

文章编号: 1006-4354 (2006) 03-0025-04

省级 MODIS 植被指数序列的建立与应用

张树誉, 李登科, 李星敏, 高 蓓

(陕西省农业遥感信息中心, 西安 710014)

摘 要: 建立 MODIS 植被指数序列是一项重要的基础性工作, 有助于更加准确、有效地认知植被覆盖、土地利用和土壤水分的时空变化规律, 更有效地监测干旱和植物生长。分析 MODIS 植被指数的特点并与 AVHRR 植被指数进行对比, 提出可业务化的 MODIS 资料预处理方法, 讨论了省级 MODIS 植被指数序列的建立方法及其在农业遥感中的应用。

关键词: 植被指数; MODIS; 应用

中图分类号: P407.8

文献标识码: A

MODIS 植被指数产品是在已有 AVHRR 植被指数基础上改进设计的, 以适用于全球范围, 并增强对植被的敏感度, 减少外部因素(如大气、观测视角和太阳角、云等)的影响。提供对全球植被状态一致的时间和空间比较, 可用于监测地球上光合作用植物的活动, 以便进行变化监测和生物气候学及生物物理学的解释^[1]。广泛用于陆表分类信息提取、农作物分布及长势监测、农作物产量估算、农田灾害监测及预警、区域环境评价以及各种生物参数的提取。建立长时间序列的植被指数有助于更加准确、有效地认知植被覆盖、土地利用和土壤水分的时空变化规律, 更有效地监测干旱和植物生长。利用多年同时相 NDVI 时间序列数据可在作物估产、干旱监测、植被对气候变化的响应等方面发挥重要作用^[2-4]。

1 MODIS 数据预处理

MODIS 数据预处理是为了按照同一标准进行数据处理, 生成质量一致的遥感产品数据集, 保证长时间序列的数据具有可比性, 包括 BOW-TIE 处理、条纹去除、数据定标、几何精校正、投影变换、大气校正等。

MODIS 数据经过辐射校正后生成的 L1B 产品存在着独特的 BOW-TIE (俗称“双眼皮”)现象, 形成原因与 MODIS 探测器的成像特点密切

相关, 表现为相邻两个扫描行之间有部分数据相同, 越向边缘重复数据越多, 在线状地物附近表现尤为明显, 使得 MODIS 的边缘数据无法使用, 影响了非星下点数据的实际应用, 必须在几何校正前就去除。以 250 m 分辨率数据为例说明解决办法: 250 m 的数据每条扫描带包含 5 416 列 40 行数据, 先计算每相邻的两条扫描带之间存在着多少行重复数据, 然后用 IDL 编程将重复数据去除, 并确保地物是连贯的。

MODIS 采用“多元并扫”的对地遥感方式, 即并排多个探测器同时扫描, 探测器间的光谱响应特性不可能做到完全相同, 遥感影像上表现为横向条纹, 需要进行探测器数据的相互配准以清除条纹, 方法采用分布函数拟合法, 即选取一个或多个光谱响应状态良好的探测器为基准, 统计出各个探测器取值概率分布函数, 然后依照基准探测器分布函数校正。

几何精校正利用 ENVI 软件提供的 Georeference MODIS 1B 校正方法进行, MODIS 数据的 HDF 文件中含有经度和纬度信息, 先从 HDF-EOS 头文件中提取经纬度坐标, 转化为 ENVI 的地面控制点 (GCP) 文件, 不需人工选取 GCP, 使几何校正速度和自动化程度提高。几何校正的参数选择中地图投影类型为高斯-克吕格,

收稿日期: 2005-12-29

作者简介: 张树誉 (1970-), 男, 西安人, 学士, 高级工程师, 从事遥感应用研究。

椭球体为 Krasovsky, 中央经线为 108°E, 起始纬度为 0°N, 软件默认 GCP 为 51 个, 可满足业务使用校正精度的要求。

大气校正的目的是消除大气和光照等因素对地物反射的影响, 获得地表真实物理模型参数。用于大气校正的辐射传输模型包括 6S、LOWTRAN、MORTAN 等, 这些模型虽然精度高, 但要求的参数很多, 难以满足业务需要。采用 ENVI 软件的内部平均相对反射率法 (IARR) 对 MODIS 数据进行大气校正。IARR 校正处理计算整个影像场景的平均波谱曲线, 并将其作为参考波谱曲线, 然后用影像中每一个像素的波谱曲线值除以该参考波谱曲线值, 计算得到表观反射率。方法适用没有地面测量值, 对整个场景不太了解时, 能有效地将成像光谱仪数据转换为相对反射率。

2 省级 MODIS 植被指数序列的建立

2.1 MODIS 植被指数的选取

MODIS 植被指数的优势是可以计算增强型植被指数 (EVI), EVI 利用 MODIS 辐射仪的特点, 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和减少大气影响来提高植被监测精度, 以增强对高生物量植被区域的敏感性, 最大程度减少大气气溶胶和土壤背景对植被指数的影响, 但不同区域下背景调节参数和大气修正参数的确定尚待研究^[5]。

$$EVI = \frac{G(CH_2 - CH_1)}{CH_2 + C_1 \times CH_1 - C_2 \times CH_3 + L} \quad (1)$$

式 (1) 中, CH_1 、 CH_2 、 CH_3 分别为 MODIS 第 1、2、3 通道的反射率 (单位: %), L 为土壤调节参数, C_1 和 C_2 为大气调节参数, G 为放大系数, 参数取值为: $L = 1$, $C_1 = 6$, $C_2 = 7.5$, $G = 2.5$ 。

EVI 的缺点是计算所需 MODIS 蓝光通道的分辨率为 500 m, 致使最终植被指数的分辨率由 250 m 降到 500 m, 或者为了尽量保持 250 m 分辨率而锐化蓝光通道并与红光和近红外通道的数据配准。此外, EVI 对图像质量的要求很高, 如有残留云雾或其它大气噪音影响, 低植被和云等高亮度区会有数据溢出现象。

归一化植被指数 (NDVI) 是遥感应用领域用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力最常用的植被指数。NDVI 可以使某些与波段正相关的噪声及直接辐射或漫射辐射发生变化, 使云、云阴影、太阳角和视角、地形、大气等的影响最小化, 还能在一定程度上消除定标和仪器误差的影响。选取 MODIS-NDVI 建立植被指数序列。

2.2 MODIS-NDVI 与 AVHRR-NDVI 数据对比分析

MODIS 植被指数是在 AVHRR 植被指数基础上改进设计的, 具有较高的空间分辨率 (250 m), 较 AVHRR-NDVI 提高了 4 倍, 可反映详细的地表植被信息。AVHRR 的红波段和近红外波段为宽波段, 包括强水汽吸收区, 降低了植被指数的可靠性。MODIS 具有比 AVHRR 更窄的光谱通道, 避开了近红外波段的水汽吸收带, 可有效减少水汽的影响, 提高对稀疏植被的探测能力。MODIS 在蓝光和绿光附近设置了波段 3, 用于大气气溶胶订正, 在绿光附近设置了波段 4, 用于尝试解决高生物量植被的饱和问题。此外, AVHRR 采用飞行前实验室定标, 而 MODIS 采用在轨定标, 可提供高精度的定标结果, 整体上比 AVHRR 性能稳定。

在全球尺度上, 目前 AVHRR-NDVI 已形成了 20 a 较完整的数据序列, MODIS 数据现在只积累了 5 a 左右的资料, 进行植被变化与气候因子的响应等研究时, 需要长时间序列的 NDVI 数据, 因此进行 MODIS-NDVI 能否沿用 AVHRR-NDVI 序列作为历史均值的研究显得十分重要。陕西省地处西北内陆东部, 境内地形复杂, 气候悬殊, 农业类型多样。从汉江河谷到关中平原、黄土高原、风沙滩地, 跨越亚热、暖温、中温三个气候带, 形成了草原、森林、落叶阔叶林、常绿阔叶落叶混交林和常绿阔叶林等多种植物类型, 为研究 MODIS 植被指数在不同下垫面所反映的敏感程度提供了很好的自然条件。

为增加数据的可比性, AVHRR 资料选取与 TERRA 卫星过境时间接近的 NOAA-17 卫星数据, 并将 TERRA 卫星资料处理成 1 km 分辨率, 投影类型均采用高斯-克吕格。通过对 2003 和

2004 年 4—10 月逐旬 AVHRR-NDVI 和 MODIS-NDVI 数据分布对比图分析后得出结论。

(1) MODIS 和 AVHRR 数据在不同下垫面的植被指数分布趋势相同, 都能很好地反映植被的时空变化信息。(2) 对同一天或同一旬的植被指数, MODIS-NDVI 比 AVHRR-NDVI 值域范围大, 并且对同一点来说 MODIS-NDVI 均比 AVHRR-NDVI 的数值大。(3) 不同下垫面的 MODIS-NDVI 较 AVHRR-NDVI 增大的幅度不同, 存在非线性相关关系, 低植被覆盖区 MODIS-NDVI 被夸大, 其中沙地、荒漠化草地增幅最大达 100%; 中植被覆盖区 MODIS-NDVI 较 AVHRR-NDVI 增大 50% 左右; 高植被覆盖区 MODIS-NDVI 被压缩, 较 AVHRR-NDVI 增大仅 10% 左右。即在高密度、高生物量植被下 MODIS-NDVI 比 AVHRR-NDVI 更容易饱和, 原因之一是 NDVI 算式存在容易饱和的缺陷, 是以植被指数饱和为代价来减少大气的影响。(4) MODIS-NDVI 不能直接沿用 AVHRR-NDVI 序列作为历史均值, 要根据研究区域下垫面的类型和植被指数的分布区间, 考虑对 AVHRR-NDVI 数据做相应的处理。

2.3 MODIS 植被指数序列的建立

MODIS 植被指数序列的建立包括单日植被指数、多天合成植被指数、多年平均植被指数三种序列。

植被指数合成是指将多天卫星观测的反射率、植被指数、角度信息和质量认证信息用最优方法综合, 按照一定时间间隔形成一幅植被指数图像。MODIS 植被指数合成的目的是在一定时间间隔内提供准确的不受云影响的植被指数图像, 确保合成数据的质量和一致性, 使植被指数可以阐明和重构生物气候学变化并区分植被的年际变化、解释物候变化, 以最佳的时空分辨率使全球和时间尺度的陆表覆盖最大化。MODIS 植被指数合成算法按照数据质量和逐日云量可采用: 双向反射分布函数法 (BRDF 合成)、有限视角内的最大值合成法 (CV-MVC)、直接计算植被指数法、最大值合成法 (MVC)。其中 MVC 是目前最常用的业务化方法, MVC 倾向于选择最晴

空、最接近于星下点和最小太阳天顶角的像元, 有晴空像元存在, 排除了受云和大气影响的像元, 缺点是地表的双向反射影响没有被充分考虑。

植被指数合成首先要确定适当的合成周期, 合成周期的确定需考虑因素: 一是明确合成产品的应用目标, 尽量满足业务科研的发展需要, 并注意与地面观测资料时相对应; 二是根据研究区域所处的纬度范围, 考虑该空间范围内云覆盖的出现频率; 三是要考虑卫星轨道的回归周期, 使研究区域在合成周期内能尽可能多地接近星下点。陕西地处中纬度地区, 云覆盖出现的频率约为 10 d, 地面农业气象观测为每旬一次, 本文选定的合成周期为旬。没有选定 MODIS 卫星轨道的回归周期即 16 d 作为多时相合成周期, 是为了捕捉到更多的地表植被覆盖变化信息, 利用旬合成产品进而可以二次合成为月植被指数产品。

EOS 的上午星 TERRA 已积累了近 6 a 的遥感资料, 多年平均植被指数是对 2000—2004 年逐旬植被指数合成产品求平均, 得 5 a 的 MODIS 旬平均植被指数。利用当年某时段的植被指数与多年平均值的差异程度作为衡量指标, 可以判断当年作物长势优劣, 评价作物长势状况的空间分布。

3 MODIS 植被指数序列的应用

3.1 植被生物物理参数的提取

随着高光谱技术的发展, 建立从高光谱遥感数据中提取生物物理参数, 生物化学参数的分析技术在植被生态系统研究中十分重要。植被叶面积指数 (*LAI*) 是植被冠层结构的重要参数, 它控制着植被的许多生物物理过程, 如光合、呼吸、蒸腾、碳循环和降水截获等, 也可以为植被冠层表面最初能量交换描述提供结构化定量信息。*LAI* 定义为单位面积上所有叶子向下投影的面积总和。卫星遥感为大区域研究 *LAI* 提供了唯一途径, *LAI* 遥感定量方法有统计模型法和光学模型法, 以植被指数作为统计模型的自变量是经典的 *LAI* 遥感定量方法, 在多光谱和高光谱领域均有用植被指数估算叶面积指数的研究和应用^[6]。具体方法: 采用国际地圈生物圈计划 (IGBP) 土地覆盖类型的分类结果, 根据不同植被类型 *NDVI* 与 *LAI* 间的函数关系, 通过建立查找表 (LUT)

的方法进行 LAI 反演。

植被覆盖度 (VC) 是植被在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。植被覆盖度是衡量地表植被状况的重要指标,也是影响土壤侵蚀与水土流失的主要因子,植被覆盖及其变化是区域生态系统环境变化的重要指示^[7]。遥感反演植被覆盖度的方法有回归模型法、植被指数法、像元分解模型法等。回归模型主要依赖实地观测数据,而植被指数法相对于回归模型法更具有普遍意义,模型经验证后可以推广到大范围区域,形成通用的植被覆盖度计算方法。基于植被指数法计算植被覆盖度的公式为:

$$VC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}, \quad (2)$$

式中, $NDVI$ 为所求像元的植被指数, $NDVI_{\min}$ 和 $NDVI_{\max}$ 分别为研究区内 $NDVI$ 最小和最大值。

3.2 农作物长势监测

农作物生长状况受多种因素影响,其生长过程是一个非常复杂的生物物理过程,可以借助遥感手段,通过能够反映生长过程并且与该过程密切相关的因子对生长状况进行动态监测。植被指数是被公认的能够反映作物生长状况和季相变化特征的指标。 $NDVI$ 的大小是作物群体生物量、叶面积、植株受害程度的综合反映。综合分析作物在不同生长期 $NDVI$ 数据,可以进行作物长势监测、发布苗情监测信息、指导农业生产^[8]。

在已建立的植被指数序列的基础上,结合作物本身的生物学特性,如作物的物候期、农业气象条件、品种特性、种植结构等可以建立作物长势监测模型,常用的评估模型有:

$$\Delta NDVI = (NDVI_2 - NDVI_1) / NDVI, \quad (3)$$

式(3)中, $NDVI_2$ 为当年旬植被指数, $NDVI_1$ 为前一年同期旬植被指数, $NDVI$ 为多年旬平均值。根据 $\Delta NDVI$ 初步判断当年与前一年相比长势优劣的程度。为了更好地反映作物的生长信息,

通常将评估结果与耕地等矢量数据叠加。此外,还可构建不同作物生长的 $NDVI$ 过程曲线,通过作物生长过程的年际对比来反映作物的生长状况,如物候期的推移、作物生长的速率、长势程度等,最终建立各地不同作物的生长状况评价量化标准。

4 结束语

MODIS 资料以较高的时空分辨率在农作物长势估产、土地利用、农业资源与环境监测评估发挥着日益重要的作用,但要进一步提高植被变化监测结果的可靠性和准确性,需要高空间分辨率遥感影像(如 SPOT)的支持。此外,基于植被指数的植被生物物理参数的反演模型和作物生长评价量化标准等还有待进一步完善和研究。

参考文献:

- [1] 刘玉洁,杨忠东. MODIS 遥感信息处理原理与算法 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展 [J]. 地球科学进展, 1998, 13 (4): 327-333.
- [3] 郭锐. 植被指数及其研究进展 [J]. 干旱气象, 2003, 21 (4): 71-75.
- [4] 陈利军, 刘高焕, 冯险峰. 遥感在植被净第一性生产力研究中的应用 [J]. 生态学杂志, 2002, 21 (2): 53-57.
- [5] 王正兴, 刘闯. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报, 2003, 23 (5): 979-98.7.
- [6] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展 [J]. 生态学杂志, 2005, 24 (5): 537-541.
- [7] 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 [J]. 地理学报, 2001, 56 (6): 667-672.
- [8] 江东, 王乃斌, 杨小唤. NDVI 曲线与农作物长势的时序互动规律 [J]. 生态学报, 2002, 22 (2): 247-252.