

主动遥感光谱仪 Greenseeker 与 SPAD 对玉米氮素营养诊断的研究

郭建华¹, 王秀¹, 孟志军¹, 赵春江¹, 宇振荣², 陈立平¹

(1 国家农业信息化工程技术研究中心 北京 100097; 2 中国农业大学资源环境学院 北京 100094)

摘要:以手持式主动遥感光谱仪 Greenseeker 和叶绿素仪 SPAD 对玉米不同氮素水平下各个生育期的 NDVI 值及叶片 SPAD 值进行测试, 研究不同氮素对玉米群体和个体营养状况的变化以及田间条件下简便、快速、非接触性的作物氮素营养状况诊断方法。结果表明, 在一定的范围内随着氮肥用量的增加 NDVI 值也增加, 氮肥施用量为 N 300 kg/hm² 时 NDVI 值达到最高, NDVI 与氮肥施用量符合线性加平台的关系; 玉米不同生育期间 NDVI 值变化明显, 苗期 NDVI 值比较低, 大喇叭口期 NDVI 值达到最高, 以后逐渐下降并在抽雄期后趋于稳定。SPAD 值与 NDVI 值的变化趋势相一致, SPAD 值与叶绿素含量成正相关关系, 大喇叭口期完全展叶的 SPAD 与产量存在正相关关系。手持式主动遥感光谱仪 Greenseeker 和叶绿素仪 SPAD 结合能够对玉米的氮素营养状况作营养诊断。

关键词: 氮肥; 玉米; NDVI 值; SPAD 值; 营养诊断

中图分类号: S513; TP73

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)01-0043-05

Study on diagnosing nitrogen nutrition status of corn using Greenseeker and SPAD meter

GUO Jian-hua¹, WANG Xiu¹, MENG Zhi-jun¹, ZHAO Chun-jiang¹, YU Zhen-rong², CHEN Li-ping¹

(1 National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China;

2 College of Resource and Environmental Sciences, CAU, Beijing 100094, China)

Abstract: Portable active remote sensing spectrometer-Greenseeker and chlorophyll meter (SPAD 502) were used to determine NDVI and SPAD meter readings of corn at different growth stages under different nitrogen levels. This paper studied the impact of nitrogen on the nutritional status of single plant and corn population, and simple, fast and non-destructive nutritional diagnosis methods of crop nitrogen status in the field. The research results showed that NDVI increased with N rate, reaching a plateau at N 300 kg/hm². The relationship between NDVI and nitrogen rate could be described with a linear plus plateau model. Corn NDVI changed with different growth stages: NDVI was at a low level at the seeding stage and increased to the highest level at the pre-tasselling stage, then declined gradually and stabilized after tassell stage. The changes of NDVI and SPAD values showed similar trend. SPAD readings and chlorophyll contents were positively correlated, and SPAD readings at pre-tasselling stage were positively correlated with grain yield. This paper proved that portable active remote sensing spectrometer-Greenseeker and chlorophyll meter (SPAD meter) could be integrated to diagnose corn nitrogen nutritional status.

Key words: nitrogen rate; corn; NDVI values; SPAD values; nutrition diagnosing

氮素营养在确定的自然环境或农业环境下对植物的光合能力起着关键作用。为及时掌握作物生长

情况, 人们除根据经验进行外观诊断外, 往往以作物地上部的氮素营养作为植物营养状况诊断的依据。

收稿日期: 2006-12-04 接受日期: 2007-05-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(40571118) 科技部项目(2006AA10Z271) 资助。

作者简介: 郭建华(1961—), 女, 河北武强人, 研究员, 主要从事植物营养与施肥研究。Tel: 010-51503696, E-mail: guojh@nercita.org.cn

但传统方法的诊断不仅破坏植株的生长,同时化验周期长、操作繁杂,难以实现作物生长期间的实时监测。据报道,美国研制出了基于地面遥感光谱仪 Greenseeker^[1-2]在依据作物的生长状况指导施肥方面进行了研究,并在多个国家进行了示范和推广使用。Greenseeker 通过自身携带的具有高强度发光二极管发出的红光、绿光和近红外光,作为自身光源,这些光经过作物反射后再被二极管所接受和测量,并将这些信息传递给 Greenseeker 携带的掌上电脑,通过软件计算出 NDVI 值(Normalized difference vegetation index: 归一化植被指数,是多种植被指数中应用最为广泛的一种,表示了植物生长状态及植被空间分布密度)^[3-4]。叶绿素仪作为一种快速测定作物叶片叶绿素水平的方法正在得到越来越多专家的认可和推广,并在水稻、玉米、小麦等作物氮素营养诊断中得到应用^[5-10]。为了探索简便、快速、非接触性的作物氮素营养状况诊断方法,本研究利用 Greenseeker 测定田间玉米的 NDVI 值和用叶绿素仪测定叶片的 SPAD 值,分析 NDVI 值、氮肥施用量与产量的关系和 SPAD 值与玉米氮素水平的关系,旨在通过群体的监测和个体的速测决策氮肥的使用水平。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验位于北京昌平小汤山镇国家精准农业示范基地,土壤类型,冲积潮土,其基础肥力状况为有机质 18.1 g/kg、全 N 1.07 g/kg、速效 P 25.1 mg/kg、速效 K 122 mg/kg、铵态 N 14.5 mg/kg、硝态 N 22.3 mg/kg、碱解 N 91.3 mg/kg。供试作物玉米,品种为蠡玉 6 号;2005 年 5 月 12 日播种,2005 年 9 月 15 号收获,试验期间浇水和除草等田间管理与大田相同。

试验在施用磷、钾肥的基础上,设 5 个氮肥用量,分别为 N 0、75、150、225、300、450 kg/hm²,4 次重复,小区面积 60 m²。磷钾肥用量分别为 P₂O₅ 和 K₂O 各 150 kg/hm²,在播种之前作为底肥施入。氮肥施用方法为苗期开沟追施 1/3,其余部分在大喇叭口期追施。供试氮肥为尿素,磷肥为重过磷酸钙,钾肥为氯化钾。

1.2 测定项目与方法

SPAD 测定:在玉米生育期间,选择晴朗无阴雨的上午,时间在上午 9 时至 12 时之间,用 SPAD 分析仪(SPAD-5200,日本产)测定玉米叶片的叶绿素读数。苗期到抽雄前测定最新完全展叶,抽雄后测

定穗位叶,测定部位为玉米叶片长度的 1/2 处,避开叶脉位置。每一小区选择长势均匀的玉米 20 株,用塑料标签定位并标记叶位,测定记录每一处理叶片的读数。

NDVI 测定:在玉米生育期间,选择晴朗无阴雨的上午,每隔 3~5d 用地面遥感光谱仪(Greenseeker 美国开发研制)测定一次玉米的 NDVI 值。为了避免损坏仪器,测定时应尽量避开阴雨天气。为了保证测定结果的连续性和稳定性,在每一个小区选取长势均匀的 5 行玉米,固定每行长度,在测试行两端均留出一段保护距离(防止边缘效应对测定结果的影响),取 5 行的平均值作为该小区处理的测定值。在测试过程中尽量保持匀速行进,并使仪器的遥感头部始终保持与地面的水平方向和同一高度。

玉米叶片叶绿素含量的测定:取完全展开的叶片,用干净软纱布擦净表面尘土,用打孔器在玉米的叶缘和叶脉中央部位打 10~12 片样品,95% 的乙醇浸提 3~5 d 后,用分光光度计进行比色;这些叶片在打孔之前用 SPAD 仪同步测定叶绿素读数。

产量:玉米成熟后,取 5 行玉米单独收获并称其重量;从中取出 10 穗,凉干剥子粒后计算每个小区的产量。对于定位测定 SPAD 值的 10 株玉米,单独收获记产。

2 结果与分析

2.1 玉米不同生育期间的 NDVI 值变化

NDVI 是常用的植被指数。由于 NDVI 值能够反应作物生长趋势,是目前已有的多种植被指数应用最广泛的一种植被指数。

对作物不同生育期的监测结果(图 1)表明,在苗期由于叶片较小,作物的面积指数小,NDVI 测定值也比较小;随着生育期的进行,NDVI 值不断增大,到大喇叭口期 NDVI 值达到最大,以后逐渐缓慢下降,抽雄以后到乳熟期的变化很小。这种单峰式的变化与玉米生长养分的累积是同步的^[11]。说明 NDVI 值不但能够反应玉米生长的规律,同时由于 NDVI 值与玉米对氮素吸收的良好相关性,也可以较好地反映玉米氮素营养状况。

2.2 施肥对玉米 NDVI 值的影响

图 2 看出,在施氮量 N 0~300 kg/hm² 的范围内,随氮肥用量的增加 NDVI 值也在增加;施氮量超过 N 300 kg/hm² 后 NDVI 值不再随氮肥用量的增加而增加。这是由于在一定的范围内,随着氮肥用量的增加,充足的氮素营养满足了作物生长对养分的

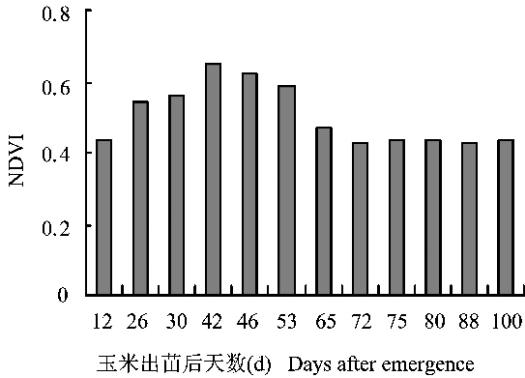


图 1 玉米不同生育期叶片 NDVI 读数

Fig.1 The NDVI values at different corn growth stages

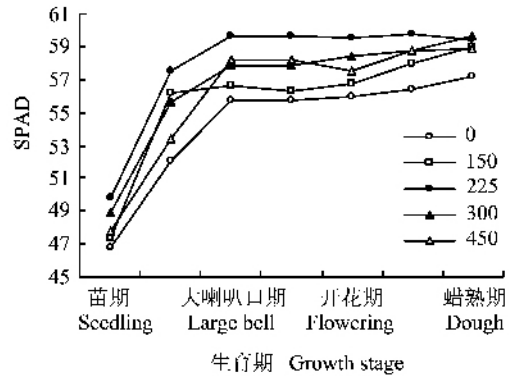


图 3 玉米不同生育期施肥对 SPAD 值影响

Fig.3 The SPAD values at different corn growth stages

需求,作物的营养生长加快,作物冠层的覆盖度加大,因此 NDVI 值也在增大;当氮肥增加到一定量时,作物对氮肥的吸收属于奢侈吸收阶段,营养生长和作物冠层的覆盖不再增加,达到饱和状态。

玉米大喇叭口期的 NDVI 值与玉米产量符合线性加平台的模型关系。

$Y = 7437.2X + 2246, R^2 = 0.6627 (X < 0.5980);$

$Y = 6694 (X \geq 0.5980)$

式中 Y : 玉米产量(kg/hm²); X : NDVI 值。

数值并不随着施肥量的增加而无限增大,整个生育期间均以 N 225kg/hm² 处理的 SPAD 值最大。

2.4 SPAD 值与产量的相关性

作物产量的形成是通过植物体内的叶绿素将光能转化成化学能—生产有机物质的过程;叶绿素的含量直接影响到光合产物的生产速率。开花以后的生殖生长阶段,是形成产量的关键时期,保持较高水平的叶绿素含量,是提高叶片光合作用强度和延长功能的基础,也是获得高产的保证。

尽管 SPAD 读数值是作物体内叶绿素高低的相对值,但也反映了体内叶绿素含量的高低。大喇叭口期完全展叶通常为第 10~11 片叶,是穗位叶,其光合功能的强度直接影响到玉米的产量。图 4 看出,大喇叭口期完全展叶 SPAD 值与产量存在正相关,符合线性加平台的模型关系。

$Y = 69.261X + 2223.1 (X < 50.66)$

$Y = 5731 (X \geq 50.66)$

式中 Y : 玉米产量(kg/hm²); X : SPAD 测定值。

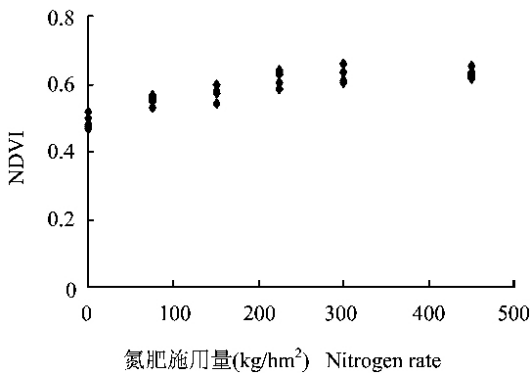


图 2 不同氮肥用量下的 NDVI 值

Fig.2 The effects of different nitrogen rate on NDVI values

2.3 施肥对玉米 SPAD 值的影响

在玉米整个生育期间,SPAD 值随生育期发生变化(图 3)。苗期 SPAD 值比较低,到大喇叭口期 SPAD 值达到最大值,以后趋于稳定,这种变化和玉米营养生长的变化相一致。施肥提高了玉米叶片 SPAD 读数值。不同施氮处理对苗期叶片 SPAD 读数值的影响相对较小,拔节期以后这种影响逐渐加大;由于施肥增加玉米叶片的含氮量和叶绿素含量,因此 SPAD 读数值也随之增加。但是,SPAD 读

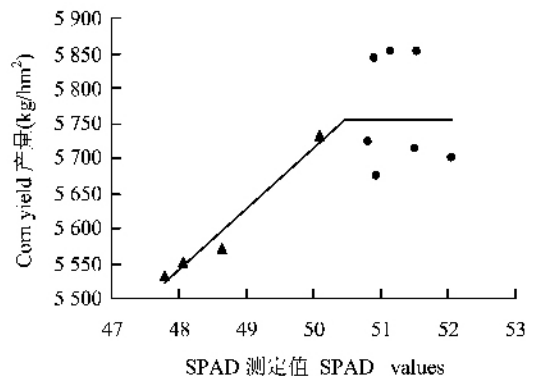


图 4 SPAD 与玉米产量的关系

Fig.4 The relationship between yield and corn leaf SPAD values

2.5 施肥对叶绿素含量变化的影响

对玉米叶片叶绿素含量测定结果表明,叶绿素含量从拔节期到灌浆期逐渐增加,开花期到灌浆期增加的幅度比较快,灌浆期叶绿素达到最大值。施 N 225 kg/hm² 处理叶绿素含量最高,比对照增加 0.2731~0.3851 mg/g。表 1 看出,肥料的合理施用能够增加玉米拔节和大喇叭口期叶绿素 a 的含量,施 N 225kg/hm²处理在大喇叭口期叶绿素 a 的含量显著高于其他的施肥处理和对照,比对照高 0.2584 mg/g;而在拔节期、大喇叭口期、开花期和灌浆期施 N 225 kg/hm² 的处理比施 N 100 kg/hm² 的处理分别高 0.1596、0.2424、0.1075 和 0.1112 mg/g。叶绿素含量的增加提高了玉米的光合作用,为干物质积累

和产量提高打下基础。

拔节期间叶绿素含量和玉米产量成正相关关系 $y = 345.9674 + 11.84114X$, $R^2 = 0.681145$, 达到显著水平 ($F = 8.5448 > F_{0.05} = 0.04310$, $n = 20$)。因此生产中可以通过拔节期间叶绿素的含量预测玉米产量和进行施肥决策,也可以根据实际生产力水平,通过设定目标产量的方式,确定氮肥使用量,尽量实现科学施肥、经济施肥,节约资源、保护环境。

图 5 可以看到,SPAD 值与叶片中叶绿素含量之间存在着明显的相关关系。在叶绿素的组分中,无论是叶绿素还是类胡萝卜素,他们都与 SPAD 读数有很好的相关性,以叶绿素 a + b 的总和与 SPAD 读数值的相关性最高,相关系数 $R^2 = 0.9571$ 。

表 1 不同施肥处理对玉米生育期间叶绿素含量的影响

Table 1 Chlorophyll content of corn leaf as affected by different N treatments

处理 Treatment (N kg/hm ²)	拔节期 Jointing		大喇叭口期 Large bell		开花期 Flowering		灌浆期 Filling	
	Chl. a	Chl. b	Chl. a	Chl. b	Chl. a	Chl. b	Chl. a	Chl. b
0	2.6520	0.7497	2.7624	0.9148	3.0482	0.9764	3.1981	1.0768
100	2.7331	0.7929	2.7784	0.8945	3.1441	1.0230	3.2381	1.0744
150	2.8715	0.8057	2.8801	0.9933	3.1929	1.034	3.3447	1.0811
225	2.8927	0.8941	3.0208	0.9870	3.2516	1.1272	3.3493	1.1987

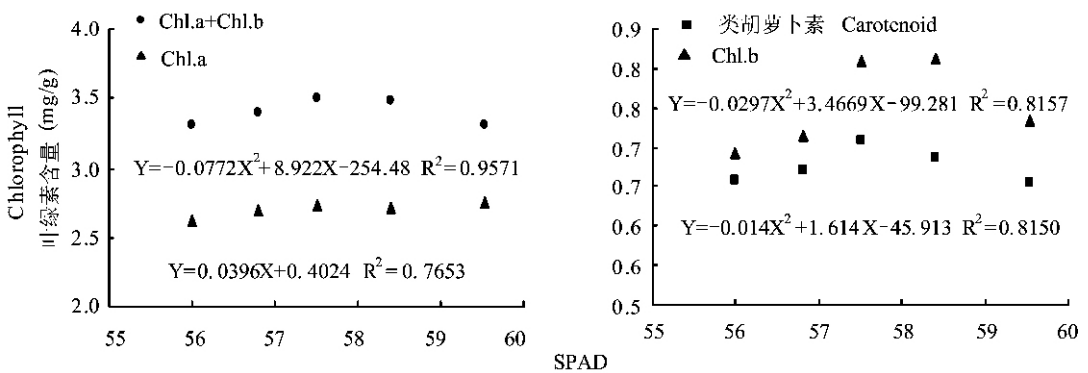


图 5 玉米开花期间叶绿素和 SPAD 值的关系

Fig. 5 The relationship between chlorophyll concentration and SPAD values in flowering

3 结论

通过对作物体内营养状况的无损诊断,确定植株体内养分的丰缺程度,并以此作为作物施肥决策的依据,实现平衡施肥^[12];用无损测试技术对土壤或作物的氮素状况的精确评价是作物营养诊断技术的发展趋势^[13]。应用地物主动遥感仪 Greenseeker 结合 SPAD 仪,在玉米生长的各个生育期,对其氮素

营养状况进行诊断,结果表明它们之间具有很好的相关性。

Greenseeker 能够监测玉米群体的生长状况。在拔节期以后,不同氮肥处理植株生长不同,因此监测到的 NDVI 值不同。NDVI 值随着氮肥用量的增加而增加,当施肥量为 N 300 kg/hm² 时 NDVI 值达到最高,超过最大产量施肥量时,虽然氮肥用量增加,NDVI 值并不再增加。田间应用时由于不同地点的

土壤背景不同,需要单独进行试验建立指标关系。

SPAD 值与叶片中叶绿素含量之间存在着显著的相关关系。玉米叶片个体 SPAD 值的大小反映了作物体内叶绿素含量的高低。大喇叭口期 SPAD 值与产量符合线性加平台的关系。与李志宏^[14]等人的研究结果即用 SPAD 值对夏玉米追肥推荐营养状况的预测精度为 60% 以上相一致,其推荐量不仅满足作物氮素的需求,同时大大减少氮素对环境的污染。

参考文献:

- [1] Mullen R W, Freeman K W, Raun W R *et al.* Identifying an in-season response index and the potential to increase wheat yield with nitrogen[J]. *Agron. J.*, 2003, 95: 347-351.
- [2] 宋文冲,胡春胜,程一松,等.作物氮营养诊断方法研究进展[J].*土壤通报* 2006, 37(2): 369-372.
Song W C, Hu C S, Cheng Y S *et al.* Research advancement on crop nitrogen nutrition diagnosis[J]. *Chin. J. Soil Sci.*, 2006, 37(2): 369-372.
- [3] 李民赞.光谱分析技术及其应用[M].北京:科学出版社,2006. 195-196.
Li M Z. Spectroscopic analysis technique and application[M]. Beijing: Science Press, 2006. 195-196.
- [4] Curran P J, Dungan J L, Macler B A *et al.* Reflectance spectroscopy of fresh whole leaves for the estimation concentration[J]. *Remote Sens Environ.*, 1992, 35: 415-420.
- [5] Earl H J, Tolhnaar M. Maize leaf absorbance of photosynthetically active radiation and its estimation using a chlorophyll meter[J]. *Crop Sci.*, 1997, 37: 436-440.
- [6] Chapman S C, Barreto H J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth[J]. *Agron. J.*, 1997, 89: 557-562.
- [7] 黄瑞冬,王进军,许文娟.玉米和高粱叶片叶绿素含量及动态的比较[J].*杂粮作物* 2005, 25(1): 30-31.
Huang R D, Wang J J, Xu W J. Corn and sorghum leaf chlorophyll compare content changing[J]. *Rainfed Crops*, 2005, 25(1): 30-31.
- [8] 陈防,鲁建巍.SPAD-502 叶绿素计在作物营养快速诊断上的应用[J].*湖北农业科学*, 1996, (2): 31-34.
Chen F, Lu J W. SPAD-520 using chlorophyll meter on the crops nitrogen nutrition diagnosis[J]. *Hubei Agric. Sci.*, 1996, (2): 31-34.
- [9] 吴良欢,陶勤南.水稻叶绿素计诊断追氮法研究[J].*浙江农业大学学报*, 1999, 25(2): 135-138.
Wu L H, Tao Q N. Nitrogen fertilizer application based on the diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants using chlorophyll meter[J]. *J. Zhejiang Agric. Univ.*, 1999, 25(2): 135-138.
- [10] 唐延林,王人潮,张金恒,等.高光谱与叶绿素计快速测定大麦氮素营养状况研究[J].*麦类作物学报*, 2003, 23(1): 63-66.
Tang Y L, Wang R C, Zhang J H *et al.* Study on determining nitrogenous levels of barley by hyperspectral and chlorophyll meter[J]. *J. Tritic. Crops*, 2003, 23(1): 63-66.
- [11] 郭庆法,王庆成.玉米栽培学原理[M].上海:上海科学技术出版社,2004. 407-409.
Guo Q F, Wang Q C. Maize cultivate principle[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2004. 407-409.
- [12] 曹红生,黄德明,俞仲林,等.小麦追施氮肥的快速营养诊断技术研究[J].*南京农业大学学报*, 1990, 13(1): 8-13.
Cao H S, Huang D M, Yu Z L *et al.* Study on the determining nitrogen nutrition diagnosis on wheat[J]. *J. Nanjing Agric. Univ.*, 1990, 13(1): 8-13.
- [13] 贾良良,陈新平.作物氮营养诊断的无损测试技术[J].*世界农业* 2001, (6): 36-37.
Jia L L, Chen X P. Non-destructive measurement of crop nitrogen nutrition diagnosis[J]. *World Agric.*, 2001, (6): 36-37.
- [14] 李志红,张云贵,刘宏斌,等.叶绿素计在夏玉米氮素营养诊断中的应用[J].*植物营养与肥料学报*, 2005, 11(6): 764-768.
Li Z H, Zhang Y G, Liu H B *et al.* Application of chlorophyll meter on N nutritional diagnosis for summer corn[J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(6): 764-768.