

2000~2015 年丹江口库区植被覆盖 时空变化趋势及其成因分析¹

胡砚霞¹, 黄进良², 杜 耘², 于兴修¹, 王长青²

(1. 湖北大学区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430062;

2. 中国科学院测量与地球物理研究所, 湖北 武汉 430077)

【摘要】: 基于 MODIS NDVI、Landsat 遥感影像及气象观测数据, 应用趋势分析、偏相关分析和土地利用转移矩阵等方法, 阐明了 2000~2015 年丹江口库区植被覆盖时空变化趋势, 并探讨了气候变化和人类活动对库区植被覆盖的影响。结果表明: (1) 近 16a 来丹江口库区植被覆盖度呈增加的趋势, 增速为 4.73%/10a ($p < 0.001$); (2) 40.94% 的区域植被覆盖度增加显著, 主要分布在库周丘陵和平原地带; 10.04% 的区域植被覆盖度减少显著, 主要位于西北部伏牛山区及库区建成区周边; 49.02% 的区域变化不显著; (3) 丹江口库区植被覆盖度受气候变化影响不显著, 但受人类活动影响较大, 其中灌草地和农业用地转变为林地是库区植被覆盖度升高的主要原因, 农业用地转变为水体和建设用地是部分区域植被覆盖度降低的重要因素, 这些土地利用/覆被变化主要受造林、退耕还林、水库蓄水以及建设活动的驱动; (4) 生态建设工程和项目的实施对库区植被覆盖度的稳步增加起到了积极作用。

【关键词】: 植被覆盖度; 变化趋势; 土地利用; 丹江口库区

【中图分类号】: Q948; TP79 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227 (2018) 04-0862-11

【DOI】: 10.11870/cjlyzyyhj201804017

区域植被变化是当前全球变化研究的热点内容之一, 其对气候变化和人类活动的响应已引起国内外学者的广泛关注^[1~3]。丹江口库区位于我国东亚季风区, 区域气候受全球变化影响发生不同程度的波动, 进而影响到库区植物生长及植被覆盖情况。同时, 丹江口水库是南水北调中线工程的水源地, 近年来强烈的人为干扰, 如水库蓄水、工程建设、移民安置、城镇扩张、退耕还林和植树造林等活动, 对库区植被覆盖和生态环境产生巨大的扰动和威胁。然而, 目前丹江口库区植被分布的宏观特征及变化趋势尚不明晰, 有必要对该区域植被状况及相关地理要素进行全面调查与深入分析。因此, 科学评估近年来气候变化和人类活动对丹江口库区植被变化的影响具有重要的理论研究价值, 同时对保障南水北调中线工程的输水安全和工程效益以及区域生态环境质量具有重要的现实意义。

¹[收稿日期]: 2017-06-22; [修回日期]: 2017-07-26

[基金项目]: 国家自然科学基金项目 (41471227) “垄作覆膜对土壤无机氮流失过程的影响机理”; 湖北省自然科学基金项目 (2016CFB201) “丹江口库区土地利用变化对营养盐输出影响研究”

[作者简介]: 胡砚霞 (1987~), 女, 博士, 讲师, 主要从事生态环境遥感监测方面研究. E-mail: yanxiah@hubu.edu.cn

[通讯作者]: E-mail: hjl@whigg.ac.cn

随着遥感技术的发展,时间序列 MODIS 影像(中分辨率成像光谱仪, Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), 以较高的时间分辨率和优异的多光谱特性, 其植被数据已广泛用于全球及区域尺度植被变化研究^[4], 如归一化植被指数 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 和植被覆盖度等。NDVI 是最常用的植被指数, 其计算简单, 但存在一定的不足(低覆盖度植被信息难以区分, 高覆盖度植被信息容易饱和)^[5, 6], 而植被覆盖度可有效拉伸植被信息的值域, 常作为更合适的选择。植被覆盖度是重要的生态指示因子, 它可反映植物进行光合作用的面积和植被的茂盛程度, 故一定程度上可用于表征植物的生长状态和发展趋势^[7, 8]。

国内外学者基于植被覆盖度对不同尺度下植被变化特征及其成因开展了大量研究, 并得出了许多有意义的结论。普遍采用的方法是利用时间序列中高分辨率遥感植被产品(如 MODIS NDVI/EVI、SPOT VGT、GIMMS NDVI、AVHRR NDVI 和 Landsat NDVI 等), 应用像元二分模型获取植被覆盖度, 并分析其时空变化过程和驱动因素^[9~16]。近年来国内学者利用多种方法对区域植被变化及其成因进行了深入研究, 其中王颖等^[17]采用植被覆盖度等级转移矩阵法对 2000~2009 年锡林郭勒盟草原植被覆盖度高低变化的方向进行了探讨; 刘宇等^[18]利用逐像元一元线性回归趋势分析法对黄土高原土地利用/覆被变化对植被覆盖度变化的影响进行了定量分析; 周伟等^[19]应用基于像元的空间分析法从不同时空尺度和不同草地类型对中国草地覆盖度的年/月际变化与气候因子的相关性进行了研究; 白淑英等^[20]采用植被-气候时空关系模型对西藏山南地区气候变化和人类活动对植被覆盖度变化的相对贡献率进行了定量分析; 刘宪锋等^[21]利用偏相关分析法和 Hurst 指数法对秦巴山区植被覆盖度变化的驱动因素及其未来趋势进行了研究; 赵舒怡等^[22]应用趋势分析法与相关分析法从生态分区的角度对华北地区植被覆盖度与 Palmer 干旱指数的相关关系进行了分析; 王嫣然等^[23]采用曲线回归分析法对北京市植被覆盖度与 PM_{2.5} 时空分布的关系进行了探讨。

本研究将基于时间序列 MODIS NDVI 遥感数据获取植被覆盖度信息, 利用趋势分析法阐明 2000~2015 年丹江口库区植被覆盖的时空变化趋势, 并辅助气候条件变化、土地利用/覆被变化和历年造林状况探讨库区植被覆盖变化的驱动因素。研究结果有助于正确评估近年来丹江口库区气候变化和人为扰动对植被覆盖的影响以及生态恢复和水土保持工作的实施效果, 为下一步生态环境建设提供科学基础及数据支持。

1、研究区概况

丹江口水库位于鄂西北与豫西南的交界处, 经纬度范围约 32° 11' 34"~33° 52' 40"N, 109° 23' 7"~111° 57' 55"E, 汉江干流与其支流丹江在此交汇, 南水北调中线工程从该水库引水。本文以丹江口库区为研究区, 行政范围包括隶属湖北省十堰市的丹江口市、郧西县、张湾区、茅箭区和郧阳区(原郧县), 以及隶属河南省南阳市的淅川县和西峡县(图 1), 总面积约 17900km²。



图 1 丹江口库区位置图

丹江口库区地质构造复杂，断裂发育，褶皱强烈，地表岩层松散，主要由片麻岩、砂页岩和石灰岩组成；地貌类型复杂，大部分属低海拔中小起伏山地，水库沿线及周边为低海拔丘陵、冲积平原和洪积台地，东北部、西部和西南部边缘为中海拔高起伏山地（分属伏牛山、秦岭和武当山）；气候属亚热带季风气候区，光热充足，四季分明，降雨时空分布不均匀且多暴雨；水系发达，河流众多，均属汉江水系；植被以亚热带常绿阔叶林、针叶林和针阔混交林为主，以及部分农业植被；人口稠密区分布于库周、汉江和丹江干流沿岸、盆地以及坝地；经济来源以农业生产为主。

2、数据来源与方法

2.1 数据来源及预处理

数据资料包括 MODIS 和 Landsat 遥感影像、高程数据、气象数据、土地利用数据以及统计数据。（1）MODIS 遥感影像：选用 2000~2015 年 MODIS NDVI 产品 MOD13A3 (h27v05)，空间分辨率为 1km，时间分辨率为 1month，共 191 景，来源于美国航空航天局 (NASA) 陆地数据分发中心 LP DAAC (Land Process Distributed Active Archive Center, <https://z71pdaac.usgs.gov/>)。MOD13A3 数据已进行水、云、气溶胶等处理，质量可靠，被广泛用于植被覆盖变化研究。预处理流程：利用 MRT (MODIS Reprojection Tools) 进行了格式和投影转换 (Albers)，然后乘以转换系数得到 NDVI 的真实值，再基于研究区矢量（来源于国家基础地理信息中心，<http://ngcc.sbsm.gov.cn/>）截取子区，最后得到近 16a 来丹江口库区月均 NDVI 数据集，并以此合成年均 NDVI 数据；（2）Landsat 遥感影像：包括 2000 年 Landsat TM 数据（行列号-年月日：125037-20000615、125038-20000615、126037-19990924）和 2015 年 Landsat OLI 数据（行列号-年月日：125037-20150414、125038-20150414、126037-20151014），空间分辨率为 30m，来源于美国地质调查局 USGS (United States Geological Survey, <http://earthexplorer.usgs.gov/>)。影像时相为 4~6 月份或 9~10 月份，此时段植被覆盖较好，且避开了枯水期和洪水期。这些影像经几何纠正和大气校正后转为 Albers 投影，并用研究区矢量截取子区；（3）高程数据：STRM (SRTM, Shuttle Radar Topography Mission) DEMUTM 数字高程产品，空间分辨率为 90m，数据时期是 2000 年，来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据平台 (<http://www.gscloud.cn>)；（4）气象数据：包括 2000~2013 年郧西站和西峡站逐年平均气温和平均降水量数据，来源于中国气象局气象数据中心 (<http://data.cma.cn/>)；（5）土地利用数据：包括野外采样数据（2011 年 3 月和 9 月）和土地利用分类数据（1990 年、1995 年、2000 年、2005 年和 2010 年），可为本研究土地利用分类及其精度验证提供样点；（6）统计数据：2002~2014 年丹江口库区各县（市、区）造林面积数据，来源于《中国林业统计年鉴》。

2.2 植被覆盖度计算

植被覆盖度指植被（包括叶、茎、枝）在地面上垂直投影面积占统计区总面积的百分比^[24]，是衡量地表植被状况的重要指标之一。通常可应用混合像元分解模型估算植被覆盖度，该方法假设遥感影像的像元信息由纯植被和纯土壤组成，则混合像元的 NDVI 值可用纯植被像元和纯土壤像元 NDVI 值的加权平均来表达，计算公式如下：

$$NDVI = f_v \cdot NDVI_{veg} + (1 - f_v) \cdot NDVI_{soil} \quad (1)$$

式中：NDVI 为混合像元的植被指数值； f_v 为植被覆盖度； $NDVI_{veg}$ 为纯植被像元的植被指数值； $NDVI_{soil}$ 为纯土壤像元的植被指数值。因此，植被覆盖度的计算公式可表达为：

$$f_v = \frac{(NDVI - NDVI_{soil})}{(NDVI_{veg} - NDVI_{soil})} \quad (2)$$

理论上, $NDVI_{soil}$ 趋于 0, $NDVI_{veg}$ 趋于 1; 实际上, 受土壤和植被类型以及叶绿素含量等因素的影响, 不同区域、不同影像的存在一定的变异^[25]。在无大量实测数据参考的情况下, $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$ 通常可分别取给定置信区间内的最小值和最大值^[26]。本研究选择累积百分数 5% 和 95% 作为置信区间, 即分别取累积百分数 5% 和 95% 对应的 $NDVI$ 值为 $NDVI_{soil}$ 和 $NDVI_{veg}$, 最后可通过公式 (2) 计算得到历年植被覆盖度。

2.3 趋势分析

采用 Theil-Sen 斜率估计法^[27] 分析近 16a 来丹江口库区植被覆盖度的时空变化趋势, 该方法的优点是样本无需服从特定分布, 且不受异常值干扰, 已广泛应用于长时间序列变化趋势分析。Theil-Sen 斜率的计算公式为:

$$TS_{slope} = median\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) \quad (3)$$

式中: TS_{slope} 为植被覆盖度的变化趋势; median 为中位数函数; i 、 j 为时间序数 (序列长度为 n , $i < j \leq n$); x_i 、 x_j 分别为第 i 、 j 时间 (年份) 的植被覆盖度。当 $TS_{slope} > 0$ 时, 表明植被覆盖度呈增加趋势; 当 $TS_{slope} < 0$ 时, 表明植被覆盖度呈减少趋势; 当 $TS_{slope} = 0$ 时, 表明趋势不明显。此外, 通过 Mann-Kendall 统计检验法^[28] 对变化趋势的显著性进行检验, 并根据检验结果将变化趋势分为如下 5 个等级: 极显著增加 ($TS_{slope} > 0$, $p < 0.01$); 显著增加 ($TS_{slope} > 0$, $0.01 < p < 0.05$); 无显著变化 ($p > 0.05$); 显著减少 ($TS_{slope} < 0$, $0.01 < p < 0.05$); 极显著减少 ($TS_{slope} < 0$, $p < 0.01$)。

2.4 土地利用/覆被分类

基于 2000 年和 2015 年 Landsat TM/OLI 影像获取丹江口库区土地利用/覆被变化状况, 主要步骤如下: ①分类系统: 结合丹江口库区土地利用/覆被现状, 参照我国现行土地利用分类体系标准, 将库区土地利用/覆被类型分为 5 大类: 林地、灌草地、农业用地、建设用地和水体; ②辅助分类数据: 包括前文所述的库区野外采样数据和土地利用分类数据; ③分类方法: 面向对象决策树分类方法。面向对象法能有效利用影像的光谱、空间和纹理等信息, 减少由于对象过于破碎而产生的“同物异谱”、“同谱异物”和“椒盐”等现象, 有利于提高遥感信息提取的精度; 决策树分类法参考胡砚霞等^[29] 的研究; ④精度验证: 上述辅助分类数据也可作为分类结果的精度验证提供样本点; ⑤分类后处理: 分类后影像经拼接后转化为矢量数据, 在 ArcMap 平台中对计算机误分的图斑经目视解译修改分类编码或图斑边界, 弥补计算机自动分类的不足, 确保土地利用/覆被结果的精度。

3、结果与分析

3.1 丹江口库区多年平均植被覆盖情况

根据 2000~2015 年植被覆盖度数据, 得到丹江口库区及各县 (市、区) 16a 间平均植被覆盖度分布情况 (图 2)。从空间分布上看, 东北部伏牛山区、西部秦岭山区和西南部武当山区平均植被覆盖度较高; 水库沿线及周边低海拔丘陵、冲积平原区平均植被覆盖度较低。

将平均植被覆盖度图层与高程图层进行 GIS 空间叠加分析, 结果显示: 中山区 (海拔 $\geq 1000m$) 平均植被覆盖度最高, 达 82.9%; 低山区 ($500m \leq \text{海拔} < 1000m$) 平均植被覆盖度为 78.2%; 丘陵区 ($200m \leq \text{海拔} < 500m$) 平均植被覆盖度为 49.7%; 平原区 (海拔 $< 200m$) 平均植被覆盖度最低, 仅 24.7%。总体上, 植被覆盖度随海拔高度升高而增加。

从各县 (市、区) 情况来看, 张湾、茅箭区平均植被覆盖度最高, 达 77.9%; 郧西县和西峡县平均植被覆盖度较高, 分别为

69.0%和 67.9%；郧阳区和丹江口市平均植被覆盖度相当，分别为 60.4%和 59.2%；淅川县平均植被覆盖度最低，仅 34.9%（由于该县丘陵和平原面积比例较大，分别达 42.6%和 46.3%）。

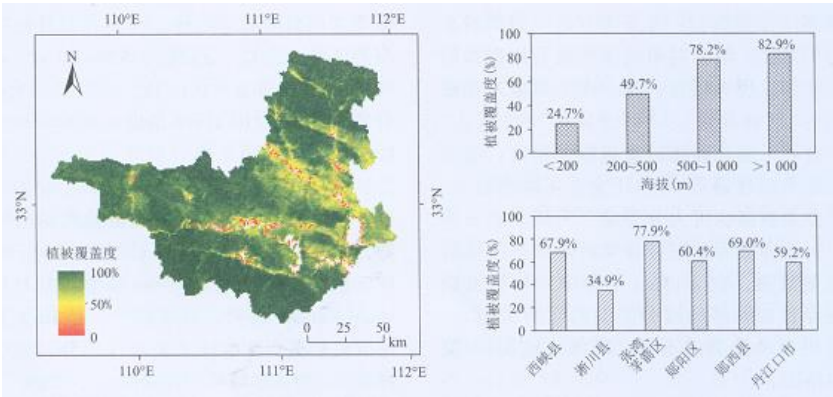


图 2 2000~2015 年丹江口库区及各县（市、区）平均值被覆盖度分布情况

3.2 丹江口库区植被覆盖时空变化趋势

3.2.1 时间变化趋势

2000~2015 年丹江口库区植被覆盖度呈增加的趋势，增速为 4.73%/10a ($p<0.001$)。从各县（市、区）情况来看，除张湾、茅箭区和西峡县植被覆盖度呈减少的趋势外（减速分别为 1.53%/10a 和 3.81%/10a, $p<0.05$ ），其他区域植被覆盖度均呈增加的趋势：郧西县和丹江口市植被覆盖度增速最大，分别达 7.52%/10 a ($p<0.001$) 和 7.49%/10a ($p<0.001$)，郧阳区和淅川县增速分别为 7.24%/10a ($p<0.001$) 和 5.85%/10a ($p<0.001$)（图 3）。

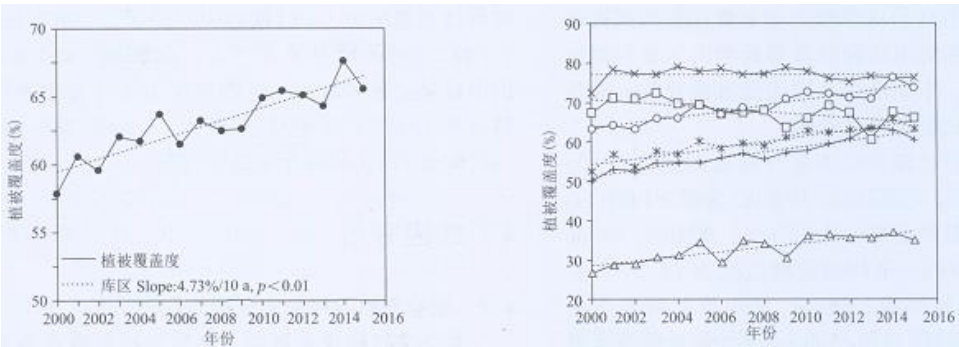


图 3 2000~2015 年丹江口库区及各县（市、区）平均值被覆盖度的时间变化趋势

3.2.2 空间变化趋势

为检测丹江口库区植被覆盖度的空间变化趋势，本文以年为单位计算了 2000~2015 年丹江口库区植被覆盖度的 Theil-Sen 趋势，并对其进行了 Mann-Kendall 检验。结果表明，近 16a 来丹江口库区植被覆盖度整体上呈增加趋势，其中呈增加和减少趋势的区域面积分别占 11382km² (63.49%) 和 6544km² (36.51%)。具体地：（1）就增加趋势而言，1886km² (10.52%) 的区域呈显著增加，5454km² (30.42%) 的区域呈极显著增加，这些地区主要分布于库周丘陵和平原地带，此区域为生态建设重点区域，

植树造林、封山育林、退耕还林以及水土保持等工程实施后，植被覆盖度得到显著增加；（2）就减少趋势而言，917km²（5.12%）的区域呈显著减少，882km²（4.92%）的区域呈极显著减少，这些地区主要分布于西北部伏牛山区以及建成区周边；（3）8788km²（49.02%）的区域变化不显著（图4）。

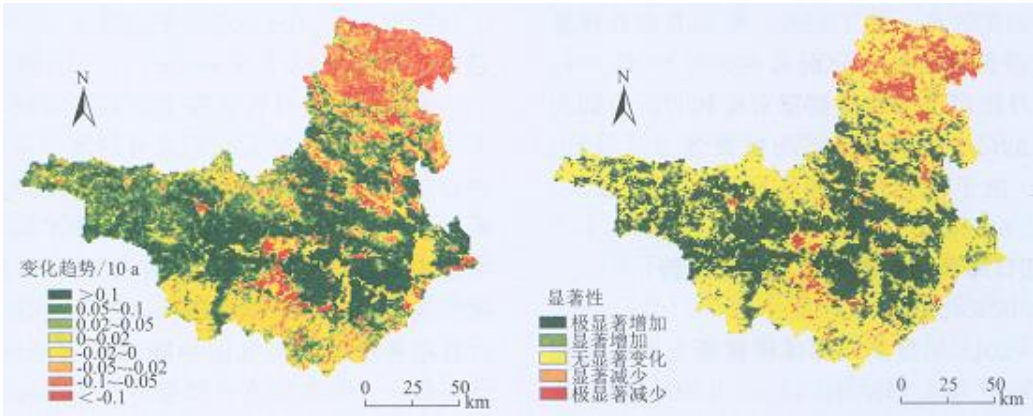


图4 2000~2015年丹江口库区被覆盖度空间变化趋势及其显著性

4、成因分析

4.1 植被覆盖对气候变化的响应

受全球气候变化影响，区域气温和降水会发生不同程度的变化，进而影响到植物的生长活动。多年气象观测数据显示，2000~2013年，丹江口库区平均气温呈弱升高的趋势，升速为0.188℃/10a（ $p<0.05$ ）；平均降水量呈弱减少的趋势，减速为58.508mm/10a（ $p<0.05$ ）（图5）。

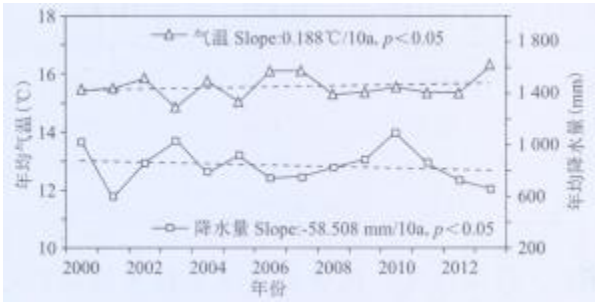


图5 2000~2013年丹江口库区年均气温和降水量的变化趋势

采用偏相关分析法探索植被覆盖变化与气候变化的关系。为保证结果的可信度，从站点尺度进行分析，具体操作步骤如下：①取气象站（鄢西站、西峡站）周边3km缓冲区内平均植被覆盖度作为该站点植被覆盖度值；②对历年植被覆盖度、气温和降水量数据进行去趋势处理，并分别计算植被覆盖度与气温和降水量的偏相关系数。结果显示，鄢西站植被覆盖度与气温和降水量的偏相关系数分别为0.054（ $p=0.861$ ）和0.060（ $p=0.846$ ），且均未通过0.05水平上的显著性检验；西峡站植被覆盖度与气温和降水量的偏相关系数分别为-0.239（ $p=0.431$ ）和0.051（ $p=0.869$ ），也均未通过0.05水平上的显著性检验。上述结果表明，丹江口库区植被覆盖对气候变化的响应不显著。

4.2 植被覆盖对人类活动的响应

人类活动对植被覆盖的影响，既有正面效应（如植树造林、退耕还林等），也有负面效应（如城市扩张、森林破坏等），以下将从土地利用/覆被变化和历年造林状况两个方面对此问题进行分析。受人类活动影响，土地利用/覆被会产生一定的变化，植被覆盖度也将发生相应的变化，如林地转变为建设用地或水体，植被覆盖度将减少；农业用地或灌草地转变为林地，植被覆盖度将增加。本研究基于 2000~2015 年丹江口库区土地利用/覆被变化及转移矩阵（图 6、表 1）探讨近 16a 来其植被覆盖变化的原因。总体上，丹江口库区林地、建设用地和水体的面积呈增加的趋势，灌草地和农业用地的面积呈减少的趋势。具体地，林地面积净增加 2571.89km²，其中 1915.46km² 由灌草地转入，1074.43km² 由农业用地转入，少量林地转变为其他类型；建设用地面积净增加 168.80km²，其中 136.32km² 由农业用地转入，79.48km² 由灌草地转入，少量建设用地转变为其他类型；水体面积净增加 834.44km²，其中 258.55km² 由农业用地转入，88.53km² 由灌草地转入。丹江口库区土地利用变化类型以灌草地转变为林地最多（净变化 1731.36km²），其次为农业用地转变为林地（净变化 889.83km²），以及农业用地转变为水域（净变化 254.53km²）和农业用地转变为建设用地（净变化 119.22km²），这些土地利用/覆被变化主要受造林、退耕还林、水库蓄水以及建设活动的驱动。

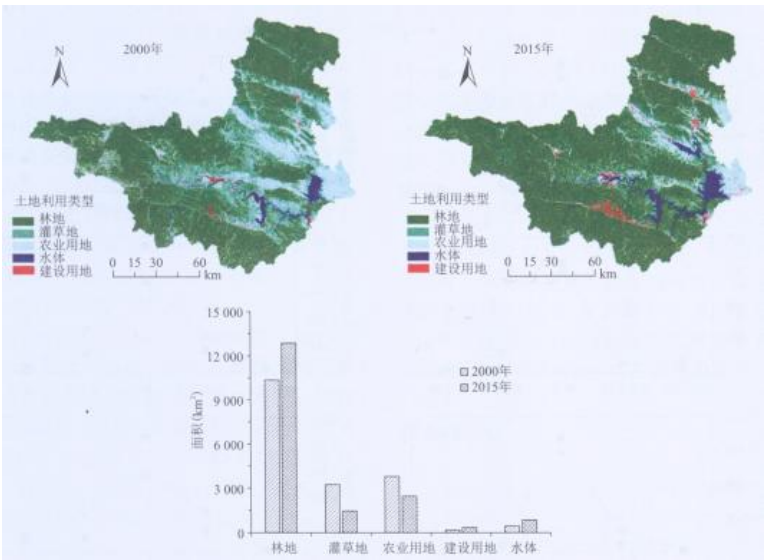


图 6 2000 年和 2015 年丹江口库区土地利用变化及统计结果

表 1 2000~2015 年丹江口库区土地利用转移矩阵 (km2)

2015 年 2000 年	林地	灌草地	农业用地	建设用地	水体
林地	9877.61	1915.46	1074.43	20.12	8.55
灌草地	184.1	602.1	585.5	3.52	2.52
农业用地	184.6	534.7	1739.91	17.1	4.02
建设用地	40.24	79.48	136.32	62.88	6.54
水体	37.73	88.53	258.55	59.36	402.41
合计	10324.28	3220.27	3794.71	162.98	424.04

植树造林是提高植被覆盖度的一项重要措施。本研究基于《中国林业统计年鉴》统计丹江口库区各县（市、区）逐年造林面积，发现近些年库区造林工作主要经历了两个高峰期，分别为 2002~2005 年段和 2011~2014 年段，并以 2002 年造林面积最多（其中新造林 3.80 万 hm^2 ，封山育林 2.93 万 hm^2 ，且以丹江口市最为突出）（图 8）。此间，南水北调中线工程于 2002 年开工，2014 年正式通水，丹江口库区先后实施了生态环境建设工程（如退耕还林工程、植树造林工程、封山育林工程等）和水土保持工程，以及一系列生态环境综合整治项目。从植被覆盖度遥感监测结果来看，丹江口库区植被覆盖度呈稳步增加的趋势，一定程度上表明上述工程和项目的实施起到了积极作用。

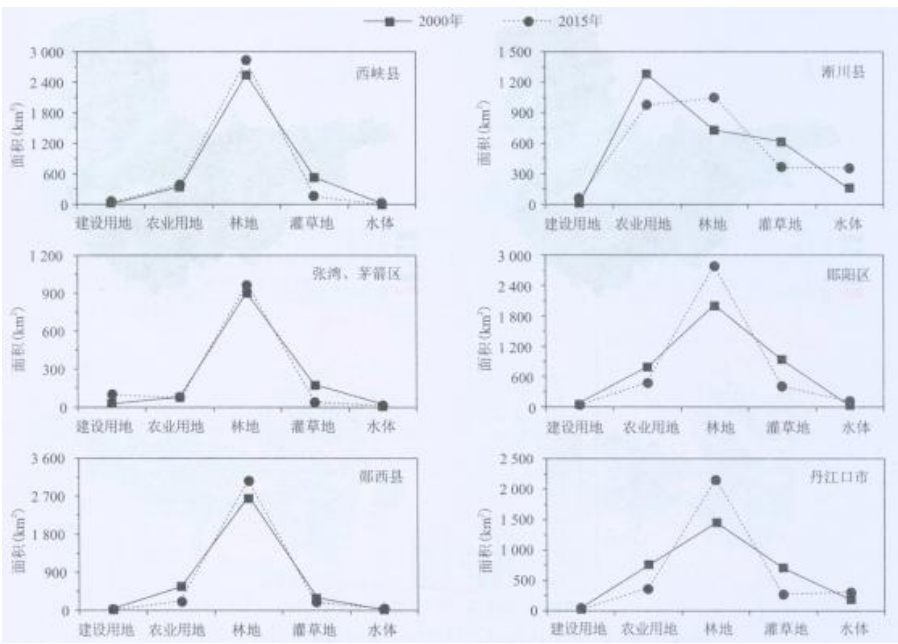


图 7 2000 年和 2015 年丹江口库区各县（市、区）土地利用变化状况

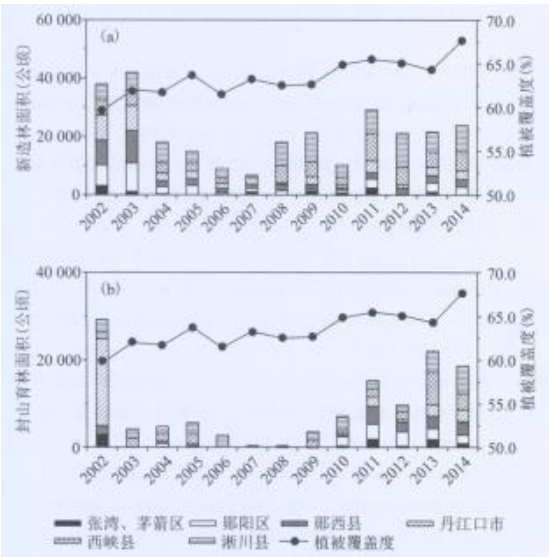


图 8 2002~2014 年丹江口库区各县（市、区）新造林（a）和封山育林（b）状况

结合库区各县（市、区）土地利用/覆被变化（图 7）和历年造林状况（图 8）分析发现：①淅川县和丹江口市土地利用变化情况类似，均表现为灌草地、农业用地→林地、水体，其中林地面积增加较多，水体面积增加较少，植被覆盖度都呈增加的趋势，主要受益于造林活动。具体地，2002~2014 年间，淅川县新造林 8.47 万 hm^2 、封山育林 3.24 万 hm^2 ；丹江口市新造林 4.03 万 hm^2 、封山育林 2.83 万 hm^2 ；②张湾、茅箭区土地利用变化主要是灌草地→建设用地、林地，其中林地面积略有增加，建设用地面积增加较多，植被覆盖度呈减少的趋势，主要受城镇化的影响。此外，此区由于属十堰市辖区，可供造林区域有限，历年造林面积均低于其他县（市、区）；③郧阳区土地利用变化主要为农业用地、灌草地→林地，植被覆盖度呈增加的趋势，主要受植树造林驱动。具体地，2002~2014 年间，郧阳区新造林 3.82 万 hm^2 、封山育林 1.42 万 hm^2 ；④鄢西县土地利用变化主要是农业用地→林地，植被覆盖度呈增加的趋势，退耕还林是其主要原因。具体地，2002~2014 年间，鄢西县新造林 3.91 万 hm^2 、封山育林 1.57 万 hm^2 ；⑤西峡县土地利用变化主要为灌草地→林地，但植被覆盖度却呈减少的趋势，且该县平均植被覆盖度较高，出现此现象是由于 2011~2014 年造林高峰期间中幼龄林比例大（如该县 2011 年中幼龄林比例高达 79%^[30]）。具体地，2002~2014 年间，西峡县新造林达 6.08 万 hm^2 、封山育林达 2.49 万 hm^2 。

5、结论与讨论

本研究基于多源遥感数据以及气象观测资料，采用趋势分析、偏相关分析等方法阐明了近 16a 来丹江口库区植被覆盖度的时空变化特征及其驱动因素，得到以下结论：

（1）整体上，丹江口库区东北部伏牛山区、西部秦岭山区和西南部武当山区植被覆盖度较高，水库沿线及周边低海拔丘陵和冲积平原区植被覆盖度较低。各县（市、区）平均植被覆盖度：张湾、茅箭区>鄢西县>西峡县>郧阳区>丹江口市>淅川县；

（2）时间变化趋势：2000~2015 年丹江口库区植被覆盖度呈增加的趋势，其中张湾、茅箭区和西峡县植被覆盖度呈减少的趋势，其他县（市、区）植被覆盖度均呈增加的趋势（增速：鄢西县>丹江口市>郧阳区>淅川县）；

（3）空间变化趋势：植被覆盖度呈增加趋势和减少趋势的区域分别占 63.49%和 36.51%。其中，40.94%的区域植被覆盖度增加显著，主要分布于库周丘陵和平原地带；10.04%的区域植被覆盖度减少显著，主要位于西北部伏牛山区以及建成区周边；49.02%的区域变化不显著；

（4）丹江口库区植被覆盖对气候变化的响应不显著，但受人类活动影响较大。灌草地和农业用地转变为林地是库区植被覆盖度升高的主要原因，农业用地转变为水体和建设用地是部分区域植被覆盖度降低的重要因素，这些土地利用/覆被变化主要受造林、退耕还林、水库蓄水以及建设活动的驱动。近年来丹江口库区植被覆盖度呈稳步增加的趋势，一定程度上表明生态建设工程和项目的实施起到了积极作用。

本文基于土地利用/覆被变化情况探索了丹江口库区植被覆盖变化的部分原因，但也有一定的局限性，如地类质量变化导致的植被覆盖度变化难以通过土地利用/覆被类型的变化表达，进一步工作可辅助高空间分辨率遥感影像研究不同等级地类（或造林树种）植被覆盖度的差异。

[参考文献]：

[1]NEMANI R R, KEELING C D, HASHIMOTO H, et al.Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999[J]. Science, 2003, 300 (5625) : 1560-1563 .

[2]MA Z H, PENG C H, ZHU Q A, et al.Regional drought-induced reduction in the biomass carbon sink of Canada's

boreal forests[J].Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012, 109 (7) : 2423-2427.

[3]马明国, 王建, 王雪梅. 基于遥感的植被年际变化及其与气候关系研究进展[J]. 遥感学报, 2006, 10 (3) : 421 - 431.

[4]国志兴, 王宗明, 宋开山, 等. 1982~2003 年东北地区植被覆盖变化特征分析[J]. 西北植物学报, 2008, 28 (1) : 155-163.

[5]ZENG X, DICKINSON R E, WALKER A, et al. Derivation and evaluation of global 1 km fractional vegetation cover data for land modeling[J]. Journal of Applied Meteorology, 2000, 39 (6) : 826-839.

[6]王 智, 常顺利, 师庆东, 等. 基于 FVC 指数的中国西北干旱区植被覆盖变化 Markov 过程[J]. 应用生态学报, 2010, 21 (5) : 1129-1136.

[7]甘春英. 连江流域近 18 年来植被覆盖度变化分析[D]. 广州: 华南师范大学硕士学位论文, 2011.

[8]穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001-2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67 (9) : 1255-1268.

[9]吴 云, 曾 源, 吴炳方, 等. 基于 MODIS 数据的三北防护林工程区植被覆盖度提取与分析[J]. 生态学杂志, 2009, 28 (9) : 1712-1718.

[10]吴 云, 曾 源, 赵 炎, 等. 基于 MODIS 数据的海河流域植被覆盖度估算及动态变化分析[J]. 资源科学, 2010, 32 (7) : 1417-1424.

[11]刘宪锋, 杨勇, 任志远, 等. 2000-2009 年黄土高原地区植被覆盖度时空变化[J]. 中国沙漠, 2013, 33 (4) : 1244-1249.

[12] 田海静, 曹春香, 戴晟懋, 等. 准格尔旗植被覆盖度变化的时间序列遥感监测[J]. 地球信息科学学报, 2014, 16 (1) : 126-133.

[13]杨强, 王婷婷, 陈昊, 等. 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.

[14]潘学鹏, 吴喜芳, 沈彦俊, 等. 三江并流河源区植被覆盖度对气候要素的响应[J]. 山地学报, 2015, 33 (2) : 218- 226.

[15]赵健赞, 彭军还. 基于 MODIS NDVI 的青海高原植被覆盖 时空变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30 (4) : 67-73.

[16]杨艳丽, 孙艳玲, 王中良. 2000-2013 年海河流域植被覆盖的时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30 (7) : 65-70.

[17]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.

[18]刘 宇, 傅伯杰. 黄土高原植被覆盖度变化的地形分异及土地利用/覆被变化的影响[J]. 干旱区地理, 2013, 36 (6) : 1097-1102.

-
- [19]周伟, 刚成诚, 李建龙, 等. 1982-2010 年中国草地覆盖度的时空动态及其对气候变化的响应[J]. 地理学报, 2014, 69 (1) : 15-30.
- [20]白淑英, 吴 奇, 史建桥, 等. 基于时间序列遥感数据的西藏山南地区植被覆盖变化特征分析[J]. 中国沙漠, 2015, 35 (5) : 1396-1402.
- [21]刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000-2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. 地理学报, 2015, 70 (5) : 705-716.
- [22]赵舒怡, 宫兆宁, 刘旭颖. 2001-2013 年华北地区植被覆盖度与干旱条件的相关分析 [J]. 地理学报, 2015, 70 (5) : 717-729.
- [23]王嫣然, 张学霞, 赵静瑶, 等. 2013-2014 年北京地区 PM_{2.5} 时空分布规律及其与植被覆盖度关系的研究[J]. 生态环境学报, 2016, 25 (1) : 103-111.
- [24]GITELSON A A, KAUFMAN Y J, STARK R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80 (1) : 76-87.
- [25]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.
- [26]李京忠, 曹明明, 邱海军, 等. 汶川地震区灾后植被恢复时空过程及特征——以都江堰龙溪河流域为例[J]. 应用生态学报, 2016, 27 (11) : 3479-3486.
- [27]SEN P K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall ' s Tau. Journal of the American Statistical Association [J], 1968, 63 (324) : 1379-1389.
- [28]KENDALL M G. Rank correlation methods [M]. London : Charles Griffin, 1962.
- [29]胡砚霞, 黄进良, 王立辉. 丹江口库区 1990-2010 年土地利用时空动态变化研究[J]. 地域研究与开发, 2013, 32 (3) : 133-137.
- [30]南阳市西峡县政府, 南阳市西峡县 “十二五” 生态建设规划[R]. 2011.