

文章编号: 1007-4619 (2004)06-0672-05

Vegetation 图像植被指数与实测水稻叶面积指数的关系

何隆华¹, 储开华², 肖向明³

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008; 2. 南京气象学院, 南京 210044;

3. University of New Hampshire, NH 03824, USA)

摘要: 水稻的叶面积指数(LAI)是水稻生长的一项重要参数,与水稻的生物量与产量直接相关。利用1999年在江苏省江宁县实测的水稻叶面积指数与同期Vegetation/SPOT的植被指数作了对比分析,结果发现同期的LAI与植被指数表现相近的变化特征,两者具有良好的相关关系。

关键词: 水稻;叶面积指数;Vegetation 传感器

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引言

过去的几十年里大尺度农业与土地利用监测与制图主要依赖气象卫星NOAA AVHRR数据,随着Vegetation (VGT) 传感器和MODIS传感器的成功发射,标志着遥感技术应用于农业与土地利用监测与制图进入了一个新时代。

水稻的叶面积指数LAI(Leaf Area Index, leaf area per unit ground area)是水稻生长的一项重要参数。水稻的叶面积指数能提供水稻生长的动态信息,此外,水稻的LAI还与水稻作物的生物量和产量直接相关^[1,2]。利用实地观测的叶面积指数数据和光谱仪观测数据, Martin等^[3]发现在研究样地上水稻的光谱植被指数与叶面积指数相关性很强,同时稻田中有水的背景对水稻的光谱特征影响很大。田国良研究了利用光谱数据和陆地卫星图像来估算水稻产量的方法^[4]。王人潮等人的一些研究也表明利用遥感数据可以较好地获取水稻生长状况的信息,同时遥感数据提取的植被指数与LAI有明显的相关性^[5-14]。

Vegetation 计划由法国、比利时、瑞典、意大利等几个欧共体国家合作完成,传感器于1998年3月24日搭载SPOT 4号卫星升空,该传感器主要设计为陆地植被的基本状况和变化趋势的监测。

Vegetation 传感器有四个波段,分别为B⁰波段(蓝,波长0.43-0.47 μ m)、B²波段(红,波长0.61-0.68 μ m)、B³波段(近红外,波长0.79-0.89 μ m)、SWIR波段(短波红外,波长1.58-1.75 μ m),像元尺寸1km \times 1km,视场宽度2250km。

本文利用1999年Vegetation图像的归一化植被指数(NDVI)与同期江宁县样地实测的水稻叶面积指数(LAI)进行对比分析,发现同期LAI与NDVI表现相近的变化特征,两者具有良好的相关关系,特别是对江宁县水稻的种植与灌水开展了研究,取得了比较好的结果。

2 遥感数据

Vegetation/SPOT 遥感数据以三种标准格式提供给用户,即VGT-P(原始数据),VGT-S1(每天合成图像),VGT-S10(10天合成图像)。VGT-P为未经过处理的产品,合成产品VGT-S为原始数据经过大气校正的产品。下面为Vegetation几种遥感数据的简要说明:

- a) VGT-P, 原始数据产品
- b) S1, 一天合成图像, 包含观测地区当天观测的所有波段
- c) S10, 十天合成图像, 合成图像上像元为10天之内归一化植被指数值为最大的像元

收稿日期: 2004-03-23; 修订日期: 2004-04-20

基金项目: 中科院知识创新工程项目(KZCX2-313-03-03, INF105-SDB-1-22), 中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-427)和江苏省自然科学基金项目(BK2002149)资助。

作者简介: 何隆华(1966-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事GIS与遥感应应用研究, 发表论文20余篇。

d) 重采样产品 S10.4 和 S10.8, 分辨率降低四倍和八倍的产品

VGT-S1 和 VGT-S10 产品的像元分辨率大约为 1km×1km。像元的亮度值代表地面的光谱反射率的相对大小。每个月对应有三幅 VGT-S10 图像, 分别为上旬(1 号-10 号)、中旬(11 号-20 号)、下旬图像(21 号-月末)。

本文获取了从 1999 年 4 月 21 至 10 月 31 日的 18 期 VGT-S10 产品数据。数据包含 VGT 的四个波段(B0, B1, B2, SWIR), 并以 16 位的数值存储(DN, Digital Number)。

首先我们把这些 16 位 DN 值通过下式进行转换:

$$R = a \times DN + b \quad (1)$$

R 实际的光谱发射率, a 和 b 均为转换参数, 由 SPOT 数据公司随产品数据一起提供。

3 数据处理方法

由(1)式得到的像元值尽管是 10 天“最佳”像元的光谱发射率, 但是, 图像上还有不少被云层覆盖的像元(Cloud Pixels)。为了尽量减少有云像元的影响, 我们设计了 CUBE 算法来对 Cloud Pixels 进行插值, 步骤如下:

第一步: 判别是否为有云像元。判别方法为读取 Vegetation 数据的 SM(Status Map)文件, 提取有云像元的记号位。

第二步: 找到该像元前一期和后一期的图像上同一位置上的像元, 假如前一期和后一期的像元值均为有效(称之为 Good Pixel), 则把前一期和后一期的像元值的均值赋给该像元。

第三步: 假如前一期和后一期的像元有无效像

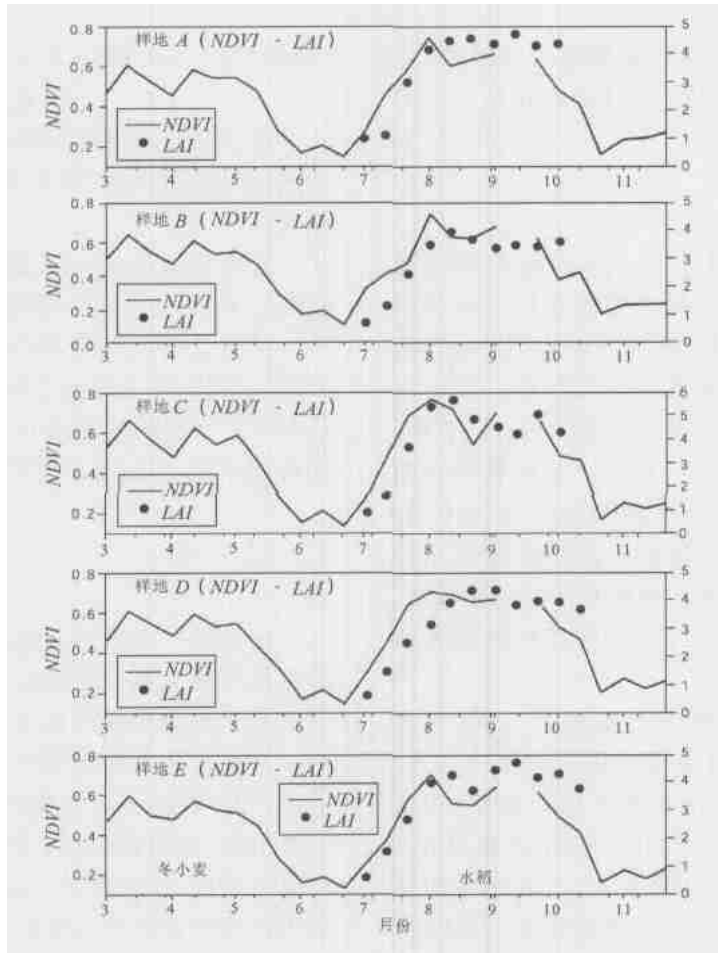


图 1 NDVI 与 LAI 随时间变化曲线(1999)
Fig.1 The NDVI and LAI development curve in 1999

元,则在同一期图像上以该像元为中心像元,开一个 3×3 大小的窗口。求取该窗口内有效像元值的平均值,并赋给当前像元。

第四步:假如上一步的 3×3 窗口中无有效像元,则在前一期和后一期的图像上开两个 3×3 大小的窗口。在这两个窗口内找出所有有效的图像像元,求取这些像元的均值,并把该均值赋给当前像元。

因为该算法计算过程中开了一个 $3 \times 3 \times 3$ 大小的立方体,所以称之为 CUBE 算法。经过 CUBE 算法处理后,发现图像上 90% 以上的有云像元值得到纠正。

对于每一期经过 CUBE 算法处理后的 VGT 图像,利用算式(2)计算其归一化植被指数:

$$NDVI = (B^3 - B^2) / (B^3 + B^2) \quad (2)$$

由此计算得到实验区 18 期 VGT 图像的植被指数 $NDVI$ 。

同时通过下式计算了 VGT 图像的水分指数:

$$NDWI = (B^3 - SWIR) / (B^3 + SWIR) \quad (3)$$

4 指数相关模型

在江苏省江宁水稻样地上,5、6 月份在种完油菜或小麦之后,当地农民就开始耕种水稻。水稻田的耕作可分为三个主要时期:(1)淹水和移栽期;(2)水稻生长期;(3)水稻收割后的闲置期。1999 年 5 块样地上的移栽日期最早的是 C 点的 6 月 12 日,最晚的是 D 点的 6 月 22 日。样地上水稻收割日期最早的是 C 点的 10 月 17 日,最晚的是 E 点的 10 月 28 日。5 块样地上的水稻的叶面积指数在生长期内变化都比较相近,从 7 月初到 8 月初增加很快,到 8 月中-9 月中达到最大值(叶面积指数最大值 5-6)。

同期内从 Vegetation 图像上得到的 $NDVI$ 指数与样地上实测叶面积指数表现出相近的变化方式。图像的 $NDVI$ 值在水田耕作和灌水期间很低,在水稻移栽之后则迅速增长。同期的 $NDVI$ 值也是在 8 月中至 9 月中达到最大值(0.7 左右)。在水稻成熟期, $NDVI$ 值则略有降低;在水稻收割之后, $NDVI$ 值迅速降低。

进一步计算了 7 月初到 8 月中的地面实测叶面积指数 LAI 与同期 VGT 遥感图像 $NDVI$ 值的相关关系,同时也计算了经过根值变换的 $Sqrt \cdot LAI$ 与 $Sqrt \cdot NDVI$ 的相关关系,得到如下的关系式:

$$LAI = -1.149 + 7.525 \times NDVI, r^2 = 0.74, p < 0.0001 \quad (4)$$

$$Sqrt \cdot LAI = -0.959 + 3.578 \times Sqrt \cdot NDVI, r^2 = 0.83, p < 0.0001 \quad (5)$$

这表明了地面实测叶面积指数 LAI 与同期 VGT 遥感图像 $NDVI$ 值存在较明显的统计学上的相关。

除了计算 7 月初到 9 月底的地面实测叶面积指数 LAI 与同期遥感图像 $NDVI$ 值的相关关系外,同时我们还计算了经过根值变换的 $Sqrt \cdot LAI$ 与 $Sqrt \cdot NDVI$ 的相关关系,得到如下的关系式:

$$LAI = -1.04 + 7.773 \times NDVI, r^2 = 0.68, p < 0.0001 \quad (6)$$

$$Sqrt \cdot LAI = -0.976 + 3.694 \times Sqrt \cdot NDVI, r^2 = 0.78, p < 0.0001 \quad (7)$$

(6)和(7)式同样表明地面实测叶面积指数 LAI 与同期遥感图像 $NDVI$ 值存在较明显的统计学上的相关。

此外利用 Vegetation 数据计算了 VGT 水分指数 $NDWI$ 。1999 年 $NDWI$ 指数的变化见图 2。

从图 2 可以发现, $NDWI$ 的变化反映的是水田的淹水变化,五个样地上的 $NDWI$ 在 6 月-7 月之间均有一个明显的波动变化,变化的时间与水稻移栽的日期相近,那时也是水田灌水较多的时期。

5 结 论

前期的一些研究表明水稻光谱参数与叶面积指数存在相关关系。通过在江宁区的水稻观测试验,以及与遥感指数的对比分析研究,Vegetation 图像的归一化植被指数与水稻叶面积指数存在良好的相关关系。从 Vegetation 图像计算得到的 VGT 水分指数 $NDWI$ 可以较好地反映江宁水稻试验区稻田的淹水信息。因此,作者认为 Vegetation 遥感图像对于水稻等农作物的定量化农情监测存在着潜力。

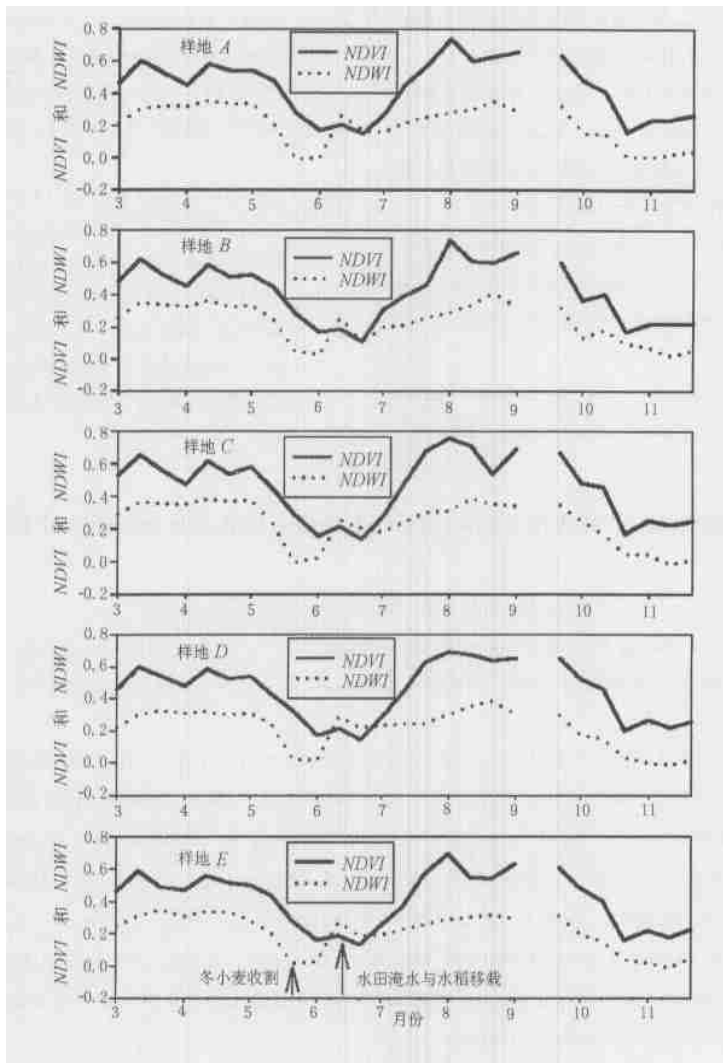


图 2 NDVI 与 NDWI 的变化曲线(1999)

Fig.2 The development curve of NDWI compared with NDVI in 1999

参考文献 (References)

[1] Venkateswarlu B, Rao P K, Rao A V. Canopy Analysis on the Relationships Between Leaf Area Index and Productivity in Lowland Rice, *Oryza Saliva*[J]. *L. Plant and Soil*, 1976, **45**:49—56.

[2] Dobemann A, Pampolino M F. Indirect Leaf Area Index Measurement as a Tool for Characterizing Rice Growth at the Field Scale[J]. *Communications on Soil Science and Plant Analysis*, 1995, **26** (9&10):1507—1523.

[3] Martin, R.D. and Heilman, J.L., Spectral Reflectance Patterns of Flooded Rice[J]. *P. E. R. S.*, 1986, **52**(12):1885—1890.

[4] TIAN G L, XIANG Y Q. Paddy Rice Yield Estimation by Remote Sensing, Part I, Paddy Rice Yield by Spetral Data and Landsat Images[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989, **4**(1):73—80. [田国良, 项月琴, 遥感估算水稻产量: I. 用光谱数据和陆地卫星图像估算水稻产量[J]. *环境遥感*, 1989, **4**(1):73—80.]

[5] WANG R C, HUANG J F. Paddy Rice Yield Estimation by Remote Sensing[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002. [王人潮, 黄敬峰, 水稻遥感估产[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.]

[6] WU B F. China Agriculture Information Monitoring and Crop Yield Estimation; A Functional Method, in Collections of RS Knowledge Creation[C]. Beijing: China Science and Technology Press, 1999: 357—363. [吴炳方, 全国农情监测与估产的运行化遥感方法, 遥感知识创新文集[C]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999, 357—363.]

[7] SHAO Y, LIAO J J, WANG C Z. Analysis of Temporal Radar Backscatter of Rice; A Comparison of SAR Observations with Modeling Results[J]. *Can. J. Remote Sensing*, 2002, **28** (2): 128—138.

[8] XU X R, ZHU X H. Winter Wheat Yield Estimation Model by Remote Sensing, in Xu Xiru (edited). Collections of Environment Monitoring and Crop Yield Estimation Using RS Technology[C]. Beijing: Beijing University Press, 1991, 1—11. [徐希孺, 朱晓红, 冬小麦遥感估产模型, 徐希孺主编, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1991, 1—11.]

[9] SHEN G R, WANG R C, LI Y M *et al.* Paddy Rice Group Structure and Radiation Transfer Analysis[J]. *Journal of Crops*, 2001, **27**(6):

- 769—775. [申广荣, 王人潮, 李云梅等, 水稻群丛结构和辐射传输分析, 作物学报, 2001, 27(6):769—775.]
- [10] WANG R C, WANG K, SHEN Z Q *et al.* Study of Rice Yield Model by Remote Sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1998, 2(2): 119—124. [王人潮, 王珂, 沈掌泉等, 水稻单产遥感估测建模研究[J], 遥感学报, 1998, 2(2):119—124.]
- [11] Le Toan T, Ribbes F, Wang, *et al.* Rice Crop Mapping and Monitoring using ERS-1 Data Based on Experiment and Modeling Results [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1997, 1:41—56.
- [12] Asrar G, Kanemasu E T. Estimates of Leaf Area Index from Spectral Reflectance of Wheat under Different Cultural Practices and Solar Angle[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1985, 17:1—11.
- [13] Wiegand C L, Richardson A J, Kanemasu E T. Leaf Area Index Estimates for Wheat from Landsat and Their Implications for Evapotranspiration and Crop Modeling[J]. *Agronomy Journal*, 1979, 7:336—342.
- [14] WANG Y Y, CHEN Y Q, MA J F *et al.* The Relation and Model of Paddy Rice Growth, Yield Components, and Spectral Parameters. in Xu Xiru (edited), *Collections of Environment Monitoring and Crop Yield Estimation Using RS Technology* [C]. Beijing: Beijing University Press, 1991, 40—51. [王延颐, 陈玉泉, 马金福等, 水稻长势、产量结构与水稻光谱参数的关系及模式, 徐希孺主编, 环境监测与作物估产的遥感研究论文集[C]. 北京: 北京大学出版社, 1991, 40—51.]

The Relationship of Vegetation-derived Index and Site-measured Rice LAI

HE Long-hua¹, CHU Kai-hua², XIAO Xiang-ming³

(1. Nanjing Institute of Geography & Limnology, CAS, Nanjing 210008, China;

2. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjin 210044, China; 3. University of New Hampshire, NH 03824, USA)

Abstract: Leaf area index (LAI) is an important bio-physical parameter of paddy rice. The LAI will provide important information of the growth of paddy rice. In an effort to develop the quantitative relationships between field measured leaf area index and Vegetation-derived vegetation indices for paddy rice fields, we have measured the leaf area index of paddy rice at 10-day intervals at five sampling sites in Jiangning county, Jiangsu province during the rice growing season (July to October) of 1999, using a LICOR LAI-2000 plant canopy analyser. After being transplanted in mid to late June, paddy rice LAI increased quickly and reached its plateau by early to mid August. Compared with the VGT sensor derived Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), we found that there were similar dynamics of LAI and Vegetation Index over the growing season of paddy rice in 1999.

Key words: paddy rice; leaf area index; Vegetation sensor