

大豆叶片叶绿素含量与光谱的特征分析

申晓慧¹,张敬涛¹,姜 成²,宋英博¹

(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 叶绿素仪测定了 2 个品种从初花期到成熟期的反射光谱和叶绿素含量。用 SPAD 叶绿素仪测定结果表明:每个时期均为合交 98-1667 的叶绿素含量高于合丰 55 号;用 Unispec 光谱分析仪测定结果显示:合丰 55 号大豆的光谱反射率高于合交 98-1667,并且发现在可见光 510 nm ~ 610 nm 处有一个叶绿素反射吸收峰,此吸收峰是大豆叶片上特有的一个特征值。数据统计分析表明:叶片叶绿素含量与光谱植被指数 mSR₇₀₅、mND₇₀₅ 和 PSSRc 具有极显著相关性。说明可以通过测量叶片光谱的方法来监测大豆叶片叶绿素含量。

关键词:大豆;叶片;光谱反射率;植被指数

中图分类号:S565.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-9841(2009)04-0747-04

Correlation between Chlorophyll Content and Spectral Characteristics of Soybean Leaves

SHEN Xiao-hui¹,ZHANG Jing-tao¹,JIANG Cheng²,SONG Ying-bo¹

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

Abstract:Spectral reflection and chlorophyll content are measured respectively by Unispec spectrometer and SPAD chlorophyll meter from initial flowering to maturing of two soybean cultivars. The chlorophyll content of Hejiao 98-1667 was higher than that of Hefeng 55 in each measured period. The spectral reflectance of Hefeng 55 was higher than that of Hejiao 98-1667. A chlorophyll reflection absorption peak was observed in 510-610 nm wavelength,which maybe a unique eigenvalue of soybean leaves. Statistical analysis showed chlorophyll content of leaves significantly correlated to their spectral vegetation indices such as mSR705,mND705 and PSSRc,which suggests that the chlorophyll content of the leaves of soybean can be monitored by measuring the leaf spectral method.

Key words:Soybean;Leaf;Spectral reflectance;Vegetation indices

植物的整个生长阶段离不开光合作用,叶绿素直接影响植被光合作用的光能利用。植被和叶片反射光谱在可见光范围内主要受植被色素(主要是叶绿素)和覆盖度的影响,在近红外区主要受叶片结构和冠层等影响^[6]。20 世纪 70 年代美国科学家 Kingling 就发现叶绿素控制着作物可见光波段的光谱反射率^[1]。在 Thomas 和 Gausman 的研究中也表明叶绿素直接影响着植物可见光波段的反射率^[2],其显著差别主要表现在 500 nm ~ 600 nm 波段上^[3-4],这些显著差别跟叶片中叶绿素含量是紧密相关的^[5]。色素是反映植物生理状态和生产力的最重要指标之一,而且也是影响植物在可见光区域的光谱特征的决定性因素^[7-10]。因此,可以用植物

的冠层和叶片的反射光谱及其变量来估算其农学参数,特别是色素含量^[11]。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^[12-14]。以开花期到成熟期的大豆为试验对象,对大豆叶片进行光谱反射率和叶绿素含量的测定,利用统计相关分析的方法研究了光谱植被指数与叶绿素含量的关系,为大豆的高产栽培提供一定科学依据,同时促进光谱分析在农业上的应用。

1 材料与方 法

1.1 材料

大豆品种为合交 98-1667,合丰 55。

收稿日期:2009-01-19
基金项目:黑龙江省国际合作资助项目(WB08C07)。
作者简介:申晓慧(1980-),女,硕士,研究方向为大豆高产栽培。E-mail:nxyxsh@163.com。

1.2 试验设计

试验在佳木斯分院试验地进行,采用 70 cm 宽行模式分别栽培种植,小区面积 8.0 m × 4.2 m,小区 6 垄,株距 8 cm,3 次重复。

1.3 测量仪器

光谱仪选用英国产的 UniSpec 植物生理 - 光谱分析仪,波段值为 310 nm ~ 1130 nm,可见光/近红外 310 ~ 1100 nm,光谱分辨率 < 10 nm。叶绿素仪选用美国产的 SPAD 叶绿素仪。

1.4 光谱反射率和叶绿素含量的测定

从大豆开花期到成熟期分多次在作物的活体上进行光谱反射率和叶绿素含量的测量,每次测量要求天气晴朗并在同一时间段内进行。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 5 次重复,然后求平均数。选用的光谱植被指数分别为 $PSSRa = R_{800} / R_{680}$ 、 $PSSRb = R_{800} / R_{700}$ 、 $PSSRc = R_{800} / R_{470}$ 、 $PSSRd = R_{800} / R_{640}$ 、 $mSR_{705} = (R_{750} - R_{445}) / (R_{705} - R_{445})$ 、 $mND_{705} = (R_{750} - R_{705}) / (R_{750} + R_{705} - 2R_{445})$ 。

2 结果与分析

2.1 不同生育时期大豆叶片光谱曲线特征

2.1.1 开花期反射光谱特征 图 1 是合交 98—1667、合丰 55 的光谱反射率图谱,可以看出,两个品种的光谱反射曲线形状相似,说明这两个品种的叶片组成物质和结构没有质的区别,只有量上的细微差异。在整个光谱测量的反射波段内,只有在 510 nm 到 610 nm 附近有一个较低的叶绿素反射峰,说明可能在这附近波段上有一个与叶绿素含量相关的敏感值存在。在红光及近红外光波段内两个品种的光谱反射率均是先呈上升趋势然后趋于平稳,到 950 nm 附近,光谱反射率又开始下降,品种之间光谱反射率没有明显区别。

2.1.2 结荚期反射光谱特征 图 2 是大豆结荚期的光谱反射曲线,可以看出,合交 98-1667、合丰 55 号的光谱反射趋势相似,但在量上存在明显的差别,合丰 55 号的光谱反射率明显高于合交 98-1667,仍然是在 510 nm 到 610 nm 附近有一个叶绿素反射峰,合丰 55 号的反射峰值与开花期相比没有太大变化,而合交 98-1667 的反射峰值下降,说明合交 98-1667 叶片叶绿素含量在此期间发生了明显的变化。其原因可能是由于合交 98-1667 的熟期早于合丰

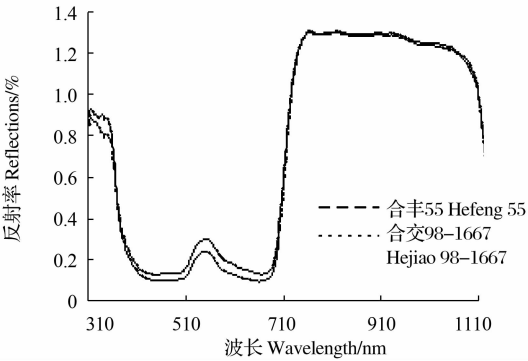


图 1 大豆初花期叶片的光谱反射率
Fig1 Spectral Reflections in flowering period of soybean

55 号,在同一时期内干物质的积累合交 98-1667 先于合丰 55 号;在光谱的近红外区里光谱反射率仍趋于平缓,从 1 100 nm 附近开始,光谱反射率下降,但合丰 55 号的反射率一直高于合交 98-1667,进一步证明了在近红外区光谱反射率主要受内部结构和生物量等因素的影。

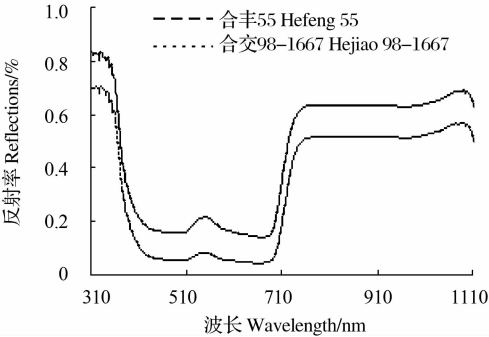


图 2 大豆结荚期叶片的光谱反射率
Fig2 Spectral Reflections in podding period of soybean

2.1.3 成熟期反射光谱特征 图 3 是大豆成熟期的反射光谱,此时期大豆逐渐接近于完全成熟,随着干物质积累,叶片由绿色向黄色转变,叶片内部分子空隙加大,含水率也在逐渐下降,在可见光波段范围内光谱的反射率加强,说明叶绿素对控制作物可见光波段的光谱反射率起着重要的作用。

2.2 大豆不同生育时期叶绿素含量

图 4 是用 SPAD 叶绿素仪侧得不同时期合交 98—1667 和合丰 55 号大豆叶片的叶绿素含量值。可以看出从初花期到成熟期,合交 98—1667 叶绿素含量值高于合丰 55 号,并且随着生育期的推移,两个品种的叶绿素含量值均是先上升,到 8 月 11 日左右有一个最高值,分别是 51.2SPAD 和 55.3SPAD,然

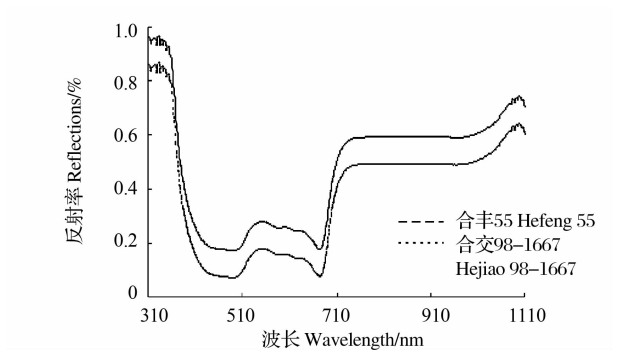


图3 大豆成熟期叶片光谱的反射率

Fig 3 Spectral Reflections in maturing period of soybean

后又下降,从9月4日以后,叶绿素含量急剧下降,其原因是大豆接近于成熟,叶片中水分含量降低,叶片细胞间的孔隙度增大,叶绿素不断分解,导致叶绿素含量逐渐下降。

2.3 光谱植被指数与叶绿素含量的相关性分析

由表2可以看出,所列的植被指数除了 PSSRd 与大豆叶片叶绿素含量都不具有相关性外,PSSRa

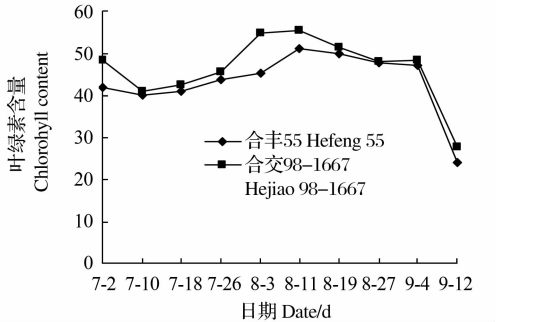


图4 不同时期两个品种的叶绿素含量变化

Fig.4 Change of chlorohyll content of two varieties indifferent period

与大豆花期和结荚期的叶绿素含量呈极显著正相关,与成熟期不相关,PSSRb 与合丰 55 号叶绿素含量呈极显著正相关,与合交 98 - 1667 的叶绿素含量不相关,PSSRc 与叶片的叶绿素含量都呈极显著负相关,其中以 mSR₇₀₅和 mND₇₀₅与两个品种的叶绿素含量之间的相关性最好。因此可以通过这些与叶绿素含量相关的植被指数来预测叶片色素含量。

表2 大豆叶片光谱植被指数与叶绿素的相关系数

Table 2 Correlation coefficient between the vegetation indices of leaves spectra and chlorophyll of soybean

品种 Veraties		植被指数 Vegetation indices					
		mSR705	mND705	PSSRb	PSSRd	PSSRa	PSSRc
花期	合丰 55 号 Hefeng 55	0.999 **	0.965 **	0.990 **	-0.311	0.875 **	-0.989 **
Flowering	合交 98-1667 Hejiao 98-1667	0.804 **	0.810 **	0.748	-0.170	0.891 **	-0.905 **
结荚期	合丰 55 号 Hefeng 55	0.975 **	0.923 **	0.972 **	-0.413	0.915 **	-0.976 **
Podding	合交 98-1667 Hejiao 98-1667	0.901 **	0.897 **	0.656	-0.372	0.884 **	-0.891 **
成熟期	合丰 55 号 Hefeng 55	0.859 **	0.811 **	0.817 **	-0.352	0.426	-0.884 **
Maturing	合交 98-1667 Hejiao 98-1667	0.756 **	0.762 **	0.702	-0.294	0.648	-0.801 **

** 表示通过 0.01 显著性检验,n=30。

** indicates passing the significant test of 0.01 ;n=30.

3 结论与讨论

不同品种大豆叶片从花期到成熟期的光谱反射率趋势基本一致,在 510 nm ~610 nm 处有一反射率极低的光谱反射峰,这有可能是大豆叶片反射光谱特有一个规律值,反射峰值随着干物质的积累逐渐变小,到大豆成熟期时,在 550 nm 处光谱反射率有小幅上升趋势并趋于平缓,而叶绿素含量变化是先增高再下降,在近红外区光谱反射率逐渐下降,说明此时受冠层结构和叶片结构及生物含量不同等因

素的影响,从花期到结荚期,叶片光谱反射率随着生育期的推移呈现下降趋势,随着时间的推移叶绿素含量逐渐增加,这与用 SPAD 叶绿素仪测得的叶绿素浓度含量的结论一致;从结荚期到成熟期两个品种的光谱比较,在可见光和近红外区,合丰 55 号的光谱反射率一直高于合交 98 - 1667,表明不同品种叶片的光谱存在差异,这为用光谱方法区分同一类作物的不同品种提供了可能。

mSR₇₀₅、mND₇₀₅无论是在低含量叶绿素的叶片上还是较高含量叶绿素的叶片上,都表现出与叶绿素含量极显著正相关,表明这两个植被指数对叶绿

素含量的估计都将有较好的预测效果。因此， mSR_{705} 、 mND_{705} 是预测叶片叶绿素含量的最好的植被指数。

参考文献

[1] Knippling E B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation [J]. Remote Sensing of Environment, 1970, 1 :155-159.

[2] Thomas J R, Gausman H W. Leaf reflectance vs. leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops [J]. Agronomy Journal, 1977, 69:799-802.

[3] Blackmer T M, Schepers J S , Varvel G E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves[J]. Agronomy Journal, 1994, 86:934-938.

[4] McMurtrey J E, Chappelle E W, Kim M S, et al. Distinguishing nitrogen fertilization levels in field corn with actively induced fluorescence and passive reflectance measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 47:36-44.

[5] Hong S, Rim S , Lee J, et al. Remote sensing for estimating chlorophyll amount in rice canopies [A]. Int. Proc Geoscience and Remote Sensing Symposium[C]. Singapore, 1997.

[6] Gausman H W, Allen W A, Cardenas R, et al. Relation of light reflectance to histological and physical evaluations of cotton leaf maturity [J]. Applied Optics, 1970, 9:545-552.

[7] Blackburn G A. quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales; an evaluation of some hyperspectral approaches [J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66:273-285.

[8] Datt B. Remote sensing of chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a + b and total carotenoid content in Eucalyptus leaves[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66:111-121.

[9] Daughtry C S T, Walthall C L, Kim M S. Estimating corn foliar chlorophyll content from leaf and canopy reflectance[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 74:229-239.

[10] Sims D A, Gamon J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81:337-354.

[11] Card D H, Peterson D L, Matson P A, et al. Prediction of leaf chemistry by the use of visible and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 26:123-147.

[12] 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变化规律[J]. 中国水稻科学, 2004, 18(1):59-66. (Tang Y L, Huang J F, Wang R C. The changes of spectrum of rice at different developmental stages and their chlorophyll and carotenoid[J]. China National Rice Science, 2004, 18(1):59-66.)

[13] 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]. Agricultural Engineering Journal, 2004, 21(1):166-171.)

[14] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红. 基于冠层反射光谱的水稻产量预测模型[J]. 遥感学报, 2005, 9(1):100-105. (Xue L H, Cao W X, Luo W H. Canopy reflectance spectrum based on the rice yield prediction model [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(1):100-105.)

(上接第 746 页)

[8] 张宇峰, 姚敏, 绍春燕, 等. 模拟酸雨对土柱中稀土元素迁移的影响[J]. 环境化学, 2005, 24(4):375-381. (Zhang Y F, Yao M, Shao C Y, et al. Effect of simulated acid rain on transport of the rare earth elements in soil column [J]. Environmental Chemistry, 2005, 24(4):375-381.)

[9] Hong F S, Wang L, Liu C. The effect of lanthanum nitrate on the seeds germination and the growth of rice [J]. Biological Trace Element Research, 2003, 94:273.

[10] 何跃君, 薛立. 稀土元素对植物的生物效应及其作用机理[J]. 应用生态学报, 2005, 16(10):1983-1989. (He Y J, Xue L. Biological effects of rare earth elements and their action mechanisms [J]. Environmental Chemistry, 2005, 16(10):1983-1989.)

[11] 吕东岳, 肖融融, 周青, 等. 镧对 UV-B 辐射胁迫下大豆幼苗叶绿素含量的影响[J]. 中国农业气象, 2006, 27(4):289-292. (Lu D Y, Xiao R R, Zhou Q, et al. Effects of La on leaf chlorophyll content of soybean (*Glycine max*) seedling under ultraviolet- B

stress[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(4):289-292.)

[12] 吴遥琪, 彭莹, 唐璐, 等. 酸雨胁迫下 La(Ⅲ) 对水稻种子萌发及 POD 活性影响[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(4):2-5. (Wu Y Q, Peng Y, Tang L, et al. Effect of lanthanum on the germination of rice seeds and POD activity under acid rain stress[J]. Journal of Agro - Environment Science, 2008, 27(4):2-5.)

[13] 张志良. 植物生理学实验指导(第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990:76, 154. (Zhang Z L. Direction for botany physiological experience (Ⅱ) [M]. Beijing: Higher Education Press, 1990:76, 154.)

[14] 刘荣坤, 胡艳, 李永政. 沈阳陨石山森林公园 SO₂ 污染现状植物反应的研究[J]. 生态学杂志, 1998, 17(2):26-31. (Liu R K, Hu Y, Li Y Z. Study of SO₂ pollution condition and plant reaction in the forest park of Shenyang aerolite mountain[J]. Chinese Journal of Ecology, 1998, 17(2):26-31.)