基于遥感 NDVI 数据的鄂尔多斯林草覆盖度变化监测

木希叶乐

鄂尔多斯市林业和草原事业发展中心　内蒙古　鄂尔多斯　017010

摘　要：鄂尔多斯位于黄河“几字弯”中心地带，既有毛乌素沙地又有库布其沙漠，属于生态脆弱带及农牧交错带，林草覆盖度变化对于当地生态环境有重要影响。本文以归一化植被指数（NDVI）为主要研究对象，总结近年来利用遥感技术研究鄂尔多斯地区林草覆盖度变化相关成果和技术手段，分析 2000 年以来鄂尔多斯地区林草覆盖度时空演变及其影响因素。结果表明，鄂尔多斯林草覆盖度总体呈上升趋势，增加的林草地占总面积的 98% 以上；各种地貌类型的 NDVI 都呈现上升趋势，在空间上表现为“东南高、西北低”，降水量是造成植被覆盖变化的主要原因，而人类开展的各种生态建设工程也促进了植被恢复。本文为评价鄂尔多斯生态修复成效以及促进当地经济社会可持续发展提供建议。

关键词：鄂尔多斯；林草覆盖度；NDVI；遥感监测；时空变化

引言

鄂尔多斯高原位于内蒙古自治区西部，在我国北方农牧交错带上占据核心位置，也是黄河中上游重要生态安全屏障。区内有毛乌素沙地和库布其沙漠，生态上具有干旱、半干旱特点，对气候及人为干扰非常敏感。林草覆盖度是评价一个地区生态环境好坏的重要标准，它是反映土地荒漠化程度增减情况。上世纪 90 年代，由于过度放牧等原因导致鄂尔多斯草原综合植被覆盖率降到 40% 以下，甚至有些地方每亩草产量不到 400 公斤。但是之后实行退耕还林还草、禁牧休牧、“三北”防护林建设等措施以后，该地区的植被得到明显改善。而遥感由于其大面积、多时相、及时性等特点被用来监测区域林草覆盖度变化情况。归一化植被指数（NDVI）是最常用的植被指数，它是利用近红外波段与红波段反射率比值得到的，可以很好地表示植被生长状况及其覆盖面积大小。本文选取鄂尔多斯作为案例区，利用遥感 NDVI 数据对其林草覆盖度变化进行分析并探究影响原因以便更好地了解该地区生态恢复情况以及未来发展方向。

1 研究区概况与数据方法

1.1 研究区概况

鄂尔多斯市位于内蒙古自治区西南部，地理上大致处于北纬 37°35′ 至 40°51′，东经 106°42′ 至 111°27′ 之间，面积约为 8.7 万平方千米。地势总体上是西北高，东南低，海拔一般为 1000 ~ 1500 米。属于典型的温带大陆性干旱、半干旱气候，年平均降水量为 150 ~ 400 毫米，由东南向西北逐渐减少，而蒸发量远远大于降水量。该地区分布着毛乌素沙地以及库布其沙漠两个大沙地，地形多样，有沙漠、丘陵、平原及砒砂岩区等地貌[1]。植物种类主要是干旱草原、荒漠草原以及沙生灌丛，优势种为油蒿、本氏针茅、柠条等。

1.2 数据来源

遥感 NDVI 数据主要来源如下几个方面：（1）MODIS 卫星的 MOD13Q1 产品，时空分辨率为 16 天、250m，时间段从 2000 年至今，在区域尺度上用于进行植被动态变化研究较为常用的数据集；（2）Landsat 系列卫星（TM/ETM+/OLI）图像，空间分辨率为 30m，可用于中高分辨率植被覆盖度估算；（3）GIMMSNDVI 数据集，时间范围可回溯至上世纪八十年代，可用于长时间序列变化分析。同时也有相关的一些支持性资料如气象站观测资料（温度、降水量）、土地利用图、数字高程模型（DEM）以及统计年鉴中的社会经济发展情况等。

1.3 研究方法

1.3.1 NDVI 计算与植被覆盖度反演

NDVI 的计算公式为 NDVI = (NIR-R)/(NIR+R)，其中 NIR 表示近红外波段反射率，R 表示红波段反射率，取值位于-1 到 1 之间，数值越大说明植被长势越好。基于 NDVI 的像元二分模型是常用的估算植被覆盖率的方法，该方法认为每一个像元的 NDVI 是由植被覆盖区域以及裸露地面所占比重决定，计算公式为 FVC = (NDVI-NDVI_soil)/(NDVI_veg-NDVI_soil)，其

中 NDVI_soil 表示纯裸地像元 NDVI 值，NDVI_veg 表示全植被像元 NDVI 值，在实际操作过程中一般使用累积频率置信区间的办法来选取这两个临界点。

1.3.2 趋势分析方法

Sen 斜率估计以及 Mann-Kendall 显著性检验是目前研究植被变化的主要方法。Sen 斜率是基于所有可能的数据点之间的连线求出这些连线的斜率后取其中位数作为变化速度，具有鲁棒性强的特点；而 Mann-Kendall 检验是用来判断是否有变化及其显著程度。另外，Theil-Sen 趋势分析以及 Hurst 指数可以用来预测未来的植被覆盖情况。

1.3.3 驱动力分析方法

偏相关分析是去除其他变量影响之后研究单一气候要素（例如降水或者温度）与 NDVI 之间的关系。而残差分析是从气候因素和人类活动共同导致植被变化中分离出两者各自所占比例来衡量人类活动的作用大小。地理探测器可以发现多个因素联合起来对于植被覆盖率的空间差异所起到的作用。

2 林草覆盖度时空变化特征

2.1 时间序列变化趋势

鄂尔多斯林草覆盖度从 2000 年至 2022 年一直保持较高水平提升态势。根据研究显示，鄂尔多斯市 NDVI 范围为 0.23-0.395，有波动上升趋势，年均增长率为 0.059/10 年。分阶段分析，2000-2010 年为缓慢增长时期，2011-2022 年为快速增长时期。毛乌素沙地 NDVI 变化率为 +0.0028/年，变化趋势表现为“先缓—后急—再缓”。西鄂尔多斯地区 80.28% 的面积植被 NDVI 在 2000-2020 年期间显著增加（$P < 0.05$），并且重心转移表明东南部地区增长更快。就植被覆盖率而言，鄂尔多斯市多年平均植被覆盖率为 0.25，研究期内有所上升。鄂尔多斯高原全年植被覆盖率每年以约 3.7% 的速度缓慢提升[2]。至 2022 年，整个地区的地上生物量比 2000 年增加了 115.5%。植被覆盖率的变化在空间上呈现出东南部高、西部低的特点。草原综合植被盖度从 2011 年前低于 42% 提升到近几年 49.8%，平均干草产量从每公顷 566 公斤增加到 738 公斤。各类地貌类型的林草覆盖度变化也有所不同。十大孔兑流域各地貌类型 NDVI 都呈上升趋势，平原区、丘陵区、沙漠区多年平均 NDVI 分别为 0.591、0.337、0.325，而沙漠区增幅最大。裸露砒砂岩区植被覆盖度增速最快，覆沙砒砂岩区增幅最小。

表 1 ：2000—2022 年鄂尔多斯林草覆盖度分阶段变化特征

时段	**NDVI** 均值范围	年均变化率（/年）	植被覆盖度变化趋势	主要特征
2000—2010 年	0.23~0.28	+0.003~0.005	缓慢上升	生态工程初期，恢复效应尚未充分显现
2011—2020 年	0.28~0.37	+0.006~0.009	快速上升	政策持续发力，工程效益集中释放
2021—2022 年	0.37~0.40	+0.004~0.005	稳定提升	高位趋缓，局部趋于饱和

2.2 空间分布格局

鄂尔多斯林草覆盖度在空间上存在较大差异性。一般情况下，林草覆盖度由西向东逐渐增大，由南向北逐渐减少。东南部如准格尔旗、伊金霍洛旗等县市林草覆盖度较高，而西北部如杭锦旗、鄂托克旗等县市林草覆盖度较低。林草覆盖度改善空间格局为东优西劣、南北优中。西鄂尔多斯地区东南部 NDVI 变化幅度最大。从林草覆盖度等级看，覆盖度较低的 10%-20% 所占比例最大[3]。林草覆盖度改善区域面积占总面积比例达到 98% 以上，退化区域面积占总面积比例不足 0.5%，林草覆盖度变异系数在 0-1.06 之间，平均值为 0.19，说明总体上比较稳定。

2.3 林草覆盖变化的阶段特征

以上所述，可以将 2000 年以来鄂尔多斯地区林草覆盖度变化分为三个时期。第一个时期（2000—2010 年）：缓慢恢复期。退耕还林还草等生态工程开始推行，植被覆盖度逐步提高，但由于受到自然环境限制以及工程刚开始效果未完全体现，因此增长较慢。第二个时期（2011—2020 年）：迅速上升期。“三北”防护林工程建设力度加大，同时禁止放牧、轮牧制度得到落实并且生态补偿制度不断完善，使得林草覆盖度迅速增加，NDVI 上升较快。第三个时期（2021 年至今）：稳步提升期。植被覆盖度已经处于较高水平并趋于稳定，虽然增长速度下降但是仍然保持良好发展势头。

3 林草覆盖度变化的驱动力分析

3.1 气候因素

降水是影响鄂尔多斯林草覆盖度变化的主要气候因素，而偏相关结果显示，降水与 NDVI 之间存在显著正相关关系，在研究区西南部乌海市以及鄂托克旗表现尤为明显；植被覆盖度的变化与自然水热条件之间并不存在显著的相关关系，可能是由于该地区降水较少，而且

年际变化较大所造成的；温度对植被覆盖度的影响较为复杂，较高的温度会加大干旱的压力从而削弱降水所带来的积极作用；蒸散发（ET）与 NDVI 都呈现明显上升的趋势（$P < 0.05$），增幅分别为 4.291mm/a、0.004/a。

3.2 人类活动

人类活动是造成鄂尔多斯地区林草覆盖度变化的主要原因，在此期间，城乡建设、开发以及耕地和草地面积均有不同程度的增长。人类活动以工矿开发、开垦、放牧、荒漠化治理、植树造林等多种形式改变当地植被情况。研究表明，人类活动对植被起积极作用的比例占 97.27%，起到消极作用的比例仅占 2.73%。其中生态恢复政策发挥重要作用[4]。退耕还林还草工程、禁牧休牧制度、“三北”防护林体系建设等一系列生态建设工程极大地改善了当地林草覆盖度。鄂尔多斯市创新林草资源管理模式，充分利用卫星遥感、地理信息系统、大数据等手段建立生态家底数据库及信息化管理系统，实现林草生态资源“空天地”全方位监管。飞播造林、人工种草、生态修复等方法显著增加了森林和草原的比例。乌审旗森林覆盖率由上世纪五十年代的 2.6%提升至目前的 32.92%，植被覆盖度达到 80%以上。

3.3 自然与人文因素的交互作用

林草覆盖度变化是自然因素和人为因素综合作用的结果，在一定范围内，降水量决定着不同地区植被种类以及覆盖率的空间分布特征，但是人类活动可以在较短时间内改变植被状况。气候条件为植被生存提供基础条件，而生态工程及土地利用措施则是影响因素。两者相互影响共同起着决定性作用。从地理探测器结果来看，自然因素与人为因素之间的相互作用对于植被覆盖度的空间差异所起的作用通常大于单独一个方面的作用。

4 结语

本文基于遥感 NDVI 数据，系统分析了鄂尔多斯林草覆盖度的时空变化特征及其驱动机制。主要结论如下：（1）2000—2022 年间，鄂尔多斯林草覆盖度整体呈显著上升趋势，NDVI 值介于 0.23—0.395 之间，增长速率为 0.059/10 年，植被改善区域面积占比达 98%以上。（2）林草覆盖度空间分布呈现“东南高、西北低”的格局，不同地貌类型改善速率差异显著，沙漠区增加趋势最为明显。（3）降水是影响林草覆盖度变化的主要气候因素，人类生态工程活动对植被恢复起到 97%以上的正向驱动作用。（4）生态恢复政策与工程措施是驱动林草覆盖度持续改善的关键力量，退耕还林还草、禁牧休牧、“三北”防护林等工程的综合效益显著。鄂尔多斯林草覆盖度的持续改善，标志着我国北方生态脆弱区植被恢复取得了实质性进展。然而，区域内仍存在植被覆盖度空间分布不均、部分区域生态脆弱性尚未根本扭转等问题。未来应进一步强化多源遥感数据的融合应用，提升林草覆盖度监测的时空分辨率与精度；深化气候变化背景下植被响应的机理研究，科学评估生态工程的长期效应与可持续性；优化生态空间管控策略，实现林草资源的保护性利用与区域高质量发展的协同推进。

参考文献

[1] 王俊枝, 萨日盖, 窦银银, 等.2000—2022 年鄂尔多斯高原人类活动对植被覆盖变化的影响 [J]. 西安理工大学学报,2024(4):509-516.

[2] 尹永会, 孔祥生, 吴浩然, 等. 鄂尔多斯区内毛乌素沙地 1987—2022 年植被覆盖时空演变 [J]. 现代地质,2024,38(3):674-682.

[3] 刘雅洁, 郭金停, 王铁娟. 西鄂尔多斯地区植被 NDVI 时空变化及其对气温和降水的响应 [J]. 内蒙古师范大学学报 (自然科学汉文版),2023(6):559-567.

[4] 李帅, 任昱, 高君亮, 等. 基于 FCD 模型的 1991—2022 年鄂尔多斯市植被覆盖度时空变化分析 [J]. 中国林业科学研究院机构知识库,2023.