

Spatial and Temporal Variations of LAI in Huaihe River Basin during 2000~2016

Xinchuan Li, Jinneng Xu, Lingyu Zhu, Lulu Peng, Caixin Xue

School of Urban and Environmental Sciences, Huaiyin Normal University, Huai'an Jiangsu
Email: Rs_lxc@126.com

Received: Nov. 27th, 2019; accepted: Dec. 11th, 2019; published: Dec. 18th, 2019

Abstract

The aim of this study was to adopt the leaf area index (LAI) product with one kilometer to assess vegetation spatial-temporal variations in Huaihe River basin from 2000 to 2016. The results showed that: 1) The annual mean LAI in Huaihe River basin was 1.16, and the distribution of LAI was characterized by high south and low north. 2) The average annual LAI showed a significant increase in Huaihe River basin from 2000 to 2016 (P value = 0.003), and the annual trends of LAI in Jiangsu Province of the basin was not significant. 3) Summer LAI in each province showed a very significant increase trend in all provinces. The trend of winter LAI in each province was not significant showed a very significant increase trend in all provinces, while LAI in each province had different trends in the summer and autumn.

Keywords

LAI, Huaihe River Basin, Trend Analysis, Temporal and Spatial Variation

2000~2016年淮河流域叶面积指数时空变化特征

李鑫川, 徐金梦, 朱玲玉, 彭露露, 薛彩欣

淮阴师范学院城市与环境学院, 江苏 淮安
Email: Rs_lxc@126.com

收稿日期: 2019年11月27日; 录用日期: 2019年12月11日; 发布日期: 2019年12月18日

摘要

采用1 km的叶面积指数(leaf area index, LAI)产品数据, 研究淮河流域2000~2016年的植被时空变化。

文章引用: 李鑫川, 徐金梦, 朱玲玉, 彭露露, 薛彩欣. 2000~2016年淮河流域叶面积指数时空变化特征[J]. 水土保持, 2019, 7(4): 71-79. DOI: 10.12677/ojswc.2019.74010

结果表明: 1) 淮河流域年均LAI为1.16, 空间分布整体呈现南高北低的趋势。2) 2000~2016年淮河流域LAI整体呈现极显著增长趋势(P值为0.003), 但流域内江苏省LAI年变化趋势并不显著。3) 各省的春季LAI都呈现极显著增加趋势, 各省的冬季LAI变化趋势都不显著, 而各省夏季和秋季的LAI变化趋势存在差异。

关键词

叶面积指数, 淮河流域, 趋势分析, 时空变化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

叶面积指数(leaf area index, LAI)通常定义为单位地表面上绿叶总面积的一半[1], 它与植被蒸腾、光合作用、呼吸和能量交换等诸多生态过程密切相关, 作为表征植被冠层结构的关键参数, 已经成为众多生物地球化学模型、动态植被模型和陆面过程模型中的重要状态变量或关键输入数据[2] [3] [4]。研究叶面积指数的时空动态变化, 将有助于理解生态系统平衡、气候变化、水循环和能量流动的变化规律[5] [6]。

随着遥感技术的快速发展, 许多传感器生产出了多种 LAI 产品, 如 CYCLOPES [7]、MOD15 [8]、AVHRR LAI [9]以及 GLASS [10]等, 为全球及区域 LAI 变化研究提供了重要途径[11] [12]。梁博毅等[13]利用 GLASS LAI 数据对亚马逊热带雨林 31 年的植被变化进行了综合分析。柳艺博等[14]利用 MODIS 数据反演生成的 500 m LAI 产品, 分析了 2000~2010 年间我国森林叶面积指数的时空分布特征。董金房等[15]基于 2001~2014 年 MODIS 叶面积指数产品, 分析陕西省叶面积指数的年际和年内空间格局变化特征。

淮河流域地处中国南北气候过渡带, 具有南北气候的典型特征, 并且地表覆被类型丰富, 但还未利用 LAI 产品对淮河流域植被变化进行研究。为此, 本文利用 2000~2016 年淮河流域 LAI 产品数据, 分析淮河流域及其流域内主要省份(江苏省、安徽省、河南省和山东省)的 LAI 时空变化特征, 包括 LAI 的年变化和季节变化的空间分布及变化趋势, 以期为流域经济可持续发展和生态环境保护提供理论基础。

2. 研究区概况

淮河流域地处我国东部, 位于东经 111°55'~121°20', 北纬 30°55'~36°20'之间, 流域面积 27 万平方公里。淮河发源于河南省桐柏山区, 由西向东, 流经河南、湖北、安徽、江苏四省。淮河流域地处我国南北气候过渡带, 北部属于暖温带半湿润季风气候区, 南部属于亚热带湿润季风气候区, 流域多年平均降水量为 875 毫米。淮河流域西部、南部和东北部为山丘区, 面积约占流域总面积的 1/3, 其余为平原。流域植被类型主要为各类农作物、灌丛、森林及草甸等。

3. 材料与方法

3.1. 数据来源与处理

本文采用的 LAI 数据为 Yuan 等[16]提出的改进 LAI 数据产品(<http://globalchange.bnu.edu.cn/research/lai>)。该数据集基于 MODIS LAI 产品(MODIS15 A2), 首先采用改进的瞬时空间滤波算法和数据质量信息获取高质量数据, 然后利用 SG 滤波算法生成改进的 MODIS LAI 产品, 修正了原产品在时空上的不连续、不

一致等问题。该数据产品的时间跨度为 2000~2016 年, 时间分辨率为 8 天, 每年获取 46 景影像, 空间分辨率为 1 km。通过 MODIS Reprojection Tools (MRT) 进行投影和拼接, 经过裁剪获取研究区的 LAI 数据集(2000~2016 年), 采用均值法, 分别计算各年及其四季(春季为 3~5 月、夏季为 6~8 月、秋季为 9~11 月、冬季为 12 月~次年 2 月)的平均 LAI, 计算公式为:

$$LAI = \frac{\sum_{i=1}^n LAI_i}{n} \quad (1)$$

其中, LAI_i 为第 i 景 LAI 值, n 为研究的时间序列内 LAI 的数量。

3.2. 变化趋势分析

采用线性回归的方法拟合各像元 LAI 在年和季节的变化趋势。以时间 t 作为自变量, LAI 作为因变量 y , 拟合的直线方程为 $y = a + bt$, b 为 LAI 随时间 t 变化的线性回归系数[15], 计算公式为:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n i \times LAI_i - \left(\sum_{i=1}^n i\right) \left(\sum_{i=1}^n LAI_i\right) / n}{\sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2 / n} \quad (2)$$

式中 n 为研究时段影像数量, LAI 为第 i 年(或季节)的 LAI。其中, $b > 0$ 表示 LAI 变化为增加趋势, $b < 0$ 表示 LAI 变化为减少趋势。采用 P 值进行显著性检验, $P < 0.01$ 为极显著, $P < 0.05$ 为显著。结合基于像元的趋势分析法模拟 LAI 空间变化趋势斜率 b 值和 P 值, 将变化趋势分为 5 个等级(表 1)。

Table 1. Change trends of LAI

表 1. LAI 变化趋势

变化等级	极显著减少	显著减少	不显著变化	显著增加	极显著增加
条件	$b < 0, P < 0.01$	$b < 0, 0.01 < P < 0.05$	$P > 0.05$	$b > 0, 0.01 < P < 0.05$	$b > 0, P < 0.01$

4. 结果与分析

4.1. 淮河流域多年平均 LAI 分析

根据淮河流域 17 年的 LAI 数据, 计算了基于像元尺度的淮河流域年均和季均 LAI 结果(图 1), 并对流域和流域内四省结果进行统计(表 2)。淮河流域多年平均 LAI 的空间分布整体呈现南高北低的趋势(图 1(1)), 主要分布在 0.4~3.2 之间, 淮河流域年均 LAI 为 1.16。其中南部的山区为流域年均 LAI 最高值区域, 北部地区的年均 LAI 偏低。从四季来看, 夏季 LAI > 春季 LAI > 秋季 LAI > 冬季 LAI, 春季和夏季的 LAI 空间差异较为明显。从分省特征来看, 安徽省 LAI 最大, 山东省 LAI 最小, 江苏省 LAI 和河南省 LAI 较为接近。淮河流域南部的桐柏大别山区和淮河流域西部的伏牛山区植被覆盖好、LAI 值较高, 而流域北部的沂蒙山区 LAI 林草植被覆盖率相对较低、LAI 值较小。流域内平原地区 LAI 季节特征变化与农作物种植特点相关, 且高于坡耕地的植被 LAI。

4.2. 淮河流域 LAI 年变化分析

根据淮河流域 2000~2016 年年均 LAI 结果, 绘制 LAI 变化曲线(图 2), 并对进行变化趋势进行线性拟合(表 3)。淮河流域 2000~2016 年各年平均 LAI 在 0.99 到 1.31 之间呈现上升趋势, 年平均 LAI 最大值和最小值分别出现在 2000 年和 2007 年, 线性回归拟合斜率为 0.011, 线性拟合方程的决定系数为 0.46,

呈极显著水平($P = 0.003$), 整个淮河流域植被恢复得到显著改善, 其中 2000~2007 年 LAI 增加较迅速, 而 2008~2016 年 LAI 波动明显, 且对江苏省和山东省的较大影响。而流域内四省变化略有差异, 安徽省和河南省 LAI 为极显著增加趋势($P < 0.01$), 山东省 LAI 为显著增加趋势($P = 0.049$), 而江苏省 LAI 年变化趋势并不显著($P > 0.05$), 研究结果与相关学者[17] [18] [19] [20]的结论一致。

进一步对淮河流域 LAI 年变化趋势进行空间特征分析(图 3), 并对变化趋势面积进行统计(表 4)。全流域 LAI 年变化不显著变化的面积比例为 41.2%, 显著增加和极显著增加的面积比例为 13.8%和 38.0%, 进一步表明淮河流域植被总体呈现较好增长趋势, 其主要增加的区域为河南的西部和南部、安徽全省、

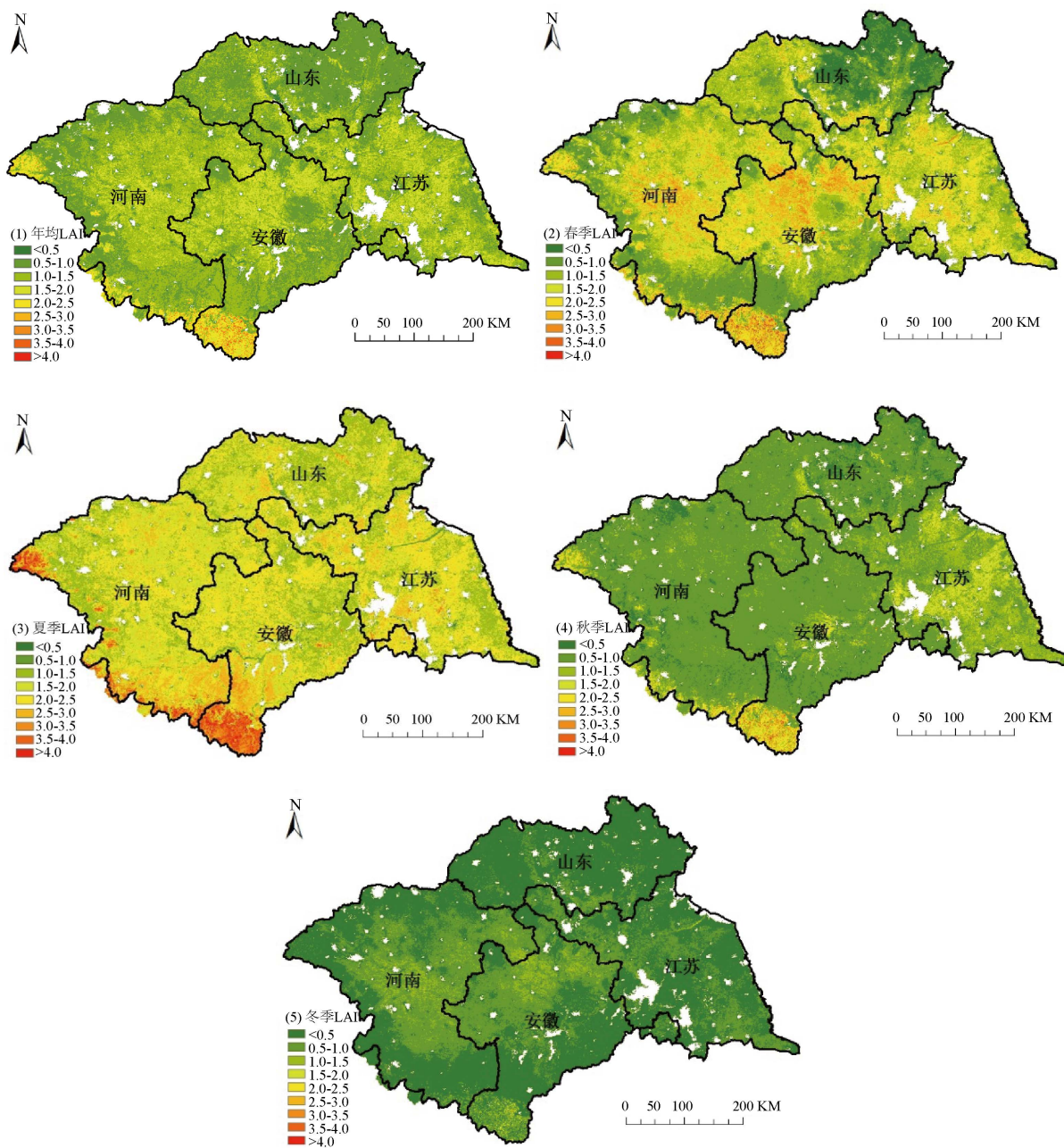
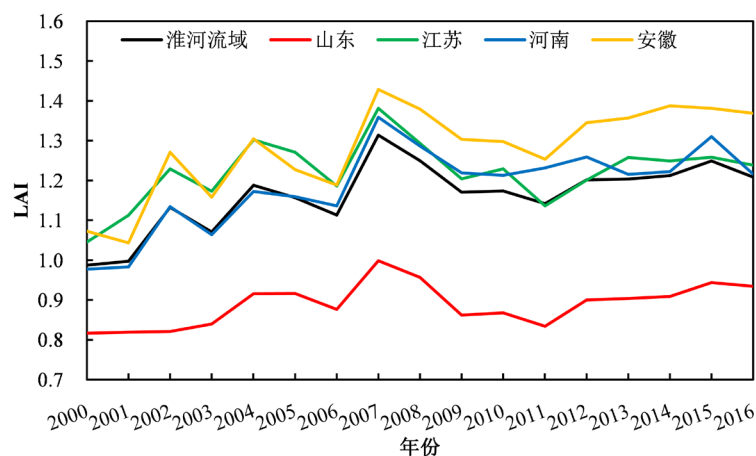


Figure 1. Spatial distributions of annual and seasonal mean LAI in Huaihe River basin
图 1. 淮河流域年均和季均 LAI 空间分布

Table 2. Statistical average values of annual mean LAI in Huaihe River basin**表 2.** 淮河流域多年 LAI 均值统计

区域	春季	夏季	秋季	冬季	全年
山东	0.96	1.63	0.68	0.28	0.89
江苏	1.56	1.83	1.06	0.43	1.22
河南	1.52	1.95	0.76	0.51	1.19
安徽	1.68	2.01	0.89	0.54	1.28
淮河流域	1.46	1.88	0.84	0.46	1.16

**Figure 2.** Trends of the annual average LAI change in Huaihe River basin**图 2.** 淮河流域 LAI 年变化趋势**Table 3.** Regression equations of LAI change trends in Huaihe River basin**表 3.** 淮河流域 LAI 年变化趋势的回归方程

区域	线性趋势拟合方程	R ²	年际变化趋势	P 值
淮河流域	$y = 0.0114x - 21.8$	0.46	极显著增加	0.003
山东	$y = 0.0054x - 9.95$	0.26	显著增加	0.049
江苏	$y = 0.0054x - 9.68$	0.12	不显著变化	0.126
河南	$y = 0.0149x - 28.67$	0.52	极显著增加	0.001
安徽	$y = 0.0166x - 31.97$	0.56	极显著增加	0.000

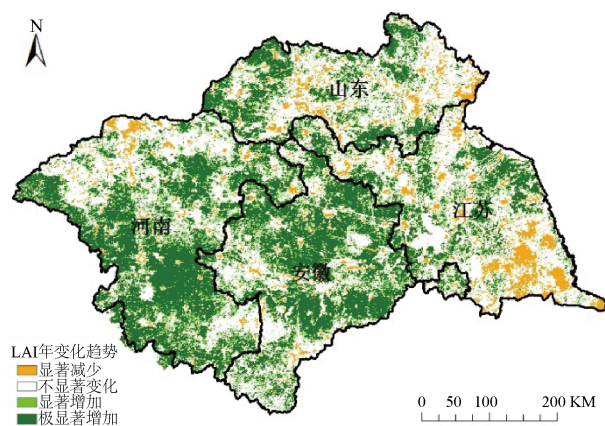
**Figure 3.** Spatial distribution of the annual average LAI change trend in Huaihe River basin**图 3.** 淮河流域 LAI 年变化趋势空间分布

Table 4. Proportions of the annual average LAI change trend in Huaihe River basin
表 4. 淮河流域 LAI 年变化趋势面积比例

区域	显著减少		不显著变化		显著增加		极显著增加	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
淮河流域	17,906	7.0	106,034	41.2	35,513	13.8	97,706	38.0
山东	4,480	1.7	24,675	9.6	5,634	2.2	13,864	5.4
江苏	8,415	3.3	28,064	10.9	6,648	2.6	14,119	5.5
河南	3,114	1.2	30,571	11.9	12,910	5.0	37,952	14.8
安徽	1,901	0.7	22,575	8.8	10,188	4.0	31,006	12.1

山东西部以及江苏东北部沿海地区。全流域未呈现 LAI 呈现极显著减小的区域，极显著减小的面积比例为 7.0%，主要分布于江苏省和山东省，特别是在江苏省的扬州、泰州和盐城地区存在较大面积的显著减小区域，研究表明近年来这些地区由于受到当地工商业经济发展的影响，农业耕作活动收到很大的影响。

4.3. 淮河流域 LAI 季节变化分析

根据淮河流域 2000~2016 年每年春夏秋冬的 LAI 数据，计算流域 LAI 季节变化趋势(图 4)，并对各季节 LAI 变化趋势面积进行统计(表 5)。LAI 变化趋势的季节性和区域性差异较为显著。春季全流域 LAI 面积都呈现极显著增加趋势，其中显著增加和极显著增加的面积比例为 14.8%和 40.9%，主要分布于各省

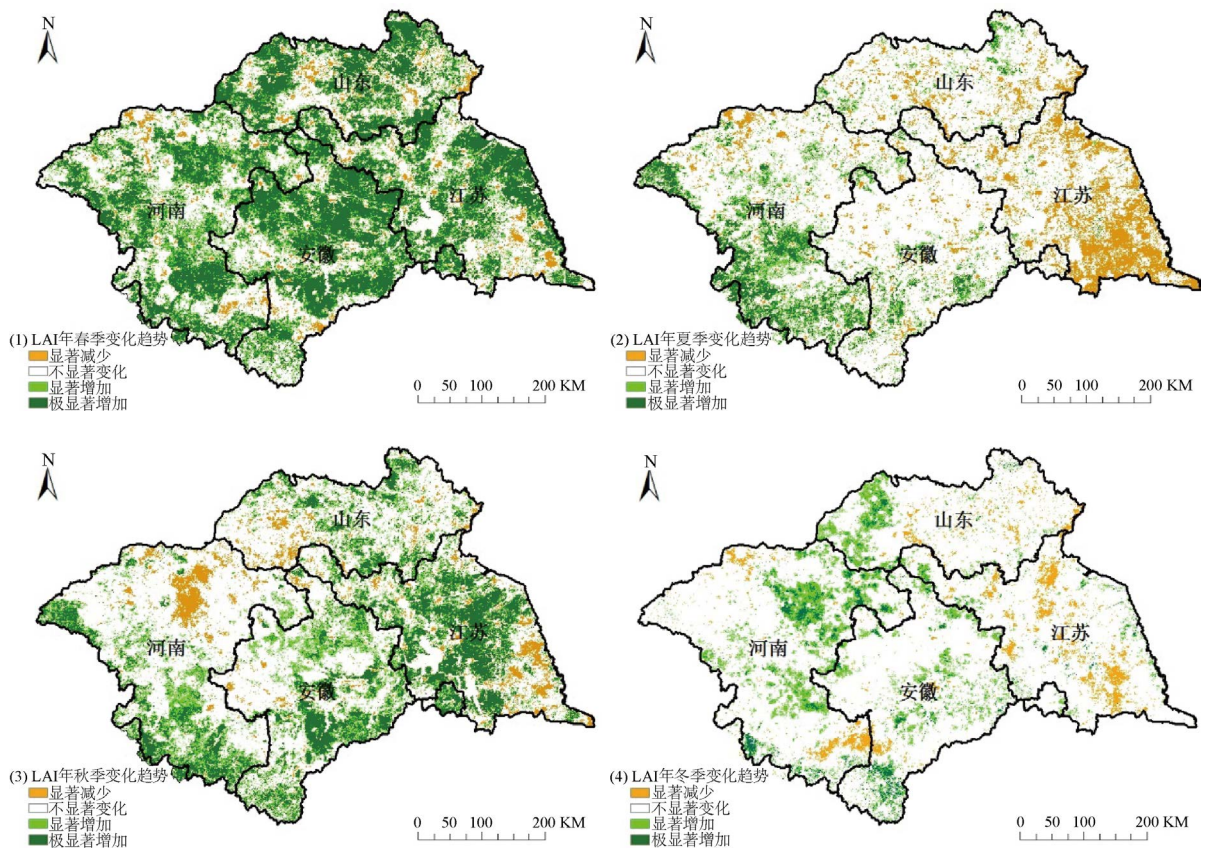


Figure 4. Spatial distribution of the seasonal LAI change trend in Huaihe River basin
图 4. 淮河流域 LAI 季节变化趋势空间分布

Table 5. Proportions of the seasonal LAI change trend in Huaihe River basin
表 5. 淮河流域 LAI 季节变化统计结果

季节	区域	变化趋势	显著减少(%)	不显著变化(%)	显著增加(%)	极显著增加(%)
春	淮河流域	极显著增加	4.2	40.2	14.8	40.9
	山东省	极显著增加	1.2	7.3	2.2	8.2
	江苏省	极显著增加	1.2	8.6	3.1	9.3
	河南省	极显著增加	1.2	15.3	5.6	10.9
	安徽省	极显著增加	0.6	8.8	3.8	12.3
夏	淮河流域	不显著变化	12.7	72.9	7.2	7.2
	山东省	不显著变化	2.1	15.4	0.9	0.5
	江苏省	显著减少	7.7	14.0	0.3	0.2
	河南省	显著增加	1.5	22.0	4.3	5.1
	安徽省	不显著变化	1.4	21.4	1.6	1.2
秋	淮河流域	显著增加	6.2	60.8	13.5	19.4
	山东省	不显著变化	1.4	12.9	2.2	2.5
	江苏省	极显著增加	2.0	10.0	2.8	7.5
	河南省	不显著变化	2.3	22.4	4.1	4.1
	安徽省	极显著增加	0.6	15.5	4.3	5.1
冬	淮河流域	不显著变化	4.6	82.8	9.7	2.8
	山东省	不显著变化	0.8	15.6	1.9	0.4
	江苏省	不显著变化	2.3	18.9	0.8	0.2
	河南省	不显著变化	1.0	26.0	4.5	1.4
	安徽省	不显著变化	0.4	21.9	2.6	0.8

农业用地和林区。淮河流域是我国的主要农业生产基地，小麦产量占到全国的一半，随着近年来国家在农业方面的投入不断加大，使得春季农作物的长势质量不断增强。同时退耕还林政策的推行，农业用地逐渐向草地、林地转化，植被覆盖率得到一定改善。夏季流域 LAI 面积近年来总体变化不大，不显著变化的面积占 72.9%，安徽省和山东省不显著变化的面积占全流域的 21.4% 和 15.4%，而河南南部和西部地区的夏季 LAI 呈现增长趋势，但在江苏东南部地区存在较大范围的显著减小的区域，其可能是由于当地经济的发展，对农作物的夏季管理较差。秋季流域 LAI 呈现显著增加趋势，江苏省和安徽省呈现极显著增加趋势，主要分布于江苏中部和安徽南部地区，而河南省和山东省则总体变化不大。冬季全流域 LAI 都呈现不显著变化趋势，不显著变化的面积占 82.8%，但在江苏北部和东南部以及河南东南部的小部分地区呈现显著下降趋势。

5. 结论

本研究利用 2000~2016 年 LAI 产品数据，探讨了淮河流域及其流域内四省(河南、江苏、安徽和山东)的 LAI 时空变化特征。研究结论如下：

1) 从 2000~2016 年年均和季均 LAI 来看，淮河流域年均 LAI 的空间分布整体呈现南高北低的趋势，淮河流域年均 LAI 为 1.16。夏季 LAI > 春季 LAI > 秋季 LAI > 冬季 LAI，春季和夏季的 LAI 空间差异

较为明显。从分省特征来看, 安徽省 LAI 最大, 山东省 LAI 最小。

2) 从年变化趋势来看, 2000~2016 年淮河流域 LAI 整体呈现极显著增长趋势($P = 0.003$), 年增长率为 0.011, 显著增加和极显著增加的面积比例为 13.8% 和 38.0%, 说明整个淮河流域植被恢复得到显著改善。安徽省和河南省年 LAI 为极显著增加趋势, 山东省年 LAI 为显著增加趋势, 而江苏省年 LAI 年变化趋势并不显著。

3) 从季节变化趋势来看, 流域春季 LAI 呈现极显著增加趋势, 流域秋季 LAI 呈现显著增加趋势, 而流域夏季和秋季 LAI 变化并不显著。各省 LAI 春季和冬季变化趋势基本一致, 但夏季和冬季变化不一致。

基金项目

江苏省高等学校大学生创新创业训练计划项目(201810323034Y, 201810323035Y, 201810323090X) 支持。

参考文献

- [1] Chen, J.M. and Black, T.A. (1992) Defining Leaf Area Index for Non-Flat Leaves. *Plant Cell and Environment*, **15**, 421-429. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1992.tb00992.x>
- [2] 王纪华, 赵春江, 黄文江. 农业定量遥感基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [3] 蔡福, 周广胜, 李荣平, 等. 陆面过程模型对下垫面参数动态变化的敏感性分析[J]. 地球科学进展, 2011, 26(3): 300-310.
- [4] 何晴, 吕达仁. 陆面过程中植被的描述及其卫星遥感反演——从定性描述向定量描述的发展[J]. 地球科学进展, 2008, 23(10): 1050-1060.
- [5] Leuning, R., Zhang, Y.Q., Rajaud, A., Cleugh, H. and Tu, K. (2008) A Simple Surface Conductance Model to Estimate Regional Evaporation Using MODIS Leaf Area Index and the Penman-Monteith Equation. *Water Resources Research*, **44**, 1-17. <https://doi.org/10.1029/2007WR006562>
- [6] 陈洪萍, 贾根锁, 冯锦明, 董燕生. 气候模式中关键陆面植被参量遥感估算的研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 56-67.
- [7] Baret, F., Hagolle, O., Geiger, B., et al. (2007) LAI, fAPAR and fCover CYCLOPES Global Products Derived from VEGETATION-Part 1: Principles of the Algorithm. *Remote Sensing of Environment*, **110**, 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.018>
- [8] Myneni, R.B., Hoffman, S., Knyazikhin, Y., et al. (2002) Global Products of Vegetation Leaf Area and Fraction Absorbed PAR from Year One of MODIS Data. *Remote Sensing of Environment*, **83**, 214-231. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00074-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00074-3)
- [9] Ganguly, S., Schull, M.A., Samanta, A., et al. (2008) Generating Vegetation Leaf Area Index Earth System Data Record from Multiple Sensors. Part 1: Theory. *Remote Sensing of Environment*, **112**, 4333-4343. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.014>
- [10] Xiao, Z.Q., Liang, S.L., Wang, J.D., et al. (2014) Use of General Regression Neural Networks for Generating the GLASS Leaf Area Index Product from Time-Series MODIS Surface Reflectance. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **52**, 209-223. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2237780>
- [11] Aleixandre, V., Iolanda, F., Frédéric, B. and Peñuelas, J. (2016) Vegetation Baseline Phenology from Kilometric Global LAI Satellite Products. *Remote Sensing of Environment*, **178**, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.057>
- [12] 谢军飞, 许蕊. 基于 MODIS 数据的北京植被叶面积指数的时空变化[J]. 生态学杂志, 2014, 33(5): 1374-1380.
- [13] 梁博毅, 刘素红, 瞿瑛, 等. 利用 GLASS LAI 数据分析 1982-2012 年亚马逊热带雨林变化[J]. 遥感学报, 2016, 20(01): 149-156.
- [14] 柳艺博, 居为民, 陈镜明, 等. 2000-2010 年中国森林叶面积指数时空变化特征[J]. 科学通报, 2012, 57(16): 1435-1445.
- [15] 董金芳, 袁媛, 何慧娟, 等. 基于 MODIS 的陕西省叶面积指数时空变化特征分析[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(3): 79-85.
- [16] Yuan, H., Dai, Y., Xiao, Z., Ji, D.Y. and Wei, S.G. (2011) Reprocessing the MODIS Leaf Area Index Products for Land Surface and Climate Modelling. *Remote Sensing of Environment*, **115**, 1171-1187. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.01.001>

-
- [17] 邓凯, 黄长江, 袁慧慧, 等. 基于 MODIS 的 2007-2017 安徽省植被指数时空变化特征研究[J]. 黑龙江工程学院学报, 2018, 32(6): 28-31.
- [18] 李新鸽, 朱连奇, 陈超男. 2000-2015 年河南省植被 NDVI 时空变化特征分析[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2018, 48(5): 53-63.
- [19] 于泉洲, 梁春玲, 刘煜杰, 等. 基于 MODIS 的山东省植被覆盖时空变化及其原因分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(11): 47-55.
- [20] 徐勇, 奚砚涛, 刘欣婷. 2000-2013 年江苏省植被覆盖度时空变化特征[J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 236-243.