

基于车载近地遥感的玉米苗期长势动态诊断研究

李树强^{1,2}, 李民赞²

(1. 河南科技大学 车辆与动力工程学院, 河南 洛阳 471003;

2. 中国农业大学 现代精细农业系统集成研究教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要: 为了使用车载平台对玉米叶绿素含量进行快速预测, 优化车载系统测量结果, 提出了一种适于玉米苗期利用车载系统动态预测冠层叶片动态光谱指数(MPRI), 构建了基于PRI的叶绿素含量预测模型, 结合空间插值手段对其空间分析能力进行了分析和评估。结果表明: 基于车载系统动态获取的冠层叶片MPRI, 对于单点位置的冠层叶绿素含量预测效果较好, 模型决定系数为0.81; 车载系统动态获取的玉米冠层MPRI能够通过定值阈值较为准确地被识别, 利用其构建的玉米冠层叶片叶绿素含量预测模型具有较好的单点预测效果。结合反距离加权插值法进行空间分析, 能够得到较佳的空间预测效果, 空间分布预测偏差率小于7%的数据占总数据量的85%。基于MPRI构建的冠层叶绿素的预测模型, 结合GIS手段进行空间分析能够得到较佳的空间预测效果, 为车载系统动态测量提供了新的思路。

关键词: 光谱指数; 玉米; 冠层叶片; 叶绿素; 光谱; GIS

中图分类号: S126 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)05-0196-05

Research on Corn Growth Based on Vehicle-borne Ground-based Remote Sensing Dynamic Prediction

LI Shu-qiang^{1,2}, LI Min-zan²

(1. College of Vehicle and Motive Power Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Key Laboratory of Modern Precision Agriculture System Integration Research, Ministry of Education,
China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The application of ground-based remote sensing is significant for understanding the growth of corn seedlings and providing the accurate and scientific data for precision agriculture. The vehicle-borne system is one of the most important tools for growth monitoring and management, since it is efficient, flexible and economical to be operated in small region. However, the vehicle-borne growth monitoring system can not maintain steady operation due to the row spacing of corn. The background interference on the reflectance will not be suppressed effectively, which will result in a deviation in the growth monitoring. In order to overcome this problem, a novel spectral index, named MPRI, was developed in this paper, including the GIS analysis. The results indicated that it had the satisfactory forecasting accuracy of chlorophyll content by using MPRI, with an average R^2 of 0.81. By focusing on the optimization of the spatial datum distribution obtained by vehicle, it was transformed with the inverse distance weighted(IDW). The deviation rate less than 7% between the predication and real value accounted for about 85% of the entire data. The theoretical analysis and test results proved that the spectral index-MPRI had the characteristics of estimating the corn growth by the traverse measurement system. It also

收稿日期: 2013-10-05

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2012BAH29B04); 国家 863 计划项目(2012AA101901)

作者简介: 李树强(1979-), 男, 河北唐山人, 讲师, 主要从事精细农业系统集成方面的研究。E-mail: dr_ls@163.com

presented the good effect on solving the dynamic crop growth predication with severe background interference.

Key words: PRI; corn; canopy leaves; chlorophyll; spectrometers; GIS

掌握玉米苗期冠层信息及其空间分布状况,根据信息判断玉米长势,制订相应的精准化管理策略,对玉米的均衡生长具有重要意义^[1-2]。目前,普遍采用的方法是通过理化手段检测玉米苗期冠层叶片的叶绿素含量,间接反映玉米苗期长势^[3-7]。研究表明,动态、快速掌握玉米苗期冠层叶片叶绿素含量及其空间分布情况,对于实现玉米实时精准化管理具有更重要的意义^[7-10]。车载近地遥感系统是以农业车辆为平台,加载近地遥感设备,在车辆运动的同时,快速、连续地获取玉米冠层信息,通过车载计算机的处理,生成相应的精准作业策略^[11-15]。玉米苗期生长态势一般,植株地表覆盖率低,应用车载近地遥感平台获取苗期冠层信息时夹杂有大量裸露地面的反射信息,其预测结果具有较大的偏差。为此,本研究针对玉米冠层叶片的光谱特性和车载动态测量的特点,提出了适用于玉米苗期冠层信息获取的车载动态测量的动态光谱指数(MPRI)。该指数对于冠层和土壤背景有较强的辨识能力,应用阈值对车载系统获取的信息进行筛选,剔除了背景干扰。通过空间分析,能够较准确地反映被测区域玉米长势情况及空间分布状态,从而提高车载系统动态测量手段的测量精度,完善车载系统的数据分析手段,对于玉米苗期长势信息的快速获取及相应精准管理方案的制订提出了新的思路。

1 材料和方法

1.1 试验平台

本研究使用的遥感系统是车载作物长势检测系统平台(图1)。

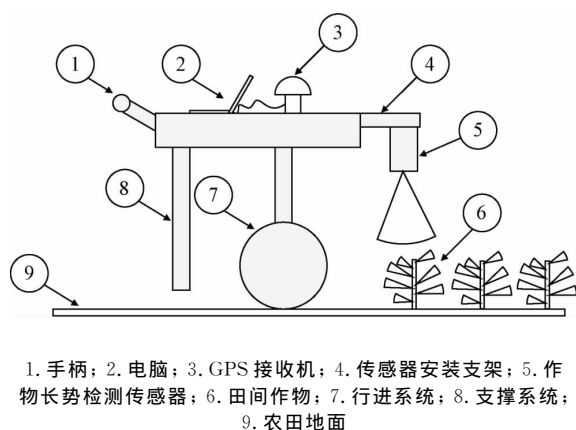


图1 车载式作物长势检测系统结构

检测平台的前端并列配置4个作物长势传感器,负责获取冠层叶片的光谱信息。其中3个传感器的结构一致,均配置了4个采用漫反射片作为光学窗口的反射通道,凸透镜的直径为12.5 mm、焦距为12.5 mm,被放置在光学通道的最外侧以扩大探测的目标范围。通道内滤光片的中心波长分别为550、650、766、850 nm,波长介于绿光—近红外光,是测量作物光谱信息的常用波段。另一个传感器除了配置4个光学通道,还在朝向阳光的顶部配置了4个同样的光学通道,用来接收自然光,作为参照光。检测速率为1次/s,传感器与检测平台的第3部分GPS接收设备配合使用,可以得到采样区域的光谱信息GIS分布。

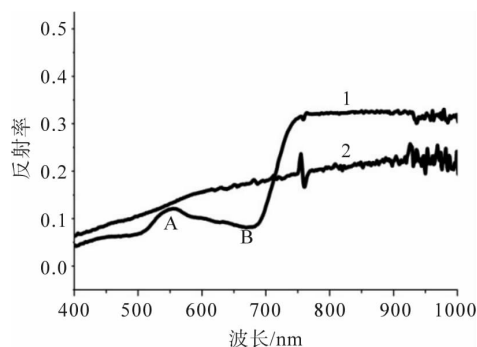
1.2 田间试验环境与数据获取

试验在中国农业大学上庄试验站进行,玉米品种为郑单958。试验区域南北长104 m,东西宽24 m。车载系统前端的传感器调节至正对玉米的种植行,矫正车载GPS系统。车载系统沿玉米的种植方向运动,前端传感器对玉米冠层叶片光谱信息进行连续采集,GPS系统连续获取采样点的位置信息。在车载系统动态测量的路径上,选取40个采样点的冠层叶片作为样品,样品采集后经过密封送至实验室,利用分光光度计法对其叶绿素含量进行测量。使用光谱辐射仪获取采样点位置的冠层光谱信息和裸露土壤光谱信息。

2 结果与分析

2.1 玉米苗期冠层叶片MPRI的构建与分析

对采样点冠层反射光谱及其周边土壤反射光谱进行获取,得到光谱曲线如图2。



1. 冠层光谱; 2. 土壤光谱
图2 玉米冠层叶片光谱曲线

从图 2 可以看出,冠层光谱曲线在 400~700 nm 先后出现峰值 A、谷值 B,700 nm 以后曲线陡然上升,800 nm 以后逐渐平稳,呈振荡变化。土壤光谱曲线在 400~800 nm 呈缓慢上升态势。曲线 1 的峰值所处的平均波长约为 550 nm,谷值所处的平均波长约为 660 nm。结合车载平台传感器的设计特点,选取 550 nm 和 650 nm 2 个波段作为构建 MPRI 的特征波段。MPRI 是依照光化学植被指数(photochemical reflectance index, PRI)的原理,结合光谱反射曲线的特征构建的。计算公式如式(1)。

$$MPRI = \frac{R_{650} - R_{550}}{R_{650} + R_{550}} \quad (1)$$

式中, R_{650} 表示 650 nm 反射率, R_{550} 表示 550 nm 反射率。

结合式(1)和图 2 发现,冠层叶片的 $MPRI < 0$,而土壤的 $MPRI > 0$ 。由此可见,MPRI 区分 2 类光谱信息的阈值为 0。该阈值不随测试环境变化,具有良好的稳定性,适用于车载平台动态获取玉米苗期冠层信息的识别。

2.2 基于 MPRI 的车载系统单点冠层叶绿素含量预测效果分析

使用试验区域内 40 个采样点的玉米冠层叶片光谱,按照式 1 计算 MPRI,并与分光光度计测量得到的叶绿素共同构建叶绿素的回归模型,散点图如图 3 所示。

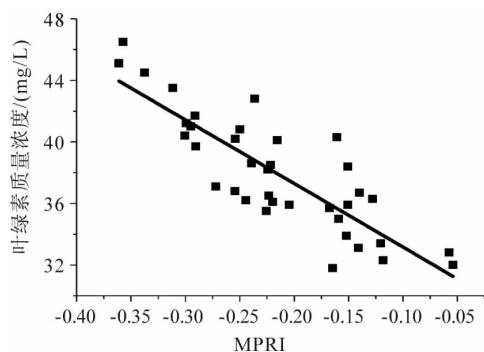


图 3 基于 MPRI 的叶绿素预测模型

由图 3 可以看出,MPRI 对冠层叶绿素含量具有一定的线性预测效果,两者成负相关。经过分析得到模型的预测 R^2 为 0.81, F 值为 103.33。表明,MPRI 与叶绿素含量具有较好的线性关系,通过获取冠层叶片的 MPRI 能够对其叶绿素含量进行线性模型预测。

2.3 基于 MPRI 的车载系统动态冠层叶绿素含量预测模型分析

车载系统动态测量玉米冠层光谱信息所获得

数据与定点测量时不同,车载系统沿着测试路线行进过程中,车载平台前段的传感器设备连续获取反射信息,反射信息中含有冠层叶片的光谱信息和裸露地面的光谱信息。使用阈值 0,对 MPRI 进行分类,抽取冠层叶片的 MPRI。以车载系统获取的 GPS 数值为定位依据,分析车载动态行进路径中与单点采样相对应的 40 个采样点和 MPRI。经分析发现,其中 32 个采样点的 $MPRI < 0$,表明车载系统准确地采集了采样点的冠层光谱信息;8 个位置的 $MPRI > 0$,表明车载系统通过这些位置时并未准确地采集冠层光谱信息,光谱数据应作为干扰数据被剔除。分析 32 个有效的 MPRI 与叶绿素含量的回归关系得到图 4。

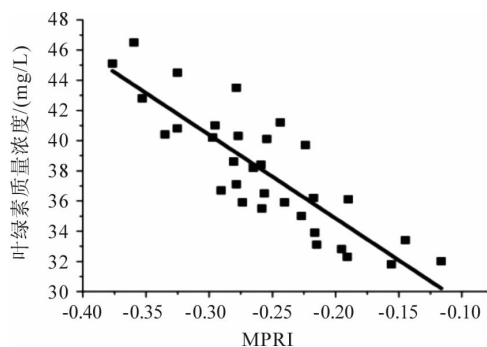
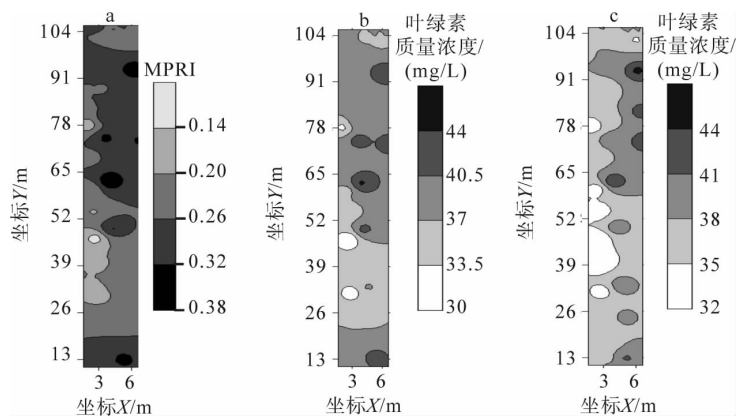


图 4 基于车载系统动态测量 MPRI 的叶绿素含量预测模型

由图 4 看出,有效位置的 MPRI 与相应冠层的叶绿素含量之间有很好的线性关系,模型的预测 R^2 为 0.76, F 为 105.4。说明对于移动测量而言,MPRI 对叶绿素含量的预测依然有效,且能够达到较为理想的预测效果。

2.4 基于 GIS 和 MPRI 的叶绿素含量预测效果的空间分布分析

对于大田管理而言,掌握作物的空间长势状况更有价值,车载系统动态测量过程中获取的冠层光谱信息与 GPS 位置信息构成了 MPRI 的空间分布信息,经过模型预测的叶绿素含量信息和采样点实测的叶绿素信息与 GPS 信息相结合,利用反距离加权法(inverse distance weight,简称 IDW)构成相应的 GIS 信息。反距离加权法是以已知的样本点为标准位置,插值点与样本点之间存在不同的距离,根据不同的距离被赋予不同的权重,距离样本点越近的插值点的权重越大,根据权重结合插值计算公式可以得出整个区域内的插值结果^[16]。本研究采用反距离加权法^[16]对 3 组数据进行空间插值分析,结果见图 5。



a. MPRI 空间分布; b. 预测叶绿素含量的空间分布; c. 实测叶绿素的空间分布

图 5 车载动态测量空间分布

图 5a 为 MPRI 的空间分布,采用 IDW 法进行空间插值,部分区域出现较为明显的同心圆形状,这主要是由于 IDW 采用了距离—权重的权值选择策略,因此,在整个插值图形成后可能会出现以某点为中心向外逐渐变化的同心圆形状,也称“牛眼”。这种算法上的特点对于车载测量而言,具有一定的优势,可以通过图中的中心点位置判断采样点的位置,从一定程度上辅助分析采样点分布的状态。

由图 5 可以看出,预测叶绿素含量的空间分布与实测叶绿素含量的空间分布,在数值分布区域及中心点所在位置具有一定的相似性。这直观地说明了预测叶绿素含量达到了一定效果。本研究系采用基于二维坐标的偏差分析及偏差数据熵分析策略,分析方法如式(2)、(3)表示。

$$s(x_i,y_j)=f(x_i,y_j)-t(x_i,y_j) \tag{2}$$

$$P=\frac{s(x_i,y_j)}{t(x_i,y_j)}\times 100\% \tag{3}$$

式中, $f(x_i,y_j)$ 为坐标 (x_i,y_j) 位置的预测叶绿素质量浓度, $t(x_i,y_j)$ 为坐标 (x_i,y_j) 位置的实测叶绿素质量浓度, $s(x_i,y_j)$ 为坐标 (x_i,y_j) 位置的 2 类数据的差, P 为坐标 (x_i,y_j) 位置的偏差率。 P 值反映了车载系统单点预测精度,对于大田作物而言,整体上把握其冠层叶绿素信息的分布情况对于精准管理更具有意义。式 3 通过比较各个不同偏差率下数据所占的比率,分析了基于 MPRI 的叶绿素含量预测模型预测效果的空间分析能力。

$$\sigma_p=\frac{N_p}{N_{total}}\times 100\% \tag{4}$$

式中 N_p 为偏差率为 P 的数据量, N_{total} 为总数据量, σ_p 为偏差率 P 的数据比例。

经过对车载系统动态获取的试验数据的分析,将偏差率 P 划分为 2%、5%、10% 3 个等级,结果如表 1。

表 1 基于 MPRI 的玉米冠层叶绿素含量空间插值分析

项目	偏差率			
	$P<2\%$	$2\%<P<5\%$	$5\%<P<7\%$	$P>7\%$
数据比例 / %	32.7%	33.5%	18.8%	15.0%

表 1 显示了基于车载系统动态获取的 MPRI 预测叶绿素含量的空间分析效果,使用饼图对数据进行分析,如图 6。

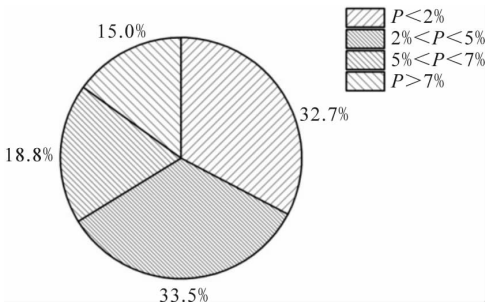


图 6 数据分布比例

由图 6 可以看出车载系统动态预测结果与实测结果之间的各级别偏差内的数据比例情况。实测值与预测值 $P<5\%$ 的预测点占总空间分布点的 66.2%, $P<7\%$ 的预测点占总空间分布点的 85%。整体来看,使用 IDW 法对 MPRI 模型预测结果进行空间分析有较好的整体预测效果,能满足车载系统的运行方式及大田精准管理的实际需要。

3 结论与讨论

通过分析玉米冠层光谱曲线和土壤背景曲线的特性,构建了基于特殊波段反射率的玉米冠层叶片 MPRI,利用该指数对玉米冠层叶绿素含量进行建模预测,结合 GPS 位置信息生成叶绿素含量的空间分布信息,分析了空间分布的预测效果,得出以下几点结论:

1) 车载系统动态获取玉米苗期冠层叶片 MPRI, 对于其叶绿素含量具有较好的预测效果。预测模型的精度能够满足需要; 与其他常用的车载系统动态检测植被指数相比, 本研究提出的 MPRI 对车载系统动态获取的信息中的土壤反射信息有较好的识别功能, 通过设定阈值能够剔除土壤干扰信息, 因此利用 MPRI 构建的冠层长势预测模型预测效果更加准确, 模型鲁棒性较高。

2) 车载系统动态测量获取的玉米冠层 MPRI 对叶绿素预测效果的空间分析能力较强。通过与 GPS 位置信息相结合, 生成的叶绿素空间分布预测精度较高, 小于 7% 以下的预测点数占总点数的 85%。说明使用 MPRI 构建的叶绿素含量预测模型和 IDW 插值相结合的方法, 对车载系统的数据进行组合分析能够在一定程度上弥补单点预测的偏差, 达到一定的空间分布预测效果。根据其结果能够制订出基于车载系统的玉米精准化管理策略, 满足差异化管理的需求。

参考文献:

- [1] 顾晓鹤, 韩立建, 王纪华, 等. 中低分辨率小波融合的玉米种植面积遥感估算[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 203-209.
- [2] 郭伟, 赵春江, 顾晓鹤, 等. 乡镇尺度的玉米种植面积遥感监测[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 69-74.
- [3] 王平, 刘湘南, 黄方. 受污染胁迫玉米叶绿素含量微小变化的高光谱反演模型[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(1): 197-201.
- [4] 孙红, 李民赞, 张彦娥, 等. 玉米生长期叶片叶绿素含量检测研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(9): 2488-2492.
- [5] 彭彦昆, 黄慧, 王伟, 等. 基于 LS-SVM 和高光谱技术的玉米叶片叶绿素含量检测[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2011, 32(2): 126-128.
- [6] 徐新刚, 赵春江, 王纪华, 等. 新型光谱曲线特征参数与水稻叶绿素含量间的关系研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(1): 188-191.
- [7] 张东彦, 刘镕源, 宋晓宇, 等. 应用近地成像高光谱估算玉米叶绿素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(3): 771-775.
- [8] 蒋金豹, 陈云浩, 黄文江. 用高光谱微分指数估测条锈病胁迫下小麦冠层叶绿素密度[J]. 光谱学与光谱分析, 2010, 30(8): 2243-2247.
- [9] 宋晓宇, 王纪华, 黄文江, 等. 变量施肥条件下冬小麦长势及品质变异遥感监测[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 155-161.
- [10] 王秀珍, 王人潮, 黄敬峰. 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.
- [11] 王正瑞, 芮玉奎, 申建波, 等. 氮肥施用量和形态对玉米苗期叶绿素含量的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 410-412.
- [12] 谢瑞芝, 周顺利, 王纪华, 等. 用冠层高光谱反射估测玉米植株色素时的采样点和指标选择[J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 135-138.
- [13] Esfahani M, Ali Abbasi H R, Rabiei B, *et al.* Improvement of nitrogen management in rice paddy fields using chlorophyll meter (SPAD) [J]. Paddy and Water Environment, 2008, 6(2): 181-188.
- [14] 孙丽, 汪庆发, 黄大彤. 全国土壤水分及作物长势地面监测体系的初步构想[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 173-176.
- [15] 武建军, 杨勤业. 干旱区农作物长势综合监测[J]. 地理研究, 2002, 21(5): 593-598.
- [16] 赵龙山, 张青峰, 梁心蓝, 等. 基于 GIS 的坡耕地数字高程模型的建立与应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 317-322.