

植被冠层水平叶绿素含量的高光谱估测

董晶晶^{1,2}, 王力¹, 牛铮¹

1. 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室, 北京 100101
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 植物的叶绿素含量指示了其健康状况。大区域范围内植被叶绿素含量信息的提取可以用于评价植被的生长状况, 实现对生态环境的监测。对于农田系统而言, 作物叶绿素含量的估测还可以对施肥等田间操作提供支持。文章利用辐射传输模型模拟多组不同状态下的植被冠层光谱反射率, 通过对模拟数据的冠层叶绿素含量以及冠层光谱之间关系的分析, 构建了估测植被冠层水平叶绿素含量的光谱指数模型。该模型对冠层叶绿素含量的方差解释量达到了75%以上。分别使用野外实测冠层光谱和 Hyperion 高光谱遥感影像对试验区进行验证。结果证明该模型对冠层水平的叶绿素含量估测效果较好, 具有应用价值。

关键词 冠层叶绿素含量; 光谱指数; 辐射传输模型

中图分类号: P283, TP79 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)11-3003-04

引言

植物叶片中叶绿素含量的估测, 是植被监测的一个研究重点。一段时期内叶绿素含量的变化能够反映植物光合作用的强度, 同时也可反映出植物的其他信息, 如所处的生长期, 生长状况等^[1]。研究表明叶片的叶绿素含量与叶片的光谱特性(反射率, 透射率)存在明显的关系。利用统计方法可以构建叶片光谱估测叶绿素含量的模型, 并且能够达到较高的精度(>95%), 为无损估测叶片的叶绿素含量提供了一种新的方法^[2,3]。

随着遥感技术的发展, 方便获取不同时间和空间尺度的植被冠层光谱信息成为可能。如何利用遥感技术获取大范围尺度、不同时间分辨率的植被叶绿素信息是实现遥感手段监测植被的一个重要方面。与叶片光谱不同的是, 植被冠层光谱还会受到植被冠层结构、植被下垫面情况等影响。同时, 利用遥感传感器获取的冠层光谱, 还受到其他因素如太阳、观测角度和方位等的影响。因此, 在冠层层次有效地提取植被叶绿素含量, 需要同时考虑叶片自身情况和冠层结构、观测条件等因素。多数研究基于单一植被类型的冠层叶绿素含量估测, 结果表明绿、红以及红外波段附近的光谱信息对于叶绿素含量较为敏感, 基于这些波段而建立的植被指数可以用于植被冠层层次叶绿素含量的估测^[4-9]。Gitelson^[10]选择具

有不同冠层结构类型的玉米和大豆作为研究对象, 建立了利用冠层反射率倒数估测叶绿素含量的模型。

已有研究表明在冠层层次提取植被叶绿素含量是可行的, 其中光谱反射率倒数被认为是分析叶绿素含量的最佳因子, 但这些方法都局限于较为单一的植被种类。本文选用针对非针叶类植被应用较广的 PROSAIL 叶片冠层耦合模型模拟了不同叶片和冠层结构、不同观测条件下的冠层反射率。以此数据为基础, 尝试构建提取叶绿素含量的光谱指数模型, 选取合适波段以期减小其他参数的影响, 提高叶绿素含量估测的精度。文章最后采用野外实测数据及 Hyperion 影像对估测模型进行了验证。

1 材料与方法

1.1 叶片冠层耦合模型

由于受实验条件的限制, 野外实测数据的采集量有限, 因此本文首先选择利用辐射传输模型进行冠层光谱的模拟和估测模型的建立。使用模型进行数据模拟, 可以获得足够多的样本从而进行相关的分析计算。为了保证模拟的准确性, 本文采用了应用较广且有较好效果的叶片模型 PROSPECT 耦合冠层模型 SAIL 进行数据的模拟^[11]。综合考虑 Hyperion 数据的光谱分辨率, 本文将实测的冠层反射率光谱重新采样, 间隔 10 nm。

收稿日期: 2008-10-10, 修订日期: 2009-01-12

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2007CB714406), 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-313), 遥感科学国家重点实验室科研基金项目(KQ060006)和国家高技术研究发展专项经费项目(2006AA120108)资助

作者简介: 董晶晶, 1982年生, 中国科学院遥感应用研究所博士研究生 e-mail: djfive@163.com, dong.jjean@gmail.com

叶片模型 PROSPECT 和冠层模型 SAIL 的参数设定, 主要参考了 LOPEX93 数据库及文献中的实测值^[12], 对各参数的取值范围做出了限制。对于太阳和传感器方位的设定则来源于野外实测样区的信息采集。

1.2 野外实验

实验区设在甘肃张掖的农田区, 采样范围为 38. 9119 °~ 38. 7451 N 和 100. 4435 °~ 100. 379 9 °E。野外实验开展于 2007 年 9 月上旬, 主要测量内容为植株的叶片水分含量、叶片叶绿素含量、叶密度、样区经纬度坐标(用于定位)、植被的野外实测冠层光谱、LAI 和平均叶倾角等。同时期 Hyperion 遥感影像的拍摄时间为 2007 年 9 月 10 日。

野外实验样区的选择优先选面积较大的田块, 并记录其角点的经纬度坐标。考虑到 Hyperion 遥感影像的地面分辨率, 当田块面积达到 90 m ×90 m 时, 即对应约 3 个 Hyperion 象元的覆盖面积, 这样的田块可以用于 Hyperion 影像估测冠层叶绿素含量的地面验证。为了保证实测冠层光谱的数据质量, 野外实验时间控制在白天 10:00 ~ 16:00 内。每个样区选择 3 ~ 5 个样点进行叶片的采集、冠层光谱和 LAI 等数据的测量。

叶片的水分含量、叶绿素含量及叶片密度的测量, 均在实验室内通过对野外采集的叶片样本进行分析获得。冠层光谱的测量选用 ASD 野外光谱辐射计(ASD FieldSpec FR) 完成。该光谱仪可以获取 350 ~ 2 500 nm 的光谱数据, 本次实验采用了其中 400 ~ 1 000 nm 波长范围内的光谱反射率, 同样将实测的冠层反射率光谱重新采样, 分辨率为 10 nm。植被叶面积指数和叶倾角分布的获取由美国 LFCOR 公司的 LAI2000 冠层分析仪完成^[13]。

2 结果与讨论

2.1 冠层光谱反射率倒数与冠层叶绿素含量的相关性分析

冠层叶绿素含量(CCC, canopy chlorophyll content)可由叶片叶绿素含量(LCC, leaf chlorophyll content)及叶面积指数(LAI)计算获得, 即: $CCC = LCC \times LAI$ 。综合前人的研究成果, 本文采用光谱反射率的倒数形式进行分析。根据模拟数据计算的冠层叶绿素含量与冠层反射率倒数的相关系数平方如图 1 所示。从图 1 可以看出, 冠层叶绿素含量和冠层反射率倒数的相关系数平方在当波长为 690 nm 左右时达到了

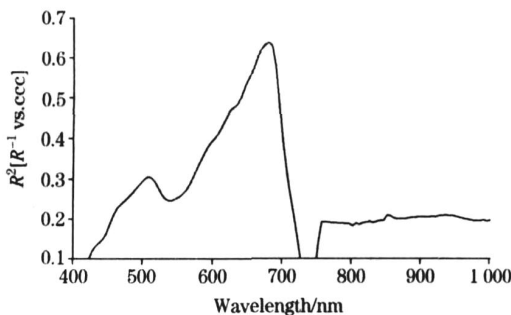


Fig 1 Coefficient of determination between CCC and canopy reflectance reciprocal simulated by PROSAIL model

最大值, 能够最大程度的对冠层叶绿素含量进行解释。在 800 nm 之后, 二者之间的相关关系不随波长增大而发生变化的。

2.2 光谱指数的构建

由图 1 可得 690 nm 的冠层反射率可以最大程度解释冠层叶绿素含量, 使用单一波段提取冠层的叶绿素含量, 还会受到其他因素, 比如其他色素、背景的影响。解决方法是选择多个波段构建光谱指数削弱干扰因素的影响, 可以一定程度提高估测的精度。本文基于先验知识进行初始条件的设置, 并参考逐步回归的思想, 进行指标的建立。选择以 $(b_1 - b_2) / b_3$ 的形式构建光谱指数, 选择对叶绿素敏感的波段 b_1 用于表征叶绿素含量, 选择相对不敏感的波段 b_2 和 b_3 用于削弱其他色素、背景噪声等因素的干扰。其具体步骤如下。

(1) 根据图 1 设置初始 b_1 为 690 nm, 基于先验知识而选择 b_3 为 800 nm 用于削弱背景因素的干扰。由图 2 中(a)图可以看出, b_2 选择大于 750 nm 时, 冠层叶绿素的估测值与原值相关性最大, 并在 850 nm 处达到最佳效果。

(2) 选择 b_1 为 690 nm, b_2 为 850 nm, 进一步确定 b_3 最佳选择为 850 nm, 如图 2 中(b)图所示。

(3) 选择 b_2 为 850 nm, b_3 为 850 nm, 进一步确定 b_1 为 690 和 745 nm, 如图 2 中(c)图所示。

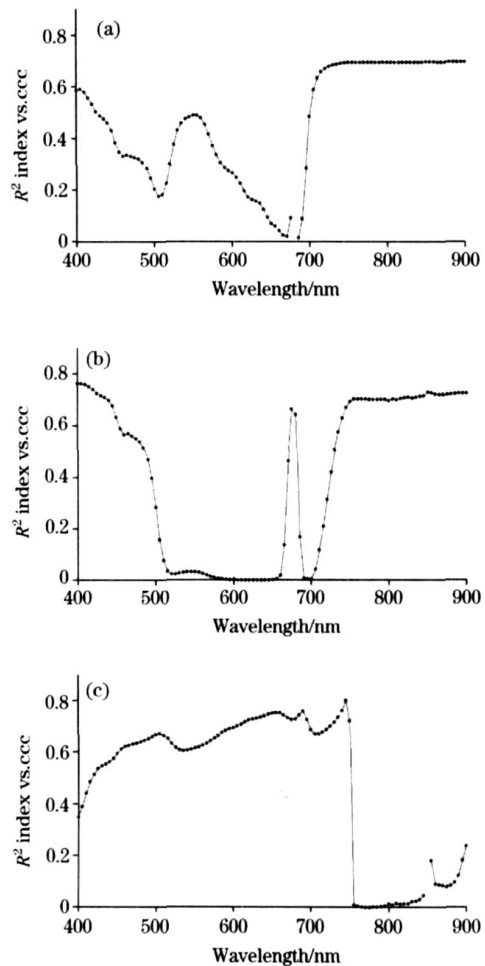


Fig 2 Choosing bands to build index

2.3 估测模型及其精度

综合考虑 Hyperion 影像各波段的数据质量, 最终确定 b_1 为 690 nm, b_2 和 b_3 为 850 nm, 其反射率倒数构成形式为

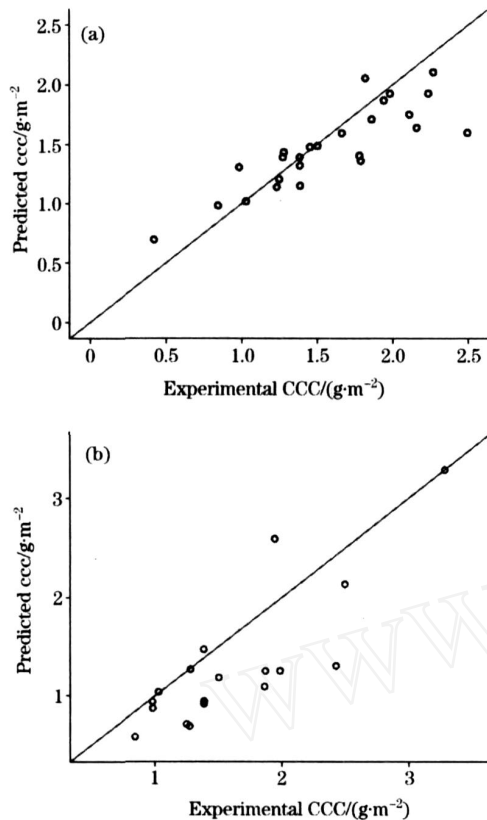


Fig 3 CCC estimation using field spectral data (a) and Hyperion image data (b)

$(b_1 - b_2)/b_3$ 的指标 Index。在此指标的基础上, 建立针对冠层叶绿素含量的估测模型

$$CCC = \text{Index} \times 0.1675 - 0.0179$$

模型中冠层叶绿素含量单位为 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, 对 CCC 估测的 R^2 达到 0.76, 与只采用 690 nm 波长的光谱进行估测相比提高 10% 以上。将实测野外光谱数据、Hyperion 影像提取的冠层反射率带入模型进行冠层叶绿素计算, 估测的结果与实验实测数据进行比较, 结果如图 3 所示。

图 3 显示了冠层叶绿素的估测值与实测值的对比结果。在 (a) 图中, 冠层叶绿素含量的估算采用 25 个样区的野外实测冠层光谱进行。(b) 图采用的冠层光谱来源于 Hyperion 遥感卫星影像, 涉及 18 个样区。

3 结 论

利用植物叶片冠层耦合模型模拟植被的冠层反射率, 综合先验知识, 确定了针对冠层叶绿素含量进行估测的光谱指数, 并构建了估测模型。经过综合分析, 可得出以下结论。

(1) 植被冠层层次的叶绿素含量, 与冠层反射率倒数具有很好的相关性。由于受到更多因素的干扰, 与叶片层次的估测相比, 冠层叶绿素的估测对波段的选择更为严格。

(2) 利用冠层光谱反射率倒数可以建立冠层叶绿素含量的估测模型。模型的估测结果与野外实测数据拟合得较好 (图 3), 模型可以用来进行冠层层次的叶绿素含量估测。

(3) 使用实测冠层光谱进行估测的结果优于卫星影像数据进行的估测。使用卫星遥感数据获得的估测值略低于实验实测值, 其中大气对遥感卫星影像的影响是主要原因。因此, 影像的大气校正非常关键, 对估测精度影响较大。

参 考 文 献

- [1] Ustin S L, Smith M O, Jacquemoud S, et al. Manual of Remote Sensing: Remote Sensing for the Earth Sciences(3rd ed). New Jersey: John Wiley, Hoboken, 1998. 189.
- [2] Gitelson A A, Gritz Y, Merzlyak M N. Journal of Plant Physiology, 2003, 160: 271.
- [3] FANG Hui, SONG Hai-yan, CAO Fang, et al (方 慧, 宋海燕, 曹 芳, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(9): 1731.
- [4] Buschmann C, Nagel E. International Journal of Remote Sensing, 1993, 14: 711.
- [5] Gitelson A A, Merzlyak M N, Lichtenthaler H. Journal of Plant Physiology, 1996, 148: 501.
- [6] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S, et al. Remote Sensing of Environment, 2000, 74: 229.
- [7] Broge N H, Mortensen J V. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 45.
- [8] Dash J, Curran P J. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25: 5403.
- [9] Sims D A, Gamon J A. Remote Sensing of Environment, 2002, 81: 337.
- [10] Gitelson A A, Vina A, Ciganda V, et al. Geophysical Research Letter, 2005, 32, L08403.
- [11] Darvishzadeha R, Skidmore A, Schlerfa M, et al. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(5): 2592.
- [12] Jacquemoud S, Ustin S L, Verdebout J, et al. Remote Sensing of Environment, 1996, 56: 194.
- [13] Welles J M, Norman J M. Agronomy Journal, 1991, 83(5): 818.

Estimation of Canopy Chlorophyll Content Using Hyperspectral Data

DONG Jing-jing^{1,2}, WANG Li¹, NIU Zheng¹

1. The State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract Many researches have developed models to estimate chlorophyll content at leaf and canopy level, but they were species-specific. The objective of the present paper was to develop a new model. First, canopy reflectance was simulated for different species and different canopy architecture using radiative transfer models. Based on the simulated canopy reflectance, the relationship between canopy reflectance and canopy chlorophyll content was studied, and then a chlorophyll estimation model was built using the method of spectral index. The coefficient of determination (R^2) between spectral index based model and canopy chlorophyll content reached 0.75 for simulated data. To investigate the applicability of this chlorophyll model, the authors chose a field sample area in Gansu Province to carry out the measurement of leaf chlorophyll content, canopy reflectance and other parameters. Besides, the authors also ordered the synchronous Hyperion data, a hyperspectral image with a spatial resolution of 30 m. Canopy reflectance from field measurement and reflectance from Hyperion image were respectively used as the input parameter for the chlorophyll estimation model. Both of them got good results, which indicated that the model could be used for accurate canopy chlorophyll estimation using canopy reflectance. However, while using spaceborne hyperspectral data to estimate canopy chlorophyll content, good atmospheric correction is required.

Keywords Canopy chlorophyll content; Spectral index; Radiative transfer model

(Received Oct. 10, 2008; accepted Jan. 12, 2009)

* Corresponding author

(上接 3002 页)

July 2009

19-23 51st Rocky Mountain Conference on Analytical Chemistry,
Snowmass, CO;

Contact: E-mail: info@rockychem.com

Web site: <http://www.rockychem.com/>

August 2009

30-September 4 18th International Mass Spectrometry Conference (IMSC),
Bremen, Germany;

Contact: 18IMSC Secretariat, Institute of Chemistry, Brook-Taylor-Str. 2, 12489 Berlin, Germany; Fax: 49 30 2093 6985;

E-mail: office@imsc-bremen-2009.de

Web site: <http://www.imsc-bremen-2009.de/>

Short Courses

April 20-23, 2009 CETAC Technologies ICP-AES/ICP-MS Continuing Education Series;

Contact: Web site: http://www.cetac.com/news_events/icp-training.asp