

基于多光谱视觉传感技术的油菜氮含量诊断方法研究

冯雷¹, 方慧¹, 周伟军², 黄敏¹, 何勇^{1*}

1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029

2. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310029

摘要 实时、便捷、可靠的作物营养诊断方法是进行科学的作物施肥管理的基础,也是精确农业的关键技术之一。文章提出利用光谱技术分析不同养分水平的油菜在生长过程中的光谱反射特征,用包含绿、红和近红外三波段通道的电荷耦合器件(CCD)成像技术对植物叶面氮素营养进行非破坏性检测方法,目的是建立能准确反映植物营养状况的检测模型,实时过滤掉土壤噪声和气候条件等环境干扰,实现对植物营养成分进行快速、准确、非破坏性检测。通过试验建立了叶绿素仪数值和全氮含量在油菜中的数学关系模型,结果显示,利用绿、红和近红外三通道图像灰度和反射率关系的经验线性标定模型分析得到的油菜植被指数与叶绿素仪数值间的线性相关系数 r 可以达到0.927。

关键词 多光谱成像; 氮素水平; 光谱反射率; 植被指数; 油菜

中图分类号: S126 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-0593(2006)09-1749-04

引言

氮素营养诊断是植物营养诊断的核心。传统的测试手段在取样、测定、数据分析等方面需要耗费大量的人力、物力,且时效性差,不利于推广应用。近年来,氮素营养诊断的无损测试技术正由定性或半定量向精确定量方向发展,由手工测试向智能化测试发展。其中,便携式叶绿素仪法和新型遥感测试法是20世纪90年代以来最新发展的方法。

叶绿素仪法是将植物叶片插入叶绿素仪测定部位感光后读出叶绿素值(叶色值),根据与植株含氮量的关系确定氮素诊断的叶色值^[1]。叶绿素仪体积小,重量轻,测定方法简单。但叶绿素仪的局限性在于它得到的作物氮肥含量是从测试样本的有限个点得到的,每次只能检测约6 mm²的小区域,因此在整块田间,氮含量结果只能做粗略的估算。依靠叶绿素仪在监控整块地作物的氮含量是不现实的。

作物缺肥会引起叶片颜色、厚度以及形态结构等发生一系列变化,从而引起光谱反射特性的变化。基于物体光谱反射特征识别物体的光谱分析技术使作物养分实时监测和快速诊断成为可能。与传统的作物营养快速诊断手段相比,光谱分析技术的信息获取量更大且快速、省时省力,是精确农作中进行变量施肥和灌溉不可或缺的基础技术。利用光谱分析

技术进行作物养分实时监测和快速诊断一直是遥感在农业中应用的研究热点^[2-5]。但是卫星影像图片的空间分辨率通常较低,又常受天气条件限制,目前尚不适用于精细农业这种小尺度的田间作业。航空像片尽管可以达到1 m的分辨率,但代价昂贵,大面积农业生产上用不起。在地面近距离采集作物光谱数据,由于植物冠层光谱反射特性受到冠层几何结构、土壤覆盖度、天气对光谱吸收等因素影响,大大限制了利用光谱分析技术进行作物养分诊断的可靠性和普及性。因此,消除相关噪声干扰,是建立通用的且精确度较高的植物养分诊断方法的关键。

机器视觉在农业生产及农业现代化上的应用是国际上正在研究的课题。利用计算机视觉图像中植物与背景的颜色信息、形状信息和纹理信息对植物生长状况进行了检测和诊断研究是植物物理学、植物生理学、生物学、生物数学、信息技术和计算机技术等多学科交叉而形成的新研究领域。Kim等^[6]提出基于地面光谱图像的玉米氮肥分析技术;后来,Noh等^[7]完成了基于地面多光谱摄像机的玉米氮含量精确变量管理系统。

本研究以油菜为研究对象,用计算机多光谱成像技术,对氮等营养成分进行快速、准确和非破坏性诊断,建立能准确反映植物营养状况的检测模型和施肥程度的定量描述模型,为我国高产、优质和高效益油菜生产合理施肥提供科学

收稿日期: 2006-02-28, 修订日期: 2006-07-15

基金项目: 国家自然科学基金(30270773), 高等学校博士学科点专项科研基金(20040335034), 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(02411)和浙江省自然科学基金人才基金(RC02067), 浙江省教育厅(G20452)资助项目

作者简介: 冯雷, 1971年生, 浙江大学生物系统工程系讲师 * 通讯联系人

依据。

1 材料与方 法

1.1 实验设计方 法

试验在浙江大学农场甘蓝型油菜试验田进行。为获取变化幅度较大的叶绿素仪数据,将油菜试验区域分别按氮肥正常投入量的 0, 1/2, 1 和 2 倍作四水平施肥处理,施纯氮 0, 5, 10, 20 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别在移栽期、苗期和蕾薹期以 40%, 40%, 20% 施入,使油菜生长呈缺氮、适量氮、过量氮,其他肥料按正常量投入,田间管理按大田管理方式进行。

如何选择光谱通道波段,是利用多光谱成像技术对植物叶面氮素营养进行非破坏性检测方法的基础,因此首先必须探究不同全氮含量的油菜叶面引起的光谱反射特性的变化。在试验田中使用了 FieldSpec 手持式野外光谱辐射仪(美国 Analytical Spectral Devices 公司)采集不同叶绿素仪 SPAD 数值的油菜作物冠层的反射率数值。该仪器的光谱分辨率为 3.5 $\text{nm}@700 \text{ nm}$,采样间隔为 1.6 $\text{nm}@1100 \text{ nm}$,扫描时间为 17 ms。采集的数据用在波长-反射率二维坐标平面中的图形显示,结果如下:在绿波段(550 nm)处,油菜叶面的反射率随 SPAD 数值增大明显减小,同样的趋势也反映在红波段(650 nm)处。在近红外波段(800 nm)处,SPAD 数值与叶面反射率没有明显相关关系。但与其他波段的反射率数值相比,在近红外波段(800 nm)处,作物叶面的反射率与土壤的反射率数值上存在较大差异。即使是已经衰老枯黄的叶子,其曲线在此波段与土壤曲线也有明显区别。因此可见,利用近红外波段的反射率数据,对于区分作物和背景土壤有较好的效果。同时,用叶绿素仪数据来表征油菜的氮营养状态。

1.2 作物氮素检测系统概述

为进行大田作物数据采集,在长安敞篷车试验平台上安装了可将视觉传感器伸展到俯视大田作物位置的机械臂,其最长伸展距离为 3.5 m,最大离地高度为 3.2 m。平台上装备有车载蓄电池和逆变电源转换器,可为各传感器和计算机提供 220 V 交流电。实时的多光谱油菜氮含量测量平台主要由一个多光谱的 Duncan MS3100 3CCD 多光谱摄像系统和计算机组成(见图 1)。Duncan MS3100 3CCD 多光谱摄像系统的图像分辨率为 1 024 \times 1 392。此系统将摄入光源经过滤,实时分离成绿(550 nm),红(650 nm)和近红外(800 nm)三个波段通道的单色图像,通过 PCI 1424(National Instrument 公司)的数据接收板连接到计算机。

多光谱油菜氮含量测量仪器的图像处理算法用 Matlab 软件实现,包括背景噪声的消除和作物叶片的光照反射分析,经过计算的反射率将会和能够反应氮含量的油菜叶子的叶绿素仪数据相比较,建立叶面在绿、红、近红外三波段反射率与叶绿素仪数据关系的数学模型(见图 2),在油菜生长季节里为实施氮肥变量操作提供决策支持。对在不同光照条件下的叶面图像数据转换为叶面反射率数据时,设计了反射率参考板,采用了经验线性法(Empirical line method)对数据进行标定。



Fig. 1 The canola N content test platform

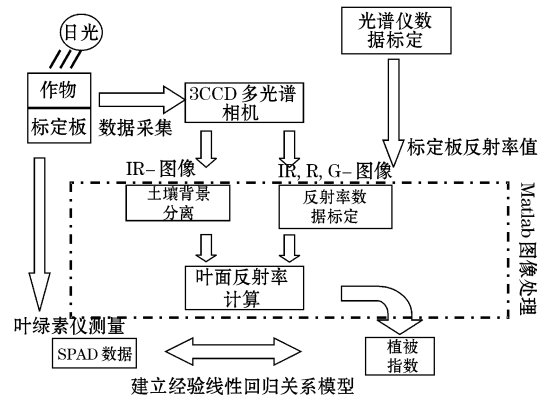


Fig. 2 The research method diagram

1.3 反射率数据标定板

为消除不同光照条件和背景土壤对图像采集质量的影响,准确地将不同光照条件下的叶面图像数据转换为叶面反射率数据,我们研究设计了反射率数据标定板(见图 3),用经验线性法对数据进行标定。实验中,用不同比例的纯白和纯黑涂料配制四块颜色深浅不同的平滑面板,每块尺寸 0.15 m \times 0.15 m。用手持式野外光谱辐射仪采集到标定板随波长变化的反射率数据如图 3 所示,其中在绿、红和近红外波段得到的反射率值分别为:0.48, 0.38, 0.24, 0.15(绿);0.47, 0.37, 0.23, 0.14(红)和 0.45, 0.35, 0.22, 0.13(近红外)。测试时,将反射率数据标定板放置在作物冠层显示图像的底部,用于辅助计算作物叶面的反射率。

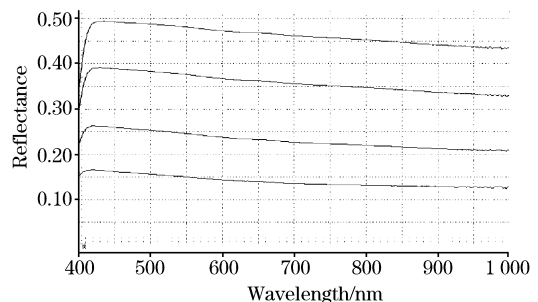


Fig. 3 Spectral data of reference reflectance panels

1.4 图像数据处理

基于 Matlab 的图像处理过程^[8]分为四步。第一步, 计算四块标定板在绿、红和近红外单色图像中的平均灰度值; 第二步, 结合上述得到的标定板在绿、红和近红外波段相应的反射率值, 建立标定板在三通道中的图像灰度和反射率关系的经验线性标定模型; 第三步, 利用在近红外图像中, 叶面与土壤的反射率差异较大的特性, 将土壤和叶面图像分离, 同时计算出叶面在绿、红和近红外三幅图像的平均灰度值; 最后, 利用第二步中建立的经验线性标定模型, 计算得出叶面在绿、红和近红外三波段的反射率数据。

上述取得的叶面在绿、红、近红外三波段的反射率数据, 可以通过计算相应的植被指数来反映作物的叶绿素含量, 进而推断作物的氮营养状态。常用的植被指数模型有以下几种

$$\text{NDVI} = \frac{R_{\text{NIR}} - R_{\text{RED}}}{R_{\text{NIR}} + R_{\text{RED}}}, \text{Green NDVI} = \frac{R_{\text{NIR}} - R_{\text{GREEN}}}{R_{\text{NIR}} + R_{\text{GREEN}}},$$

$$\text{Ratio} = \frac{R_{\text{NIR}}}{R_{\text{GREEN}}} \quad (1)$$

其中, NDVI 为归一化(差值)植被指数, Green NDVI 为绿波段归一化差值植被指数, Ratio 为冠层氮含量比值指数, R_{NIR} , R_{RED} , R_{GREEN} 分别为叶面在近红外、红和绿三波段的反射率数据。通过上述分析, 研究恰当的植被指数与叶绿素仪 SPAD 数据的相互关系, 建立数学模型, 取代低效率的叶绿素仪法, 实现准确的大面积油菜营养状况的检测。

2 结果与讨论

在绿色通道图像试验中, 如四块反射率数据标定板的平均灰度值分别为 184, 154, 105 和 63, 而如前所得四块标定板在绿波段相应的反射率值分别为 0.48, 0.38, 0.24, 0.15。由此建立绿色通道图像的灰度和绿波段反射率关系的经验线性回归标定模型, 绿波段反射率 = 0.002 7 × 绿图像灰度值 - 0.035 7。如果此时图中叶面的平均灰度值为 80, 根据模型计算。可得其反射率为 0.18。

在油菜移栽后的第 20 天(甲组)和第 40 天(乙组), 分别对试验田中的油菜采集了包含 40 个不同位置的叶面图像和相应叶绿素仪的平均数值的样本, 采集的叶绿素仪测量数据, 经过图像处理得到的作物叶面在 3 个波段的反射率数值以及通过计算得到的 NDVI, Green NDVI, Ratio 植被指数数值。图 4 显示了乙组样本植被指数 NDVI 与叶绿素仪数值的拟合曲线, 植被指数 NDVI, Green NDVI, Ratio 与叶绿素仪数值拟合的相关系数 r 分别为 0.941, 0.936 和 0.916。而甲组样本植被指数 NDVI 与叶绿素仪数值的拟合曲线, 植被

指数 NDVI, Green NDVI, Ratio 与叶绿素仪数值拟合的相关系数 r 分别为 0.927, 0.884 和 0.856。这说明基于 3CCD 视觉传感器的油菜氮含量诊断方法可以用准确的计算相应的植被指数来反映油菜作物的叶绿素含量, 进而推断油菜作物的氮营养状态。这些关系数据为对油菜施用适当的追肥量提供了决策依据。

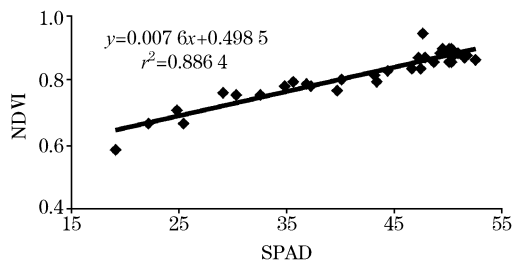


Fig. 4 Relation between NDVI and SPAD value

本研究是在认定叶绿素仪数据可以表征油菜的氮营养状态的基础上进行的。用多光谱成像技术获取的是图像中去除土壤背景的可见冠层叶面的反射率数值, 同时用叶绿素仪 SPAD502 可以测得此图像中的可见冠层叶面的叶绿素仪数值, 探求两者之间的关系, 再利用叶绿素仪数据表征油菜的氮营养状态, 最终用视觉技术替代叶绿素仪, 进行精确度高、可靠性好的实时的植物养分诊断。处理的数据属于图像中可见冠层叶面(同一对象)的两个方面的特性。冠层的作物生长量在影响图像中可见冠层叶面反射率的同时, 必然也同时影响图像中可见冠层叶面的叶绿素仪数值大小。

3 结论

利用不同养分水平的油菜叶面冠层在生长过程中的光谱反射特征, 用 CCD 多光谱成像技术研究提取油菜叶面图像特征信息, 分析油菜氮素营养状况。试验结果显示, 用 3CCD 图像分析得到的油菜植被指数与叶绿素仪数值间的线性相关系数可以达到 0.927 以上。试验在不同光照条件的室外环境中进行, 设计的 3CCD 图像灰度和反射率关系的经验线性标定模型, 可以消除不同天气条件对确定作物冠层反射率的影响。利用近红外(800nm)图像, 可以满足背景土壤的过滤处理, 实现准确确定作物冠层反射率。用绿、红、近红外三波段通道的电荷耦合器件(CCD)成像技术进行氮素诊断是可行的。综合绿、红和近红外三波段的反射率数据的植被指数, 能够对油菜氮素营养状况进行快速、准确和非破坏性诊断, 为实现准确的大面积油菜氮营养状况的检测, 实时地监测作物的长势, 分析作物养分状况, 科学地指导作物施肥管理提供了可靠的技术支持。

参 考 文 献

- [1] Blackmer T M. *Agronomy Journal*, 1994, 86: 934.
- [2] HE Yong, SONG Hai-yan, Annia G P, et al. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005: 3644, 859.
- [3] WEN Ming, JI Hai-yan(闻 明, 吉海彦). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2004, 24(10): 1276.
- [4] ZHAO Hua-rong, WANG Xiao-yan, CHEN Guan-hua, et al(赵花荣, 王晓燕, 陈冠华, 等). *Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析)*, 2004, 24(11): 1338.
- [5] LI Yun-mei, NI Shao-xiang, HUANG Jing-feng(李云梅, 倪绍祥, 黄敬峰). *Remote Sensing Technology and Application(遥感技术与应用)*, 2003, 18(1): 1.
- [6] Kim Y, Reid J F, Hansen A, et al. *Proceeding of ASAE(American Society of Agricultural Engineers)*, 2001, Paper No. 011178.
- [7] Noh H K, Zhang Q, Shin B, et al. *Proceeding of ASAE(American Society of Agricultural Engineers)*, 2003. Paper No. 031135.
- [8] Gonzalez R C, Woods R E, Eddins S L. *Digital Image Processing Using Matlab*. USA: Peason & Prentice Hall, 2004.

Nitrogen Stress Measurement of Canola Based on Multi-Spectral Charged Coupled Device Imaging Sensor

FENG Lei¹, FANG Hui¹, ZHOU Wei-jun², HUANG Min¹, HE Yong^{1*}

1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China

Abstract Site-specific variable nitrogen application is one of the major precision crop production management operations. Obtaining sufficient crop nitrogen stress information is essential for achieving effective site-specific nitrogen applications. The present paper describes the development of a multi-spectral nitrogen deficiency sensor, which uses three channels (green, red, near-infrared) of crop images to determine the nitrogen level of canola. This sensor assesses the nitrogen stress by means of estimated SPAD value of the canola based on canola canopy reflectance sensed using three channels (green, red, near-infrared) of the multi-spectral camera. The core of this investigation is the calibration methods between the multi-spectral references and the nitrogen levels in crops measured using a SPAD 502 chlorophyll meter. Based on the results obtained from this study, it can be concluded that a multi-spectral CCD camera can provide sufficient information to perform reasonable SPAD values estimation during field operations.

Keywords Multi-spectral imagery; Nitrogen level; Spectra characteristics; Vegetation index; Canola

(Received Feb. 28, 2006; accepted Jul. 15, 2006)

* Corresponding author