

基于垂直植被指数的东北黑土区 玉米 LAI 反演模型研究

李凤秀^{1,2}, 张 柏¹, 宋开山¹, 王宗明¹, 刘焕军^{1,2}, 杨 飞^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 本文旨在探讨以不同波段组合垂直植被指数所建立的高光谱模型对玉米叶面积指数(Leaf Area Index, LAI)的反演精度。在不同水肥耦合作用条件下, 实测玉米冠层的高光谱反射率与叶面积指数数据以及裸土的高光谱反射率数据, 在高光谱红光波段(631~760 nm)与近红外波段(760~1 050 nm)逐波段构建土壤线, 并在此基础上构建垂直植被指数(Perpendicular Vegetation Index, PVI), 找出与 LAI 具有最佳相关性波段组合 PVI, 建立玉米 LAI 估算模型。结果显示, 采样波段间隔越窄, 反演精度越高, 在采样波段间隔 1.4 nm 的 PVI(R_{677} , R_{918})反演 2004 年的玉米 LAI 模型中, 最佳回归方程是指数函数, 精度达 91.1%, 标准差为 0.1997, RMSE=0.0399, 通过了 0.01 极显著验证。采用高光谱数据构建的 PVI 植被指数对玉米 LAI 的估算可以取得较高的精度。

关键词: 高光谱; 玉米 LAI; PVI; 土壤线

中图分类号: S127 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)03-0033-06

叶面积指数(LAI)是植被冠层结构的一个重要参数。它反映了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, 同时它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^[1], 而遥感技术优势在于为大区域研究植被叶面积指数提供了有效途径, 通过光学遥感技术间接获取 LAI 主要是利用植被指数方法。植被指数是由多光谱数据经线性和非线性组合而构成的对植被有一定指示意义的各种数值, 它定量地表明了植被活力。它比用单波段来探测绿色植被更具有灵敏性, 有助于增强遥感影像的解译力^[2]。当前常用的植被指数有比值植被指数(RVI)、归一化植被指数(NDVI)、调节土壤亮度植被指数(TSAVI)、缨帽变换中的绿度植被指数(GVI)、垂直植被指数等(PVI)^[3]。Driss Haboudane 等研究了不同植被指数与 LAI 之间的关系^[4]。田庆久等对已研究发展的许多植被指数进行了归纳分类, 评价其各自优势和局限性, 并探讨了未来的研究方向^[5]。刘伟东等分析了高光谱数据与水稻叶面积及叶绿素密度的相关性^[6]。唐延林等利用光谱法对水稻叶面积指数和叶片生化成分进行了研究^[7]。过去利用光谱植被指数法对玉米叶面积指数研究的文献尚少, 特别是垂直植被指数法在玉米中的应用就更鲜见。对比

RVI、NDVI、TSAVI、GVI 等植被指数, PVI 充分考虑了采样区域土壤背景的影响, 有效地避免了对遥感影像辐射校正精度的依赖和土壤调节系数难以确定等缺点。为此, 本文选择了垂直植被指数法对东北玉米 LAI 进行研究, 筛选出预测玉米 LAI 最佳波段组合的垂直植被指数和最优的预测估算模型, 不仅可以为利用光谱法监测玉米和预报其产量开辟新道路, 而且为东北地区玉米的遥感监测和精准农业作物长势信息的实时快速提取提供了重要的技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

在本研究中, 数据采集于 2004 年中国科学院海伦农业生态实验站。工作区主要集中于试验站综合试验场, 地理位置在 E126°38'、N47°26', 试验区面积为 18.62 hm²。站里开展的与本研究相关的试验为:“水肥耦合作用下玉米生长性状研究”, 水肥耦合共 16 个处理, 不同经营制度实验 9 个处理作为测试对象。小区面积 50.4 m²(长 12 m, 宽 4.2 m), 随机排列, 4 次重复, 试验地总面积 3 225.6 m²。小区与小区之间用防水材料隔离, 小区池埂用钢筋混凝土浇灌。其中水分处理依次为: 自然降水、适宜灌水、

收稿日期: 2007-09-27

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向性项目(KZCX3-SW-356); 中国长春净月潭遥感站网络站基金资助项目

作者简介: 李凤秀(1980-)男, 河南信阳人, 硕士, 研究方向为植被的高光谱生理参数反演。E-mail: lfx.edu.pop@126.com.

通信作者: 宋开山, E-mail: Songks@neigae.ac.cn.

充足灌水、干旱处理;施肥处理依次为:无肥、中肥、高肥、有机与无机结合。试验已开展了 12 年,试验方法和技术成熟,为本研究提供了稳定可靠的试验材料。

1.2 光谱采集方法

光谱测试采用美国分析光谱仪器公司 (Analytical Spectral Devices, ASD 公司) 生产的 ASD Field-Spec 野外便携式高光谱仪,可在 350~1 050 nm 波长范围内进行连续测量,采样间隔为 1.4 nm,光谱分辨率 3 nm,视场角 25°,共有 512 个波段。具体光谱采集方法见宋开山等人的文章^[8]。在本研究中,玉米的苗期(6月20日)、壮苗期(7月10日)、抽雄~吐丝期(7月28号)、灌浆期(8月15日)、乳熟期(9月5日)分时段进行了 5 次数据采集,共计获得 47 组数据。

1.3 叶面积指数采集方法

玉米叶面积指数的测定是采用美国 LI-COR 公司生产的 LAI-2000 进行。所有测试时间都选择在测试当日的清晨 6:30~9:00 点;下午的测试时间选择在 4:30~7:00 之间,尽量避免因太阳光线的直射而引起的测试误差。测试点与光谱采集点相同,使二者间一一对应。LAI-2000 冠层分析仪设置 1 个天空光,6 个测试目标值,探头佩带 45°张角的 CAP。测试时,背向阳光,沿一条垄的玉米根部开始,逐渐向垄沟方向移动,然后再移向另一个垄台玉米的根部,每个样测试两个数据,将其平均值作为一个样本的结果。

1.4 高光谱数据分析方法

通过对 1.4 nm 的原始光谱求平均值来获取 10、20、40 nm 波长间隔的光谱数据,然后对不同波长间隔的植被冠层反射光谱和土壤反射光谱的各个波段进行一系列的处理,生成垂直植被指数,选择对植物具有高反射的近红外波段和对植物具有强吸收的红色波段来分析植物的植被指数与叶面积的相关性。通过构建近红外与红色波段不同波段组合的垂直植被指数,并对其与叶面积指数进行相关性分析,确定 PVI 反演玉米的 LAI 的最佳波段组合。同时对比分析 1.4、10、20、40 nm 波长间隔的植被光谱反射率与 LAI 之间的关系,研究不同波段和波长间隔的光谱对植被叶面积的响应精度。

2 数据处理与分析

2.1 土壤线概念及计算

“土壤线”是指在由近红外波段和红色波段所构成的二维平面上,土壤背景的光谱数据基本上沿着

与这两个轴近似呈 45°的直线(即“土壤线”)分布^[9]。对每一种土壤而言,其红色波段与近红外波段的反射率值随土壤含水量及表面粗糙度的变化近似满足线性关系(土壤线)。此线性关系可用于对土壤反射率进行描述。土壤线的方程为^[10]:

$$\text{NIR} = aR + b \quad (1)$$

式中, NIR、R 分别代表土壤在近红外波段和红色波段的反射率; a、b 分别为土壤线的斜率和截距。

在红光和近红外的二维坐标系内,裸土光谱反射率在红光波段和在近红外波段相差不大,基本上沿与两轴平分线分布,而植被一般在 R 波段反射率低,在 NIR 波段光谱反射率相对较高,所以在红光和近红外二维坐标系内植被多位于土壤线的左上方,如图 1 所示。采集的裸土反射率数据光谱点与植被反射率数据光谱点能很容易的被区分开来。由于植被类型的不同、植被覆盖度的不同,导致了它们到土壤线的距离不同。于是, Richardson 和 Wiegand 将植物像元到土壤亮度线的垂直距离定义为垂直植被指数,表示为公式(2)^[11,12]:

$$\text{PVI} = \sqrt{(S_R - R_R)^2 + (S_{\text{NIR}} - R_{\text{NIR}})^2} \quad (2)$$

式中, S_R , S_{NIR} 分别为土壤在红波段和近红外波段的反射率; R_R , R_{NIR} 分别为任一包含植被的像元的红波段和近红外波段的反射率。PVI 的另一种表达形式为:

$$\text{PVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - a\rho_{\text{Red}} - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad (3)$$

式中, ρ_{NIR} 表示近红外反射率; ρ_{Red} 表示红光反射率; a、b 表示土壤线的斜率和截距。

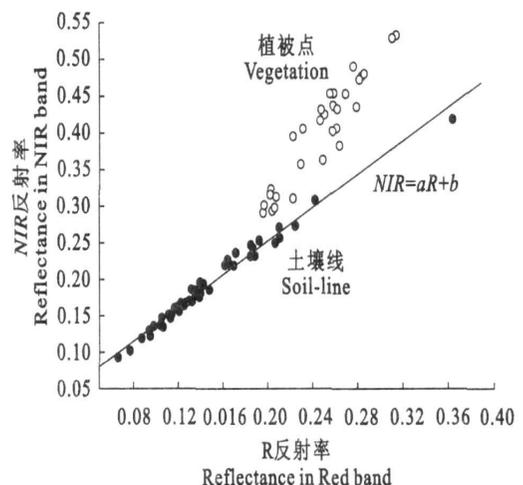


图 1 二维土壤光谱线

Fig. 1 Two dimensional soil line

2.2 玉米冠层光谱在整个生长期的变化

图2中只选取了47组光谱曲线中有代表性的5组(由于图例的局限性)来说明玉米在不同生长期光谱曲线的变化趋势。由图2可见,不同生长期的玉米冠层光谱反射率呈现“同中有异”的现象,即反射率总的趋势保持一致,在局部波段区域差异较大,其光谱曲线具有一般健康植被光谱的“峰和谷”特征,即在可见光波段的“绿峰”、红光低谷、近红外高原区,这是绿色植物所特有的^[13,14]。玉米冠层光谱在550 nm左右出现的反射峰和在670 nm前后出

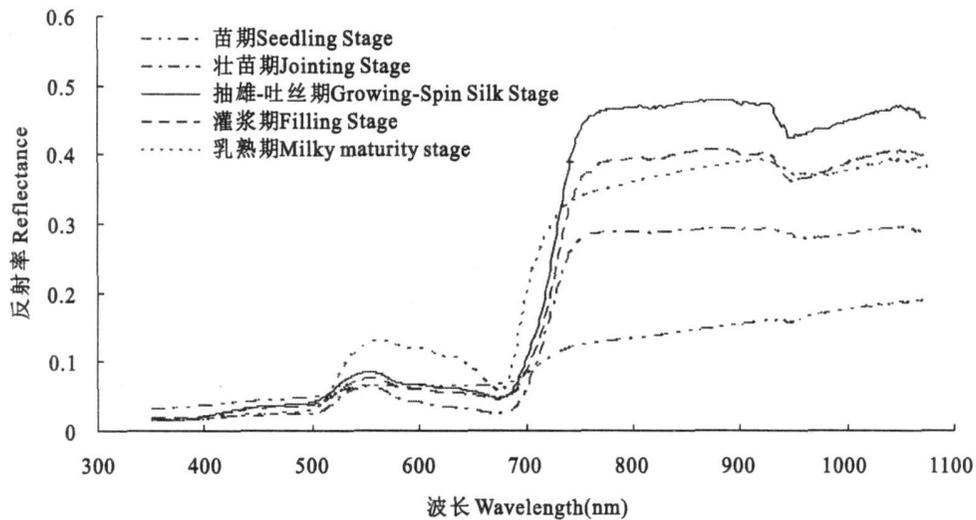


图2 2004年玉米光谱曲线随生长期的变化趋势

Fig.2 Chang trend of corn reflectance with growth stage

从整个光谱曲线来看,最大差异性波段位于作物绿色反射峰区与近红外区,而其它不同生长期的玉米光谱反射率差异相对较小。在整个近红外波段,随着玉米生长期的推移光谱反射率在不断地提高,到了7月28号左右达到最大,随后玉米的光谱反射率开始下降。以上只是从感观上分析了玉米在整个生长期冠层反射光谱特征,下文将从光谱分析技术出发来进一步研究玉米光谱反射率与叶面积的关系。

2.3 PVI与LAI相关性分析

PVI的显著特点是较好地滤除了土壤背景的影响,且对大气效应的敏感程度也小于其它植被指数。本文着重分析了高光谱红波段(631~760 nm)与近红外波段(760~1 050 nm)的不同波段组合的PVI,如图3。

从图3可以看出在红光波段(631~691 nm)与近红外波段(760~1 050 nm)组合构建的PVI与LAI具有较好的相关性,相关系数变化比较平稳,且在

现的反射低谷,主要是由于以叶绿素为主的色素强烈吸收红光和相对反射绿光造成的。从670 nm到760 nm,光谱反射值随波长的增加急剧升高,反射率具有陡峭的剧增特点。从760 nm开始,光谱反射值缓慢增加,几乎呈水平状态,形成了一个较高的稳定的反射平台,这主要有植物叶子内部结构多次反射、散射的结果。波长超过900 nm时,玉米反射光谱曲线变的不规则是由于此区正好位于大气水分吸收带,因而使得光谱反射率降低且变化不规则^[15]。

0.90附近,基本上呈现一个高平台区域,最大的相关系数发生在红光波长677 nm和近红外波长918 nm的组合,达0.93。由红光波段(691~731 nm)和近红外波段(760~1 050 nm)组合构建的PVI与LAI的相关系数缓慢下降,但波动幅度有所增加;对于红光波段(731~760 nm)范围内的任何一个波长,其反射率与近红外波段(760~1 050 nm)范围内各波长反射率组合的PVI与LAI的相关系数变化均由正转负,且降幅逐渐增大;在红光756 nm和近红外987 nm处组合的PVI与LAI的相关性达到最大负相关,相关系数的绝对值接近0.85。总体上看,正相关系数绝对值大于负相关系数绝对值,PVI与LAI的相关性最佳波段位于红光波段(660~687 nm)和近红外波段(789~1 050 nm),相关系数绝对值都在0.90以上。

由以上分析可知,在由红光波段与近红外波段所构建的18 382个PVI中,PVI(R_{677} , R_{918})与LAI具

有最好的相关性,且与 LAI 存在最佳指数函数拟合关系,而用其它常用波段和最佳函数来拟合 PVI 与

LAI 同样存在较好的关系,但是效果不如 PVI(R_{677} , R_{918}),具体结果见图 4 和表 1。

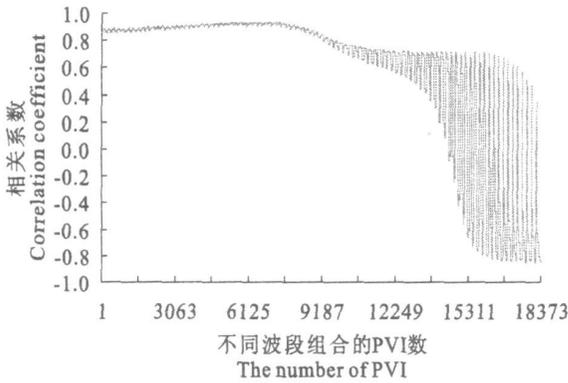


图 3 2004 年玉米的 PVI 与 LAI 的相关分析

Fig. 3 Correlation between corn LAI and PVI

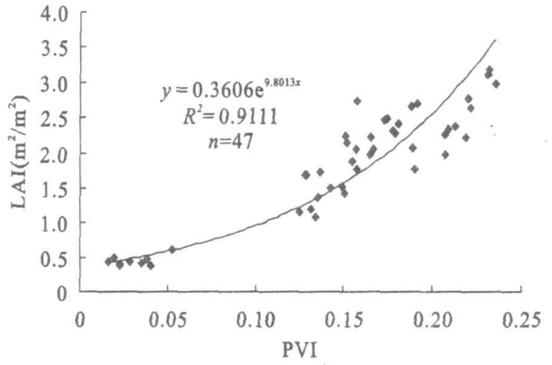


图 4 2004 年玉米的 LAI 与 PVI 之间的拟合关系

Fig. 4 Fitted relationship between corn LAI and PVI

注:图 3 是 1.4 nm 间隔高光谱数据各个波段的 PVI 与 LAI 的相关性曲线, x 轴表示不同波段组合的 PVI 的个数,顺序是分别用近红外各个波段减红光各个波段(近红外 760~1 050 nm 各个波段从小到大依次与红光第一波段做处理,然后近红外 760~1 050 nm 的各个波段依次与红光第二波段做处理,依次类推。)(图 5 图 7 图 9 与此类似)

Note: Figure 3 is the correlation curve about PVI and LAI of 1.4 nm interval hyperspectral data in various band. x axes represents the amounts of PVI, in order; red subtracts from near infrared(near infrared 760~1 050 nm subtracts the first band in red infrared, then near infrared 760~1 050 nm subtracts the second band in red, one by one. (Figure 5, Figure 7 and Figure 9 are similar as Figure 3)

表 1 2004 年玉米部分波段构建的 PVI 与 LAI 的回归分析结果

Table 1 Regression analysis result of PVI constructed with some wavelength corn LAI in 2004

PVI 采用波段 Bands of PVI	非线性回归模型 Nonlinear regression model	确定性系数 R^2 Determination coefficient	线性回归模型 Linear regression model	确定性系数 R^2 Determination coefficient
$R_{677} \sim R_{918}$	$y = 0.3606e^{9.8013x}$	0.9111	$y = 11.87x + 0.0504$	0.8708
$R_{700} \sim R_{790}$	$y = 7.1936x^{0.6989}$	0.7553	$y = 8.7422x + 0.5859$	0.6350
$R_{710} \sim R_{780}$	$y = 6.0892x^{0.5549}$	0.6370	$y = 8.5883x + 0.8135$	0.5537
$R_{710} \sim R_{800}$	$y = 6.1598x^{0.5504}$	0.6484	$y = 8.8642x + 0.8146$	0.5626
$R_{750} \sim R_{1050}$	$y = -704.51x^2 - 87.702x - 0.5036$	0.5939	$y = -28.5x + 0.4468$	0.4796

图 3 也表明,PVI 与 LAI 具有较好的相关性,但是不同的波段组合之间也存在较大的差异,有正有负,从最大正相关逐步过渡到负相关。在红光波段(731~760 nm)和近红外波段(760~1 050 nm)组合构建的 PVI 与 LAI 的相关性正负来回跌宕,主要是因为红光波段(731~760 nm)处于红光肩区,具有较高的反射率,特别是 760nm 附近的反射率基本接近近红外高反射平台区的反射率,而波长超过 900 nm 时,正好存在一个大气水分吸收带,玉米的反射率反而明显地下降。除此之外,土壤线的斜率一般大于 1,根据公式(3)计算出来的某些波段组合

的 PVI 就很有可能全部为负值了,从而导致其与 LAI 的负相关性。这与正常情况下玉米的植被指数与 LAI 呈正相关并不矛盾。因此用 PVI 估算 LAI 时应注意波段组合的选择。

从图 5、7、9 可以看出,波段采样间隔越大,红光波段和近红外波段组合的 PVI 与 LAI 的相关性越趋于平稳,但是最佳模型的反演精度趋于降低。10, 20, 40 nm 构建的 PVI 与 LAI 最佳波段组合也都在 677 nm 与 918 nm 附近,由此说明该波长或其附近波段组合是比较稳定可靠的,可以用此波段组合的 PVI 来反演 LAI。

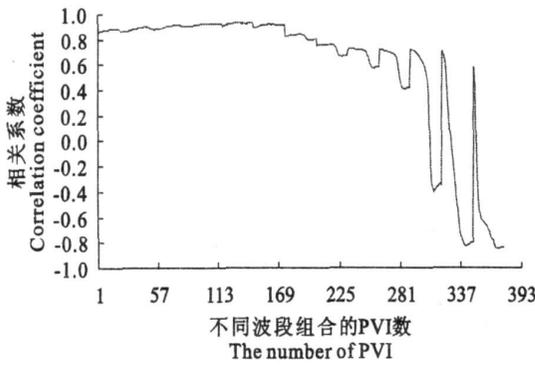


图5 2004年玉米的PVI与LAI的相关分析

Fig.5 Correlation between corn LAI and PVI

注:图5是通过对1.4 nm的原始光谱重采样获取10 nm波长间隔的光谱数据,最佳波段组合PVI(R_{675}, R_{917})。

Note: Figure 5 is the hyperspectral data of 10 nm interval, which was resampled from 1.4 nm original data, the best band combination for PVI are 675 nm and 917 nm.

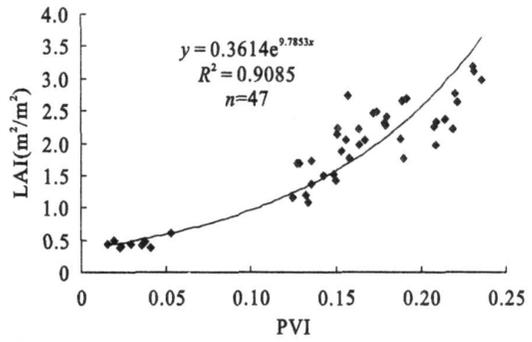


图6 2004年玉米的LAI与PVI之间的拟合关系

Fig.6 Fitted relationship between corn LAI and PVI

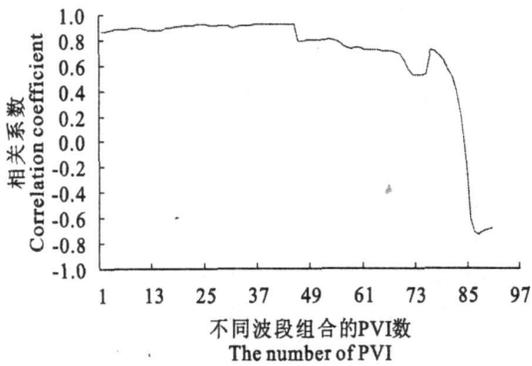


图7 2004年玉米的PVI与LAI的相关分析

Fig.7 Correlation between corn LAI and PVI

注:图7是通过对1.4 nm的原始光谱重采样获取20 nm波长间隔的光谱数据,最佳波段组合PVI(R_{680}, R_{922})。

Note: Figure7 is the hyperspectral data of 20 nm interval, which was resampled from 1.4 nm original data, the best band combination for PVI are 680 nm and 922 nm.

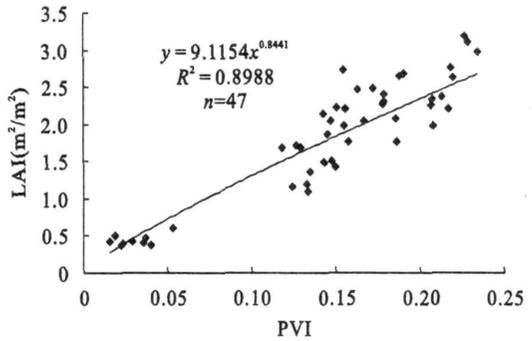


图8 2004年玉米的LAI与PVI之间的拟合关系

Fig.8 Fitted relationship between corn LAI and PVI

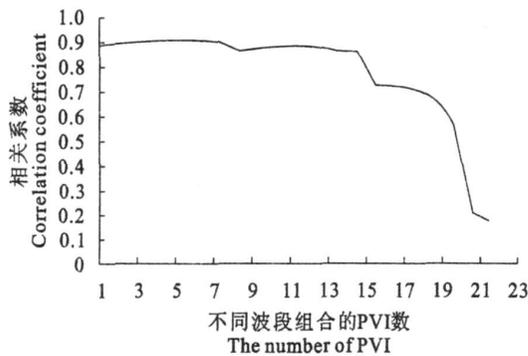


图9 2004年玉米的PVI与LAI的相关分析

Fig.9 Correlation between corn LAI and PVI

注:图9是通过对1.4 nm的原始光谱重采样获取40 nm波长间隔的光谱数据,最佳波段组合PVI(R_{650}, R_{932})。

Note: Figure 9 is the hyperspectral data of 40 nm interval, which was resampled from 1.4 nm original data, the best band combination for PVI are 650 nm and 932 nm.

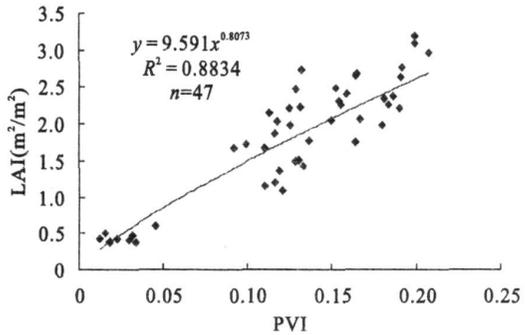


图10 2004年玉米的LAI与PVI之间的拟合关系

Fig.10 Fitted relationship between corn LAI and PVI

表 2 2004 年玉米最佳波段组合的 PVI、NDVI、RVI 与玉米 LAI 的回归分析比较

Table 2 The comparison of regression analysis between the PVI, NDVI and RVI constructed with the best wavelength and the LAI of corn in 2004

植被指数 Vegetation index	最佳波段 The best bands	最佳模型 The best model	确定性系数 Determination coefficient	标准差 Standard deviation	均方根误差 Mean root square error
PVI	$R_{677} \sim R_{918}$	$y = 0.3606e^{9.8013x}$	0.911	0.1997	0.0399
NDVI	$R_{760} \sim R_{990}$	$y = 2.1032e^{-9.5853x}$	0.727	0.3498	0.1224
RVI	$R_{760} \sim R_{1001}$	$y = 126.98e^{-4.0538x}$	0.749	0.3354	0.1125

2.4 模型验证

模型精度主要是通过估算值与实测值的相关系数 (r) 和估算的误差均方根 RMSEP (Root Mean Square Error Predict) 来验证。RMSEP 计算公式为:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - y_i)^2}{n - p - 1}}$$

式中, Y_i , y_i 分别为估算值和实测值, p 是自由度。

估算的结果表明: 模型 $y = 0.3606e^{9.8013x}$ 的叶面积指数估算值与实测值相关系数为 0.911, 标准差为 0.1997, RMSEP 为 0.0399, F 为 460.9, 通过了 0.01 的极显著验证。

3 结论与讨论

通过田间小区实验, 对搜集到的东北黑土区玉米整个生长季光谱反射数据和裸土光谱反射率数据进行一系列的处理, 构建了不同波段组合的垂直植被指数, 并与 LAI 进行相关分析, 得出以下结论:

1) PVI 比 NDVI、RVI 与 LAI 具有更好的相关性, 在反演植被的叶面积时具有一定的优势。PVI 能够除去土壤背影的影响, 对大气效应不甚敏感, 用 PVI 反演玉米的整个生长季的叶面积指数, 能达到较高的精度。

2) 通过 PVI 反演叶面积指数, 波段的选择尤其重要。在东北黑土区以红光波段与近红外波段构建的所有 PVI 中, PVI (R_{677} , R_{918}) 与 LAI 具有最好的相关性和最佳的指数拟合关系, 相关系数达 0.93, 指数函数模型确定性系数达 0.911, RMSEP 为 0.0399, 通过了 0.01 的极显著验证。

3) 以窄波段高光谱构建的 PVI 在反演叶面积时具有一定的优势, 它不仅能够提高反演精度, 而且还能够确定植被生理参数的诊断光谱, 因此以高光谱构建的 PVI 能够较精确地预测玉米叶面积指数。

参考文献:

- [1] 浦瑞良, 宫 鹏. 高光谱遥感及其应用 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000. 123-144.
- [2] 惠凤鸣, 田庆久, 金震宇, 等. 植被指数与叶面积指数关系研究及量化分析 [J]. 遥感信息, 2003, (2): 10-13.
- [3] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [4] Driss Haboudane, John R. Miller, Elizabeth Pattey, et al. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture [J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90: 337-352.
- [5] 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.
- [6] 刘伟东, 项月琴, 郑兰芬, 等. 高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析 [J]. 遥感学报, 2000, 4(4): 279-283.
- [7] 唐延林, 王人潮, 黄敬峰. 水稻叶面积指数和叶面生化成分的光谱法研究 [J]. 华南农业大学学报 (自然科学版), 2003, 24(1): 5-7.
- [8] 宋开山, 张 柏, 王宗明, 等. 基于神经网络的大豆叶面积高光谱反演研究 [J]. 中国农学科学, 2006, 39(6): 1138-1145.
- [9] 李智广, 曾大林. 浅谈基于 GIS 的区域土壤侵蚀遥感快速调查技术 [J]. 中国水土保持, 1999, (10): 38-39.
- [10] 李开丽, 倪绍祥, 扶卿华. 垂直植被指数及其解算方法 [J]. 农业化研究, 2005, 2(3): 84-89.
- [11] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from soil background information [J]. Remote Sensing of Environment, 1977, (8): 307-312.
- [12] 张 超, 王纪华, 赵春江, 等. 利用多时相遥感影像检测季节性裸露农田 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(11): 90-94.
- [13] Lillesand T M, Kiefer R W. Remote Sensing and Image Interpretation [J]. New York: John Wiley & Sons. Inc. 1994. 17-50.
- [14] 刘占宇, 黄敬峰, 吴新宏, 等. 天然草地植被覆盖度的高光谱模型的估算模型 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(6): 999-1002.
- [15] 宋开山. 玉米、大豆高光谱与偏振反射特征研究 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005. 28-31.

(英文摘要下转第 54 页)

The effect of mulching on soil water storage and grain yields of maize and their mechanisms

TAN Jun-li^{1,2}, WANG Lin-quan¹, LI Sheng-xiu¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources, CAS, Beijing 100100, China)

Abstract: Mulching was widely applied in agricultural activity of arid and semi-arid area. The micro-field trials (with rainproof) were carried out to investigate the effect of mulching on water storage and grain yields of maize in 2003 and 2004. In the trials, two tillage systems were designed including growing maize and fallow as main treatments. Every main treatment was divided into mulching and no mulching. The mulching material was wheat straw in 2003, and plastic film in 2004. The results showed that surface mulching of straw and plastic film increased the maize yield and water use efficiency as well. However, there was significant difference between wheat straw and plastic film. Plastic film mulching increased yield and water use efficiency significantly; straw mulching could increase the soil water conservation, but the yield increase was small. In fallow treatment, straw and film mulching conserved 10.2 and 7.4 mm more water than bare land respectively in the 0~60 cm soil profiles. Under growing maize systems, straw mulching could conserve 16.1 mm more soil water than no mulching, and plastic film mulching consumed 13.0 mm more soil water than no mulching. While different mulching materials had different influences on nitrate distribution in the soil profile. Under fallow trial, soil nitrate content in the 0~40 cm soil profile with wheat straw mulching was lower than bare land, but it was higher with mulching of plastic film than no mulching; under planting systems, the nitrate content decreased in the 0~40 cm top soil of straw mulching and plastic film mulching compared to no mulching.

Keywords: surface mulching; summer maize; nitrate content; soil water storage

(上接第 38 页)

Retrieval model for estimating corn LAI in black soil region of Northeast China based on Perpendicular Vegetation Index

LI Feng-xiu^{1,2}, ZHANG Bai¹, SONG Kai-shan¹,
WANG Zong-ming¹, LIU Huan-jun^{1,2}, YANG Fei^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130012, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: An experiment was carried out to evaluate the precision of hyperspectral reflectance models based on Perpendicular Vegetation Index (PVI) which is formed by various bands for monitoring corn leaf area index (LAI). Corn was cultivated under different water-fertilizer coupled control conditions and corn LAI was collected simultaneously with LI-COR LAI-2000, while corn canopy reflectance data and bare soil reflectance data were collected with ASD spectroradiometer (350~1 050 nm). At first, each band of NIR and red was applied to establish soil-line, based on which PVI could be established, then to find out the best band for PVI; and then, PVI with the best reflectance band was applied to regress against corn LAI. The result showed that the sampling wave band gap was narrower, and the accuracy of retrieved was better. The best corn LAI model retrieved by sampling 1.4 nm interval PVI in 2004 was exponential model, and the accuracy of estimation exponential model of LAI established with the wave went up to 91.1%, and the standard error was 0.1997, RMSE = 0.0399, which is qualified for 0.01 level. The PVI vegetation index established by hyperspectral data can highly estimate the corn LAI.

Keywords: hyperspectral; corn LAI; PVI; soil-line