

## 不同氮肥水平下大豆叶片光谱反射率与叶绿素含量的相关性研究

申晓慧<sup>1</sup>, 姜 成<sup>2</sup>, 张敬涛<sup>1</sup>, 刘婧琦<sup>1</sup>, 赵桂范<sup>1</sup>, 冯 鹏<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 佳木斯分院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 佳木斯大学 生命科学学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

**摘 要:**用 Unispec 光谱分析仪和 SPAD-502 叶绿素仪测定不同生育时期不同氮肥水平大豆叶片光谱反射率及叶绿素含量,并分析了光谱植被指数与叶绿素含量的相关性。结果表明:不施氮肥处理光谱反射率高于施氮处理,随着施氮量的增加,大豆叶片光谱反射率下降,并初步断定结荚期是大豆氮素光谱营养诊断的敏感时期;随着氮肥水平的提高叶绿素含量增加;整个生育时期,除鼓粒期不施氮处理外其它处理的植被指数  $mND_{705}$  与叶绿素含量均呈极显著正相关;在花期和结荚期,各处理的  $mSR_{705}$  与叶绿素含量呈极显著正相关,  $PSSR_c$  与叶绿素含量呈极显著负相关。

**关键词:**大豆;光谱反射率;叶绿素含量;植被指数

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2012)01-0073-03

## Correlation between Spectrum Reflectance and Chlorophyll Content of Soybean Leaves under Different Nitrogen Level

SHEN Xiao-hui<sup>1</sup>, JIANG Cheng<sup>2</sup>, ZHANG Jing-tao<sup>1</sup>, LIU Jing-qi<sup>1</sup>, ZHAO Gui-fan<sup>1</sup>, FENG Peng<sup>1</sup>

(1. Jiamusi Branch of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154007; 2. College of Life Science, Jiamusi University, Jiamusi 154007, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Field trial with four nitrogen level of 0, 30, 60 and 90 kg·ha<sup>-1</sup> ( $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$  and  $N_3$ ) was conducted, the leaf chlorophyll content and spectral response at flowering, podding and seed-filling of soybean were measured by Unispec spectrometer and SPAD-502 chlorophyll meter, respectively. Leaf spectral reflection declined with the increasing of applied N, and podding period of soybean was diagnosed as N sensitive stage by spectral reflection. Leaf chlorophyll content increased as the increasing of applied N. Vegetation index  $mND_{705}$  showed significant positive correlation with chlorophyll content under all treatments, except that of  $N_0$  at seed-filling.  $mSR_{705}$  significant positively correlated with, while  $PSSR_c$  significant negatively correlated with chlorophyll content under four N levels at flowering and podding. Results suggest that vegetation index  $mSR_{705}$ ,  $mND_{705}$  and  $PSSR_c$  could be used as predictors for soybean leaf chlorophyll content and N levels.

**Key words:** Soybean; Spectral reflectance; Chlorophyll content; Vegetation indices

高光谱遥感技术是精准农业技术体系中获取农田数据的重要手段。利用高光谱遥感技术获取作物光合生产能力和作物长势状况的叶绿素特征波段信息,建立作物叶绿素的遥感监测与诊断模型,可有效地对作物进行实时快捷无损的长势监测<sup>[1-3]</sup>,对提高作物生长的预见性具有重要研究意义。利用反射率的光谱数据来估算叶绿素含量已经成为作物长势监测和遥感估产的一种重要手段<sup>[4-5]</sup>。一直以来,人们在不断的探索光谱数据与作物生理生化参数之间的关系,金震宇等<sup>[6]</sup>指出水稻叶片叶绿素浓度与其光谱反射率之间具有相关性,Gupta 等<sup>[7]</sup>首先报道了大豆叶片的光谱反射,为理解大豆光谱特征奠定了基础。Wang 等<sup>[8]</sup>研究了在碱土和灌溉耦合条件下大豆的高光谱特征。但

是对于大豆在不同水肥胁迫条件下大豆叶表面的光谱特征鲜有报道。该研究通过田间试验方法,研究不同时期不同氮肥水平下大豆叶片叶绿素含量变化及引起的光谱响应差异,寻找光谱特征的变化规律,及其与叶绿素含量之间的相关性,为利用高光谱技术快速无损估测大豆叶片叶绿素含量的研究提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

大豆品种垦丰 16 号由黑龙江省农科院佳木斯分院提供,尿素(总氮 $\geq 46.4\%$ )大庆石化生产,粒状重过磷酸钙( $P_2O_5 \geq 43\%$ )云南三环化工有限公司生产,氧化钾( $K_2O \geq 60\%$ )四川成都乌拉尔钾肥

收稿日期:2011-09-20

基金项目:国家引智项目(Y20112300001)。

第一作者简介:申晓慧(1980-),女,硕士,助理研究员,从事作物工程研究。E-mail:xiaohuishen@126.com。

有限公司生产。

## 1.2 试验方法

试验于2009~2010年在黑龙江省农科院佳木斯分院水泥池栽试验田中进行,试验地前茬作物为大豆,碱解氮  $142.71 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷  $139.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $296.46 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,pH 6.8,有机质 3.4%,全氮 0.25%,全磷 0.26%,全钾 3.5%。试验采用随机区组设计,3次重复,45 cm 窄行密植,垄上双行,行距为 10 cm,株距 20 cm,小区长 6 m,18 行区。试验设 0、30、60 和  $90 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  共 4 个氮肥水平,分别记为  $N_0$ 、 $N_1$ 、 $N_2$  和  $N_3$ ,磷和钾肥用量相同( $P-120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $K-80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),播种时以底肥形式施入。

## 1.3 测定项目与方法

光谱仪选用美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的 UniSpec 植物生理光谱分析仪,可见光/近红外波长范围为 310 ~ 1100 nm,光谱分辨率 < 10 nm。叶绿素仪选用日本美能达公司 SPAD-502 型叶绿素仪。数据采集时期为大豆花期、结荚期和鼓粒期,10:00 ~ 14:00 测定大豆倒三叶的叶绿素含量和光谱,光谱仪和叶绿素仪每次数据采集前都进行标准校正,光谱测量采用 5 次重复,求平均数;叶绿素测量采用 3 次重复,求平均数。选用的与叶绿素含量相关的光谱植被指数分别为  $PSSRa = R_{800}/R_{680}$ 、 $PSSRb = R_{800}/R_{700}$ 、 $PSSRc = R_{800}/R_{470}$ 、 $PSSRd = R_{800}/R_{640}$ 、 $mSR_{705} = (R_{750} - R_{445})/(R_{705} - R_{445})$ 、 $mND_{705} = (R_{750} - R_{705})/(R_{750} + R_{705} - 2R_{445})^{[9-10]}$ 。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同氮素水平大豆叶片光谱反射率变化

如图 1 所示,不同生育时期不同氮肥水平下,叶片光谱反射率变化趋势一致。在可见光波段(390 ~ 780 nm)光谱曲线峰谷变化明显,但特征峰和特征谷的位置变化不大,蓝光区 500 nm 和红光区 680 nm 左右是叶绿素的强烈吸收波段,导致这 2 个波段处的反射率出现了低谷,绿光区 550 nm 左右和 760 nm 左右是叶绿素的强烈反射波段,出现了反射峰值,随着施氮量的变化,在反射强度上有所差别,近红外区域(760 ~ 1000 nm)叶绿素吸收率极低,光谱曲线比较平稳。

大豆叶片光谱的反射率在整个生育时期都是随着施氮量的增加而下降,花期(图 1A)  $N_0$  处理的叶片光谱反射率在 550 nm 左右的反射峰与其它 3

个施氮处理的叶片光谱反射率差异不明显,原因可能是由于此时大豆根瘤在土壤中可以固定充足的氮,大豆叶片叶绿素含量差异不明显;结荚期(图 1B)是大豆一生中吸收养分最快、最多的时期,植株叶绿素含量增加,光合能力随之增强,随着施氮量的增加,叶片光谱反射率差异明显,光谱反射率不施氮处理明显高于施氮处理,结荚期叶片光谱反射率变化反应了大豆需肥规律。在鼓粒期(图 1C),  $N_0$  处理的叶片光谱反射率比其它施氮处理的光谱反射率略高,而其它 3 个处理的叶片光谱的反射强度基本相同,但随着氮量的增加,在可见光区段,  $N_1$  处理光谱反射率低于  $N_2$  处理。

综上所述,在结荚期,大豆叶片在可见光波段的光谱反射率随着施氮量的增加而显著减小。在营养学上,结荚期是养分利用最大效率期。因此,利用光谱进行大豆氮素营养诊断时,结荚期可能就是光谱诊断的敏感时期。

## 2.2 不同氮素水平下大豆叶绿素含量变化

由图 2 可知,不同施氮水平下,叶片叶绿素含量均随生育期的推进总体呈先升后降的趋势。叶绿素含量随氮肥水平的提高逐渐增加,  $N_0$  处理叶绿素含量明显低于其它 3 个氮肥处理,在整个生育时期  $N_3$  处理始终高于其它处理,花期不同氮肥处理叶绿素含量变化差异不明显,可能由于此时大豆氮肥来源除了肥料外,还有一部分来自根瘤固氮,氮肥的供应基本能满足生长需求。到大豆结荚期,肥料供氮对大豆生长的影响逐渐表现出明显差异,叶绿素含量施氮处理明显高于不施氮肥处理;到鼓粒期,叶片氮素营养不断向荚部运转,叶绿素含量逐渐稳定,叶片逐渐变黄,最后开始分解,不同氮肥处理叶绿素含量差异不明显。

## 2.3 光谱植被指数与叶绿素含量的相关性分析

由表 1 可以看出,整个生育时期,除鼓粒期  $N_0$  处理外其它处理的植被指数  $mND_{705}$  与叶绿素含量均呈极显著正相关;在花期和结荚期,  $mSR_{705}$  与叶绿素含量呈极显著正相关,  $PSSRc$  与叶绿素含量均呈极显著负相关;  $PSSRb$  与  $PSSRa$  表现为在大豆花期与叶绿素含量呈极显著正相关,而  $PSSRd$  与大豆叶片叶绿素含量均不相关,其中以  $mSR_{705}$ 、 $mND_{705}$  和  $PSSRc$  与叶绿素含量之间的相关性表现较好。因此可以通过  $mSR_{705}$ 、 $mND_{705}$  和  $PSSRc$  来预测叶片叶绿素含量,同时可以进行大豆叶片氮素诊断。

表 1 不同生育时期不同氮素水平光谱植被指数与叶绿素含量的相关性分析

Table 1 Correlation coefficient between the vegetation indexes of leaves spectra and chlorophyll of soybean under different period and N level

生育时期	处理	植被指数 Vegetation indexes					
stage	Treatment	mSR <sub>705</sub>	mND <sub>705</sub>	PSSRb	PSSRd	PSSRa	PSSRc
花期 Flowering	N <sub>0</sub>	0.824 **	0.945 **	0.890 **	-0.220	0.886 **	-0.979 **
	N <sub>1</sub>	0.891 **	0.832 **	0.801 **	-0.391	0.891 **	-0.945 **
	N <sub>2</sub>	0.965 **	0.883 **	0.967 **	-0.421	0.895 **	-0.986 **
	N <sub>3</sub>	0.997 **	0.889 **	0.878 **	-0.464	0.915 **	-0.901 **
结荚期 Podding	N <sub>0</sub>	0.850 **	0.791 **	0.861 **	-0.176	0.536	-0.879 **
	N <sub>1</sub>	0.876 **	0.846 **	0.753	-0.314	0.682	-0.830 **
	N <sub>2</sub>	0.926 **	0.921 **	0.986 **	-0.411	0.897 **	-0.889 **
	N <sub>3</sub>	0.999 **	0.975 **	0.718	-0.482	0.955 **	-0.975 **
鼓粒期 Seed-filling	N <sub>0</sub>	0.656	0.764	0.872 **	-0.382	0.457	-0.764
	N <sub>1</sub>	0.771	0.856 **	0.648	-0.394	0.64	-0.691
	N <sub>2</sub>	0.734	0.861 **	0.819 **	-0.432	0.886 **	-0.905 **
	N <sub>3</sub>	0.859 **	0.973 **	0.756	-0.458	0.895 **	-0.913 **

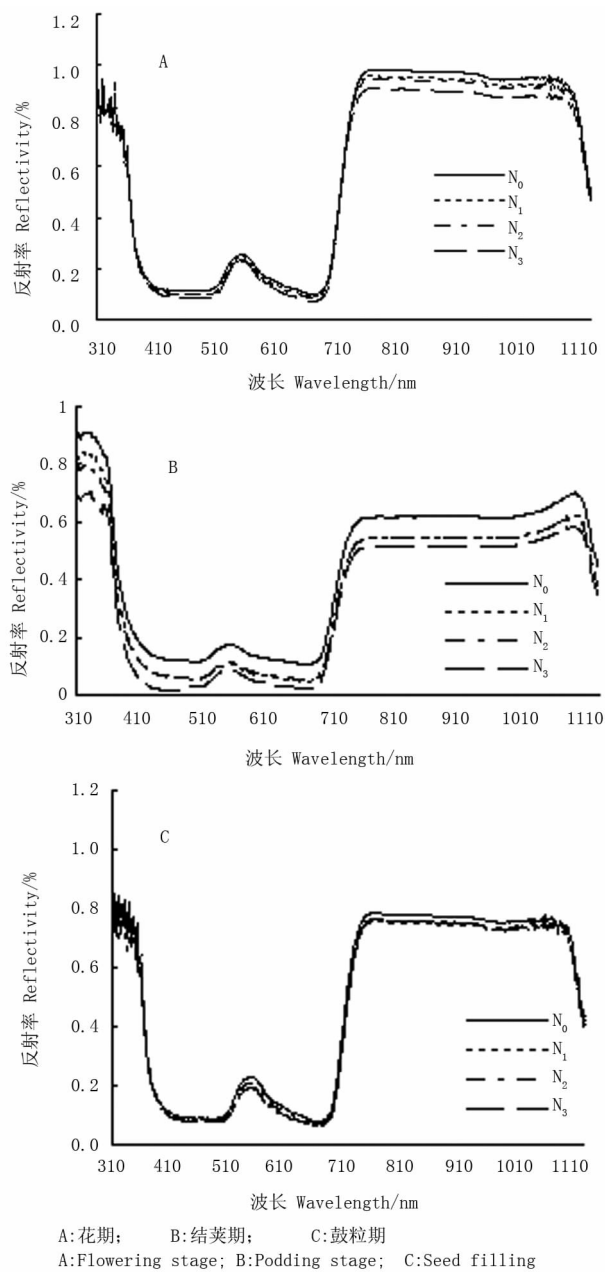


图 1 不同营养水平下 3 个生育时期叶片光谱反射率

Fig.1 Spectral reflections in different N at three stages

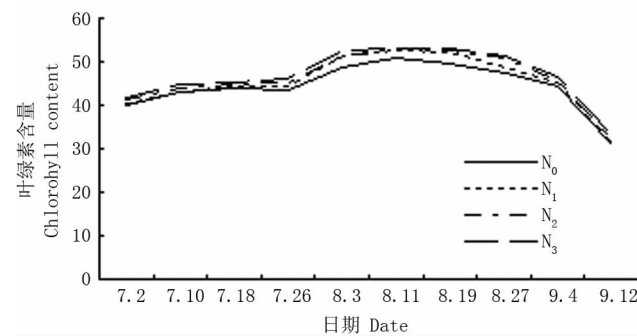


图 2 不同氮肥水平及不同生育时期大豆叶片叶绿素含量变化

Fig.2 Change of chlorohyll content under different N Level and period

3 结 论

大豆花期、结荚期和鼓粒期不施氮肥处理叶片光谱反射率高于氮肥处理,并且随着施氮量的增加,反射率下降;不同氮素水平下,在可见光波段各生育时期具有明显的特征峰和特征谷;此外,大豆养分需求最多和养分利用最大效率的时期—结荚期,在叶片反射光谱上表现为氮素营养的敏感时期。叶绿素含量随生育期的推进整体上先升后降,不同氮肥水平下叶绿素含量的变化趋势明显,随着氮肥水平的提高而增加。植被指数 mND<sub>705</sub>、mSR<sub>705</sub> 和 PSSRc 与大豆叶绿素含量具有显著的相关性。

参考文献

[1] 吴长山,项月琴,郑兰芬,等. 利用高光谱数据对作物群体叶绿素密度估算的研究[J]. 遥感学报,2000,4(3):228-232. (Wu C S,Xiang Y Q,Zheng L F,et al. Estimating chlorophyll density of crop canopies by using hyperspectral data[J]. Journal of Remote Sensing,2000,4(3):228-232. )

( 下转第 80 页 )

这有利于高蛋白大豆品种籽粒蛋白的加工利用和秸秆饲用及还田等方面的综合利用。

籽粒形成及成熟时期高蛋白品种继续从土壤吸收同化较多的氮素,这一阶段的吸氮能力与籽粒蛋白质含量高度正相关,且高蛋白品种营养器官贮存的氮素也以较大比例向籽粒转移。

综上所述,认为形成大豆籽粒高蛋白含量的原因主要有 3 个:1. 结荚后营养器官(叶片、叶柄和茎秆)较高的氮素含量;2. 籽粒形成及成熟期较强的氮素同化和运转能力;3. 籽粒对氮素的高效利用。

## 参考文献

- [1] 袁立海,张晓,舒权,等. 大豆氮肥增产效应的研究[J]. 大豆科学,1984,3(3):243-250. (Yuan L H, Zhang X, Shu Q, et al. Study on effect of enhancing yield of soybean by applying nitrogen fertilizer[J]. Soybean Science, 1984, 3(3):243-250.)
  - [2] 王全富,刘丽君,孙聪妹,等. 大豆氮素积累及其对籽粒蛋白质含量的影响[J]. 东北农业大学学报,2005,36(5):545-548. (Wang Q F, Liu L J, Sun C S, et al. Nitrogen accumulation and its effect on protein content in seeds of soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2005, 36(5):545-548.)
  - [3] 孙太靖,龚振平,马春梅. 大豆植株氮素积累与转运动态的研究[J]. 东北农业大学学报,2004,35(5):517-521. (Sun T J, Gong Z P, Ma C M. Study on the regulation of nitrogen accumulation and translocation in high-oil soybean[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2004, 35(5):517-521.)
  - [4] Sinclair T R, Fariab J R, Neumaier N, et al. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean[J]. Field Crops Research, 2003, 81:149-158.
  - [5] Yao Y B, Jin X J, Di W, et al. Regularity of nitrogen accumulation in soybean and its simulation[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 18(1):1-5.
  - [6] 吴魁斌,沈国清. 对大豆氮素利用率及体内分配规律的研究[J]. 现代化农业,1998(12):9-10. (Wu K B, Shen G Q. Study on use efficiency and distribution law of nitrogen in soybean[J]. Modernizing Agriculture, 1998(12):9-10.)
  - [7] 杨琪,王金陵. 不同类型大豆干物质及氮的动态变化研究[J]. 中国农业科学,1995,28(A01):108-114. (Yang Q, Wang J L. The study of dynamic changing of nitrogen and dry matter for different types of soybean at reproductive stage[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28(A01):108-114.)
  - [8] 王立刚,刘景辉,刘克礼,等. 大豆氮素积累、分配与转移规律的研究[J]. 作物杂志,2004(5):20-22. (Wang L G, Liu J H, Liu K L, et al. Study on nitrogen accumulation, distribution and translocation of soybean[J]. Crops, 2004(5):20-22.)
  - [9] 金喜军,马春梅,龚振平,等. 大豆鼓粒期对肥料氮的吸收与分配研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):395-399. (Jin X J, Ma C M, Gong Z P, et al. Study on fertilizer-N absorption and distribution of soybean (*Glycine max* L.) during the seed-filling period[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2):395-399.)
  - [10] Egli D B, Bruening W P. Nitrogen accumulation and redistribution in soybean genotypes with variation in seed protein concentration[J]. Plant and Soil, 2007, 301:165-172.
- 
- (上接第 75 页)
- [2] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2000. (Pu R L, Gong P. The application of hyperspectral remote sensing[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000.)
  - [3] 王登伟,李少昆,田庆玖,等. 棉花主要栽培生理参数的高光谱估测研究[J]. 中国农业科学,2003,36(7):770-774. (Wang D W, Li S K, Tian Q J, et al. Estimating of main cultivation physiology parameters of cotton by using hyperspectral remote sensing[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(7):770-774.)
  - [4] 唐延林,黄敬峰,王人潮. 水稻不同发育时期光谱与叶绿素和类胡萝卜素的规律[J]. 中国水稻科学,2004,18(1):59-66. (Tang Y L, Huang J F, Wang R C. Change law of hyperspectral data with chlorophyll and carotenoid for rice at different developmental stages[J]. Chinese Journal of Rice Science, 2004, 18(1):59-66.)
  - [5] 唐延林,黄敬峰,王人潮,等. 水稻遥感估产模拟模式比较[J]. 农业工程学报,2004,21(1):166-171. (Tang Y L, Huang J F, Wang R C, et al. The comparison of rice yield estimation by remote sensing simulation model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, 21(1):166-171.)
  - [6] 金震宇,田庆久,惠凤鸣,等. 水稻叶绿素浓度与光谱反射率关系研究[J]. 遥感技术与应用,2003,18(3):134-137. (Jin Z Y, Tian Q J, Hui F M, et al. Study of the Relationship between rice chlorophyll concentration and rice reflectance[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2003, 18(3):134-137.)
  - [7] Gupta R K, Woolley J T. Spectral properties of soybean leaves[J]. Agronomy, 1971, 63:123-126.
  - [8] Wang D, Wilson C, Shannon M. Interpretation of salinity and irrigation effects on soybean canopy reflectance in visible and near-infrared spectrum domain[J]. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(5):811-824.
  - [9] Blackburn G A. Spectral indices for estimating photosynthetic pigment concentrations: a test using senescent tree leaves[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4):657-675.
  - [10] 申晓慧,张敬涛,姜成,等. 大豆叶片叶绿素含量与光谱的特征分析[J]. 大豆科学,2009,28(4):747-750. (Shen X H, Zhang J T, Jiang C. The correlation between chlorophyll content and spectral characteristics of soybean leaves[J]. Soybean Science, 2009, 28(4):747-750.)