

西北地区 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 对比分析

杨 嘉^{1,2}, 郭 锐², 贾建华¹

(1. 西安科技大学测量工程系, 陕西 西安 710054; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 为了了解西北地区 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 2 种植被指数的特点, 利用 2003 年植被生长期 TERRA /MODIS 资料和西北地区植被类型数据, 分析了西北地区 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 空间分布特征和不同类型植被随时间变化特征, 比较了大气订正对 NDVI 和 EVI 的影响。结果表明: NDVI 和 EVI 空间分布格局一致, 与降水空间分布形式比较一致。NDVI 与 EVI 值的差异随着植被覆盖度的增加而增大。不同类型植被 NDVI 和 EVI 变化特征一致。大气对 NDVI 和 EVI 的影响较大, 大气订正前许多地区 NDVI 值小于 EVI 值。大气订正使 NDVI 增大, EVI 减小, 大气订正后 NDVI 值普遍大于 EVI 值。通过对大气气溶胶粒子较多地区的 NDVI 和 EVI 值的对比分析, EVI 具有较好的抗大气气溶胶的作用。

关键词: MODIS; 大气订正; NDVI; EVI**中图分类号:** P407**文献标识码:** A

引 言

在全球陆地生态系统研究中, 植被是连结土壤圈、大气圈和水圈的一个关键圈层。植被影响地气系统的能量平衡, 是气候和人文因素对环境影响的敏感因子。植被对气候变化的响应研究是全球气候变化的重要研究领域。卫星遥感技术已经广泛应用于区域和全球植被监测的研究, NOAA 卫星搭载的传感器 AVHRR 已经积累了 20 多 a 覆盖全球的资料, AVHRR/NDVI 被广泛地应用于植被的分类、地表特征参数、植被变化与气候响应关系、农作物估产、NPP 估算、全球和区域的土地利用与土地覆盖变化等诸多研究领域。利用 NDVI 可以得到叶面积指数(LAI)和光合作用有效吸收辐射(FAPAR)等生物物理学参数, 是全球气候模式陆面过程参数化的重要部分, 在环境变化和自然灾害监测方面发挥着重要作用^[1-9]。然而随着研究的深入, AVHRR/NDVI 逐渐暴露出缺陷, 如在高生物含量或植被覆盖度高的地区存在饱和、仅对瑞利散射和臭氧吸收作了校正、没有考虑背景因素对植被指数的影响以及 MVC 最大值合成时不能确保选择最小视角内的最

佳像元, 使最终的合成产品仍然有较多噪音等一系列问题。

地球观测系统 EOS (Earth Observation System) 的环境遥感卫星 Terra 和 Auqa 都搭载了中分辨率成像光谱仪 MODIS。MODIS 在 0.4 ~ 14.4 μm 范围内有 36 个离散光谱波段, 每条轨道扫描宽度约为 2 300 km。除赤道外, 全球每日都能获得 2 次观测资料。EOS 的一项主要任务是研究陆地植被在较大尺度乃至全球的作用, 更好地理解地球生态系统, 包括全球植被类型的分布、生物物理和结构特性及空间和时间变化特点等, 而 MODIS 是这项任务的主要承担者。MODIS 有 2 个植被指数产品, 归一化植被指数 NDVI 和增强型植被指数 EVI。MODIS/NDVI 是 AVHRR/NDVI 20 多 a 时间序列产品的连续。EVI 则利用了 MODIS 辐射仪的优点, 订正地表反射率以提高对高生物量区的敏感性, 并通过叶冠背景信号的耦合及减少大气影响来提高植被监测精度。这 2 个植被指数可以在全球植被、探测和提取叶冠生物物理参数等研究方面相互补充^[10]。

国内外对于 NDVI 和 EVI 对全球植被的监测能

收稿日期: 2007-01-22; 改回日期: 2007-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(40375011)资助

作者简介: 杨嘉(1981-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感与地理信息。

力以及二者之间的关系已经进行过一些研究。Huete 等^[11]利用 2000 年的 MODIS 植被指数产品,对 2 种植被指数在不同地区生物群系下的植被监测能力作了评估,1 a 多的资料分析表明,MODIS 植被指数对植被的季节变化、土地覆盖变化和生物物理参数变化是敏感的。通常情况下 EVI 比 NDVI 小,而在高生物量区和背景噪音大的地区 EVI 比 NDVI 大。Huiqing Liu^[12]和 Huete 进行了基于 MODIS 的 NDVI 大气和土壤纠正变量的误差和敏感性分析,研究发现在一组土壤背景和大气气溶胶变化不显著的数据中,NDVI 和 EVI 具有高度相关性,NDVI 值总是超过 EVI 值,除非是土壤背景较亮或是植被密度较高的地区。国内对于这 2 种植被指数的研究正处于开始阶段。王正兴、刘闯等^[13]在研究中指出,MODIS/EVI 改善了以往 AVHRR/NDVI 指数的缺陷,使植被指数与不同覆盖程度的植被之间的线性关系明显得到改善,尤其是在高覆盖度区域,为遥感定量研究提供了良好的基础。程乾,黄敬峰等分析了浙江全省和仙居县 MODIS 和 AVHRR 的植被指数,其结果表明:MODIS/EVI 同 MODIS/NDVI 相比,不容易饱和,适宜于高生物量群体的监测;MODIS/EVI 与 AVHRR/NDVI 相比不容易饱和^[14]。而西北地区 MODIS 这 2 种植被指数的研究尚未开展。

本文选 2003 年植被生长季(4~10 月)MODIS 资料,分析了西北地区 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 的空间变化特征;选不同植被类型,比较了不同植被类型 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 的时间变化特征;对比了大气订正前后 2 种植被指数的变化,为利用卫星资料更精确地监测西北地区植被提供参考依据。

1 数据处理和研究方法

1.1 研究区域

以西北地区中东部为研究区域(89°~112°E, 31°~43°N),包括青海、甘肃、宁夏和陕西 4 个省区。研究区横跨极端干旱、干旱、半干旱、半湿润、湿润 5 个气候大区^[15],下垫面情况复杂,包含高原、戈壁、沙漠、绿洲、冰川、雪盖、湖泊、河流、森林、草地、农田等多种类型。研究区地域广阔、地形复杂,高山与平原相间,绿洲与沙漠共存,气温和降水的空间分布差异较大,植被类型多样,植被分布差异较大。

1.2 数据来源和数据处理

利用中国气象局兰州干旱气象研究所兰州卫星

遥感中心提供的 2003 年 4~10 月 MODIS 西北中东部晴空数据,所选数据日期为:4 月 15 日、5 月 1 日、5 月 10 日、5 月 24 日、6 月 11 日、6 月 23 日、6 月 27 日、7 月 6 日、7 月 17 日、7 月 24 日、8 月 3 日、8 月 16 日、9 月 13 日、10 月 8 日和 10 月 26 日。并利用 6S 传输模型做了大气校正。提取 1、2、3 波段,将波段 3 重采样到 250 m 分辨率,按公式(1)、(2)计算 NDVI 与 EVI。选 6~8 月资料,按公式(3)、(4)进行最大值合成。

$$I_{NDV} = \frac{\rho_n - \rho_r}{\rho_n + \rho_r} \quad (1)$$

$$I_{EV} = \frac{\rho_n - \rho_r}{\rho_n + C_1\rho_r - C_2\rho_b + L}(1 + L) \quad (2)$$

L 为背景调节参数值为 1, C_1 、 C_2 为大气修正参数,分别为 6.0, 7.5;

$$I_{NDV} = \text{MAX}[I_{NDVi}] \quad (3)$$

$$I_{EV} = \text{MAX}[I_{EVi}] \quad (4)$$

$i = 1; \dots; 8$, 为所选日期

选取宁夏灌区、张掖绿洲等灌溉农业区,陇东黄土高原、陇中地区、关中平原等雨养农业区,祁连山黑河河谷草原、玛曲草原等草原植被区,祁连山、秦岭等森林植被区为典型研究区,提取区域平均 NDVI 与 EVI 值进行分析。

2 结果分析

2.1 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 空间分布特征

夏季是植被生长最旺盛的时期,对夏季(6~8 月)植被指数取最大值合成。图 1 分别是 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 的夏季空间分布(经过大气订正)。可以看到 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 空间分布格局一致,基本形式是从东南向西北递减,与降水空间分布形式比较一致。NDVI 与 EVI 的高值区分布在秦岭、子午岭、六盘山等林区和青藏高原东北部的草原区,NDVI 值在 0.7~0.85 之间,EVI 在 0.55~0.65 之间。秦岭纬度偏南,分布着从亚热带到温带种类繁多的植被类型,有常绿阔叶与落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔叶混交林、亚高山针叶林等,植被覆盖度和干物质生产量较大,NDVI 值最高达到 0.85。其次是子午岭、六盘山、黄龙山等林区,NDVI 在 0.5~0.7 之间变化,EVI 在 0.4~0.6 之间变化。甘肃的玛曲草原地处青藏高原东部,是亚洲最好的草场,植被生长状况良好,NDVI 在 0.7~0.8 之间,EVI 在 0.5~0.6 之间。关中及汉中平原,甘

肃、宁夏沿黄河灌区,植被生长良好,NDVI 在 0.3 ~ 0.5 之间,EVI 在 0.2 ~ 0.4 之间。戈壁、荒漠、沙漠

地区 NDVI 和 EVI 最低,NDVI 在 0.1 附近,EVI 在 0.05 附近。

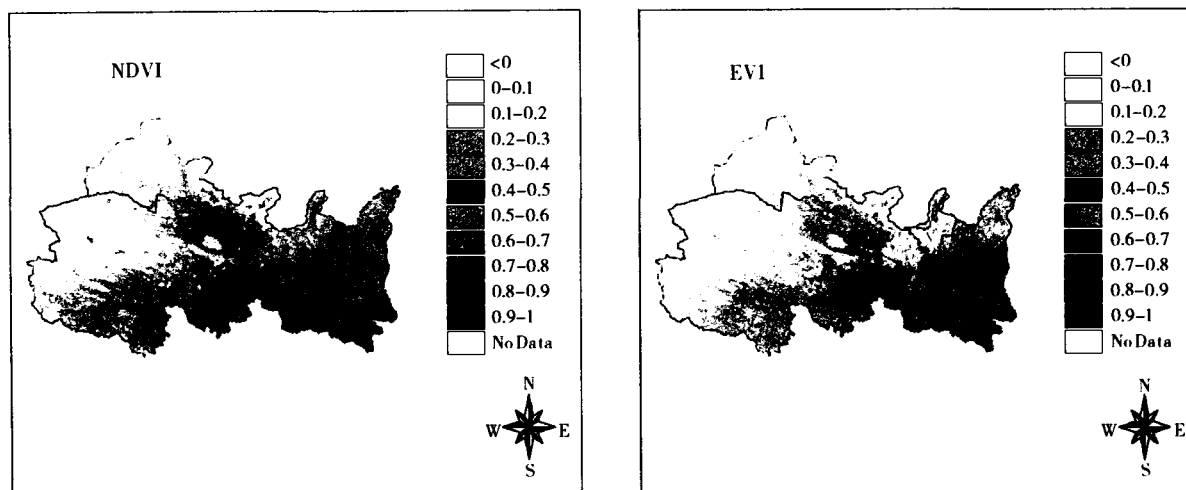


图 1 西北地区 NDVI 与 EVI 夏季最大值合成空间分布图

Fig. 1 MVC distribution of NDVI and EVI in summer in Northwest China

2.2 MODIS/NDVI 与 MODIS/EVI 时间分布特征

本文选取了几种典型的区域,来分析不同植被类型的植被指数随时间变化特征。农业区以张掖绿洲区、宁夏灌区、会宁水地(图略)、陇东农区(图略)及关中农区为代表;草原以祁连山黑河上游草原、甘南玛曲草原为代表;林区以秦岭为代表。在选取的典型植被类型区域中 NDVI 一般高于 EVI,植被覆盖度越高,二者的差异就越大。在无植被区域,NDVI 与 EVI 相差 0.05 ~ 0.1,稀疏植被区相差 0.05 ~ 0.

12,中度植被区为 0.12 ~ 0.18,高盖度植被区 0.17 ~ 0.2,极高盖度植被区相差 0.2 以上。

图 2 是几种植被类型区域 4 ~ 10 月 NDVI 和 EVI 随时间变化曲线图(已经过大气订正)。森林、草原、灌溉农区 NDVI 和 EVI 变化曲线均为单峰型,陇东、关中雨养农业区曲线较接近,都表现为双峰型。各区域 NDVI 和 EVI 变化趋势较一致,NDVI 始终高于 EVI。

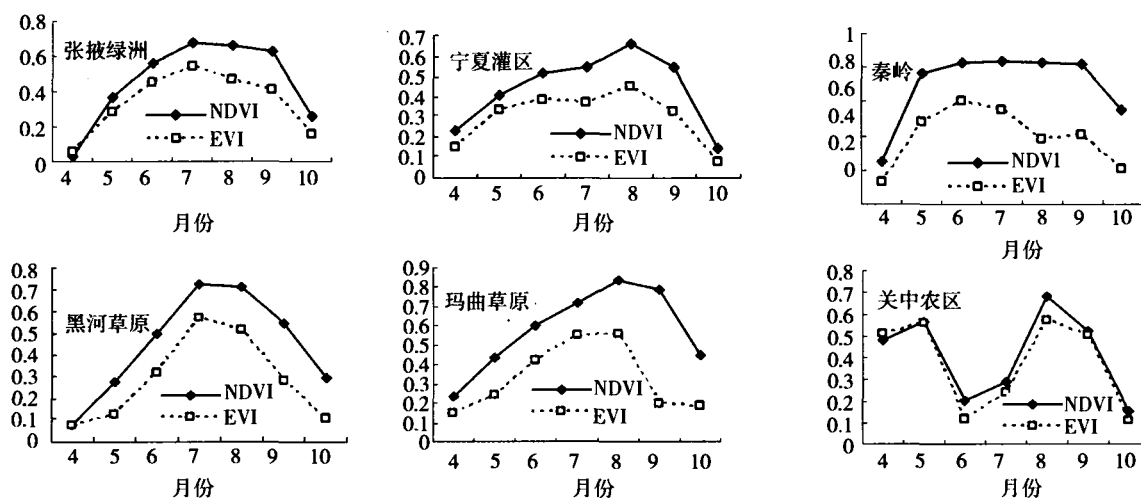


图 2 西北地区典型区域 NDVI 和 EVI 值 4 ~ 10 月变化曲线

Fig. 2 NDVI and EVI change curves over the typical regions of Northwest China from April to October

张掖绿洲地处河西走廊中部,受黑河的灌溉和滋养,从 4 月到 8 月 NDVI 在 0.04 ~ 0.67 之间波动,EVI 在 0.06 ~ 0.54 之间波动,最大峰值出现在 7 月,最小值在 4 月。祁连山黑河草原 NDVI 在 0.08 ~ 0.72 之间波动,NDVI 和 EVI 的峰值均出现在 7 月。玛曲草原海拔较高,降水丰富,接近 5 月份开始返青,NDVI 峰值在 8 月为 0.83,7、8、9 月 NDVI 值都在 0.7 以上;而 EVI 的峰值在 8 月达 0.56。宁夏灌区是黄河沿岸最大的灌区,种植以水稻为主的一年一熟农作物,收割期比关中农业区晚 2 个月,NDVI 和 EVI 变化呈单峰型曲线,NDVI、EVI 最大值分别为 0.6 和 0.4,最小值分别为 0.13 和 0.1,二者随时间的变化趋势比较接近。会宁水地和宁夏灌区 NDVI 和 EVI 曲线的描述能力相似,农作物生育过程中 NDVI 始终高于 EVI。陇东农区和关中农区种植的则是一年 2 熟的农作物,NDVI 和 EVI 曲线表现为特有的双峰型,描述农作物生长期的能力也相似。秦岭林区是研究区内植被覆盖度最高的地区,NDVI 和 EVI 亦高于其他类型植被,4 月植被开始生长,5、6、7、8、9 月是植被生长最旺盛的时期,5 个月中 NDVI 在 0.8 附近,曲线高且平,出现明显的饱和现象;EVI 有“尖峰”出现,6 月达到峰值 0.6。

2.3 大气订正对 NDVI 和 EVI 的影响

由于受到大气分子、气溶胶和水汽散射、吸收等作用,卫星传感器接收到的来自地表的电磁波在大气中传输会出现辐射失真的现象。为了了解大气对植被指数的影响,本文以 2003 年 6 月 23 日为例,用 6S 模式进行大气订正,分析订正前后 NDVI 和 EVI

的变化。6S(Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum)^[15]模式是法国大气光学实验室和美国马里兰大学地理系在 5S(Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum)模式的基础上发展起来的。主要用来模拟星载或机载遥测仪器 0.25 ~ 4.0 μm 光谱上无云情况下地表反射的光信号。模式正算时,用来模拟遥测仪器测得的光信号;反算时,用来进行大气订正。这里将订正结果与美国 MODIS 研究组应用 MAS 实验结果进行比较,得出了变化趋势一致性的特点。经过臭氧、水汽、气溶胶等散射吸收订正,对于一定范围的反射率,大气订正使植被区红光波段反射率 ρ_1 降低、近红外波段反射率 ρ_2 增加、蓝光波段反射率 ρ_3 降低。大气订正后 NDVI 较大气订正前有所增加,EVI 值略有减小。

为了进一步了解在不同植被覆盖下大气订正对植被指数的影响,分析大气订正前后的变化特点,对经过大气订正后各个典型植被区 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 数据进行统计,发现大气订正前许多地区 NDVI 小于 EVI(表 1),大气订正使 NDVI 增大,EVI 减小,大气订正后 EVI 普遍小于 NDVI。大气订正使 NDVI 增加 5% ~ 10%,在生物量高的地区,NDVI 增加了 10% 左右。玛曲草原、中部林区、祁连山等地区增加 8%,其他农区或灌溉区增加 5% 左右。而在沙漠地区 NDVI 减小,减小的幅度达到 14%,由于沙漠地区 NDVI 很小,NDVI 微小的变化会产生较大的相对变化,其绝对值变化并不大。大气订正使 EVI 普遍减小,减小幅度为 20% ~ 32%。大气对 MODIS/NDVI 和 EVI 的影响很大。

表 1 大气订正对 MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 影响统计表

Tab. 1 The statistics of MODIS NDVI/EVI influenced by atmosphere correction

	张 掖 绿 洲	张 掖 戈 壁	张 掖 沙 漠	祁连 山黑 河草 原	祁连 山东 南草 区	宁 夏灌 区	秦 岭林 区	玛 曲草 原	太 子山 林	兴 隆山 林	会 宁旱 地	会 宁水 地	关 中农 区	陇 东农 区
NDVI 订正前	0.62	0.07	0.09	0.68	0.67	0.51	0.76	0.63	0.75	0.74	0.22	0.47	0.52	0.36
NDVI 订正后	0.67	0.07	0.08	0.73	0.72	0.54	0.84	0.68	0.81	0.80	0.22	0.50	0.55	0.38
相对变化率/%	9	5	-14	7	8	8	10	8	8	8	0	5	5	6
EVI 订正前	0.75	0.06	0.10	0.75	0.75	0.47	0.71	0.66	0.81	0.81	0.22	0.51	0.77	0.32
EVI 订正后	0.54	0.05	0.07	0.57	0.57	0.37	0.55	0.50	0.62	0.62	0.17	0.40	0.59	0.26
相对变化率/%	-27	-26	-32	-24	-24	-21	-23	-24	-23	-24	-21	-22	-23	-20

分别以 2003 年 7 月 24 日大气比较洁净的张掖附近地区和 2003 年 7 月 6 日大气状况比较差的关中地区为例,对比分析大气订正前后 NDVI 和 EVI 的特点。张掖地区位于我国第二大内陆河黑河的中游地区,受黑河灌溉形成大片绿洲,周围被戈壁环绕。除春季张掖沙尘暴多发季节大气沙尘气溶胶较多外,其他季节大气质量状况良好。从 2003 年 7 月 24 日 MODIS 影像上分析,张掖地区图像清晰。在张掖市东部沿东至西方向取一条剖面,横跨张掖主要绿洲和周围戈壁地区,提取出订正前后 NDVI 和 EVI 值作对比分析(图 3)。图中可以看到大气订正前戈壁 NDVI 与 EVI 数值接近,绿洲 NDVI 低于

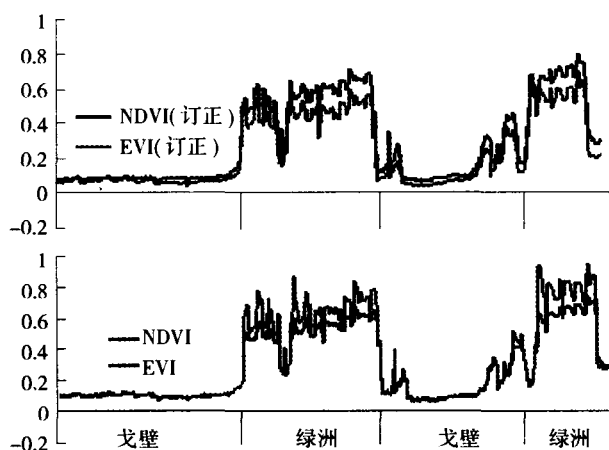


图 3 张掖绿洲 NDVI 和 EVI 曲线图

Fig. 3 Variations of NDVI and EVI values in Zhangye oasis

EVI,订正后绿洲、戈壁 NDVI 上升,EVI 下降,NDVI 大于 EVI,以绿洲变化最为明显。

关中地区为陕西主要的农作物区,每年夏粮收获后农民有焚烧秸秆的习惯。在 2003 年 7 月 6 日 MODIS 影像上,关中平原笼罩在大片烟雾之中。在关中农区,由北至南取一条剖面,从关中北部无烟区到烟雾区(图 4)。可以看到无烟区大气订正前 NDVI 和 EVI 值接近,订正后 NDVI 值大于 EVI 值。烟尘区大气订正后 NDVI 无明显升高,表明烟尘对 NDVI 的影响较大;而 EVI 由于引入蓝光波段耦合 2 种因子计算得到的值与 NDVI 值接近,具有较好的抗大气作用。

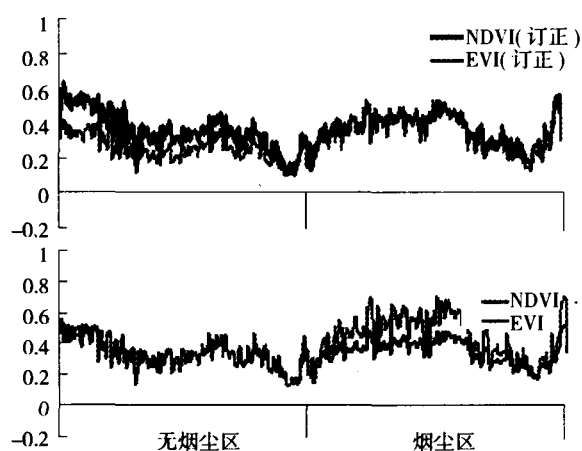


图 4 关中农区 NDVI 和 EVI 曲线图

Fig. 4 Variations of NDVI and EVI values over crop land in central shaanxi

3 结论与讨论

(1) MODIS/NDVI 和 MODIS/EVI 空间分布格局一致,与降水空间分布形式比较一致。NDVI 值大于 EVI,NDVI 与 EVI 值的差异随着植被覆盖度的增大而增加。

(2) 森林、草原、灌溉农区 NDVI 和 EVI 年变化曲线较为接近,为单峰型曲线,NDVI 始终高于 EVI;而陇东、关中雨养农业区曲线表现为双峰型。

(3) 大气订正对 MODIS/NDVI 和 EVI 的影响较大,大气订正前一些地区 NDVI 小于 EVI。大气订正使 NDVI 增大,EVI 减小,大气订正后 NDVI 普遍大于 EVI。对于无植被覆盖的区域,大气订正使 NDVI,EVI 均变小,NDVI,EVI 绝对值变化不大。

(4) 通过对大气气溶胶粒子较多地区 NDVI 和

EVI 的对比分析,EVI 具有较好的抗大气气溶胶的作用。

参考文献:

- [1] 盛永伟,陈维英,肖乾广,等. 利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类[J]. 科学通报,1995,40(1):68-71.
- [2] 孙睿,朱启疆. 中国陆地植被净第一性生产力及季节变化研究[J]. 地理学报,2000,55(1):36-45.
- [3] 肖乾广,陈维英,盛永伟,等. 用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 遥感资料估算中国的净第一性生产力[J]. 植物学报,1996,3(1):35-39.
- [4] 马耀明,刘东升,王介民,等. 卫星遥感敦煌地区地表特征参数[J]. 高原气象,2003,22(6):531-536.
- [5] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor[J]. Ecology,1969(50):663-666.
- [6] Piyachat Ratana, Yuan Yin, Alfredo R Huete, et al. Interrelation among Modis Vegetation Products across an Amazon Eco-climatic

- Gradient [A]. IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium proceedings [C]. Korea, 2005. 3009 - 3012.
- [7] Zhao M S, Fu C B, Yan X D, et al. Study on the relationship between different ecosystems and climate in China Using NOAA AVHRR data [J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(3): 287 - 296.
- [8] Sellers P, Los S O, Tucker C J, et al. A revised land surface parameterization (SIB2) for atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data [J]. J Climate, 1996(9): 706 - 737.
- [9] 郭妮. 植被指数及其研究进展 [J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 71 - 75.
- [10] Liu H Q, Huete A. Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise [J]. IEEE Trans Geosci Remote Sensing, 1995(33): 457 - 465.
- [11] Huete A, Didan K, Miura T, et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indexes [J]. Remote Sensing of Environment, 2002(83): 195 - 213.
- [12] 王正兴, 刘闯. HUETE 植被指数研究进展: 从 AVHRR - NDVI 到 MODIS - EVI [J]. 生态学报, 2003, 23(5): 979 - 987.
- [13] 程乾, 黄敬峰, 王人潮, 等. MODIS 和 NOAA/AVHRR 植被指数差异初步分析 [J]. 科技通报, 2005, 21(5): 407 - 427.
- [14] 国家气候中心. 中华人民共和国气候图集 [M]. 北京: 气象出版社, 2002. 7.
- [15] Vermote E F, Tanre D, Herman M, et al. Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview [J]. IEEE Transaction Geoscience and Remote Sensing, 1997, 35(35): 675 - 686.

Comparison Between MODIS/NDVI and MODIS/ EVI in Northwest China

YANG Jia^{1,2}, GUO Ni², JIA Jianhua¹

(1. Department of Survey Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Using TERRA /MODIS data in some typical vegetation regions during plant growth period in 2003 and vegetation type data, the spatial and temporal characteristics of MODIS/NDVI and MODIS/EVI in Northwest China and the influences of atmosphere correction on the two vegetation indexes were analyzed in this paper for comparing the differences between NDVI and EVI. The results show that distributions of NDVI and EVI are consistent in space and nearly the same as that of precipitation. The difference between NDVI and EVI is larger as vegetation coverage increases. In addition, the influence of atmosphere on NDVI and EVI was obvious, and atmosphere correction made NDVI values increase and EVI values reduce; the values of NDVI are smaller than those of EVI before atmosphere correction; while after the correction, values of NDVI are larger than those of EVI in most regions. By comparing NDVI and EVI in those regions containing more aerosols, we found that EVI had a good performance in removing the influence of aerosols.

Key words: MODIS; atmosphere correction; NDVI; EVI