

袁媛, 瑚波, 武兴厚, 等. 夏玉米植被指数与叶面积指数的关系研究 [J]. 陕西气象, 2015 (3): 24-28.

文章编号: 1006-4354 (2015) 03-0024-05

# 夏玉米植被指数与叶面积指数的关系研究

袁媛<sup>1,2</sup>, 瑚波<sup>1</sup>, 武兴厚<sup>1</sup>, 赵婷<sup>1</sup>

(1. 丹凤县气象局, 陕西丹凤 726200; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西杨凌 712100)

**摘要:** 利用 ASD 便携式地物光谱仪和 SunScan 冠层分析仪实测了陕西杨凌区和扶风县夏玉米关键生育期冠层光谱反射率及叶面积指数 (LAI), 对归一化植被指数 (NDVI)、比值植被指数 (RVI) 和差值植被指数 (DVI) 与叶面积指数进行了相关性分析, 建立了基于三种植被指数的 LAI 估算模型, 并进行精度检验。结果表明: 基于抽穗期和蜡熟期 NDVI 以及灌浆期 RVI 的 LAI 估算模型的均方根差和相对误差较低, 模拟效果较好。结果对夏玉米生长状况及病虫害监测、产量预测以及田间管理具有参考价值。

**关键词:** 叶面积指数; 植被指数; 夏玉米

**中图分类号:** TP79

**文献标识码:** A

叶面积指数 (LAI) 被定义为单位土地面积上植物所有叶片表面积的总和占土地面积的倍数, 是反应植物冠层结构的重要农学参数, 它可提供植被长势及健康状况的实时信息, 也可作为植被的重要栽培生理参数来衡量植被群体是否合理, 一定时期内它代表植被群体的光合势, 影响其最终产量<sup>[1]</sup>。利用光谱仪能准确、快速、无损地监测作物生长状况和估算作物产量, 为大面积及时动态获取作物的 LAI 提供可行的方法, 成为监测 LAI 变化的有效途径<sup>[2]</sup>。目前国内外学者都十分重视 LAI 的遥感监测, 王秀珍等<sup>[3]</sup>研究发现 LAI 与群体反射率及其一阶微分具有良好的相关性, 并提出 671 nm 及 682 nm 反射率与 LAI 相关性最好。宋开山等<sup>[4]</sup>研究发现, 760 nm 与 550 nm 反射率所构成的比值植被指数和大豆 LAI 呈幂函数关系。张学艺等<sup>[5]</sup>对宁夏灌区春小麦 LAI 与 10 种植被指数间的相关性进行了分析, 研究发现用分段函数模拟全生育期 LAI 才能达到最佳效果。Patel 等<sup>[6]</sup>利用作物反射光谱波形特征对作物的 LAI 进行了反演。

Nguyen 等<sup>[7]</sup>研究表明归一化植被指数、土壤调节植被指数和修正后的土壤调节植被指数与水稻 LAI 有较好的相关性。

利用试验测量数据估测陕西杨凌区和扶风县夏玉米不同生育期 LAI, 选取红光 (630~690 nm) 和近红外 (760~900 nm) 范围内光谱平均值计算归一化植被指数 (NDVI)、比值植被指数 (RVI) 和差值植被指数 (DVI), 分析其与夏玉米 LAI 在不同生育期的相关关系, 建立基于植被指数的 LAI 估算模型, 探索快速准确估测夏玉米 LAI 的方法, 为卫星遥感技术在夏玉米长势监测中的应用提供重要技术支撑。

## 1 资料与方法

### 1.1 样品采集

试验分别在陕西省杨凌区揉谷镇石家村、扶风县马席村和巨良农场进行, 选取 2013 年夏玉米不同生育期 (抽穗期 8 月 13 日、灌浆期 8 月 31 日、蜡熟期 9 月 16 日) 进行测定。在各试验区选取具有代表性的夏玉米田块, 将选定的田块根据长势分为 5~6 块小区, 在每个小区选择 3 个具有代

**收稿日期:** 2014-12-04

**作者简介:** 袁媛 (1988—), 女, 陕西商洛人, 汉族, 硕士, 助理工程师, 从事 3S 技术在农业中的应用研究。

**基金项目:** “十二五” 国家科技支撑计划资助项目 (2012BAH29B04), 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目 (20120204110013)

表性的样本点,测定夏玉米冠层光谱,并在相应叶片范围内同步采集测定 LAI 等数据信息。

### 1.2 冠层光谱测定

选择晴朗无云、无风或风力小于 1 级的天气,在北京时间 10:00—14:00 间,采用美国 ASD 公司生产的便携式地物光谱仪对夏玉米冠层进行光谱测定。每次采集光谱前后都必须进行标准白板校正,光谱采样以 10 个光谱为一个采样光谱,每次记录 5 个采样光谱,以其平均值作为该样本点的最终光谱反射值,然后摘取所测光谱值的叶片带回实验室测定室内光谱。

### 1.3 冠层叶面积指数测定

LAI 是利用英国 Delta-T Devices 公司生产的 SunScan 冠层分析仪进行测定的,根据冠层吸收的 Beer 法则、Wood 的 SunScan 冠层分析方程以及 Campbell 的椭圆叶面角度分布方程,使用光量子传感器来测量、计算和分析植物冠层截获和穿透的光合有效辐射及 LAI。利用 SunScan 冠层分析仪进行测定应在一天当中太阳高度角最高的时刻,一般以 12:00—14:00 为宜,且测量时需要稳定的晴天。

### 1.4 数据处理

利用光谱数据处理软件 ViewSpec Pro5.0、Excel 和 SPSS 软件对采集的数据进行处理分析及计算。由于在实际采样时光谱间隔具有离散性,因此对反射光谱进行一阶微分,用差分方法计算,公式如下<sup>[8]</sup>

$$R'(\lambda_i) = \frac{d(R(\lambda_i))}{d\lambda} = \frac{R(\lambda_{i+1}) - R(\lambda_{i-1})}{2\Delta\lambda} \quad (1)$$

式中  $\lambda_i$  为每个波段的波长值; $R(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处的实测光谱反射率; $R'(\lambda_i)$  为波长  $\lambda_i$  处的一阶导数光谱; $\Delta\lambda$  为波长  $\lambda_{i-1}$  到  $\lambda_i$  的差值,由光谱采样间隔决定。

将 30 个样本分成两组,前 20 个样本用来确定估测模型,后 10 个用来验证模型。

为检验估测值的估测精度,利用试验实测数据来验证建立的反演模型的普适性,将模型估测值和地面实测值回归拟合,以反演模型的决定系数  $R^2$ 、 $F$  值、均方根误差(RMSE)和相对误差(RE)作为主要依据来评价模型的验证结果。式(2)为 RMSE 的

计算公式,式(3)为 RE 的计算公式<sup>[9]</sup>

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$RE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i} \times 100\% \quad (3)$$

其中, $\hat{y}_i$  和  $y_i$  分别代表估测值和实测值, $n$  为样本数量。

研究主要选取植被指数中的 NDVI、RVI 和 DVI 对夏玉米 LAI 进行估算反演,从中选取最佳拟合模型,计算公式<sup>[10-12]</sup>

$$I_{NDV} = (R_{NIR} - R_{Red}) / (R_{NIR} + R_{Red}) \quad (4)$$

$$I_{RV} = R_{NIR} / R_{Red} \quad (5)$$

$$I_{DV} = R_{NIR} - R_{Red} \quad (6)$$

## 2 结果分析

### 2.1 夏玉米不同生育期冠层光谱变化规律

受植物种类、表面结构、生长季节和营养状况等因素的影响,植物的反射光谱特征不同,形成反射光谱曲线的差异<sup>[13]</sup>。夏玉米自播种、发芽直至最终收获,一般经历出苗期、拔节期、抽穗期、抽雄期、开花吐丝期、籽粒形成期、灌浆期和成熟期,成熟期分为乳熟期、蜡熟期和完熟期三个时期。选取夏玉米三个关键生育期依次为抽穗期、灌浆期和蜡熟期,以马席村夏玉米为例分析不同生育期冠层光谱的变化规律(见图 1)。

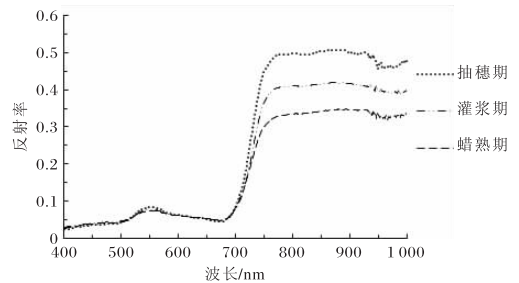


图 1 不同生育期夏玉米冠层光谱反射率特征曲线

从图 1 可以看出,夏玉米在不同生育期的光谱曲线都具有一般健康植被“峰和谷”的光谱特征,即在可见光波段的“绿峰”、“红谷”、近红外“高原区”,都是绿色健康植被所特有的现象<sup>[14]</sup>。其光谱特征呈现明显规律性变化且各生长阶段存在差异性,即反射率总体趋势保持一致,但在局部波段具有一定差异性,这是由于不

同生长阶段冠层覆盖度及叶片的生物理化成分发生变化<sup>[15]</sup>。在可见光波段抽穗期、灌浆期和蜡熟期反射率几乎相同,在近红外区随着生育期的推移反射率逐渐下降。具体可划分为五段:第一段是400~500 nm之间,由于蓝紫光绝大部分被植物吸收,所以在这个波段范围内反射率较低,三个时期大致相同,只有0.02~0.05;第二段是500~600 nm之间的黄绿光,是一个弱活性带,植物叶片吸收较少,在“绿峰”处(550 nm)抽穗期反射率略微高于其它两个时期,在0.08左右;第三段是600~680 nm之间的红橙光,“红谷”处(680 nm)是叶绿素的强吸收带,反射率很小,三个时期都在0.05左右;第四段是“红边”区域(680~760 nm)过滤阶段,各个生育期的反射率急剧上升,并在760 nm后基本稳定,在这个阶段各生育期的反射率发生了明显变化,抽穗期的反射率在0.5左右,灌浆期和蜡熟期的反射率分别在0.4和0.35左右;第五段是近红外波段(大于760 nm),各个生育期的反射率特征曲线都比较平缓并带有波状起伏的特点,随着生育期的推移,叶面积逐渐减少,冠层结构发生变化,植物器官、组织也随之老化,反射率在近红外区随之不断递减。

## 2.2 植被指数与夏玉米叶面积指数的相关性

表2为夏玉米不同生育期植被指数(NDVI、RVI、DVI)与LAI的相关系数,从表中可以看出从抽穗期到蜡熟期随着生育期的推移,植被指数与LAI显著性不断增强。抽穗期三种植被指数与LAI相关系数均未达到显著水平;灌浆期NDVI和RVI的相关系数通过0.10显著性检验,DVI的相关系数通过0.01显著性检验达到极显著相关;蜡熟期NDVI和RVI的相关系数通过0.05

表2 夏玉米不同生育期植被指数与LAI相关系数

植被指数	抽穗期	灌浆期	蜡熟期
NDVI	0.259 64	0.310 53	0.421 93*
RVI	0.258 03	0.347 06	0.438 11*
DVI	0.256 02	0.643 76**	0.466 39**

注:样本数  $n=30$ ,\*表示通过0.05显著性检验,\*\*表示通过0.01显著性检验。

显著性检验达到显著相关,DVI的相关系数通过了0.01显著性检验达到极显著相关。

## 2.3 基于植被指数的夏玉米叶面积指数估算模型与精度检验

对夏玉米不同生育期LAI与植被指数NDVI、RVI、DVI进行回归拟合,构建抽穗期、灌浆期和蜡熟期的LAI遥感估测模型,选择决定系数 $R^2$ 和 $F$ 值综合较高的回归方程,来作为LAI的估测模型(如图2)。表3为各生育期选择出的LAI估测模型,从表3可知,基于植被指数的夏玉米不同生育期LAI的回归估测模型

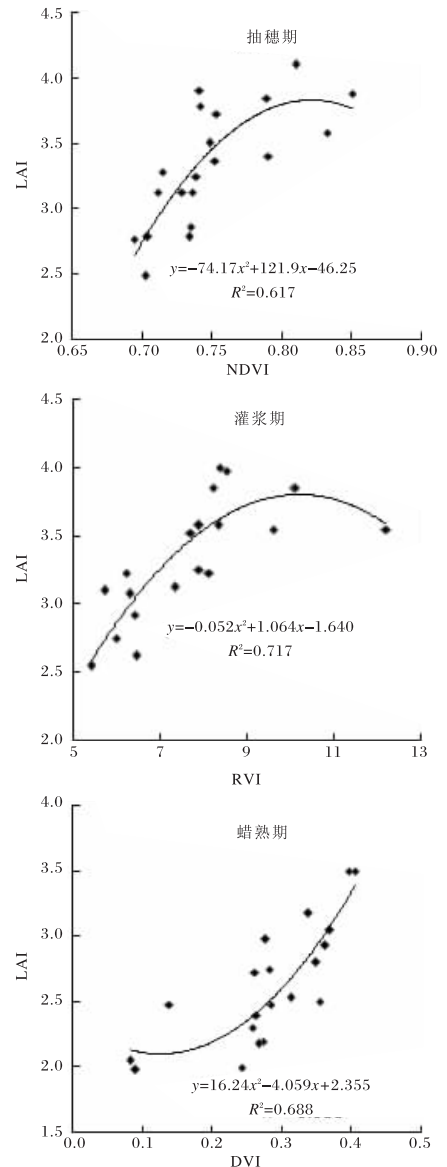


图2 夏玉米不同生育期LAI与植被指数最佳回归方程

中, 灌浆期 RVI 的回归模型拟合效果最好。采用 RMSE 以及 RE2 个指标对表 3 中的遥感估算回归模型作精度检验, 利用石家村和巨良农场监测数据检验马席村监测数据所构建的模型精度

(见表 4)。由表 4 可知, 夏玉米抽穗期、灌浆期和蜡熟期分别以基于 NDVI、RVI、NDVI 的回归模型精度检验的 RMSE 和 RE 最低, 这些模型在卫星遥感中可以推广应用。

表 3 夏玉米不同生育期 LAI 与植被指数回归模型

生育期	植被指数	拟合方程	决定系数	F 值
抽穗期	NDVI	$y = -74.17x^2 + 121.9x - 46.252$	0.617 4	13.717
	RVI	$y = -0.053 6x^2 + 1.095 7x - 1.653 1$	0.583 7	11.916
	DVI	$y = 87.049x^2 - 54.5x + 11.465$	0.532 7	9.688
灌浆期	NDVI	$y = -47.565x^2 + 80.877x - 30.603$	0.675 4	17.659
	RVI	$y = -0.052 1x^2 + 1.064 1x - 1.640 9$	0.717 2	21.508
	DVI	$y = -32.475x^2 + 30.56x - 3.350 7$	0.578 9	11.683
蜡熟期	NDVI	$y = 9.154 2x^2 - 7.978 6x + 3.668 4$	0.532 8	9.695
	RVI	$y = 0.024x^2 - 0.082 2x + 2.189 3$	0.616 7	13.678
	DVI	$y = 16.248x^2 - 4.059 6x + 2.355 6$	0.688 0	18.747

表 4 夏玉米不同生育期 LAI 植被指数遥感估算模型拟合精度检验

生育期	植被指数	均方根差	相对误差/%
抽穗期	NDVI	0.293	6.12
	RVI	0.295	6.28
	DVI	0.356	8.12
灌浆期	NDVI	0.434	11.39
	RVI	0.345	8.10
	DVI	0.441	12.15
蜡熟期	NDVI	0.197	5.19
	RVI	0.293	7.86
	DVI	0.426	11.44

### 3 结论

不同生育期夏玉米 LAI 与植被指数 (NDVI、RVI、DVI) 的相关系数随生育期的推移不断增加, 灌浆期 DVI 呈极显著相关, 蜡熟期 NDVI 和 RVI 呈显著相关、DVI 呈极显著相关。抽穗期和蜡熟期 LAI 与 NDVI 的拟合效果较好, 灌浆期 LAI 与 RVI 的拟合效果较好。

在前人研究的基础上基于植被指数和 LAI 实测数据所构建的估算模型, 经精度检验 RMSE 和 RE 相差较小, 对于同一生态区的夏玉米具有一定

的估测精度和普适性, 为大面积及时动态获取 LAI 提供了一个可行的方法, 对于其他生态区、不同种类的作物同样具有一定的应用和借鉴意义。

### 参考文献:

- [1] 姚付启. 冬小麦高光谱特征及其生理生态参数估算模型研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
- [2] Blackburn G A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66 (3): 273-285
- [3] 王秀珍, 王人潮. 微分光谱遥感及其在水稻农学参数测定上的应用研究 [J]. 农业工程学报, 2002, 18 (1): 9-13.
- [4] 宋开山, 张柏, 李方, 等. 高光谱反射率与大豆叶面积及地上鲜生物量的相关分析 [J]. 农业工程学报, 2005, 21 (1): 36-40.
- [5] 张学艺, 张磊, 黄峰, 等. 宁夏灌区春小麦叶面积指数的动态模拟研究 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (1): 199-202.
- [6] Patel N, Patnaik C, Dutta S, et al. Study of crop growth parameters using airborne imaging spectrometer data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22 (12): 2401-2411.

李鹏飞, 鲁海宁, 陈莹, 等. 青藏高原与全国气温特征及相关性分析 [J]. 陕西气象, 2015 (3): 28-31.

文章编号: 1006-4354 (2015) 03-0028-04

# 青藏高原与全国气温特征及相关性分析

李鹏飞<sup>1</sup>, 鲁海宁<sup>2</sup>, 陈莹<sup>3</sup>, 姜苏<sup>1</sup>

(1. 南京信息工程大学, 中国气象局气溶胶与云降水重点开放实验室, 南京 210044;

2. 东海县气象局, 江苏东海 222300; 3. 富阳市气象局, 浙江富阳 311400)

**摘要:** 利用 1961—2010 年青藏高原 91 个观测站以及全国 320 个观测站逐日气温资料, 采用统计方法对青藏高原与全国气温变化及其相关性进行对比分析, 结果表明: 青藏高原与全国年均气温之间有良好的相关性; 青藏高原与全国年平均气温均变暖趋势明显, 其中青藏高原年平均气温的线性趋势为  $0.228\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 全国为  $0.226\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 增温幅度略低于青藏高原; 青藏高原与全国年平均气温突变年基本一致, 小波分析均具有 3 类尺度的周期变换规律, 第一主周期均值均为 28 a, 青藏高原年平均气温周期变化显著性强于全国。

**关键词:** 青藏高原; 气温变化; 相关性; 小波分析; 突变年

**中图分类号:** P468.021

**文献标识码:** A

青藏高原是世界最高的高原, 有着特殊的地形地貌, 形成了独特的气候, 且对中国、亚洲乃至北半球的大气环流和气候产生显著影

响, 青藏高原也是形成影响我国东部天气系统的源地之一, 因此, 对青藏高原气候变化的研究一直受到专家、学者的重视<sup>[1-10]</sup>。利用数理

**收稿日期:** 2014-12-25

**作者简介:** 李鹏飞 (1989—), 男, 汉族, 江苏东海人, 硕士研究生, 从事雷电过电压防护技术与数据统计研究。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41075025), 江苏高校优势学科建设工程资助项目 (PAPD)

- [7] Nguyen H T, Lee B W. Assessment of rice leaf growth and nitrogen status by hyperspectral canopy reflectance and partial least square regression [J]. *European Journal of Agronomy*, 2006, 24 (4): 349-356.
- [8] Tsai F, Philpot W. Derivative analysis of hyperspectral data [J]. *Remote Sens. Environ.* 1998 (66): 41-51.
- [9] 王纪华, 赵春江, 黄文江, 等. 农业定量遥感基础与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [10] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS [C]. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351*, 1973: 309-317.
- [11] Pearson R L, Miller D L. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado [J]. *Proceedings of the Eighth International Symposium on Remote Sensing of Environment*, Ann Arbor, Michigan, USA, 1972 (2): 1357-1381.
- [12] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor [J]. *Ecology*, 1969, 50 (4): 663-666.
- [13] 谭昌伟, 郭文善, 朱新开, 等. 不同条件下夏玉米冠层反射光谱响应特性的研究 [J]. *农业工程学报*, 2008, 24 (9): 131-135.
- [14] 刘占宇, 黄敬峰, 吴新宏, 等. 天然草地植被覆盖度的高光谱遥感估算模型 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (6): 997-1002.
- [15] 白雪娇. 冬小麦氮素营养及其冠层生物理化参量高光谱遥感监测 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013: 16.