

雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与 主要气候因子的关系

付新峰^{1,4}, 杨胜天^{2*}, 刘昌明^{1,3}

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院遥感科学重点实验室, 北京市环境遥感与数码城市重点实验室, 北京 100875; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

摘要: 对流域 NDVI 进行计算的前提下, 分析了雅鲁藏布江流域 NDVI 时空变化特征。时间上, 流域 NDVI 具有很强的季节性。空间上, 流域 NDVI 高值区主要分布于下游与中游的部分地区, 而流域中上游与源头 NDVI 值相对较小。在流域 DEM 的支持下, 把流域站点主要气候因子降水量与平均气温等数据采用 Kriging 方法插值成与流域 NDVI 相一致的空间 Grid 数据。流域 NDVI 与降水量、平均气温的关系进行 F 检验与双样本方差分析结果 $P=0$, 表明其相关分析的可信度较高。在 0.05 的置信水平上对其进行了线性与对数相关分析。结果表明, 流域 NDVI 与降水量的平均线性相关系数达 0.8, 对数相关系数为 0.71; 流域 NDVI 与流域平均气温线性相关系数为 0.77, 对数相关系数为 0.7。

关键词: NDVI; 降水量; 平均气温; 植被覆盖; 雅鲁藏布江流域

文章编号: 1000-0585(2007)01-0060-07

1 引言

在研究流域 NDVI 方面, NOAA/AVHRR (National Oceanic Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer, 国家海洋与气象局/高级甚高分辨率辐射计) 数据由于具有独特的性质而备受关注。因为它对植被研究具有有效的光谱信息, 每天覆盖地球以及长期连续的观测记录, 还可以以较低的价格获取。其数据已被证明是极有价值的区域、大洲及全球植被研究的重要数据源, 在大、中尺度植被区域分布及动态变化研究中具有其他遥感卫星资料无法比拟的优势^[1~5]。

近年来, 对 NDVI 与气候因子降水、气温等的关系研究在全球变化研究中占有重要的地位。Weiss 等研究了美国新墨西哥中部季节性与年际植被与气候因子的关系^[6]。我国也有许多学者针对不同区域研究了 NDVI 与主要气候因子的关系。龚道溢等研究了北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异, 发现 NDVI 与气温的相关性非常高^[7]。陈云浩等研究了 1983~1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子 (降水、气温等) 驱动分析^[8]。在中国 NDVI 与主要气候因子关系的研究方面也有一些学者做了研究^[9~11]。李晓

收稿日期: 2006-04-16; 修订日期: 2006-09-25

基金项目: 国家科技攻关计划项目 (2005BA901A11); 国家自然科学基金项目 (40561002)

作者简介: 付新峰 (1977-), 男, 河南周口人, 博士。研究方向为水资源水环境遥感。

*通讯作者: 杨胜天, 教授, 博士。主要从事水资源遥感、水资源与水环境方面研究。

E-mail: yangshengtian@bnu.edu.cn

兵等分析了 1983~1992 年降水的年际动态、季节动态与中国北方几种典型植被类型的 NDVI 的关系，以及降水的空间分布对植被的影响^[5]。李震等对中国西北地区 NDVI 变化与温度、降水变化的关系做了一定的研究^[12]。唐海萍等研究了中国东北样带 NDVI 与气温等气候因子的关系^[13]。2006 年，张小飞等分析了深圳市地域地表温度与植被覆盖定量关系^[14]。在黄河流域 NDVI 与降水关系的研究方面也有许多进展，杨胜天等与孙睿等对黄河流域植被覆盖与降水等气候因子的关系进行了探讨^[15,16]。李春晖等做了黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系的研究^[17]。而对于雅鲁藏布江流域，因其独特的高寒区域，其 NDVI 与主要气候因子的关系则少有研究。杨建平等对长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录进行过一定的研究^[18]。除多对流域内拉萨地区的 NDVI 与气候因子（降水、气温）的关系进行了分析^[19]。

2 研究区地理位置

雅鲁藏布江流域位于北纬 27°~31°，东经 81°~97°，流域面积 24.048 万多 km²。流域海拔高度绝大部分在 3000m 以上，流域从雅鲁藏布江下游河谷到源头杰马央宗冰川，由湿润地区、半干旱半湿润地区、干旱地区等组成。

流域水文与气象站点主要位于流域的中、下游（见图版 2，图 1，红点为流域站点）。流域站点跨湿润与半干旱半湿润两个区。流域降水量空间分布极不均匀，湿润地区的年降水量最大可达 4000mm 以上，而干旱地区最小仅 10 余 mm。流域气温空间分布同样不均匀，并随地势变化而有规律地改变。从全年来看，流域气温从源头的 -20 左右，到流域出境处的 40 左右的范围变化。降水与气温等主要气候因子的较大差异形成流域内的生态与环境状况变化较大。其中流域 NDVI 变化作为植被覆盖的一个指数能反映流域生态与环境变化趋势，对流域主要气候因子有一定的响应。到目前为止，还没有文献对雅鲁藏布江全流域 NDVI 与主要气候因子的关系进行研究，因此探讨流域 NDVI 与主要气候因子的关系具有重要的意义。

3 数据源与数据处理方法

3.1 数据源

本文使用的 NOAA/AVHRR 数据来自美国地球资源观测系统（Earth Resources Observation System, EROS）数据中心，为从 2001 年 1 月 1 日到 2003 年 12 月 31 日的白天数据。免费下载网址：<http://www.nasa.gov/home/index.html>。NOAA/AVHRR 数据的空间分辨率为 1.1km × 1.1km。NOAA 数据的特征见表 1。流域 DEM (Digital Elevation

表 1 AVHRR 的波段特征
Tab 1 Band characteristics of AVHRR

波段	光谱范围/μm	星下点分辨率/km	典型应用
B1	0.58~0.68	1.1	白天云层、冰、雪和植被
B2	0.725~1.10	1.1	白天云层、植被、水和水汽
B3	3.55~3.93	1.1	白天云层、冰、雪、植被和火检测
B4	10.30~11.30	1.1	白天云层、植被和水
B5	11.50~12.50	1.1	白天云层、冰、雪、植被和海面温度

Model, 数据高程模型)采用 1:25 万国家基础地理信息系统数据,投影方式为经纬度投影,应用 Arc/info 将该投影转换为单位为 m 的 ALBERS 投影。DEM 数据由中国科学院地理与资源研究所提供。2001~2003 年各月流域站点降水量与平均气温数据由西藏水文水资源勘测局水文信息中心提供。

3.2 数据处理方法

对 AVHRR 数据进行了辐射定标、几何纠正、数据镶嵌以及 ALBERS 等面积投影变化。NDVI 的定义则根据 AVHRR 的第一通道(可见光)和第二通道(近红外)反射率得到:

$$NDVI = (CH2 - CH1) / (CH2 + CH1) \quad (1)$$

式中, $CH1$ 和 $CH2$ 分别是可见光(0.58~0.68 μm)和近红外(0.725~1.10 μm)反射率。

在遥感软件 ENVI 和 GIS 软件 ArcGIS 的支持下,用界定好的雅鲁藏布江流域边界截取流域 NOAA/AVHRR 数据第一与第二波段计算得出的 NDVI 数据影像。

将 2001~2003 年流域每天 NDVI 数据用最大值合成法(Maximum Value Composite, MVC)合成月 NDVI 数据影像。再用 ENVI 对流域每月 NDVI 影像统计计算,得出流域月 NDVI 值。

根据流域水文与气象站点的 2001~2003 年月降水量数据,用 Kriging 插值法得到流域面上的月降水量 Grid 空间数据,并用 ENVI 软件进行计算,得到流域面上的平均月降水量,并分析其与流域 NDVI 的关系。

根据流域水文与气象站点的 2001~2003 年月平均气温数据,用 Kriging 插值法得到流域海平面上的月平均气温 Grid 空间数据,平均气温插值时进行了高程订正,即首先利用高程资料将气象台站平均气温订正到海平面高度,然后进行插值,插值后的结果再利用 1.1km 分辨率的 DEM 订正到实际高程^[20]。订正时采用气温随高程的递减率为 0.0065 / m。利用 ENVI 软件进行计算,得到流域面上的月平均气温,并分析其与流域 NDVI 的关系。

4 流域 NDVI 的时空变化

4.1 流域 NDVI 空间变化

选用 2001~2003 年共 36 个月中一景月合成 NDVI 图进行分析。考虑到 NDVI 值一般在 7、8 月份最大,而且在流域范围内空间上对比比较明显,因此,选取时间为 2003 年 8 月份的流域 NDVI 图来说明流域植被的空间分布状况。流域 NDVI 空间分布如图 2(见图版 2,图 2)。从图 2 可以看出,流域 NDVI 高值区主要位于中游与下游的部分地区。而流域的中上游与源头 NDVI 值相对较小。从 NDVI 空间分布来看,NDVI 高值与流域的主要支流存在一定的关系,在流域的主要支流经过区域 NDVI 值相对较高。相应地,离流域干流与主要支流远的区域 NDVI 值稍低。

4.2 流域 NDVI 时间动态变化

为说明流域 NDVI 在时间上的动态变化,把 2001~2003 年流域每天 NDVI 合成为 3 年各月 NDVI 图像,并在流域范围内求其平均值。最后得出流域 3 年之间月 NDVI 随时间变化图(如图 3)。不难看出,流域 NDVI 具有很强的季节性,每年 5 月份之前 NDVI 值变化不大,5~6 月份,NDVI 值迅速增大,6~8 月份 NDVI 值处于较高而且相对稳定

的状态, 此后 NDVI 值缓慢降低, 直至第二年 2、3 月份的最低值。由 36 个月 NDVI 值进行趋势分析, 得到 3 年内月 NDVI 值变化趋势方程, 如方程 (2)。从 NDVI 值变化趋势可以看出, 2001~2003 年, 流域 NDVI 值总体上呈缓慢增加的趋势。

$$NDVI_{TREND} = 0.0016T + 0.1636 \quad (2)$$

式中, $NDVI_{TREND}$ 为变化趋势线对应的 NDVI 值, T 为月份 (0~36)。

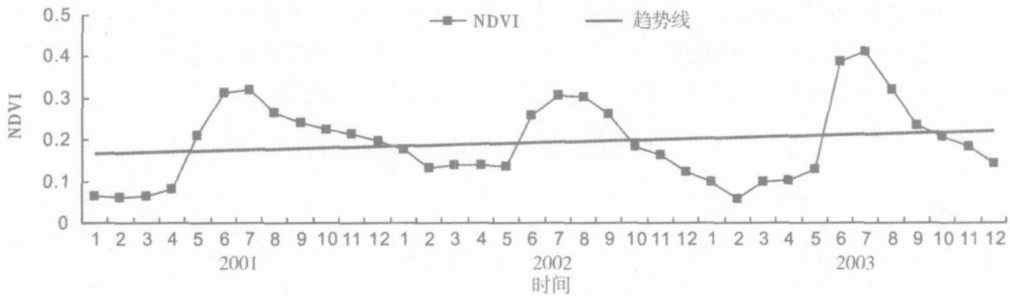


图3 流域 NDVI 时间动态

Fig. 3 Change of monthly NDVI in the Yarlung Tsangpo River Basin

5 流域 NDVI 与主要气候因子的关系

5.1 流域 NDVI 与降水量的关系

为研究流域 NDVI 与降水量的关系, 在流域范围内采用 Kriging 插值法把流域水文与气象站点的月降水量数据转换成流域面上月降水量 Grid 空间数据, 经计算得出流域平均月降水量。再与流域 NDVI 结合起来进行分析。从时间上来看, 流域 NDVI 与月降水量都具有很强的时间动态 (如图 4)。

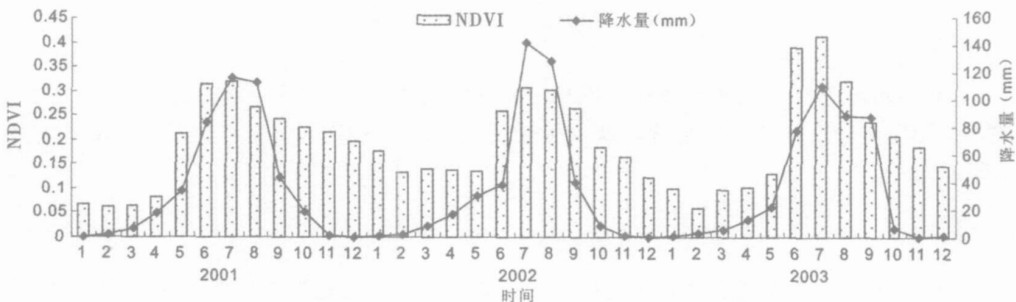


图4 流域 NDVI 与降水量的关系

Fig. 4 Relation of NDVI and precipitation in the Yarlung Zangbo River basin

对 NDVI 值与降水量值进行 F 检验与双样本方差分析, 在 0.05 显著水平上, $P = 0$, 对其进行相关分析, 线性相关方程与对数相关方程如方程 (3) 和 (4):

$$NDVI = 0.0017P + 0.1334 \quad (3)$$

$$NDVI = 0.0289 \ln(P) + 0.1299 \quad (4)$$

式中, P 为降水量。

3年内流域 NDVI 与降水量线性相关系数约为 0.8, 对数相关系数为 0.71。虽然流域 NDVI 受多个气候因子的影响, 就单因子分析来看, 降水量依然是流域 NDVI 的主要影响因子。

5.2 流域 NDVI 与平均气温的关系

为研究流域 NDVI 与气温的关系, 在流域范围内采用 Kriging 插值法把流域水文与气象站点的月平均气温数据与 DEM 结合起来转换成流域面上月平均气温 Grid 空间数据, 经计算得出流域月平均气温值。再与流域平均 NDVI 值结合起来进行分析。从时间上来看, 流域每月 NDVI 与平均气温都具有很强的时间动态 (如图 5)。

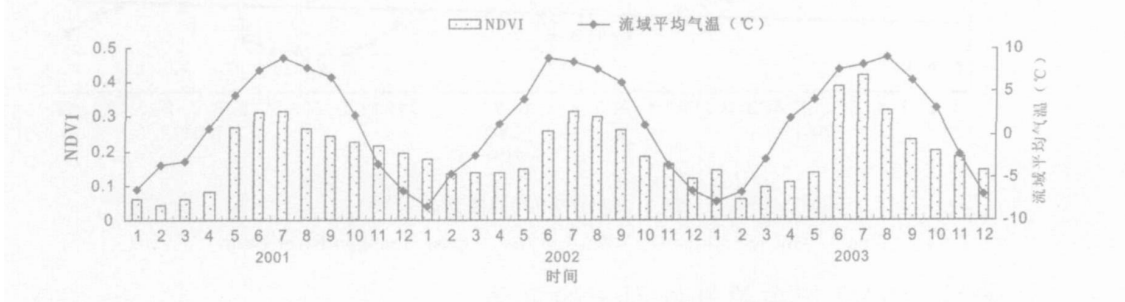


图 5 流域 NDVI 与平均气温的关系

Fig. 5 Relation of NDVI and average air temperature in the Yarlung Zangbo River Basin

就变化趋势而言, 2001~2003 年, 流域平均气温的增加比流域 NDVI 的增大早 3 个月。对 NDVI 值与流域平均气温值进行 F 检验与双样本方差分析, 在 0.05 显著水平上, $p=0$, 对其进行相关分析, 线性相关方程与对数相关方程如方程 (5) 和 (6):

$$NDVI = 0.0123 T_a + 0.1832 \quad (5)$$

$$T_a = 7.2301 \ln(NDVI) + 13.842 \quad (6)$$

式中, T_a 为流域平均气温。

3年内流域 NDVI 与平均气温线性相关系数约为 0.76, 对数相关系数为 0.7。虽然流域 NDVI 受多个气候因子的影响, 就单因子分析来看, 平均气温依然是流域 NDVI 重要的影响因子。

6 结论

NDVI 是反映流域主要植被覆盖的一个重要指数, 其变化是流域植被覆盖状况变化的一个表现。对于流域植被的气候影响因子而言, 降水与气温是主要的因子。对流域 NDVI 的时空分布及其与流域降水量、平均气温的相关关系进行了分析, 得出如下结论:

(1) 空间上, NDVI 高值区主要位于流域的下游与中游, 上游与源头 NDVI 值偏低, 从流域上游到下游流域 NDVI 值逐步增加。在流域干流、主要支流及邻近区域 NDVI 值相对较高。

(2) 时间上, NDVI 在每年 2~4 月份变化不大, 5 月份后增加较快, 6~8 月份达到峰值, 此后逐月递减, 直至第二年 2 月份。年际上来看, 2001~2003 年流域年平均 NDVI 呈增加的趋势, 但量的变化不大。

(3) 流域降水、平均气温是影响 NDVI 变化的主要气候因子。流域 NDVI 的变化与降水、平均气温的变化在时间上基本上一致, 都具有很强的季节性。流域降水量的变化与流域 NDVI 的变化在时间上基本上同步。流域平均气温的增加比流域 NDVI 增大的时间早 3 个月。流域 NDVI 与流域降水、流域平均气温等的 F 检验结果在 0.05 置信水平上均显著, 流域 NDVI 与降水量的线性相关系数达 0.8, 对数相关系数为 0.71。流域 NDVI 与平均气温线性相关系数近似为 0.77, 对数相关系数约为 0.7。

(4) 由于研究所用 NOAA/AVHRR 数据的时间尺度仅为 2001~2003 年, 需要在后续工作中拓展研究的时间尺度。此外, 用 NOAA 数据研究流域植被覆盖有待于与流域下垫面植被类型结合起来进行分析。

参考文献:

- [1] Justice C O, Hoben B N, Gwynne M D. Monitoring East African vegetation using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 1986, 7:1453~1474.
- [2] Turker C J, Townshend J R G, Goff T E. African land-cover classification using satellite data. *Science*, 1985a, 227:369~375.
- [3] Tucker J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 1979, 8:127~150.
- [4] Defries R S, Townshend J R G. NDVI-derived land cover classification at a global scale. *International Journal of Remote Sensing*, 1994, 15(17):3567~3586.
- [5] 李晓兵, 王瑛, 李克让. NDVI 对降水季节性和年际变化的敏感性. *地理学报*, 2000, 55(增刊):82~89.
- [6] Weiss J L, Gutzler D S, Allred Coonrod J E, et al. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico. USA. *Journal of Arid Environments*, 2004, 57:507~534.
- [7] 龚道溢, 史培军, 何学兆. 北半球春季植被 NDVI 对温度变化响应的区域差异. *地理学报*, 2002, 57(5):505~514.
- [8] 陈云浩, 李晓兵, 史培军. 1983~1992 年中国陆地 NDVI 变化的气候因子驱动分析. *植物生态学报*, 2001, 25(6):716~720.
- [9] 李本纲, 陶澍. AVHRR-NDVI 与气候因子的相关分析. *生态学报*, 2000, 20(5):898~902.
- [10] 谢力, 温刚, 符淙斌. 中国植被覆盖季节变化和空间分布对气候的响应. *气象学报*, 2002, 60(2):181~188.
- [11] 毕晓丽, 王辉, 葛剑平. 植被归一化指数(NDVI)及气候因子相关起伏型时间序列变化分析. *应用生态学报*, 2005, 16(2):284~288.
- [12] 李震, 阎福礼, 范湘涛. 中国西北地区 NDVI 变化及其与温度和降水的关系. *遥感学报*, 2005, 9(3):308~313.
- [13] 唐海萍, 陈玉福. 中国东北样带 NDVI 的季节变化及其与气候因子的关系. *第四纪研究*, 2003, 23(3):318~325.
- [14] 张小飞, 王仰麟, 李正国, 等. 城市地域地表温度-植被覆盖定量关系分析——以深圳市为例. *地理研究*, 2006, 25(3):369~377.
- [15] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 近 20 年来黄河流域植被覆盖变化分析. *地理学报*, 2003, 57(1):679~692.
- [16] 孙睿, 刘昌明, 朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系. *地理学报*, 2001, 56(6):667~672.
- [17] 李春晖, 杨志峰. 黄河流域 NDVI 时空变化及其与降水/径流关系. *地理研究*, 2004, 23(6):753~759.
- [18] 杨建平, 丁永建, 陈仁升. 长江黄河源区高寒植被变化的 NDVI 记录. *地理学报*, 2005, 60(3):467~478.
- [19] 除多. 基于 NOAA AVHRR NDVI 的西藏拉萨地区植被季节变化. *高原气象*, 2003, 22(增刊):145~151.
- [20] 刘绍民, 孙睿, 孙中平, 等. 基于互补相关原理的区域蒸散量估算模型比较. *地理学报*, 2004, 59(3):331~340.

Changes of NDVI and their relations with principal climatic factors in the Yarlung Zangbo River Basin

FU Xin-feng^{1,4}, YANG Sheng-tian², LIU Chang-ming^{1,3}

(1. Collage of Water Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Key Laboratory of Remote Sensing of Environment and Digital City of Beijing City, Beijing 100875, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

4. Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou 450003, China)

Abstract :As an index denoting vegetation cover, NDVI is influenced by many climatic factors such as precipitation and average air temperature. In this paper, NDVI is calculated on the basis of waveband characteristic of NOAA/ AVHRR data (National Oceanic Atmospheric Administration/ Advanced Very High Resolution Radiometer) for the Yarlung Zangbo River Basin. Then, the spatio-temporal change of NDVI is analyzed. The basin's NDVI is in consistency with season from 2001 to 2003. High value zone of NDVI is mainly distributed in the lower reaches and part of the middle reaches. Meanwhile, point data of principal climatic factors (precipitation and average air temperature) are interpolated to spatial grid data with Kriging method consistent with NDVI based on DEM of the Yarlung Zangbo River Basin. Then, the relation of NDVI and precipitation or average air temperature is analyzed with F checking and two-sample variance test in the basin. The result is $P = 0$, which shows that correlation analysis has higher confidence. The linear and logarithmic correlation of NDVI and precipitation or average air temperature is analyzed at confidence level of 0.05. The conclusion is that NDVI and precipitation and average air temperature in the basin vary with seasons and are closely correlated. The linear correlation coefficient of NDVI and precipitation is 0.8, and that of NDVI and average air temperature is about 0.77. And the logarithmic correlation coefficient of NDVI and precipitation is 0.71, and that of NDVI and average air temperature is 0.7.

Key words :NDVI; precipitation; average air temperature; vegetation cover; Yarlung Zangbo River Basin

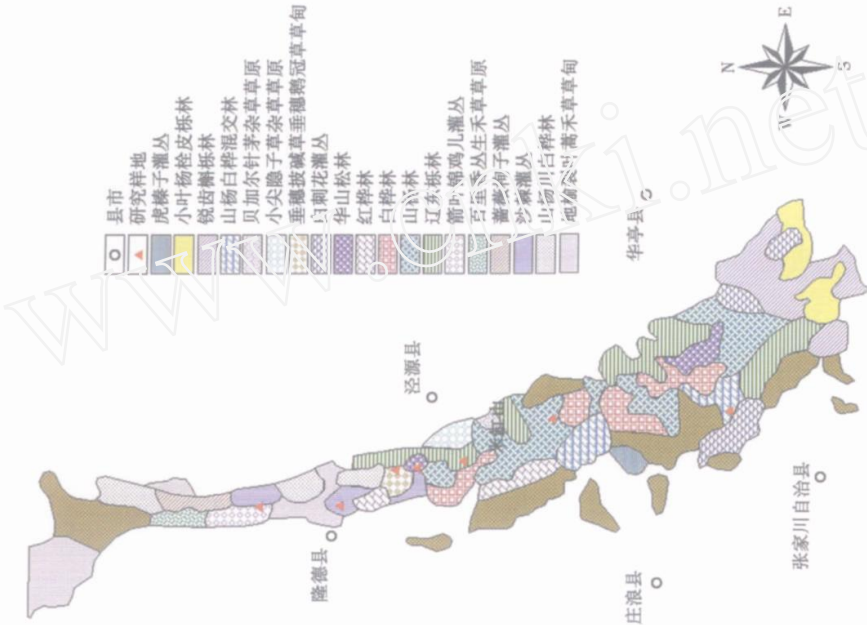


图 1 六盘山地区植被类型和取样点位置示意图
Fig.1 Illustration of vegetation and sampling sites on Liupan Mountains

付新峰等：雅鲁藏布江流域 NDVI 变化与主要气候因子的关系

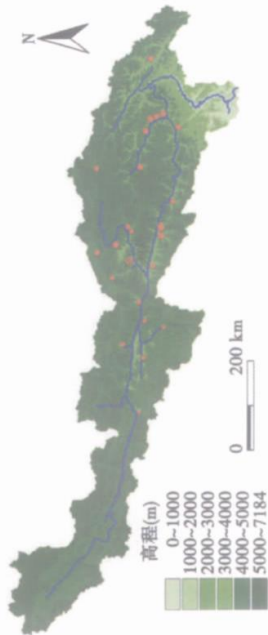


图 1 雅鲁藏布江流域及其水文气象站点地理位置
Fig.1 Geographic position of Yarlung Tsangpo River Basin and its hydrographic and meteorological stations

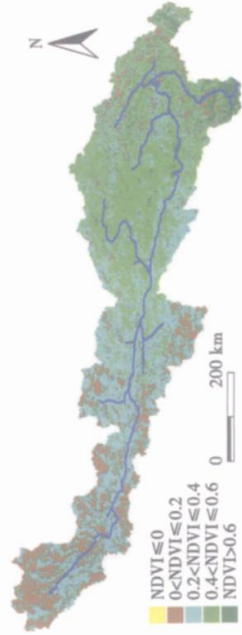


图 2 雅鲁藏布江流域 NDVI 空间分布(2003 年 8 月)
Fig.2 Spatial distribution of NDVI in Yarlung Tsangpo River Basin