

生菜叶片光谱红边参数对氮营养的响应特征分析*

朱咏莉 李萍萍 毛罕平 吴沿友

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 以不同氮素供应水平下的水培生菜为研究对象,采用光谱仪和叶绿素仪分别获得生菜叶片的漫反射光谱信息和叶绿素含量,通过提取生菜叶片光谱的红边参数,分析不同氮素供应水平下红边参数的变化规律,以及各个红边参数与生菜叶片叶绿素含量间的关系。结果表明,随氮营养供应水平的提高,生菜叶片各红边参数呈现不同的响应趋势。红边位置、最小振幅、红边面积以及红边振幅和最小振幅比值与生菜叶片 SPAD 值间均具有极显著的相关关系,其中以红边位置的相关程度最高,其相关系数为 0.9420,均方根误差为 1.803。可见,红边位置可以作为生菜叶片氮素营养诊断的一种有效指标。

关键词: 生菜 氮素 红边参数 可见-近红外光谱
中图分类号: S636.2; O657.33 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)11-0174-04

Response Features of Red Edge Parameters for Lettuce Leaf Spectra under Different Nitrogen Levels

Zhu Yongli Li Pingping Mao Hanping Wu Yanyou

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

In order to obtain the optimum red edge parameters for using rapid detection of the lettuce leaf nitrogen content, the response feature of red edge parameters for leaf spectra under different nitrogen levels and the relationship between red edge parameters and leaf nitrogen contents were investigated. Visible and near infrared (Vis - NIR) spectroradiometer was used to collect the leaves' spectral data of water culture lettuce, and the chlorophyll meter (SPAD 502) was used to measure the leaf chlorophyll content. Red edge parameters, which included red edge position (λ_{red}), red edge area (S_{red}), red edge differential ($D_{\lambda_{red}}$), the minimum of red edge differential ($D_{\lambda_{min}}$) and the ratio of $D_{\lambda_{red}}$ to $D_{\lambda_{min}}$ ($D_{\lambda_{red}}/D_{\lambda_{min}}$), were calculated based on the first derivative reflectance spectra in the red edge region. The results showed that the dynamic characteristics of red edge parameters changed with different nitrogen nutrition levels in water culture. It was concluded that λ_{red} , $D_{\lambda_{min}}$, S_{red} and $D_{\lambda_{red}}/D_{\lambda_{min}}$ had significant relationship with the leaf chlorophyll content, respectively. In all red edge parameters, the correlation degree of λ_{red} was the highest with correlation coefficient 0.942 0. And the root mean squared error was the lowest with 1.803. Therefore, it was demonstrated that λ_{red} could be a predictor for lettuce leaf nitrogen content.

Key words Lettuce, Nitrogen, Red edge parameters, Visible - near infrared spectroscopy

收稿日期: 2011-01-10 修回日期: 2011-02-21
* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2008AA10Z204)、江苏省农业装备与智能化高技术研究重点实验室项目(BM2009703)、江苏大学高级人才启动项目(06JDG065)和江苏高校优势学科建设工程资助项目(苏财教(2011)8 号)
作者简介: 朱咏莉, 副研究员, 主要从事农业生物与环境、农业资源利用研究, E-mail: zhuyongli76@126.com

引言

红边是作物反射光谱中最明显的特征之一,与植物叶绿素含量以及氮素营养、生物量、生长状态等因素有密切关系^[1~4]。描述红边特征的参数主要包括红边位置、红边振幅和红边面积等。尽管研究结果表明,红边位置、红边面积等可以用来监测小麦^[5~7]、水稻^[8]和夏玉米^[9]等大田作物以及菠菜^[10]叶片氮素的营养状况,但对于各个红边参数与叶片氮素营养状况间的响应关系甚至在同一类型作物上的差异,目前的研究结论并不明确。如对于小麦叶片的氮营养状况的估测,姚霞等^[5]认为红边位置的预测效果较好,且不同算法提取的红边位置之间在氮素营养监测的准确性和可靠性上存在差异;黄文江等^[6]和冯伟等^[7]则分别认为红边参数中的归一化最小振幅和红边左偏峰面积具有更好的预测效果。将红边参数应用于生菜氮营养诊断方面的应用研究,目前还鲜见报道。

本文以水培生菜为研究对象,采用光谱仪和叶绿素仪分别获得生菜叶片的漫反射光谱信息和叶绿素含量,通过提取生菜叶片光谱的红边参数,分析不同氮素供应水平下红边参数的变化响应特征,对比不同红边参数与生菜叶片叶绿素含量间的关系及其应用效果。

1 材料与方法

1.1 试验材料的培养

试验采用水培,在江苏大学玻璃温室中进行。供试生菜品种为意大利耐抽苔生菜。先将生菜进行育苗,待生菜幼苗长到两叶一芯时,取大小均匀一致的幼苗,用水冲洗后,移栽到装有 150 mL 1/10 Hoagland 完全营养液的塑料杯中,每杯 1 株,预培养 1 周,然后开始进行不同浓度水平的氮素处理。氮素水平分别设为 N1、N2、N3、N4、N5、N6、N7、N8、N9 和 N10,其对应的氮素浓度分别为 Hoagland 完全营养液氮素浓度的 1/8、2/8、3/8、4/8、5/8、6/8、7/8、8/8、9/8 和 10/8 倍,由 NH₄NO₃ 提供。试验每 2 d 进行一次营养液的更换,处理时间为 40 d。每处理 5 个重复。氮素处理结束后进行叶片光谱数据的采集和叶片叶绿素含量的测定。

1.2 光谱数据的采集

采用美国 ASD(Analytical Spectral Device)公司生产的 Field Spec 3 型便携式高光谱分析仪进行叶片漫反射光谱数据的采集。采集在室内进行。将光谱探头及光源固定于三角架上,传感器探头位于工作台上约 7 cm 处,垂直于被测物,试验设定视场

为 25°。测定时,取最近成熟的叶片^[11],先对叶面进行简单的清洁后进行光谱测量,以 10 次扫描平均为一个取样点光谱,每一叶片取样点为 5~10 个,以其平均值作为该叶片的原始光谱。

1.3 叶片叶绿素含量的测定

为了对生菜叶片氮素营养状况进行更为准确的分析,在光谱采集的同时,使用日本美能达公司生产的 SPAD-502 型叶绿素仪进行生菜叶片叶绿素含量(SPAD)测定,取样点数同光谱采集,平均 SPAD 值作为该叶片的叶绿素含量。

1.4 数据处理方法

分别采用 Matlab 7.0 和 Sigma Plot 13.0 进行光谱反射吸光度转换、导数转换和数据统计与建模分析。红边参数的计算方法为:①红边位置(λ_{red})为 680~750 nm 区间一阶导数光谱最大值所对应的波长。②红边振幅($D_{\lambda_{red}}$)为红边位置对应的一阶导数值。③最小振幅($D_{\lambda_{min}}$)为波长在 680~750 nm 之间的最小一阶微分值。④红边面积(S_{red})为 680~750 nm 波长范围内一阶导数光谱包围的面积。⑤红边振幅与最小振幅的比值为 $D_{\lambda_{red}}/D_{\lambda_{min}}$ 。

2 结果与分析

2.1 氮素水平对生菜叶片红边区一阶导数光谱的影响

红边是指由于红光波段的强烈吸收与近红外波段的强烈反射,使光谱反射率在 680~750 nm 之间陡然增加的窄条带区^[4]。对不同氮素水平生菜叶片红边范围内的漫反射光谱信息求取一阶导数,结果如图 1 所示,图中仅以处理 N1、N3、N5、N7 和 N9 为例进行说明。可以看出,红边范围内各氮素水平一阶导数光谱均呈开口向下的不对称倒“V”型变化,其峰值分布在 695~702 nm 区域。并且随氮素水平的提高,峰值对应的波长逐渐向红边长波方向移动。当波长从 695~702 nm 向 680 nm 红边短波边缘移动时,生菜叶片一阶导数光谱值下降速度较快,同时因氮素水平不同而引起的光谱响应差异也

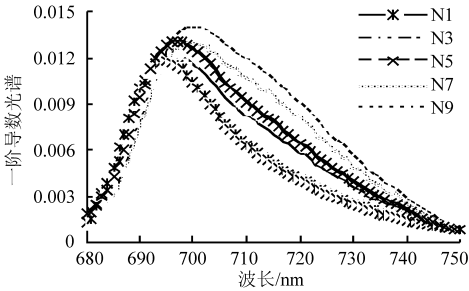


图 1 不同氮素水平生菜叶片的一阶导数光谱
Fig. 1 First derivative of leaf spectrum under different nitrogen levels

在逐渐缩小。而当波长向 750 nm 红边长波边缘移动时,表现出类似的光谱响应特征。由此可见,不同氮素水平位于 695 ~ 730 nm 区域的一阶导数光谱较红边边缘区域表现出更明显的差异性。

2.2 不同氮素水平下生菜叶片红边参数变化特征

图 2~4 为不同氮素水平生菜叶片红边参数平均值的变化。可以看出,各个红边参数对氮素供应水平的变化具有不同的响应特征。随着氮素供应水平的升高,红边位置 λ_{red} 呈现明显的红移趋势,最高氮素水平处理的红边位置平均在 700 nm 左右。最小振幅 $D_{\lambda min}$ 和红边面积 S_{red} 的变化与 λ_{red} 较为相似,均表现为随氮素供应水平的升高而逐步上升的趋势,并在处理水平 N8 或 N9 时,出现峰值,随后又有所下降。各氮素处理 $D_{\lambda min}$ 和 S_{red} 平均值分别在 0.000 80 ~ 0.001 05 和 0.391 ~ 0.414 之间变化。不同氮素处理间 $D_{\lambda red}$ 的变化并未表现出明显的规律性,其中 N1 ~ N9 间变化较小,在 0.012 5 ~ 0.013 1 之间,而 N10 处理则明显下降,为 0.010 8。 $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ 的变化与 λ_{red} 基本呈相反的趋势,表现为 N1 处理最高,然后随水培氮浓度处理的升高而下降,对应比值从 16.1 下降为 10.4。

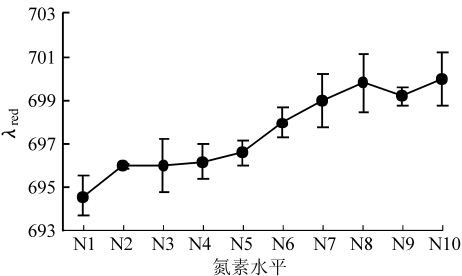


图 2 不同氮素水平生菜叶片红边位置的变化
Fig.2 Change of λ_{red} under different nitrogen levels

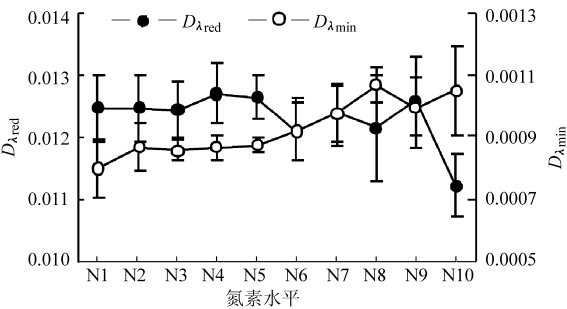


图 3 不同氮素水平生菜叶片红边振幅和最小振幅的变化
Fig.3 Change of $D_{\lambda red}$ and $D_{\lambda min}$ under different nitrogen levels

从以上生菜叶片红边参数随不同氮素水平变化的结果可以初步判断,红边参数 λ_{red} 、 $D_{\lambda min}$ 、 $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ 较 $D_{\lambda red}$ 和 S_{red} 对不同氮素供应水平的变化反应更为敏感,表现出的规律性更为明显。

2.3 红边参数与生菜叶片叶绿素含量的关系

红边参数与植物叶绿素含量、生物量、生长状态等的变化关系密切^[1~4]。为了进一步明确生菜叶片

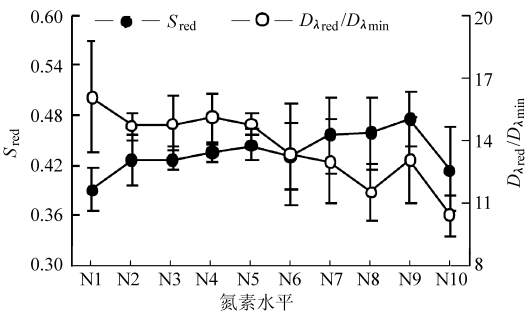


图 4 不同氮素水平生菜叶片红边面积和红边振幅与最小振幅比值的变化
Fig.4 Change of S_{red} and $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ under different nitrogen levels

各红边参数随氮营养水平变化的规律性,对 50 个生菜叶片样本的红边参数和 SPAD 值分别进行了统计分析。结果表明,除 $D_{\lambda red}$ 以外, λ_{red} 、 $D_{\lambda min}$ 、 S_{red} 和 $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ 与 SPAD 值间均存在极显著的相关关系(表 1),其中,以 λ_{red} 与 SPAD 值间的相关程度最高,相关系数为 0.942 0,其次是 $D_{\lambda min}$ 、 $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ 和 S_{red} , $D_{\lambda red}$ 的相关程度最弱。各红边参数方程的均方根误差变化在 1.803 ~ 4.727 之间,以 $D_{\lambda red}$ 为最大,其次是 S_{red} 、 $D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$ 和 $D_{\lambda min}$, λ_{red} 为最小(1.803)。由此,根据各红边参数与 SPAD 值间的相关程度及其方程的预测精度, λ_{red} 较其他红边参数更适于用作生菜叶片 SPAD 值的估测指标。

表 1 生菜叶片 SPAD 值与红边参数间的统计关系
Tab.1 Relationship between red edge parameters and lettuce leaf SPAD values

红边参数	方程	<i>r</i>	<i>n</i>	<i>P</i>	均方根 误差
λ_{red}	$y = 2.191x - 1\,506.1$	0.942 0	50	0.000	1.803
$D_{\lambda red}$	$y = -1\,380.7x + 39.422$	0.322 8	50	0.020	4.727
$D_{\lambda min}$	$y = 29\,310x - 7.314\,1$	0.799 1	50	0.000	3.087
$D_{\lambda red}/D_{\lambda min}$	$y = -1.442\,5x + 41.918$	0.660 1	50	0.000	3.752
S_{red}	$y = 57.73x - 5.319\,5$	0.468 2	50	0.001	4.016

为了进一步验证 λ_{red} 对生菜叶片 SPAD 的预测效果,采集温室中同期种植的 12 个生菜样本作为检验集,分别获取其相应叶片的光谱数据和叶片 SPAD。结果表明,通过建立参数 λ_{red} 和 SPAD 值间的关系,可以对生菜叶片氮素营养状况进行较为准确的预测。图 5 为检验集样本 SPAD 实测值和预测值间的关系,相关系数为 0.918 0。

3 结束语

红边参数可以反映生菜叶片氮素的营养状况。随氮营养液浓度的升高,生菜叶片各红边参数呈现不同的响应趋势。其中,以红边位置的红移与生菜

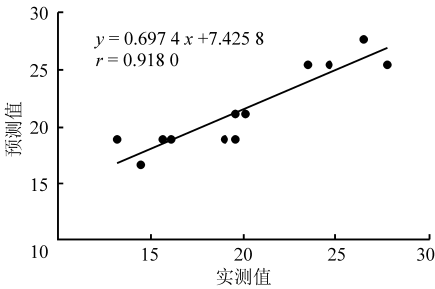


图 5 生菜叶片 SPAD 实测值与预测值的比较
Fig.5 Measured values of lettuce leaf SPAD versus predicted ones

叶片氮营养状况的改善更具有一致性的变化。结果表明,红边位置与生菜叶片 SPAD 值间具有极显著的相关关系,相关系数为0.942 0,均方根误差为1.803。因此,红边位置可以作为生菜氮素营养诊断的一种有效指标。由于本试验样品是在单一氮营养元素的控制条件下获得,其研究结论在更为复杂的实际生产条件下的适用性还有待进一步验证。如对于不同生菜品种、不同生育期或者不同种植环境下的生菜等,各红边参数与氮营养水平的关系及其变化特征等还有待进一步研究。

参 考 文 献

1 Ju Changhua, Tian Yongchao, Yao Xia, et al. Estimating leaf chlorophyll content using red edge parameters [J]. Pedosphere, 2010, 20 (5): 633 ~ 644.

2 杨杰, 田永超, 姚霞, 等. 利用高光谱参数反演水稻叶片类胡萝卜素含量[J]. 植物生态学报, 2010, 34(7): 845 ~ 854.
Yang Jie, Tian Yongchao, Yao Xia, et al. Estimating leaf carotenoid content with hyperspectral parameters in rice [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 34 (7): 845 ~ 854. (in Chinese)

3 Mutanga O, Skidmore A K. Red edge shift and biochemical content in grass canopies [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2007, 62 (1): 34 ~ 42.

4 梁守真, 施平, 马万栋, 等. 植被叶片光谱及红边特征与叶片生化组分关系的分析[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 804 ~ 809.
Liang Shouzhen, Shi Ping, Ma Wandong, et al. Relational analysis of spectra and red edge characteristics of plant leaf and leaf biochemical constituent [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(4): 804 ~ 809. (in Chinese)

5 姚霞, 田永超, 刘小军, 等. 不同算法红边位置监测小麦冠层氮素营养指标的比较[J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2 661 ~ 2 667.
Yao Xia, Tian Yongchao, Liu Xiaojun, et al. Comparative study on monitoring canopy leaf nitrogen status on red edge position with different algorithms in wheat [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43 (13): 2 661 ~ 2 667. (in Chinese)

6 黄文江, 赵春江, 王纪华. 红边参数在作物营养诊断和品质预报上的应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20 (6): 1 ~ 5.
Huang Wenjiang, Zhao Chunjiang, Wang Jihua, et al. Application of red edge variables to nutrition diagnosis and grain quality forecast of winter wheat [J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20 (6): 1 ~ 5. (in Chinese)

7 冯伟, 朱艳, 姚霞, 等. 利用红边特征参数监测小麦叶片氮素积累状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 194 ~ 201.
Feng Wei, Zhu Yan, Yao Xia, et al. Monitoring nitrogen accumulation in wheat leaf with red edge characteristics parameters [J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25 (11): 194 ~ 201. (in Chinese)

8 谢晓金, 申双和, 李映雪, 等. 高温胁迫下水稻红边特征及 SPAD 和 LAI 的监测[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 183 ~ 190.
Xie Xiaojin, Shen Shuanghe, Li Yingxue, et al. Red edge characteristics and monitoring SPAD and LAI for rice with high temperature stress [J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(3): 183 ~ 190. (in Chinese)

9 刘炜, 常庆瑞, 郭曼, 等. 基于改进红边面积的夏玉米叶片氮素含量导数光谱监测[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2010, 38(4): 91 ~ 98.
Liu Wei, Chang Qingrui, Guo Man, et al. Monitoring of leaf nitrogen content in summer corn with first derivative of spectrum based on modified red edge [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2010, 38(4): 91 ~ 98. (in Chinese)

10 薛利红, 杨林章. 采用不同红边位置提取技术估测蔬菜叶绿素含量的比较研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 165 ~ 169.
Xue Lihong, Yang Linzhang. Comparative study on estimation of chlorophyll content in spinach leaves using various red edge position extraction techniques [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(9): 165 ~ 169. (in Chinese)

11 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1994.