

利用遥感反演的叶面积指数研究中国东部生态系统对东亚季风的响应*

张佳华^{1,2} 符淙斌²

1. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 2. 中国科学院大气物理研究所东亚中心, 北京 100029

摘要 利用遥感信息反演的叶面积指数(LAI)数据和生物气候数据, 研究区域尺度的植被生态系统季节和年际变化对东亚季风的响应. 结果发现, 中国东部季风区的植被生态系统与东亚季风气候呈显著的年际和季节变化相关. 在季节尺度上表现为随着东亚季风从春季到秋季的由南向北的推进过程, 植被生态系统出现明显的季节变化; 在年际尺度上, 高的 LAI 出现于强的东亚季风年, 而低的 LAI 值则与弱的东亚季风年相对应. 证明中国东部季风区呈现出季风驱动生态系统的明显特征, 而且 LAI 可显示这一强的信号.

关键词 东亚季风 季风生态系统 叶面积指数 气候变化

亚洲季风是地球气候系统的重要组成部分, 与全球的气候和天气密切相关, 而且目前全球有近 60% 的人口处在季风区, 其中亚洲季风区是全球最大的季风区域^[1-4]. ENSO 对全球年际气候振荡的影响在很大程度上表现在对东亚季风区的作用^[5].

中国是受亚洲季风特别是东亚季风影响强烈的国家, 干旱和洪水的灾害与东亚季风的强弱密切相关^[6,7]. 夏季风爆发的时间, 雨季开始日期和演变规律对我国东部季风区农作物产生极大的影响. 因此, 研究季风的演变过程及其对植被生态系统的影响, 显得十分重要. 在我国东部季风生态系统的植被和气候相互作用过程, 一方面季风气候的变化在各种时间尺度上影响着生态系统的结构、动态和生物量变化; 另一方面, 区域气候模拟结果证明, 植被生态系统的变化也可影响季风系统.

目前, 在全球和区域尺度, 利用从遥感数据中提取的归一化植被指数(NDVI)研究植被与气候的相关关系已经陆续开展起来. 也有学者利用遥感信息研究 ENSO 与非洲的 NDVI 变动关系^[8]. 我国也开展这方面的研究^[9,10]. 但由于我国位于东亚季风区, 加之特殊的地理位置和复杂的生态气候条件,

使得研究我国东部季风区的气候和生态系统的相互作用呈现复杂性. 特别是原来利用 NDVI 数据作为植被生物量的指示值存在一定的误差, 叶面积指数(LAI)对于反映植被的特征较之 NDVI 有更好的代表性, 它可以反映植被的密度和空间覆盖等多种信息, 目前已成为可反映植被生态系统生物量的最有价值的替代值. 利用遥感反演的 LAI 信息, 可以进一步分析不同空间和时间分辨率的植被特征与气候特征的相互关系. LAI 随时间的动态变化可以较好地反映植被的结构和数量特征的变化, 因而可以更好地反映植被和气候的相互作用^[11, 12], 从而相对提高研究精度.

鉴于目前国内外很少开展利用 LAI 数据研究全球特别是中国东部季风区植被生态系统对气候因子的响应相关关系, 本文旨就这一方面进行研究.

1 数据特征和研究方法

本研究利用 2000 年由美国 NASA 哥达德空间飞行中心(GSFC)的陆面气候项目第二研究组发布的 NOAA-AVHRR 卫星反演的 LAI 的逐月平均资料, 空间分辨率是 $1^\circ \times 1^\circ$, 时间序列从 1982~1990

2002-01-04 收稿, 2002-04-08 收到修改稿

* 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: G1999043400)、国家自然科学基金(批准号: 39900084)、中国科学院知识创新工程项目(批准号: KZCX1-SW-01-11)及中国气象科学院国家攻关项目(批准号: 2001-BA509B14)的资助

E-mail: zhangjh@cams.cma.gov.cn

年. LAI 定义为: 对于连续植被, 假定植被组分是密度均匀的, LAI 是叶面积与植被所遮荫的地面面积之比. 该数据通过利用光合有效辐射比(NDVI-FPAR)-植被覆盖度(Vcover)-LAI 建立转换关系, 提高了卫星遥感反演 LAI 的精度. 生物气候资料包括有月平均降水, 来源于美国环境预报中心的 CMAP 数据, CMAP 数据是各种卫星观测和降雨标准观测站以及模式输出的数据^[13], 通过插值的方法使空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间序列从 1982~1990 年; 月平均空气温度, 来源于欧洲中期天气预报中心(ECMWF), 空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, 时间序列从 1982~1990 年.

2 结果与分析

2.1 LAI 与中国季风区气候的年际间相关特征分析

首先我们定义如果在当年降水的前锋移到我国北方的大部分地区, 则称为强季风年, 一般来说, 强的季风才会带来强的降水过程. 按照这一定义, 我们计算了研究区内 1982~1990 年 9 年的降水, 结果 1986 年为最小, 而 1990 年为最大, 所以称 1986 年为弱的季风降雨年, 而 1990 年为强的季风降雨年.

图版 I (A) 显示 $26^{\circ} \sim 44^{\circ}N$ 、 $111^{\circ} \sim 116^{\circ}E$ 范围内的 1986 和 1990 年的不同季节降雨状况. 结果表明, 在 1986 年的弱季风年内, 降雨在向我国北部延伸时, 其强度显著低于 1990 年的强的季风降雨年. 图版 I (B) 给出这一研究区域弱季风年(1986 年)和强季风年(1990 年)生长季的 LAI 的逐月变化, 可以明显地看出研究区域内这两年的植被生长状况的差异. 在强季风降雨年的 1990 年的植被生长状况较弱的季风降雨年 1986 年为好. 图 1(a), (b) 分别给出研究区域内 1986 和 1990 年的植被生长季节 3~5 月(MAM)和 6~8 月(JJA) LAI 的动态比较曲线. 结果显示在植物生长季的 3~5 月和 6~8 月, 1990 年的植被的 LAI 比 1986 年高; 从横坐标显示的纬度带来看, 特别是在季风区的北部(中纬度地区), 更明显地表现出在强的季风降雨年内, 研究区北部会出现植被生长的高值. 它表明高的年际间的降雨的差异是季风区降雨的一个典型特征, 而且在这一时间尺度上, 降雨的差异又是季风生态系统植被变化的驱动因子.

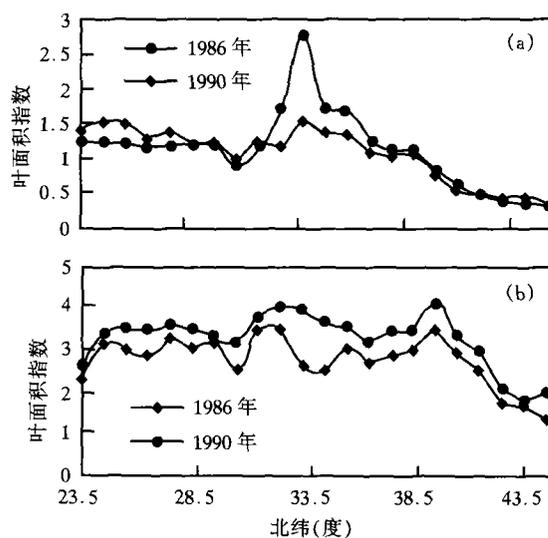


图 1 1986 年与 1990 年研究区内的不同月份 LAI 比较
(a) 3~5 月(MAM); (b) 6~8 月(JJA)

2.2 LAI 与中国季风区气候的年内季节循环的相关性

我国东部地区是典型的季风气候, 降雨的分布主要受夏季风降雨的影响. 而在冬季则主要受西北干冷空气的控制. 夏季来自于太平洋和印度洋的暖湿气流带来了丰沛的降水^[6].

我们利用 9 年的 LAI 和气候资料研究了在年内不同季节的降水和生态系统的相关性, 从图版 I (C)(a) 来看, 早在 3~4 月, 在 $23^{\circ} \sim 29^{\circ}N$ 我国华南地区, 华南前汛期降水开始出现^[14, 15], 同时降雨也出现在华南地区, 这可以称为第一次稳定阶段, 它大约持续约 1 个月左右. 图版 I (C)(b) 显示, 同时植被开始生长, 叶面积指数增大. 从图版 II (A)(a) 看出, 到了 5 月底 6 月初, 当夏季风移动到 $29^{\circ} \sim 36^{\circ}N$ 的我国长江流域的大部分地区, 使得这一地区出现大面积降雨, 也就是出现了长江的梅雨季节, 这可以称为第二次稳定阶段, 它大约持续约 1 个月左右. 从图版 II (A)(b) 可以看出, 此时植被生长旺盛, 叶面积指数快速增长.

图版 II (B)(a) 显示, 到了 7 月中旬, 当夏季风移动到 $36^{\circ} \sim 44^{\circ}N$ 的我国北方, 并控制了我国北方的大部分地区时, 这一地区出现了大范围的降雨天气. 图版 II (B)(b) 显示, 此时植被生长迅速, 叶面积指数也达到全年的最高值, 这可称为第三次稳定阶段. 这一阶段一直继续到 8 月中下旬. 为比较, 图版 II (C) 给出了 $44^{\circ} \sim 47^{\circ}N$ 的我国东北地区的降雨,

结果显示, 伴随降雨过程, LAI 也随后达到高值. 从9月开始, 季风雨带快速南下, 降雨在北方结束, 此时, 我国北方生态系统的植被生物量减少, LAI 快速降低, 然后整个冬季都维持在非常低的水平. 从图中可以看出, 在降雨达到最高值时, 叶面积指数并没有同时达到最高, 反映出植被对气候变化的响应大约有 20~30 d 的滞后作用.

3 讨论

中国东部生态系统的植被的年际和年内不同季节生长状况的变化对东亚季风均存在着较好的响应, 年际的植被生长状况受不同年份的降水变化明显. 发生年际间降雨差异的原因很多, 一般来说, 旱涝都是发生在一些异常的大尺度环流背景下, 江淮地区的持续旱涝与中纬度及热带地区 500 mb¹⁾ 上位势高度异常, 以及整个东亚季风活动(强度、开始和跳跃日期)紧密相关. 近年来研究更表明, 东亚季风特别是夏季风的强弱是与 La Niña 和 El Niño 呈显著年际相关特征^[16]. 因此, 可以利用气候预报的结果, 结合卫星遥感信息揭示季风区植被与气候的相关关系, 来预测季风区不同年份植被生长的状况以及农作物的长势和收成.

植被年内季节变化也对年内季节尺度降雨产生响应, 而对于年内季节尺度降雨差异的原因, 前述已表明, 中国东部夏季的强季风会带来丰富的降水. 一般来说, 雨带由华南到长江, 再由长江到华北, 甚至可达东北^[17]; 而冬季主要受干冷的西北气流的影响. 从华南前汛期到中国东部进入汛期, 降水出现 3 个稳定的阶段和 2 个明显的转变期^[18], 我们对植被数据的分析结果和这一论述吻合. 同样, 在研究年内不同季节的植被 LAI 和降雨的差异时, 明显地显示出强的季节降水差异会直接影响植被的生长变化, 使植被 LAI 的变化呈现出响应于降水变化的三阶段的特征. 因此, 年内季节尺度的降雨变化也是驱动植被生长变化的原因, 进一步表现出季风驱动生态系统的特征.

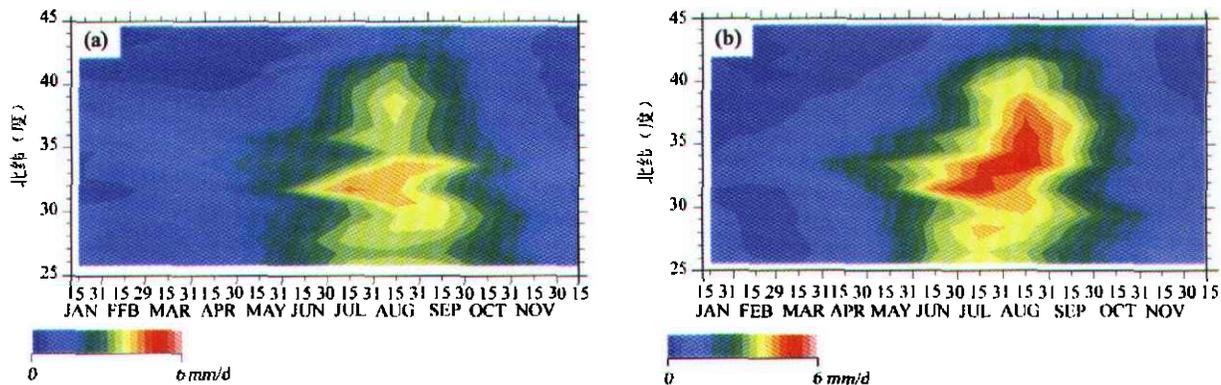
本研究是利用 GSFC 发布的 NOAA-AVHRR 卫星反演的 LAI 的逐月平均资料, 应当看到它在时空分辨率上还有一定局限, 而且本文也是对 1986 和 1990 年的个例分析. 未来对地观察系统(EOS)上午

星发射后, LAI 中逐日和 8 日平均的全球 LAI 数据将作为 EOSDIS 的标准数据集免费发布, 将提高 LAI 数据的时空分辨率, 可对包括我国在内的东亚季风区植被对气候的响应进行更详细的研究.

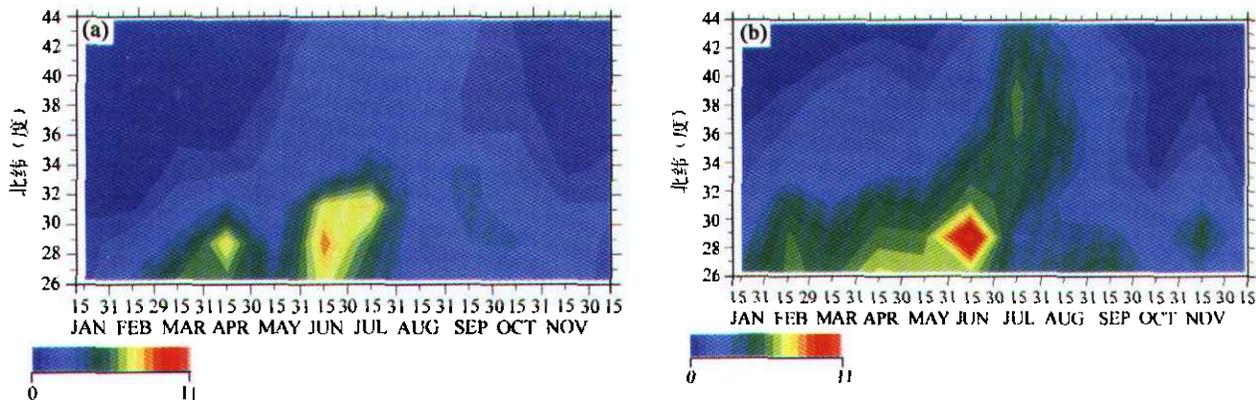
参 考 文 献

- 1 Lau K -M, et al. The monsoon of East Asia and its global association-A survey. *Bull Amer Meteor Soc*, 1984, 65: 114
- 2 Lau K-M. The East Asian summer monsoon rainfall variability and climate teleconnection. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 211
- 3 Yasunari T. The monsoon year-A new concept of the climatic year in the Tropics. *Bull Amer Meteor Soc*, 1991, 72: 937
- 4 Wang B, et al. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect Asian climate? *J Climate*, 2000, 13: 1517
- 5 Webster P J, et al. Monsoons: Processes, predictability, and prospects for prediction. *J Geophys Res*, 1998, 103: 14451
- 6 Tao S, et al. A review of recent research on the east Asia summer monsoon in China. In: Krishnamuti T N ed. *Monsoon Meteorology*, Oxford: Oxford University Press, 1987. 60
- 7 Chen L, et al. The characteristics of interannual variation on the East Asian monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 397
- 8 Anyamba A, et al. Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Nino/ Southern Oscillation. *Inter J of Remote Sens*, 1996, 17(13): 2533
- 9 符淙斌, 等. 我国大陆植被变化的气象卫星遥感, *科学通报*, 1992, 37: 2306
- 10 温刚. 利用 AVHRR 植被指数数据集分析中国东部季风区的物候季节特征, *遥感学报*, 1998, 2(4): 271
- 11 Dickinson R E, et al. Interactive Canopies for a climate model. *J Climate*, 1998, 11: 2823
- 12 Pitman A J, et al. Investigating the sensitivity of a land surface scheme's simulation of soil wetness and evaporation to spatial and temporal leaf area index variability with the global soil wetness project. *J Meteor Soc Japan*, 1999, 77: 281
- 13 Xie P, et al. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull Amer Meteor Soc*, 1997, 78: 2539
- 14 Qian W H, et al. Seasonal march of Asian summer monsoon. *Inter J Climatology*, 2000, 20: 1371
- 15 Qian W H, et al. Onset of the regional monsoon over Southeast Asia. *Meteorology and Atmos Phys*, 2000, 74(5): 335
- 16 Ailikun B, et al. ENSO and Asian Monsoon: Persistence and transitivity in the seasonal March. *J Meteor Soc Japan*, 2001, 79: 145
- 17 Tao S, et al. Response of the East Asian summer monsoon to ENSO events. *Sci Atmos Sinica*, 1998, 22: 399
- 18 Tian S F, et al. Climatological aspects and mechanism of Spring persistent rains. *J Meteor Soc Japan*, 76: 57

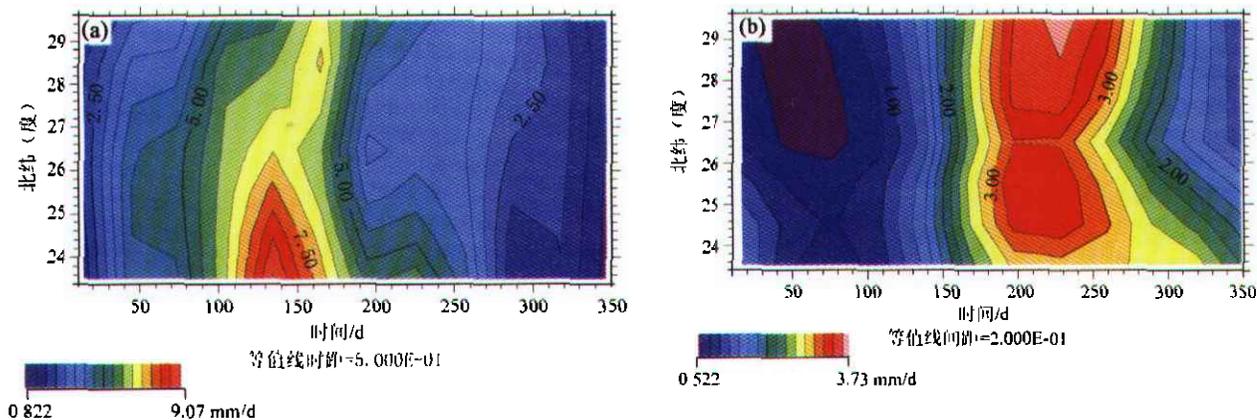
1) 1 b = 10⁵ Pa



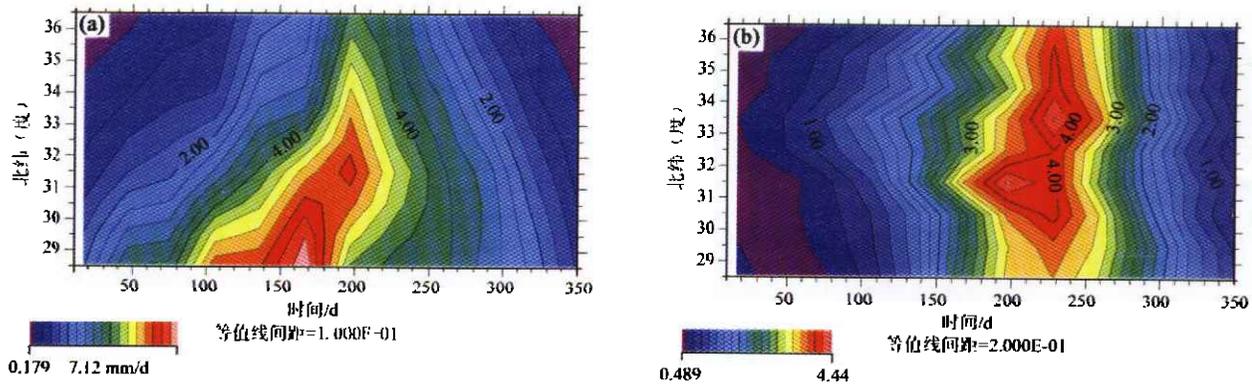
(A) 研究区内不同季风强度年的降水量
(a) 1986年 (b) 1990年



(B) 研究区内不同季风强度年的LAI
(a) 1986年 (b) 1990年

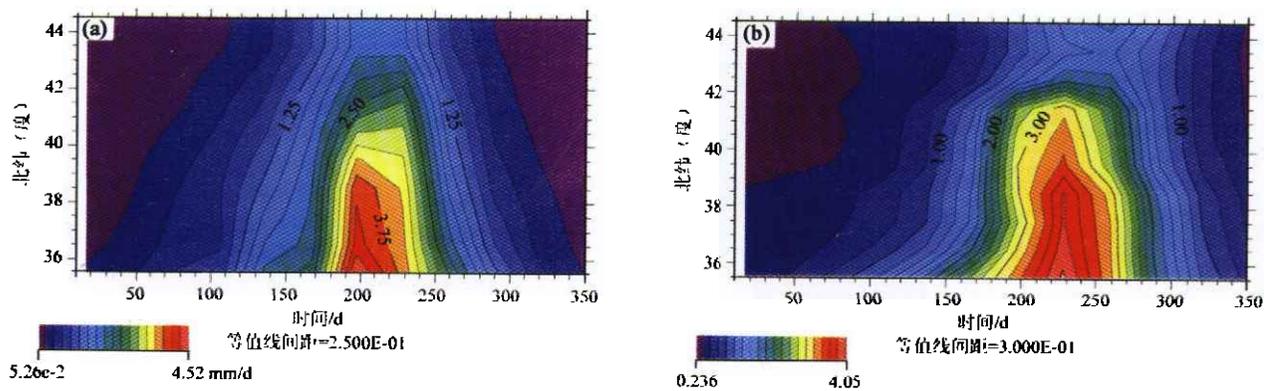


(C) 我国东部季风区24°~29° N的年平均各月降水量和LAI
(a) 降水量 (b) LAI



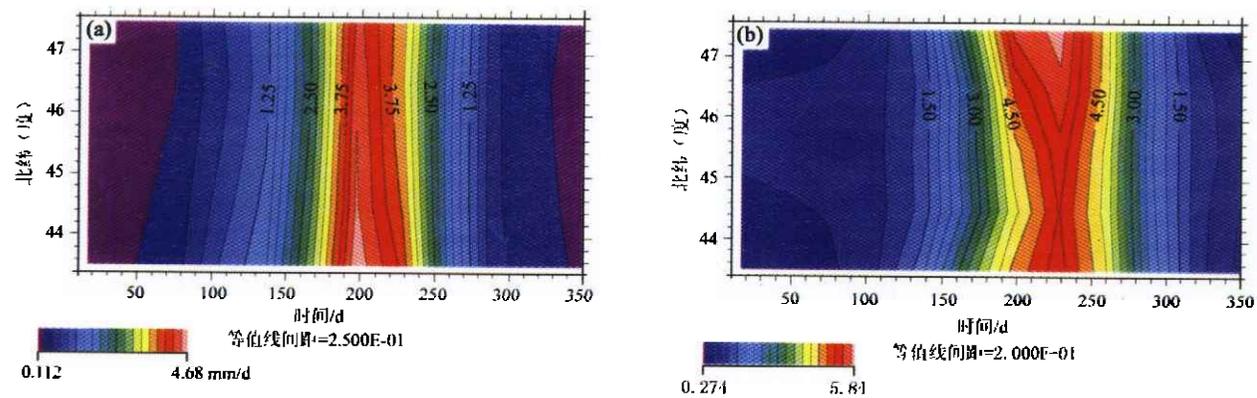
(A) 我国东部季风区29°~36° N的年平均各月降水量和LAI

(a) 降水量 (b) LAI



(B) 我国东部季风区36°~44° N的年平均各月降水量和LAI

(a) 降水量 (b) LAI



(C) 我国东部季风区44°~47° N的年平均各月降水量和LAI

(a) 降水量 (b) LAI