

应用可见光光谱进行夏玉米氮营养诊断

孙钦平¹, 贾良良², 芮玉奎¹, 陈新平^{1*}, 张福锁¹

1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100094
2. 河北省农林科学院农业资源环境研究所, 河北 石家庄 050051

摘要 传统的作物氮营养诊断需要大量的实验室分析和破坏性取样, 时效性和便捷性不足。高光谱技术被逐渐应用到作物氮营养监测当中, 但由于仪器昂贵并需要专业的软件进行处理, 在一定程度上限制了这一技术的应用。文章通过田间试验研究了采用可见光光谱进行夏玉米氮营养诊断的可行性, 并试图寻找适宜的表征作物氮营养的可见光光谱参数。研究结果表明, 绿光值、蓝光值、红光标准化值、绿光标准化值和蓝光标准化值等多个图像参数均与夏玉米的植株全氮含量、叶片 SPAD 值有着显著的线性相关关系。在低施氮条件下, 叶脉硝酸盐浓度低于 $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 绿光值、蓝光值、绿光标准化值和蓝光标准化值与叶脉硝酸盐浓度有着显著的线性相关关系。而在高施氮条件下, 叶脉硝酸盐浓度高于 $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 随着叶脉硝酸盐浓度的升高, 图像参数呈平台反应, 不再增加。综合比较来说, 以绿光标准化值和蓝光标准化值为最好, 与各常规的氮营养诊断指标的相关系数介于 $0.45 \sim 0.66$ 之间。

关键词 夏玉米; 可见光; 氮; 叶脉硝酸盐浓度; 绿光标准化值

中图分类号: O657.3 **文献标识码**: A **DOI**: 10.3964/j.issn.1000-0593(2009)02-0432-04

引言

我国高投入、集约化的农业生产体系中, 氮肥的过量施用是一个普遍存在的问题, 不但造成养分利用效率低下^[1-3], 而且带来极大的环境压力^[4-6]。如何确定最佳施肥量, 提高氮肥利用效率, 降低其对环境的负效应, 国内外进行了很多的研究, 目前主要的研究方法有土壤氮素的实时监控技术, 植株诊断的反馈调节技术等^[7-9], 这些技术都在目前的生产实践和研究中取得了很好的效果。但是由于这些测定方法都需要进行破坏性取样和大量的实验室分析, 因此在时效性和便捷性上尚存在不足。

近年来, 在作物营养诊断中, 以光谱技术为核心的无损测试技术开始成为研究热点。王人潮等^[10]对水稻氮素营养状况与光谱反射的变化进行了研究, 认为缺氮会使水稻叶片在可见光波段的反射率增加, 在近红外区域的反射率降低。Mercedes 等^[11]利用归化植被指数 (NDVI) 值成功预测冬小麦的氮素营养状况。冯雷等^[12]认为综合绿、红和近红外 3 波段的反射率数据的植被指数, 能够对油菜氮营养状态进行快速检测。吉海彦等^[13]利用便携式光谱仪把反射光谱与冬小

麦的叶片叶绿素含量建立模型, 预测值与真实值的相关系数达到 0.898。然而, 虽然目前利用光谱技术来对作物的营养状况成功进行诊断的研究很多, 但是大多数的研究者都使用的是多光谱或者高光谱技术。由于仪器昂贵或需要专门的分析软件等原因, 在很大程度上限制了其在生产中的快速应用。

作为光谱技术的一部分, 可见光遥感技术应用用于作物生长状况和营养状况诊断近来有新的进展。Blackmer 等^[14]报道应用航空拍摄技术获取玉米的冠层图像, 发现红、绿、蓝三色光都与玉米的产量达到了极显著的线性正相关关系。Jia 等^[15]利用数码相机获取冬小麦拔节期的真彩色图像, 并得出绿光值 (Greenness intensity) 与冬小麦叶片的 SPAD 值存在极显著的线性负相关关系。由于获取植被冠层可见光光谱的数码相机的价格不断下降而性能不断提高, 加之数字图像处理技术的不断发展和简单化, 这一技术的应用前景非常乐观。

本文试图在田间试验的基础上, 应用可见光光谱与夏玉米的各种氮营养指标建立相关关系, 对可见光光谱技术能否应用于夏玉米的氮素营养诊断进行研究, 并进一步研究应用于夏玉米的最佳的可见光光谱参数。

收稿日期: 2007-10-16, 修订日期: 2008-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30571080), 国家科技支撑计划项目 (2006BAD02A15) 和农业部“948”项目 (2006-G60) 资助

作者简介: 孙钦平, 1978 年生, 中国农业大学资源与环境学院植物营养科学在读博士研究生 * 通讯联系人 e-mail: chenxp@cau.edu.cn

1 试验方法

1.1 田间试验设计

田间试验位于北京市海淀区东北旺村中国农业大学实验基地,土壤为沙质壤土。试验为冬小麦/夏玉米的长期轮作,从 1999 年的夏玉米开始,本文研究所获取的试验数据来自 2003 夏玉米季(第 9 季作物),夏玉米的供试品种为农华 103。

试验设计为氮肥的单因素多水平实验,包括 1, 2, 3, 5, 7, 9 季不施氮肥,优化施氮和传统施氮共 8 个处理,4 次重复。其他的管理措施均保持一致。传统施氮是根据调查的农民习惯施肥量确定,150 kg N · ha⁻¹ 作为三叶期追肥,施肥品种为碳酸氢铵;150 kg N · ha⁻¹ 作为十叶期追肥,施肥品种为尿素。优化施氮则根据施肥前土壤的无机氮(N_{min})供应和供应目标值来共同确定,施肥量为供应目标值与土壤无机氮供应的差值,施肥品种为尿素。

1.2 数据的采集与分析

在夏玉米的十叶期(2003 年 7 月 28 日),利用数码相机(Olympus 2100UZ,像素 200 万)获取不同氮处理夏玉米的冠层图像。拍照时,相机镜头与地平面呈 60° 夹角对地面标记的面积为 4 m² 的区域进行拍摄,并用 Tiff 格式(无压缩格式)进行存储。然后利用 Adobe photoshop 软件来分析图像的红光值(RI, redness intensity)、绿光值(GI, greenness inten-

sity)和蓝光值(BI, blueness intensity),并计算红光标准化值(NRI, normalized redness intensity)、绿光标准化值(NGI, normalized greenness intensity)和蓝光标准化值(NBI, normalized blueness intensity),方法参考文献[13]。

$$\text{红光标准化值: } \text{NRI} = R / (R + G + B)$$

$$\text{绿光标准化值: } \text{NGI} = G / (R + G + B)$$

$$\text{蓝光标准化值: } \text{NBI} = B / (R + G + B)$$

同时,采用常规方法测定夏玉米的氮营养状况,其中,叶片 SPAD 值测定采用 Minolta 公司生产的 SPAD-502 叶绿素仪测定,测定部位是最新完全展开叶的中部;叶脉硝酸盐含量测定采用 Merck 公司生产的反射仪测定,测定部位为最新完全展开叶的叶脉中部;植株全氮含量的测定采用凯氏定氮法,测定整个地上部。

2 结果与分析

图 1 结果表明,除红光值以外,夏玉米十叶期冠层图像的绿光值、蓝光值、红光标准化值、绿光标准化值和蓝光标准化值都与叶片的 SPAD 值和植株全氮含量有着显著或者极显著的线性相关关系。其中绿光值、红光标准化值、绿光标准化值与夏玉米叶片的 SPAD 值以及植株全氮含量是负相关关系,而蓝光值、蓝光标准化值与 SPAD 值以及植株全氮含量为正相关关系。

在各可见光光谱参数与叶脉硝酸盐的关系图中可以看出

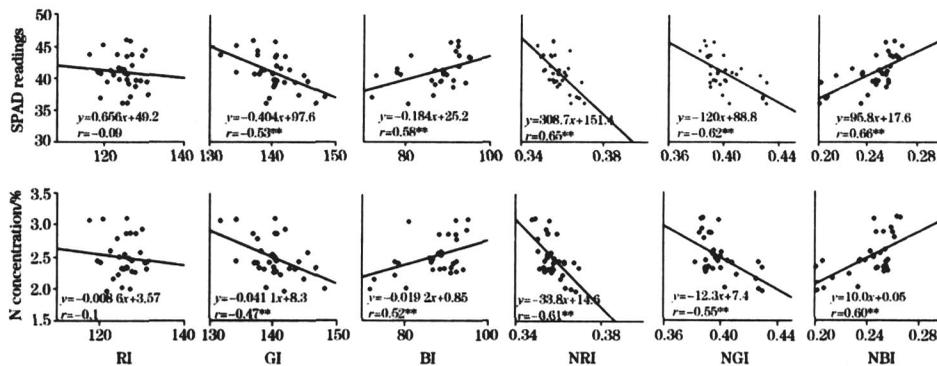


Fig. 1 Correlations of visible spectra parameters of the maize canopy with leaf SPAD readings and N concentration

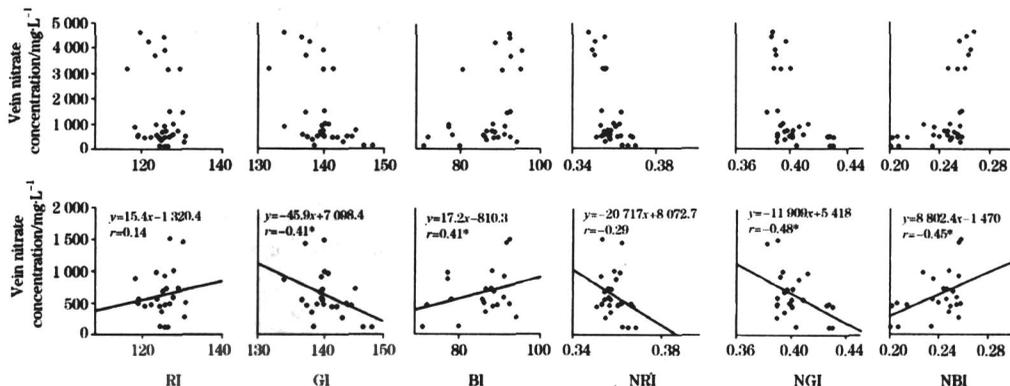


Fig. 2 Correlations between visible spectra parameters of the maize canopy and vein nitrate concentration (A means the total data, n=32; B means the data under 2000 mg · L⁻¹, n=24)

图 2(a), 由于叶脉硝酸盐浓度在高于 $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 后图 2(b), 各可见光光谱参数均变化微弱, 这可能是因为这些可见光光谱参数难以反映过量施肥的原因, 这与 Jia 等^[15]的研究结果一致。但是在叶脉硝酸盐浓度低于 $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 绿光值、绿光标准化值都与之有着显著线性负相关关系, 而蓝光值和蓝光标准化值都与之有着显著线性正相关关系。

上述结果表明, 红光值不是一个非常好的用来表征作物氮素营养的参数, 与所有的作物氮素指标均没有达到显著关系。而红光标准化值尽管与 SPAD 和植株全氮含量有着极显著的线性反相关关系, 但是与叶脉硝酸盐的含量关系没有达到显著水平。绿光值、蓝光值、绿光标准化值以及蓝光标准化值都与夏玉米的各个常规氮营养指标有着显著或极显著的线性相关关系。相比而言, 绿光值、蓝光值与各常规氮营养

指标关系的 r 值 ($r=0.41 \sim 0.58^{**}$) 均小于绿光标准化值和蓝光标准化值 ($r=0.45 \sim 0.66^{**}$)。因此, 本文结果说明, 在本研究条件下, 绿光标准化值与蓝光标准化值是较好的反映夏玉米氮营养状况的可见光光谱参数。

3 结 论

利用可见光光谱对夏玉米十叶期冠层图像的分析表明, 可见光光谱技术完全可以应用于夏玉米的氮营养诊断; 绿光标准化值、蓝光标准化值与夏玉米的植株全氮含量、叶片 SPAD 值和叶脉的硝酸盐浓度(低施氮条件下)有着显著或者极显著的线性相关关系, 是较好的表征夏玉米氮营养状况的可见光光谱参数。

参 考 文 献

- [1] ZHU Zhao-liang(朱兆良). Exploration of Nature(大自然探索), 1998, 66: 25.
- [2] Zhao R F, Chen X P, Zhang F S, et al. Agron Journal, 2006, 98: 938.
- [3] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P, et al. Field Crop Research, 2007, 105: 48.
- [4] CHEN Xin-ping, JI Hong-jie, ZHANG Fu-suo(陈新平, 冀宏杰, 张福锁). Fertilizing for Sustainable Production of High Quality Vegetables(平衡施肥与可持续优质蔬菜生产). Beijing: China Agricultural Press(中国农业出版社), 1999. 270.
- [5] Liu G D, Zhang W L, Zhang J. Agriculture Ecosystem Environment, 2005, 107: 211.
- [6] Ju X T, Kou C L, Zhang F S, et al. Environmental Pollution, 2006, 143: 117.
- [7] Chen X P, Zhou J C, Wang X R, et al. Communication in Soil Sci. Plant Anal., 2004, 35(3): 583.
- [8] Chen X, Zhang F, Römheld V, et al. Nutrient Cycling in Agro-ecosystem, 2006, 74: 91.
- [9] CHEN Xin-ping, ZHANG Fu-suo, CUI Zhen-ling, et al(陈新平, 张福锁, 崔振岭, 等). Nutrient Management Theories and Practices for Wheat-Maize Rotation System(小麦-玉米轮作体系养分资源综合管理理论与实践). Beijing: China Agricultural University Press(北京: 中国农业大学出版社), 2006. 51.
- [10] WANG Ren-chao, CHEN Ming-zhen, JIANG Heng-xian(王人潮, 陈铭臻, 蒋亨显). Journal of Zhejiang Agriculture University(浙江农业大学学报), 1993, 19: 7.
- [11] Mercedes Z, Urricariet S. Communication in Soil Sci. Plant Anal., 2005, 36: 1787.
- [12] FENG Lei, FANG Hui, ZHOU Wei-jun, et al(冯雷, 方慧, 周伟军, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(9): 1749.
- [13] JI Hai-yan, WANG Peng-xin, YAN Tai-lai(吉海彦, 王鹏新, 严泰来). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(3): 514.
- [14] Blackmer T M, Schepers J S, Varvel G E, et al. Agron, Journal, 1996, 88: 729.
- [15] Jia L L, Chen X P, Zhang F S, et al. Journal of Plant Nutrition., 2004, 27(3): 441.

Nitrogen Status Diagnosis of Summer Maize by Using Visible Spectral Analysis Technology

SUN Qin-ping¹, JIA Liang-liang², RUI Yu-kui¹, CHEN Xin-ping^{1*}, ZHANG Fu-suo¹

1. College of Resources and Environment Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China

2. Institute of Agro-Resources and Environment, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China

Abstract In the present paper, a field experiment with different N rates was conducted to study the possibility of using the visible spectrum of crop canopy to diagnose N status for the summer maize. Visible spectrum parameters were compared with the leaf SPAD readings, total N concentration and vein nitrate concentration. Field measurement data showed that the greenness intensity, blueness intensity, normalized redness intensity, normalized greenness intensity and normalized blueness intensity of the

maize canopy have significant relationships with leaf SPAD readings, total N concentration and vein nitrate concentration (under a low N input condition, with vein nitrate concentration $< 2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) at summer maize 10 leaves unfold stage. The greenness intensity, blueness intensity, normalized greenness intensity and normalized blueness intensity have significant relationship with the vein nitrate concentration under a low N input condition (vein nitrate concentration $< 2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). But when the maize vein nitrate concentration is above $2\ 000\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, there is no spectral parameter showing significant relationship with the vein nitrate concentration. The visible spectrum parameters reached a plateau with the vein nitrate concentration increasing. To sum up, the normalized greenness intensity (NGI) and normalized blueness intensity (NBI) have higher r values (0.45-0.66) than other parameters.

Keywords Summer maize; Visible spectrum; Nitrogen; Vein nitrate concentration; Normalized greenness intensity

* Corresponding author

(Received Oct. 16, 2007; accepted Jan. 18, 2008)

(上接 427 页)

March 2009

7-11 International Workshop on Optical Terahertz Science and Technology (OTST),

Santa Barbara, CA;

Contact: Andrea Markelz,

E-mail: amarkelz@buffalo.edu

Web site: <http://conference.iqcd.ucsb.edu/OTST/index.php>

8-13 PITTCON 2009,

Chicago, IL;

Contact: The Pittsburgh Conference, 300 Penn Center Boulevard, Suite 332, Pittsburgh, PA 15235; Tel. (412) 825-3220 or (800) 825-3221, Fax: (412) 825-3224;

E-mail: info@pittcon.org

Web site: <http://www.pittcon.org/>

22-26 ACS Spring 2009 National Meeting & Exposition,

Salt Lake City, UT;

Contact: ACS Meetings, 1155 16th St., NW, Washington, DC 20036; Tel. (202) 872-4396, Fax: (202) 872-6128;

E-mail: natlmtgs@acs.org

Web site: <http://www.chemistry.org/>

April 2009

9-11 7th China International Scientific Instrument and Laboratory Equipment Exhibition (CISILE 2009),

Beijing, China;

Contact: CISILE Exhibition Office, B2-804 Room No. 1 Building Wudongdalou No. 9, Yard Chegongzhuang Street, Beijing 100044, China; Tel. 86 10 88395128, Fax: 86 10 88395130;

E-mail: chenwei@cisile.com.cn

Web site: <http://www.cisile.com.cn/>

13-17 2009 Materials Research Society Spring Meeting,

San Francisco, CA;

Contact: Materials Research Society, 506 Keystone Drive, Warrendale, PA 15086-7573; Tel. (724) 779-3003, Fax: (724) 779-8313;

E-mail: info@mrs.org

Web site: http://www.mrs.org/s_mrs/index.asp

(下转 440 页)