

## 油菜叶片的光谱特征与叶绿素含量之间的关系研究

方 慧<sup>1</sup>, 宋海燕<sup>1,2</sup>, 曹 芳<sup>1</sup>, 何 勇<sup>1</sup>, 裴正军<sup>1\*</sup>

1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310029  
2. 山西农业大学工程技术学院, 山西 太谷 030801

**摘 要** 叶绿素是作物生长中的重要因素, 是植物营养胁迫、光合作用能力和生长状况的良好指示剂。实时、可靠的作物营养诊断是进行科学施肥管理的基础, 也是实践精细农业的关键技术之一。采用便携式可见-近红外光谱仪, 在室外自然光照条件下对不同氮肥水平下油菜叶片的光谱特性进行了研究, 并根据作物特有的光谱特征, 采用逐步回归分析方法建立了油菜叶片的叶绿素含量与红边位置和绿峰位置之间的定量分析模型。结果表明, 将红边位置、绿峰位置二者作为自变量时, 建立的模型效果优于采用单一的红边位置为自变量时建立的模型效果。其相关系数分别为 0.863 和 0.848; 校正标准偏差 SEC 分别为 5.273 和 5.459, 说明采用红边位置和绿峰位置这两个参数更能很好地预测叶片的叶绿素含量。

**关键词** 油菜; 叶绿素; 可见-近红外光谱; 逐步回归; 红边位置; 绿峰位置

中图分类号: S123; S15 文献标识码: A 文章编号: 1000-0593(2007)09-1731-04

### 引 言

在大田作物生产中, 为了及时掌握作物生长情况, 除了根据经验进行外观诊断外, 往往采用在作物生长季节内直接或间接分析作物地上部分的无机养分含量作为快速诊断作物营养状况的依据。在所有营养元素中, 氮素对作物生长发育和产量的影响最大, 施用量也最大。因此, 研究不同氮素营养条件下作物的光谱特性具有现实意义<sup>[1-10]</sup>。传统的氮素营养诊断和评价植物氮素状况的方法主要是基于土壤和植物组织的实验室分析, 这些分析普遍要求破坏土壤和植被样本, 需耗费大量的时间、人力和物力, 而且实验室分析需要有经验的专业分析人员和大量的分析试剂与设备<sup>[11]</sup>。

叶绿素浓度是植物营养胁迫, 光合作用能力和生长状况的良好指示剂。通过遥感技术来探测叶绿素浓度在农业和自然植物群落研究方面都受到很大的关注。Horler 等研究了植被光谱与叶绿素浓度的关系, 并提出了光谱“红边”位置在植被叶绿素浓度估计中的作用<sup>[12]</sup>; Danson 等比较“红边”位置与叶面积指数、归一化植被指数 NDVI 的相关关系, 提出“红边”位置与叶面积指数高度相关<sup>[13]</sup>。吴长山等对水稻、玉米的导数光谱数据与叶绿素密度的相关性进行了分析, 得出受作物种类影响很小的特征波段为 762 nm, 位于“红边”位

置<sup>[14]</sup>。金震宇等通过室外试验也认为水稻叶片的“红边”拐点波长位置与其叶绿素浓度之间具有很强的相关性<sup>[15]</sup>。王秀珍等对不同氮素营养水平下的水稻冠层光谱进行了研究, 也证明“红边参数”(红边, 红边振幅, 红边振幅与最小振幅的比值, 红边峰值面积)与上层叶片的叶绿素含量有着密切的关系<sup>[16]</sup>。景娟娟<sup>[1]</sup>、赵春江<sup>[17]</sup>等对小麦的光谱特性进行了研究, 同样认为“红边参数”与叶绿素含量有较大的相关关系。Feng 等采用 CCD 成像技术分析了油菜植被指数与叶绿素之间的关系, 其相关系数可达 0.94<sup>[18]</sup>。

但是这些研究大多数都集中在水稻、玉米和小麦上, 对油菜这一经济作物的研究甚少, 而且这些研究大多数都是定性分析, 没有建立起叶绿素含量与“红边”参数之间的定量关系模型。针对以上问题, 本实验在室外自然光照条件下研究了油菜叶片的光谱特性, 并对油菜叶片的叶绿素含量与其光谱特性之间的关系建立了定量分析模型。

### 1 试验部分

#### 1.1 田间肥料设计

试验田位于浙江大学试验场内, 小区面积为 3.6 m<sup>2</sup>, 每小区种 15 株油菜, 设 2 个重复, 试验小区按随机排列布置。肥料设计设 3 个氮素水平, 每亩分别施纯氮 0, 12, 24 kg,

收稿日期: 2006-08-06, 修订日期: 2006-11-08

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD10A09), 国家自然科学基金项目(30671213), 浙江省科技厅项目(2005C21029, 2005C21094)以及“三农五方”科技协作计划项目资助

作者简介: 方 慧, 女, 1973 年生, 浙江大学生物系统工程与食品科学学院讲师 \* 通讯联系人 e-mail: zjqiu@zju.edu.cn

使油菜人为地呈缺氮、适量氮、过量氮的状态。肥料分基肥和腊肥两次施,基肥在移栽前施入,移栽时间为 2004 年 11 月 18 日。腊肥在 2004 年 12 月 28 日施入。田间管理按大田管理方式进行。油菜品种为甘蓝型油菜。

## 1.2 测量方法

测量仪器为美国 ASD (Analytical Spectral Device) 公司的便携式光谱仪,波段范围为 325 ~ 1 100 nm,分辨率 3.5 nm,采样间隔 1.5 nm。光谱测定选择晴朗无云无风天气,测量时间为上午 10:00 ~ 12:00。测量时在保证光谱仪距被测叶片距离不变的情况下,在每个小区中选择一些叶片进行测量,每个叶片测量 5 次,取其平均值作为该叶片的光谱图,然后再测量所取叶片的叶绿素含量 (SPAD 值)。测量时及时进行标准白板校正,标准白板的反射率为 1,这样所测得的目标物光谱是无量纲的相对反射率。为了检测在该试验条件下,土壤背景信息是否会对油菜叶片的光谱特征造成影响,在具体测试过程中,对不同背景条件下 (黑布、白纸、土壤) 油菜叶片的光谱特性进行了测量和分析。结果表明,油菜叶片的反射率在不同的背景条件下只是简单的平移,而这些通过光谱预处理技术便可消除<sup>[19, 20]</sup>。因此,可以认为在该测试条件下,背景信息对油菜叶片的光谱特性没有任何影响。

叶绿素含量的测量采用日本美能达公司生产的 SPAD502 叶绿素计。为了减少测量误差,每片叶子至少测量 10 个点,然后取其平均值作为该叶片的 SPAD 值。另外根据所采样本叶片面积的不同,适当增加了某些叶子的 SPAD 采集点。

## 2 叶片光谱特性

图 1 是不同施肥条件下油菜叶片的光谱特性。图中的光谱反射率呈现典型的植物光谱特征:即在 400 ~ 500 nm 与 600 ~ 700 nm 之间,蓝、红光波段的光辐射被叶片中的叶绿素全部吸收进行光合作用而形成两个低反射区,具有较低的反射比,一般低于 10%;从 500 nm 起叶子的吸收减少,一般在 550 nm 处,即绿色波段部分,形成一个小的反射峰,反射率大约在 20% 左右,这是植物叶子呈绿色的原因;然后在 700 nm 左右反射率突然上升,进入近红外区域后曲线平缓起来,成为高反射平台区,一般可达到 50% ~ 60%。这里反射率从叶绿素的红色波段吸收区的低点变化到近红外由于叶片散射而反射率比较高的过渡地区即“红边区”,一般位于 690 ~ 720 nm 之间。另从图中还可以看出随供氮水平的提高叶片的反射率反而下降。这可能是由于供氮水平高的区域,油菜叶片面积比较大,使其光合作用能力增强,对红光和蓝光的吸收增强,红光与蓝光波段的反射率逐渐减小,红光与蓝光波段的强吸收使绿色波段的反射率逐渐突出,使其形成的反射峰低于其它两种施肥情况。

## 3 数据处理和分析

该光谱仪采集的是离散型的数据,因此可以通过公式 (1) 近似计算一阶微分光谱数据:

$$R(i) = \frac{R(i+1) - R(i-1)}{i+1 - i-1} \quad (1)$$

根据公式 (1), 油菜叶片的一阶导数光谱见图 2, 从图中可以看出, 在 700 nm 左右一阶导数光谱的反射率最大。我们将所采集的油菜叶片一阶导数光谱反射率最大处所对应的波长定义为红边位置。

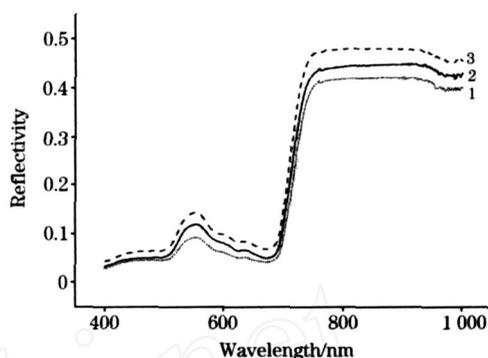


Fig 1 Spectral properties of oilseed rape leaves in different nitrogenous fertilizers

1: More than ordinary fertilizer; 2: Ordinary fertilizer; 3: Less than ordinary fertilizer

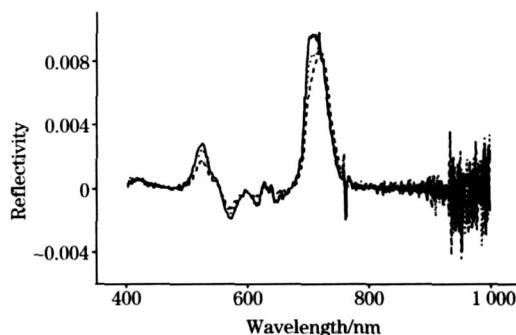


Fig 2 First derivative spectra of the oilseed rape leaves

由于叶绿素含量受可见光的影响比较大,从图 1 可以看到由于植物叶子呈绿色的原因使得叶片在 550 nm 左右形成一个小的反射峰,该反射峰可以认为是绿色植物所特有的。一般情况下,绿色程度高的叶片叶绿素含量高。因此本文将原始光谱中在 500 ~ 600 nm 范围内出现的峰值所对应的波长定义为绿峰位置。将红边位置和绿峰位置这两变量作为自变量,叶绿素含量作为因变量,采用 SPSS 软件进行了多元回归分析,建立叶片叶绿素含量的预测模型。模型评价的标准是有较高的相关系数  $R$ , 较低的标准误差 SEC。SEC 可通过公式 (2) 计算获得:

$$SEC = \sqrt{\frac{1}{N_c - 1} \sum_{i=1}^{I_c} (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (2)$$

其中,  $I_c$  为校正样本集的样本数;  $\hat{y}_i$  为校正样本的校正值;  $y_i$  为校正样本的测量值。

采用单一的红边位置 ( $\lambda_{red}$ ) 与油菜叶绿素浓度 ( $y$ ) 建立的模型见公式 (3), 其相关系数为 0.848, SEC 值为 5.459, 回

归方程的  $F$  检验值为 42.318。

$$y = -721.988 + 1.069 \text{ red} \quad (3)$$

采用红边位置 ( $\text{red}$ ) 和绿峰位置 ( $\text{green}$ ) 与油菜叶绿素浓度 ( $y$ ) 建立的模型见公式 (4)，其相关系数为 0.863，SEC 值为 5.273，回归方程的  $F$  检验值为 24.294。

$$y = -339.283 - 0.315 \text{ green} + 0.779 \text{ red} \quad (4)$$

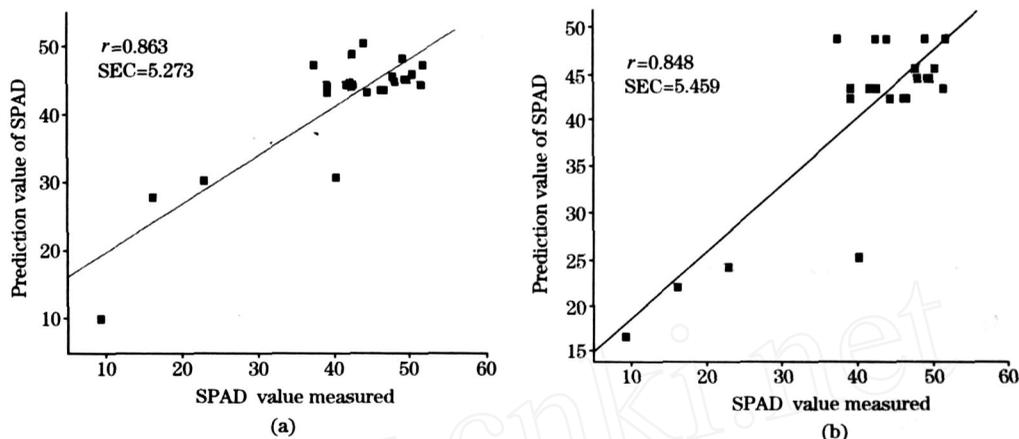


Fig 3 Comparison of the different prediction models for chlorophyll content

(a): Predictions with two variables (red edge and green edge);

(b): Predictions with one variable (red edge)

## 4 结论

采用便携式可见-近红外光谱仪在室外研究了油菜叶片的光谱特性，并对油菜叶片的叶绿素含量与其光谱反射率之

从公式 (3) 和公式 (4) 中可以看到叶绿素含量与红边位置呈正相关，与金震宇等人的研究结论是一致的<sup>[6]</sup>。此外还可以得出，采用红边、绿峰位置 2 个变量建立的模型效果比单个红边位置建立的模型效果要好。不同模型测量值与预测值之间的关系见图 3。

间的关系进行了分析。建立了油菜叶片叶绿素含量与红边位置，叶绿素含量与红边、绿峰位置之间的定量分析模型，其相关系数分别为 0.844 和 0.863，SEC 值分别为 5.459 和 5.273。表明采用红边、绿峰位置两个变量建立的模型效果比单个红边位置建立的模型的效果要好。

## 参 考 文 献

- [1] JING Juan-juan, WANG Ji-hua, WANG Jin-di, et al (景娟娟, 王纪华, 王锦地, 等). Information of Remote Sensing (遥感信息), 2003, 2: 28.
- [2] XUE Li-hong, CAO Wei-xing, LUO Wei-hong, et al (薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等). Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报), 2004, 28(2): 172.
- [3] TANG Yan-lin, WANG Ren-chao, ZHANG Jin-heng, et al (唐延林, 王人潮, 张金恒, 等). Journal of Triticeae Crops (麦类作物学报), 2003, 23(1): 63.
- [4] TANG Yan-lin, WANG Ren-chao, HUANG Jing-feng, et al (唐延林, 王人潮, 黄敬峰, 等). Journal of Remote Sensing (遥感学报), 2004, 8(2): 185.
- [5] WANG Yuan, WANG Fu-min, HUANG Jing-feng (王渊, 王福民, 黄敬峰). Acta Agriculturae Zhejiangensis (浙江农业学报), 2004, 16(2): 79.
- [6] JING Juan-juan, WANG Ji-hua, WANG Jin-di, et al (景娟娟, 王纪华, 王锦地, 等). Remote Sensing Information (遥感信息), 2003, 2: 28.
- [7] LIU Wei-dong, XIANG Yue-qin, ZHENG Lan-fen, et al (刘伟东, 项月琴, 郑兰芬, 等). Journal of Remote Sensing (遥感学报), 2000, 4(4): 279.
- [8] Gitelson A A, Vina A, Arkebauer T J, et al. Geophysical Research Letters, 2003, 30(5): 1248.
- [9] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Remote Sensing of Environment, 2002, 80: 76.
- [10] Gitelson A A, Merzlyak M N, Chivkunova O B. Photochemistry and Photobiology, 2001, 74(1): 38.
- [11] ZHANG Jin-heng, WANG Ke, WANG Ren-chao (张金恒, 王珂, 王人潮). Journal of Northwest Sci Tech. University of Agriculture and Forestry (Nat. Sci. Ed.) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2003, 31(2): 177.
- [12] Horler D N H, Dockray M, Barber J, et al. International Journal of Remote Sensing, 1983, 4: 273.
- [13] Danson F M. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(1): 183.

- [14] WU Chang-shan, XIANG Yue-qin, ZHENG Lan-fen, et al (吴长山, 项月琴, 郑兰芬, 等). Journal of Remote Sensing (遥感学报), 2000, 4(3): 288.
- [15] JIN Zhen-yu, TIAN Qing-jiu, HUI Feng-ming, et al (金震宇, 田庆久, 惠凤鸣, 等). Remote Sensing Technology and Application (遥感技术与应用), 2003, 18(3): 134.
- [16] WANG Xiu-zhen, WANG Ren-chao, LI Yun-mei, et al (王秀珍, 王人潮, 李云梅, 等). Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life science) (浙江大学学报·农业与生命科学版), 2001, 27(2): 301.
- [17] ZHAO Chun-jiang, HUANG Wen-jiang, WANG Ji-hua (赵春江, 黄文江, 王纪华). Agricultural Sciences in China (中国农业科学), 2002, 35(8): 980.
- [18] 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.
- [19] ZHENG Yong-mei, ZHANG Tie-qiang, ZHANG Jun, et al (郑咏梅, 张铁强, 张军, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis (光谱学与光谱分析), 2004, 24(12): 1546.
- [20] Antihus H G, HE Yong, Annia G P. Journal of Food Engineering, 2006, 77(2): 313.

## Study on the Relationship between Spectral Properties of Oilseed Rape Leaves and Their Chlorophyll Content

FANG Hui<sup>1</sup>, SONG Hai-yan<sup>1,2</sup>, CAO Fang<sup>1</sup>, HE Yong<sup>1</sup>, QIU Zheng-jun<sup>1\*</sup>

1. College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China
2. College of Engineering and Technology, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

**Abstract** Chlorophyll is the important factors of the crop in its growth stage, and it is the favorable indicator of nutrition stress and photosynthesis. Site-specific crop nutrition diagnosis is the basics of the scientific fertilizer management, and it is essential for the practice of precision agriculture. Spectral properties of the oilseed rape leaves in different nitrogenous fertilizer levels were measured using visible-near infrared reflectance spectroscopy (Vis-NIRS) with natural illumination in the present study. According to the unique spectral properties of the crop, multiple stepwise regression technique was used to find the relationships between chlorophyll content and red edge, green edge. The result shows that the model with two independent variables (red edge, green edge) was better than with the one independent variable (red edge). The correlation coefficient was 0.863, 0.848, and SEC was 5.273, 5.459, respectively. It can be seen the combination of the red edge and green edge can accurately predict chlorophyll content.

**Keywords** Oilseed rape; Chlorophyll; Vis-NIR; Multiple stepwise regression; Red edge; Green edge

(Received Aug. 6, 2006; accepted Nov. 8, 2006)

\* Corresponding author