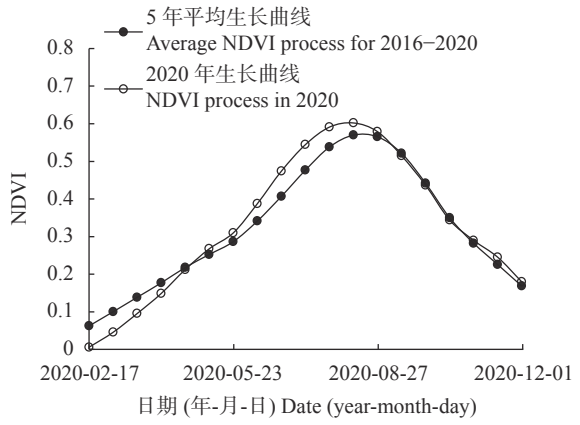

图 3 2020 年草原植被生长过程曲线与近 5 年 (2016—2020 年) 平均生长过程曲线比较

Fig. 3 Comparison of grassland vegetation growth process in 2020 and the average one for 2016−2020

2020 年西乌旗草原生长曲线从 2 月初至 4 月中旬低于同期近 5 年的平均 NDVI 值, 2020 年 4 月中旬之后的 NDVI 曲线明显高于平均曲线, 说明本年度草原长势在前期偏差, 进入 5 月份后逐渐好转并明显好于近 5 年平均长势。2020 年与 2016—2020 年平均 NDVI 曲线最大值都出现在 7 月底左右, NDVI 最大值分别为 0.60 和 0.57。8 月中旬之后, 草地逐渐干枯, NDVI 值开始减小, 2020 年与近 5 年 NDVI 曲线接近重合。就全年生长过程曲线监测点的 NDVI 累计值而言, 2020 年为 6.27, 近 5 年平均累计值为 6.12, 2020 年草原整体长势略好于近 5 年平均。

3.3 同期对比法监测结果

对 2020 年 7 月 26 日和 2019 年 7 月 26 日同期草地的 NDVI 做差值比较, 将 NDVI 差值>−0.05 且<0.05 设定其长势为“与去年持平”, 相应地, NDVI 差值<−0.05 和>0.05 分别设定为“差于去年”和“好于去年”, 分级结果见图 4。相较于 2019 年同期, 西乌旗草原大部分地区好于去年或与去年持平, 其中好于去年的比例为 40.5%, 多集中于西乌旗西部和北部地区的典型草原。与去年持平的比例为 50.9%, 集中在西乌旗东南部地区的草甸草原。草地植被长势差于去年的比例为 8.6%, 零星分布于西乌旗草原中部地区。整体来看, 2020 年 7 月 26 日盛草期的草地植被长势明显好于 2019 年的同期。

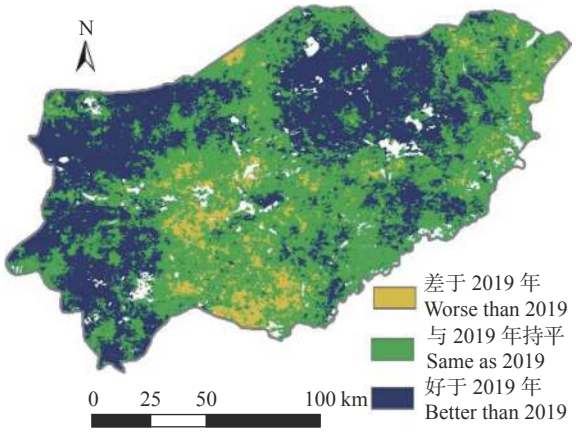

图 4 2020 年与 2019 年 7 月同期草原植被长势比较

Fig. 4 Comparison of grassland vegetation growth in July of 2020 and 2019

3.4 百分位数法的长势监测结果

利用 2016—2020 年 7 月 26 日同期 NDVI 数据, 基于西乌旗草甸草原和典型草原的分布, 分别统计近 5 年 NDVI 的数据分布, 建立 2 类草原类型的百分位查询表, 对 2020 年的草甸草原和典型草原长势分别进行评价然后将其合并成图, 结果如图 5 所示。2020 年草甸草原长势评价得分较高的像素较多, 高于 50 分的草原比例为 63%, 得分高于 80 的地区多集中在西乌旗东南部的边界地区, 得分低于 20 的像素很少, 零散分布于中西部。典型草原评价得分高于 50 的比例为 66%, 得分高于 80 的像素不多, 分布较为分散。整体来看, 东部地区草地长势得分值要高

于西部地区, 2020 年西乌旗草原植被长势在近 5 年中处于中等偏上水平。

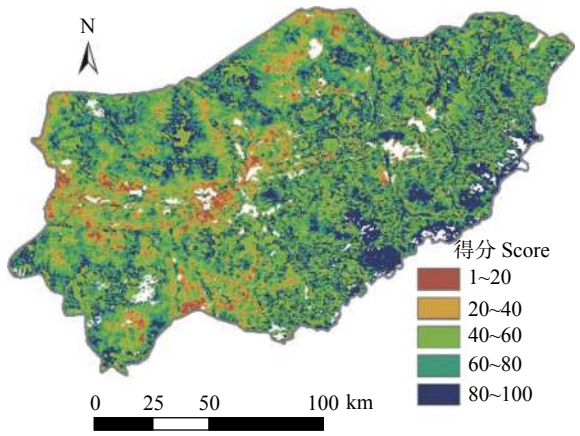

图 5　基于 NDVI 百分位数法的草原植被长势评分
Fig. 5　Evaluation of grassland vegetation growth based on NDVI percentile method

3.5　4 种草原植被长势遥感监测方法适宜性分析

由于遥感信息的瞬时性, 直接监测法只能通过草原植被 NDVI 的分级, 直观地反映某一时刻其长势的空间分布。要通过草原 NDVI 数值实现准确地进行长势分级, 需要根据地面调查确定各长势等级的 NDVI 阈值。本研究中简单地对草地 NDVI 进行了等级划分, 用于展示其长势的空间异质性, 属于半定量的监测方法。西乌旗草原 NDVI 分布显示东南部地区草地植被长势好于西北部地区, 这是因为西乌旗东南部地区大部分是草甸草原, 而典型草原集中分布于西北部地区。由于自然环境自身的差异, 草甸草原更适合牧草的生长, 类似于农业生产中的高产区, 植被生长明显好于典型草原, 仅单从 NDVI 值大小而不考虑草原类型来评估植被长势容易造成草原长势评价的偏差, 即使典型草原长势再好, 与草甸草原相比总是相对较差, 这类似于农作物遥感长势监测中高产农田与低产农田的比较, 低产区长势的变化很难被监测出来。

植被生长过程曲线法监测的是整个区域草原平均长势与参照年份的差异, 是对整体长势的相对评价。该方法通过整体长势 (NDVI 平均值) 随时间的变化曲线, 显示不同时期该区域在整体长势上好于、持平于、差于某一年份的同期, 适用于监测区域植被长势空间相对均一的情形。本研究中, 西乌旗草原类型包括草甸草原和典型草原, 草原类型自身的差异往往会形成不同的生长曲线, 而集总式的监测结果无法提供不同草原类型的差异。图 6 显示了 2020 年草甸草原 (a) 与典型草原 (b) 不同的生长曲线及其与近 5 年各自平均生长曲线的比较。2 种类型草原生长曲线在走势上虽然相似, 但在变化幅度上存在显著差异。草甸草原 NDVI 的峰值可达 0.73, 而典型草原的峰值为 0.55。

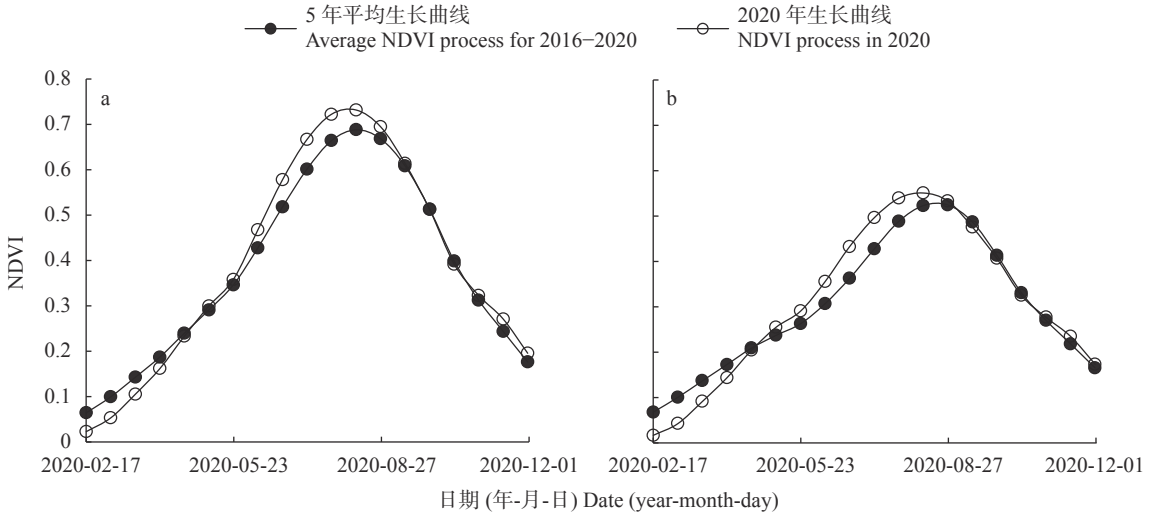

图 6　2020 年草甸草原 (a) 与典型草原 (b) 植被生长过程曲线与近 5 年 (2016—2020 年) 平均生长曲线比较
Fig. 6　Comparison of vegetation growth process for meadow grassland (a) and typical grassland (b) in 2020 and the average one for 2016−2020

相对于植被生长过程曲线法, 同期对比法通过与不同年份草原同期 NDVI 的差值来半定量地评价与参考年份长势的差异。该方法的评价结果容易受参考年份的影响, 如果参考年份草原受灾或者风调雨顺而导致其长势较差或较好, 将会造成本年度长势评价过于乐观或悲观。同时, 如果土地利用类型

发生变化, 如退耕还草等, 则会因为参照地物类型的不一致造成不同用地类型长势的比较。在本研究中, 如果将参考年份设定为 2018 年或 2017 年, 其评价结果则如图 7 所示。图 7a 中 2020 年好于 2018 年的比例为 36.97%, 与 2018 年持平的比例为 50.66%, 差与 2018 年的比例为 12.37%。图 7b 中 2020 年好于 2017 年的比例为 53.27%, 与 2017 年持平的比例为 39.29%, 差与 2017 年的比例为 7.44%。可见对比法的评价结果易受参考年份的影响。

百分位数法的长势监测方法利用相同草原类型多年的 NDVI 大数据, 建立相应的百分位数查询表, 分别对典型草原和草甸草原进行评价, 解决了草地类型变化、参考年份草地长势偏差过大等原因造成的长势评价误差。百分位数法将监测区域的所有草原像素 NDVI 值纳入大数据中进行评比分析, 通过其所处的百分位来定量评价其长势。因为采用多年同期 NDVI 数据, 该方法纳入了同类草原类型可能存在的从最差 (最小 NDVI) 到最优 (最大 NDVI) 长势信息, 提高了长势监测评分的合理性。

3.6 基于草原采样的长势监测方法验证

因为植被生长过程曲线法与同期对比法提供的是基于比较的半定量评价结果, 不适合结合地面监测进行精度的验证。对于直接监测法 (草原 NDVI 数值) 和基于 NDVI 百分位数法, 本研究利用 2017 年 7 月 31 日至 8 月 1 日在西乌旗 24 个草原样区的地面监测对其长势评价结果进行精度验证。图 8 为采样区单位面积产草量干重与其 NDVI 数值、百分位数法长势评分的相关性分析。草原样区产草量干重与其 NDVI 数值相关性的决定系数为 0.5502, 略高于其与百分位数法长势评分的相关性 (0.5047), 二者均达到显著相关 (P<0.01), 可见这 2 种方法适合于对草原长势的定量监测。

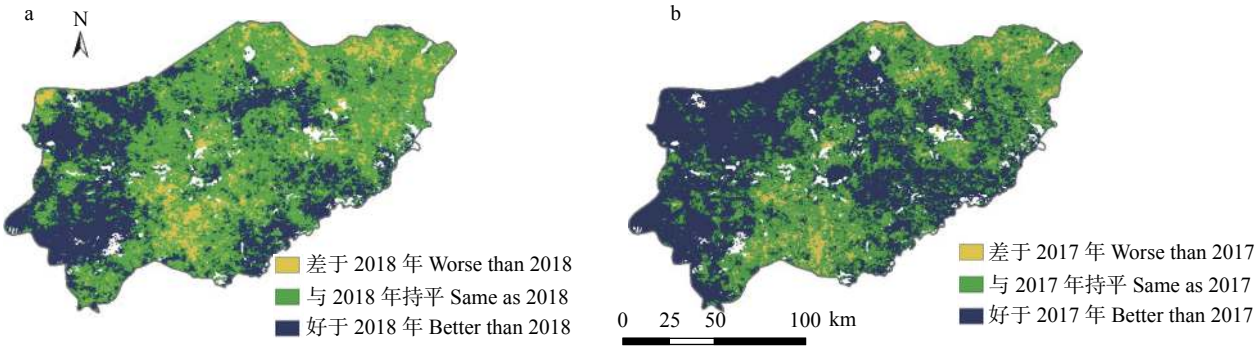

图 7 2020 年与 2018 年 (a) 和 2017 年 (b) 7 月同期草原植被长势比较

Fig. 7 Comparison of grassland vegetation growth in July of 2020 with 2018 (a) and 2017 (b)

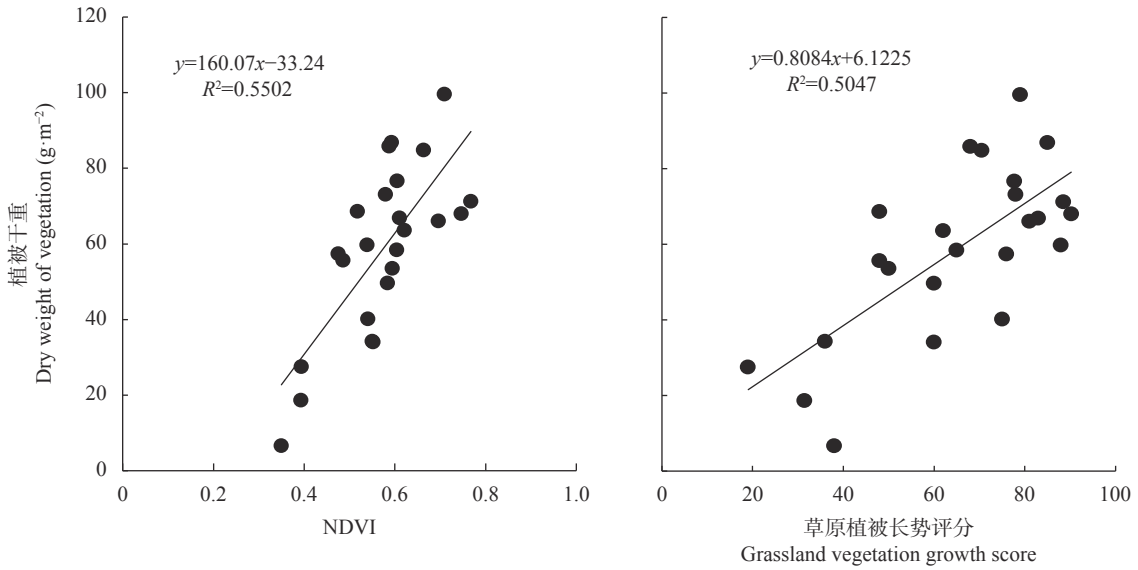

图 8 2017 年草原植被 NDVI 及百分位数长势评分与地面植被生物量相关性

Fig. 8 Correlation between grassland NDVI, vegetation growth score by percentile method and ground vegetation biomass in 2017

4　讨论与结论

农作物长势遥感监测关注的是其营养生长和产量形成过程, 到作物生长后期长势信息 (NDVI) 则不再是重点, 而应利用长势的过程信息评价其对最终产量形成的影响。草原长势监测更注重全年中生物量的增减变化, 因此植被的 NDVI 数值可一直作为长势监测的数据源。基于 NDVI 数值提出的直接监测法、植被生长过程曲线法、同期对比法都属于半定量的监测方法[24]。直接监测法利用的植被 NDVI 数值, 也可定量地评估植被的长势, 如本研究中植被 NDVI 数值与其产草量干重的显著相关性, 但要实现对草原长势的等级分类, 则需要实时的地面监测辅助信息来确定不同长势等级的 NDVI 阈值。随着基于物联网的草原生态监测系统的建设, 以及无人机搭载多光谱仪快速监测技术的发展, 天-空-地一体的草情长势监测平台可为这些半定量监测方法的准确分类提供实时的辅助信息[25]。

草原 NDVI 数值常被用于长势的评价, 而 NDVI 在高植被覆盖区 (如草甸草原) 存在饱和现象[26], 在低植被覆盖区又易受到土壤背景的影响 (如荒漠草原), 虽然针对不同的草原状况可以选择适宜的植被指数以提高监测精度, 如增强植被指数 (EVI)、土壤调节植被指数 (SAVI) 等, 但不同植被指数间的可比性及长势监测的持续性需要研究。本研究中草原样区的选点基本属于典型草原 (图 1), 因而其百分位数法长势评分与其 NDVI 数值密切相关 (R^2=0.55)。如果样区分别来自典型草原和草甸草原, 因为不同草原类型百分位数评分的查询曲线不同, 即不同草原类型下相同 NDVI 数值对应的评分标准不同, 则会降低其评分与采样区单位面积产草量干重的相关性。因此, 如果利用百分位数评分监测草原的产草量, 必须基于相同的草原类型。

及时掌握草原长势信息, 对牧民生产、政府禁放牧管理、草地资源的保护都具有重要的应用价值。遥感技术高时效、低成本、大覆盖的优势使得其特别适用于辽阔草地的长势监测。本研究以内蒙古西乌旗为研究区域, 对常用的草地长势遥感监测方法: 直接监测法、植被生长过程曲线法、同期对比法、基于 NDVI 百分位法进行了应用和适宜性分析, 以期明确各类监测方法的技术优势、监测信息的差异及其局限性。研究结果表明: 直接监测法技术简单, 能够直观反映草地植被长势的空间差异, 且与草原单位面积的产草量显著性关, 但要进行长势等级的划分则需要地面监测数据支持, 其监测结果对不同草原类型内部长势的变化信息辨识度不高。生长过程曲线法提供了草原整体长势随时间的变化, 因其监测信息过于集总, 适用于长势较为均一的地区, 若要反映不同草原类型长势过程的差异, 则需分类型进行监测。同期对比法反映了当前与参考年份同期草地长势差异的空间异质性, 作为比较结果, 容易受参考年份草原长势变化的影响。基于 NDVI 的百分位法利用了监测区多年草原 NDVI 的大数据, 包含了从最好到最差的长势信息, 因而能合理地定量评价草地的长势, 但该方法需要多年草地 NDVI 数据的支持。在草原长势遥感监测工作中, 需要关注这些方法的局限性, 根据监测目的选择适宜的方法组合, 从不同角度展示草原长势信息, 为草原科学管理提供辅助依据。

参考文献　References

[1] YANG X C, XU B, ZHU X H, et al. A monitoring indicator system for remote sensing of grassland vegetation growth and suitability evaluation—a case study of the Xilingol Grassland in Inner Mongolia, China[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(19/20): 5105−5122

[2] 于海达, 杨秀春, 徐斌, 等. 草原植被长势遥感监测研究进展[J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 885−894
YU H D, YANG X C, XU B, et al. The progress of remote sensing monitoring for grassland vegetation growth[J]. Progress in Geography, 2012, 31(7): 885−894

[3] 高睿. 多尺度遥感方法对牧草营养成分的反演研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019
GAO R. Research on retrieval of pastures nutritional ingredients based on multi-scale remote sensing methods[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2019

[4] 段淳清. 内蒙古草地资源现状及其可持续利用对策[J]. 内蒙古草业, 2006, 18(3): 21−25
DUAN C Q. The present situation and sustainable utilization countermeasures of grassland resources in Inner Mongolia[J]. Inner Mongolia Prataculture, 2006, 18(3): 21−25

[5] 田海静, 王林, 石俊华. 近20年中国北方草原植被长势动态监测[J]. 草业科学, 2020, 37(11): 2165−2174
TIAN H J, WANG L, SHI J H. Vegetation dynamics of the north Chinese grassland in the past 20 years[J]. Pratacultural Science, 2020, 37(11): 2165−2174

[6] 潘庆民, 薛建国, 陶金, 等. 中国北方草原退化现状与恢复技术[J]. 科学通报, 2018, 63(17): 1642−1650
PAN Q M, XUE J G, TAO J, et al. Current status of grassland degradation and measures for grassland restoration in Northern China[J]. Chinese Science Bulletin, 2018, 63(17): 1642−1650

[7] 顾丽婷. 近十年北方草原退化因素研究综述[J]. 新西部, 2017, (33): 33−34
GU L T. A review on the degradation factors of grassland in recent ten years in the northern China[J]. New West, 2017, (33): 33−34

[8] 马其东, 王晓武. 优质豆科牧草栽培管理技术[M]. 北京: 台海出版社, 2003
MA Q D, WANG X W. Cultivation and Management Techniques of High Quality Leguminous Forage[M]. Beijing: Taihai Press, 2003

[9] 付晶莹, 彭婷, 江东, 等. 草地资源立体观测研究进展与理论框架[J]. 资源科学, 2020, 42(10): 1932−1943
FU J Y, PENG T, JIANG D, et al. Research progress and theoretical framework of multidimensional observation of grassland resources[J]. Resources Science, 2020, 42(10): 1932−1943

[10] 葛静, 孟宝平, 杨淑霞, 等. 基于ADC和MODIS遥感数据的高寒草地地上生物量监测研究——以黄河源区为例[J]. 草业学报, 2017, 26(7): 23−34
GE J, MENG B P, YANG S X, et al. Monitoring of above-ground biomass in alpine grassland based on agricultural digital camera and MODIS remote sensing data: a case study in the Yellow River Headwater Region[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2017, 26(7): 23−34

[11] 李媛, 徐坤, 谢应忠. 遥感在草地生态系统研究中的应用现状[J]. 宁夏工程技术, 2012, 11(4): 390−395
LI Y, XU K, XIE Y Z. Review on the application of remote sensing in the studying of grassland ecosystem[J]. Ningxia Engineering Technology, 2012, 11(4): 390−395

[12] GAO T, YANG X C, JIN Y X, et al. Spatio-temporal variation in vegetation biomass and its relationships with climate factors in the Xilingol grasslands, Northern China[J]. PLoS One, 2013, 8(12): e83824

[13] 姚兴成, 曲恬甜, 常文静, 等. 基于MODIS数据和植被特征估算草地生物量[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(4): 530−541
YAO X C, QU T T, CHANG W J, et al. Estimation of grassland biomass using MODIS data and plant community characteristics[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2017, 25(4): 530−541

[14] 梁顺林, 白瑞, 陈晓娜, 等. 2019年中国陆表定量遥感发展综述[J]. 遥感学报, 2020, 24(6): 618−671
LIANG S L, BAI R, CHEN X N, et al. Review of China's land surface quantitative remote sensing development in 2019[J]. Journal of Remote Sensing, 2020, 24(6): 618−671

[15] 方臣, 胡飞, 陈曦, 等. 自然资源遥感应用研究进展[J]. 资源环境与工程, 2019, 33(4): 563−569
FANG C, HU F, CHEN X, et al. Advances in application of remote sensing to natural resources[J]. Resources Environment & Engineering, 2019, 33(4): 563−569

[16] 杨闫君. 基于植被指数时序谱类内差异特征的冬小麦遥感识别研究[D]. 南京: 南京大学, 2019
YANG Y J. Remote sensing-based winter wheat identification considering temporal-spectral intra-class difference characteristics of vegetation index[D]. Nanjing: Nanjing University, 2019

[17] 刘良云. 植被定量遥感原理与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2014
LIU L Y. Principle and Application of Quantitative Remote Sensing for Vegetation[M]. Beijing: Science Press, 2014

[18] 徐斌, 杨秀春, 金云翔. 草原植被遥感监测[M]. 北京: 科学出版社, 2016
XU B, YANG X C, JIN Y X. Remote Sensing Monitoring of Grassland Vegetation[M]. Beijing: Science Press, 2016

[19] 徐斌, 杨秀春, 侯向阳, 等. 草原植被遥感监测方法研究进展[J]. 科技导报, 2007, 25(9): 5−8
XU B, YANG X C, HOU X Y, et al. Advance of technology of remote sensing monitoring for grassland vegetation[J]. Science & Technology Review, 2007, 25(9): 5−8

[20] PIDGORODETSKA L V, ZYELYK Y I. Detection of winter crops by satellite data on the basis of soil-adaptive perpendicular vegetation index[J]. Astronomical School's Report, 2015, 11(1): 91−98

[21] 李楠, 韩金锋, 阳维宗, 等. 2000—2019年若尔盖高原植被生长季NDVI时空变化特征研究[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2021, 41(1): 133−139
LI N, HAN J F, YANG W Z, et al. Spatio-temporal variation of NDVI in the vegetation growing season of the Zoige Plateau from 2000 to 2019[J]. Journal of Southwest Forestry University: Natural Sciences, 2021, 41(1): 133−139

[22] 孙丽, 王蔚丹, 陈媛媛, 等. 2019年美国冬小麦长势遥感监测分析[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(1): 241−244
SUN L, WANG W D, CHEN Y Y, et al. Analysis of winter wheat growth of United States with remote sensing data in 2019[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(1): 241−244

[23] LI C C, LI H J, LI J Z, et al. Using NDVI percentiles to monitor real-time crop growth[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 162: 357−363

[24] 蒙继华. 农作物长势遥感监测指标研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院(中国科学院遥感应用研究所), 2006
MENG J H. Research to crop growth monitoring indicators with remote sensing[D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academay of Sciences (Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences), 2006

[25] 吴文斌, 史云, 周清波, 等. 天空地数字农业管理系统框架设计与构建建议[J]. 智慧农业, 2019, 1(2): 64−72
WU W B, SHI Y, ZHOU Q B, et al. Framework and recommendation for constructing the SAGI digital agriculture system[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(2): 64−72

[26] 杨杰, 张莹莹, 王建雄, 等. 利用NDVI与EVI再合成的植被指数算法[J]. 遥感信息, 2020, 35(5): 127−133
YANG J, ZHANG Y Y, WANG J X, et al. Vegetation index algorithm using NDVI and EVI resynthesis[J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(5): 127−133