

基于冠层反射光谱的玉米 LAI 和地上干物重估测研究

赵巧丽^{1,2}, 郑国清^{2,1}, 段韶芬², 戴廷波¹

(1. 南京农业大学 农学院, 江苏 南京 210095; 2. 河南省农业科学院 农业经济与信息研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要:以 cropscan 多光谱辐射仪测定了玉米品种郑单 958 和浚单 20 的冠层光谱反射率, 并对其相应的叶面积指数 (LAI) 和地上干物质量进行了同步测定。将由近红外波段和可见光红波段组成的不同的归一化植被指数 (NDVI) 和比值植被指数 (RVI) 分别与叶面积指数、地上干物质量进行回归分析, 结果表明, NDVI 与叶面积指数的相关性优于 RVI 与叶面积指数的相关性, 且以 NDVI (R_{950} , R_{650}) 和叶面积指数的幂函数回归结果最优; RVI 与地上干物质量的二项式回归效果显著, 估算模型为: $Y = -0.7224(R_{800}/R_{650})^2 + 1.6316(R_{800}/R_{650}) + 271.49$, $R^2 = 0.7935$ 。

关键词:玉米; 冠层反射光谱; 植被指数; 叶面积指数; 地上干物质量

中图分类号: S513.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7091(2008)01-0219-04

Estimation of LAI and Aboveground Dry Biomass in Maize Based on Canopy Spectral Reflectance

ZHAO Qiao-li^{1,2}, ZHENG Guo-qing^{2,1}, DUAN Shao-fen², DAI Ting-bo¹

(1. Agronomy of Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Research Center of Agricultural Economy and Information, Henan

Academy of Agriculture Sciences, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The reflectance and LAI of maize canopy and the aboveground dry matter were measured using Zhengdan 958 and Xundan 20 as experiment material. The regression analysis was carried out to determine the relations of LAI and aboveground dry biomass with RVI and NDVI composed of different wavelengths. The result indicated that the correlation of LAI with NDVI was higher than with RVI, while the power function regression (R_{950} , R_{650}) of NDVI with LAI was the best. However, RVI had significantly binomial correlation with aboveground dry biomass, with a estimating model $Y = -0.7224(R_{800}/R_{650})^2 + 1.6316(R_{800}/R_{650}) + 271.49$, $R^2 = 0.7935$.

Key words: Maize; Canopy reflectance spectrum; Vegetation index; LAI; Aboveground dry biomass

植被指数通常选用可见光红波段和近红外光波段, 原因是这两波段是植物光谱、光合作用最重要的波段, 而且对同一生物物理现象光谱响应截然相反, 可以通过对其进行多种组合来增强和揭示隐含的植物信息^[1]。到目前为止, 国内外学者已研究发展了几十种不同的植被指数模型。Shibayama 等^[2]用比值指数 (R_{1100}/R_{1200}) 较好地预测了双季水稻的干物质重。Blackmer TM 等^[3]曾用冠层光谱监测玉米品种在不同施氮水平下各生育期特征及与产量的相关分析。傅玮东等^[4]研究认为, RVI (比值植被指数)、NDVI (归一化植被指数) 和冬小麦生物量之间呈指数相关。李素英等^[5]用植被指数估测内蒙古典型草

原区地面实测地上生物量的结果表明, NDVI-生物量模型模拟地表生物量的效果优于其他几种植被指数。本研究选用常用植被指数 RVI 和 NDVI 与玉米叶面积指数和地上干物质量分别进行了相关回归分析, 筛选预测玉米 LAI 和地上干物质量最佳的波段组合和估算模型, 为遥感技术在玉米上的应用提供理论依据和技术途径。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验地点位于河南省温县农科所试验田。土地平整肥沃, 前茬小麦。有机肥、速效肥混施, 基肥

收稿日期: 2007-12-20

基金项目: 河南省杰出人才创新基金项目 (074200510012)

作者简介: 赵巧丽 (1982-), 女, 河南安阳人, 在读硕士, 主要从事作物系统模拟与智能决策研究。

通讯作者: 郑国清 (1964-), 男, 河南淅川人, 研究员, 博士, 硕士生导师, 主要从事农业信息技术研究和科研管理工作。

30 % ,追肥 2 次(拔节期 30 % ,大喇叭口期 40 %) ,速效肥为尿素。供试玉米品种为郑单 958 和浚单 20。在试验区选定 3 个小区 ,每个小区选定 3 株长势有代表性的植株用于光谱测定。

1.2 玉米冠层光谱及叶面积、干物重的测定方法

试验区玉米冠层光谱的测定采用美国 cropscan 公司生产的 MSR-16 便携式多光谱辐射仪(仪器视场角 31.1°) ,测量波段和特征见表 1。对每个样区里选定的植株测定其冠层光谱值 ,每株测定 3 次 ,拔节后 ,每周测量 1 次 ,共 9 次 ,依次为 7 月 26 日、8 月 2 日、8 月 9 日、8 月 16 日、8 月 23 日、8 月 30 日、9 月 6 日、9 月 13 日和 9 月 20 日 ,每个品种每次测定的 27 个结果的平均值作为该品种的一次光谱值。测量选择晴朗无云的天气进行 ,测定时间 10:00 -

12:00 ,传感器探头垂直向下 ,与冠层顶相距约 0.7 m。测定光谱后采样测定叶面积指数和地上生物量 ,叶面积指数采用长宽法测量 ,测定结束后把地上部分置于 105 ° 烘箱中杀青 20 ~ 30 min ,80 ° 恒温烘干至恒重 ,测地上部分干物质量。

1.3 分析方法

选用应用比较广泛的植被指数 RVI 和 NDVI 分析玉米冠层反射率与叶面积指数和地上干物质量的关系。通过将近红外每一波段逐个与可见光红波段组合得到不同的 RVI 值和 NDVI 值 ,然后将不同的 RVI 和 NDVI 分别与玉米叶面积指数、地上干物质量进行相关分析 ,最后建立植被指数与 LAI、地上干物质量的最佳回归方程。

表 1 MSR-16 的多光谱辐射仪的中心波长和带宽

Tab.1 The center wavelength and band width of MSR-16 multi-spectral radiometer									nm
项目 Item	波段 Band								
	460	510	560	610	660	680	710	760	
中心波长 Center wavelength	461.3	510.6	561.6	609.9	659.1	680.9	711.8	759.5	
带宽 Band width	8.3	8.1	8.5	10.0	10.8	11.3	9.2	9.8	
项目 Item	波段 Band								
	810	880	950	1 100	1 220	1 480	1 500	1 650	
中心波长 Center wavelength	810.1	871.6	951.0	1 101.9	1 222.8	1 481.1	1 500.9	1 669.0	
带宽 Band width	10.7	12.5	11.0	16.3	11.5	13.5	13.2	195.0	

2 结果与分析

2.1 玉米冠层反射率变化规律

由图 1 和图 2 可见 ,2 个玉米品种的冠层反射率随时间推移的变化趋势基本一致。光谱曲线最大差异性波段位于红谷区(670 nm)与近红外区(大于 760 nm) ,而其他波段不同生长期的光谱反射率差异较小。在玉米进入成熟期以前 ,可见光范围 550 nm 波段处有小的反射峰—绿峰 ,670 nm 处有一红光吸收谷—红谷 ,具有绿色植物叶片典型的反射光谱吸收特征。玉米生长后期 ,整个近红外波段 ,浚单 20 呈现逐渐下降趋势 ;郑单 958 则先上升后下降 ,8 月 2 日(吐丝期)时反射率最高。可见光波段反射率 ,8 月 30 日前 ,郑单 958、浚单 20 差异都不大 ,8 月 30 日以后可见光反射率上升 ,尤其是绿峰后波段反射率 ,红谷逐渐消失 ,呈现干死植被的典型光谱反射特征曲线 ,主要是由于后期叶片逐渐变黄 ,强烈吸收红光的叶绿素含量下降造成的。

2.2 NDVI, RVI 与叶面积指数的回归结果

叶面积指数 LAI ,是利用遥感技术监测植被长势和估算产量的关键参数。RVI,NDVI,PVI(垂直植被指数)等相继被用来反演植被 LAI^[7]。本研究将不同波段组合的 RVI 和 NDVI 分别与玉米叶面积指

数进行对数、指数、幂函数以及多项式回归分析。结果显示 ,同一玉米品种的 RVI 值与 LAI 相关性较高 ,但是不同玉米品种相同波段组合的 RVI 值与其对应的 LAI 相关性差异较大。表明 RVI 虽然可以估测玉米叶面积指数 ,但是受土壤背景、冠层结构、叶片等影响较大。但是不同波段组合的 NDVI 值与 2 个品种的 LAI 的相关性基本上都达到极显著水平 ,且

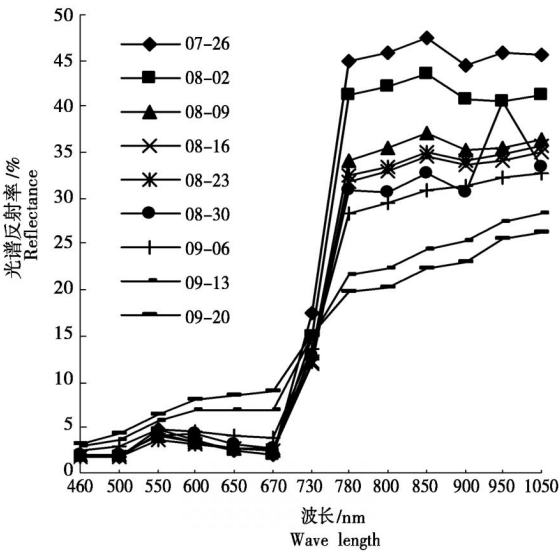


图 1 郑单 958 光谱曲线随生长期的变化趋势

Fig.1 Change trend of reflectance in ZhengDan 958 with growth stage

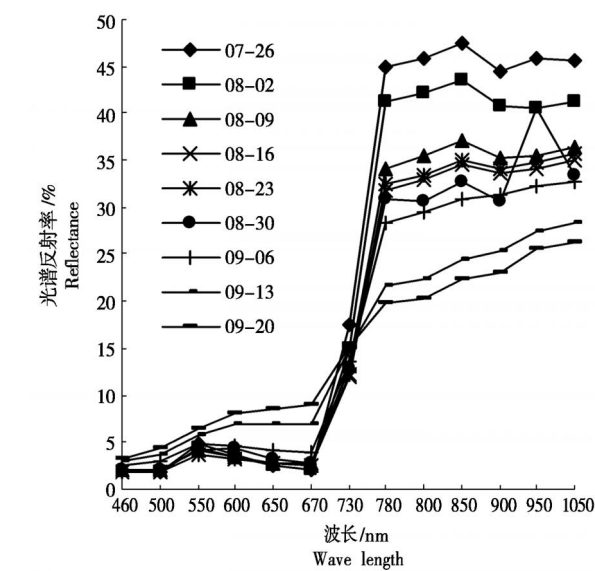


图 2 浚单 20 光谱曲线随生长期的变化趋势
Fig.2 Change trend of reflectance in XunDan 20
with growth stage

明显优于 RVI 与 LAI 的相关性,对各个 NDVI 值和 LAI 进行回归分析发现 NDVI($R_{NIR} = 950$, $R_R = 650$)与 LAI 的回归效果最好,其中以幂函数回归结果最优,回归方程: $Y = 5.6433 (NDVI)^{1.2476}$, $R^2 = 0.7421$ 。虽然 NDVI 在植被覆盖度较高时,灵敏度

会下降,但是玉米生长中期叶面积指数相对稳定,所以正常生长条件下,NDVI 比 RVI 适合用于获取玉米叶面积指数,对玉米长势进行监测。

2.3 NDVI, RVI 与干物质量的回归结果

由于作物的叶面积与地上生物量有着密切的关系,而作物的叶面积指数与作物的光谱反射率有密切相关^[8,9],因此,作物的生物量与作物光谱反射率也必然存在相关关系。RVI,NDVI 均与 2 个玉米品种的地上干物质量呈现负相关。RVI 值与 2 个品种地上干物质量相关性都很好,浚单 20 与不同 RVI 值的相关性要优于郑单 958,郑单 958 只有 RVI(R_{730}/R_{650}), RVI(R_{730}/R_{670}), RVI(R_{780}/R_{670}), RVI(R_{800}/R_{670}) 4 个波段与地上干物质量呈现极显著负相关。选用在 2 个品种上表现都较好的 7 个波段进行回归分析,结果显示,二项式回归优于直线回归和指数回归,回归方程如表 2。NDVI 值与干物质量相关性品种差异比较大,浚单 20 大部分 NDVI 值与干物质量相关性都较好,郑单 958 则只有 NDVI(730,650), NDVI(730,670) 2 个值与干物质量存在相关性,其中 NDVI(730,650) 在 2 个品种上都表现最优,但是回归方程确定系数较低。

表 2 RVI 与地上干物质量的回归方程及确定系数

Tab.2 Regression coefficient and regression of RVI against aboveground dry biomass		
RVI	二项式回归方程 Binomial regression equation	确定系数 R ² Determination coefficient
R780/ R650	- 0.731 5 (RVI) ² + 1.352 3 (RVI) - 272.19	0.788 4
R800/ R650	- 0.722 4 (RVI) ² + 1.631 6 (RVI) + 271.49	0.793 5
R850/ R650	- 0.726 7 (RVI) ² + 2.712 8 (RVI) + 267.95	0.790 9
R800/ R670	- 0.347 3 (RVI) ² - 3.027 4 (RVI) + 286.7	0.775
R850/ R670	- 0.353 6 (RVI) ² - 2.208 (RVI) + 284.67	0.771 6
R900/ R650	- 0.931 8 (RVI) ² + 5.064 6 (RVI) + 260.6	0.775 2
R780/ R670	- 0.358 4 (RVI) ² - 3.02 (RVI) + 285.48	0.768 3

3 结论与讨论

玉米冠层可见光、近红外反射率的大小与生育期有关,随生育期推移,冠层光谱反射率在红光范围降低,在近红外区域升高,到某一时期时两者差异最大,以后,近红外反射率下降,这与唐延林等^[6]研究结果一致。随着玉米进入成熟期,叶片变黄,吸收红光的叶绿素含量下降,红谷区反射率迅速上升,可见光波段绿峰消失,呈现干死植被的光谱反射特征。且在玉米吐丝后一周内和进入成熟期一周内,近红外反射率下降速度明显快于其他时期,2 个品种表现一致,可为借助光谱遥感监测玉米生育期提供理论依据。

NDVI 与叶面积指数的指数回归、二项式回归、幂函数回归确定系数相差不大,幂函数回归优于指数回归和二项式回归,但是本试验涉及叶面积指数分布范围较小,有必要对估算模型进行进一步验证。

RVI 的非线性拉伸,降低了 NDVI 对高植被区的敏感性,随着生物量的逐渐增加,达到一定程度后,NDVI 几乎不再增长,而处于“饱和”状态,但是整个生育期内玉米生物量呈直线上升的趋势,由此可以推断,NDVI 比较适合于叶面积指数较低时生物量的预测。

致谢:本试验得到了河南省农业科学院农业经济与信息中心冯晓、马中杰、乔淑、胡锋以及温县农业科学研究所王素霞所长的大力帮助,特此致谢!

参考文献：

- [1] 赵英时. 遥感应用分析原理与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] Shibayama, Akiyama T. Seasonal visible, near infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and aboveground dry biomass [J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 27:119 - 127.
- [3] Blackmer TM, Schepers J S, Varvel G E, *et al.* Walter - Shea nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies [J]. Agron J, 1996, 88(1) : 303 - 306.
- [4] 傅玮东, 刘绍民, 黄敬峰. 冬小麦生物量遥感监测模型的研究[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(1) :84 - 89.
- [5] 李素英, 李晓兵, 莺 歌, 等. 基于植被指数的典型草原区生物量模型 —以内蒙古锡林浩特市为例[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1) :23 - 31.
- [6] 唐延林, 黄敬峰, 王秀珍, 等. 水稻、玉米、棉花的高光谱及其红边特征比较[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1) :29 - 35.
- [7] 谭昌伟, 黄义德, 黄文江, 等. 夏玉米叶面积指数的高光谱遥感植被指数法研究[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(4) :392 - 397.
- [8] 宋开山, 张 柏, 于 磊, 等. 玉米地上生物量的高光谱遥感估算模型研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2005, 21(1) :65 - 67.
- [9] 宋开山, 张 柏, 李 方, 等. 高光谱反射率与大豆叶面积及地上生物量的相关分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1) :36 - 40.