

# 红边参数在作物营养诊断和品质预报上的应用

黄文江<sup>1,2</sup>, 赵春江<sup>1</sup>, 王纪华<sup>1</sup>, 王锦地<sup>2</sup>, 马智宏<sup>1</sup>

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089; 2 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

**摘要:** 通过对红边参数与反映作物碳氮代谢典型的生物化学参数叶片全氮和叶片可溶性糖进行相关分析, 结果表明, 可运用红边位置来反演叶片可溶性糖含量, 归一化最小振幅来反演叶片全氮含量, 并建立了基于红边参数的生化组分统计回归模型和基于叶片全氮与可溶性糖比值与籽粒蛋白质品质指标间的回归方程, 并对建模试验所建立方程进行了检验, 表明利用运用红边参数反演叶片全氮和可溶性糖含量进而预测小麦蛋白质品质是可行的。为生产上利用遥感手段大面积、无破坏、及时评价冬小麦生长状态和在开花期进行小麦品质的预测预报研究提供重要依据。

**关键词:** 红边参数; 营养诊断; 品质预报; 叶片全氮; 叶片可溶性糖; 冬小麦; 籽粒品质

**中图分类号:** TP274.52

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2004)06-0001-05

## 0 引言

近年来随着定量遥感技术的发展, 使无破坏、大面积、快速获取高光谱遥感影像, 实现长势、品质等信息的遥感反演成为可能。通常, 利用高光谱分辨率遥感数据估计作物参数主要有4类方法: 一是通过多元统计分析; 二是基于特征光谱位置分析; 三是利用光学传输模型; 四是利用参数填图的方法。本研究采用基于特征光谱位置分析的研究方法。红边(red edge)是由于植被在红光波段叶绿素强烈的吸收与近红外波段光在叶片内部的多次散射而形成的反射率急剧上升, 形成陡而近于直线的斜边。反射光谱曲线中的这种特殊形态为植物所特有, 国内外学者对此一直给予高度的关注, 并称其为“红边”, 其波长位置一般处于660~770 nm<sup>[1-3]</sup>。国内外学者对于利用红边参数进行作物生长状况监测进行了大量的研究。国外Curran等(1990)和(1991)<sup>[3,4]</sup>和Horler等(1980)<sup>[5]</sup>研究了叶片色素含量与红边参数之间的统计关系; Collins(1978)<sup>[6]</sup>实现了运用红边参数来区分作物种类和作物成熟度; Schutt等(1984)<sup>[7]</sup>, Curran等(1994)<sup>[8]</sup>和Filella等(1994)<sup>[9]</sup>分别利用红边参数对作物的养分亏缺, 逆境胁迫等进行了研究, 表明各种环境胁迫如缺氮和干旱等都会使作物叶片的反射特性发生改变。国内刘伟东等(2000)<sup>[10]</sup>研究表明, 红边斜率与作物的覆盖度或叶面积指数有关, 红边位置与叶片的叶绿素含量有关; 王秀珍等(2001)<sup>[11]</sup>和(2003)<sup>[12]</sup>研究了不同氮素营养水平下, 水稻冠层光谱红边参数与叶绿素含量、纤维素和叶鞘淀粉含量之间的相关关系; 赵春江等2002<sup>[13]</sup>研究了不同品种、不同肥水条件下冬小麦光谱红边参数与作物叶面积指数、叶片全氮含量之间的相关关系。

以上研究, 均为研究红边参数的变化特征和利用红边参数进行作物生物物理参数和生物化学参数的反演, 但运用红边参数综合进行作物营养诊断和品质预报研究, 国内外鲜见系统报道。本文尝试利用红边参数在作物营养诊断和品质预报方面进行协同研究。为快速、大面积、无损条件下对小麦籽粒品质在收获前进行预测预报, 为制定政策提供技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

1.1.1 建模试验 试验于2001~2002年在国家精准农业示范区内开展的, 示范区位于北京市昌平区小汤山镇, 地处北纬40°10', 东经116°26'。试验选用3个不同株形的冬小麦品种, 即普通型品种“京冬8”、高蛋白型品种“中优9507”和居于两者之间的“京9428”。针对每个品种分别进行了为了造成肥水梯度差异, 设计了4种梯度肥处理和4种梯度水处理, 共有48个肥水处理小区。小区面积为32.4m×30m。肥处理施肥量: 肥料0处理无返青肥和拔节肥; 肥料1处理返青和拔节期各追施尿素50 kg/hm<sup>2</sup>; 肥料2处理返青和拔节期各追施尿素200 kg/hm<sup>2</sup>; 肥料3处理返青和拔节期各追施尿素350 kg/hm<sup>2</sup>。水处理灌溉量: 水处理0不灌溉; 水处理1灌溉量225 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 水处理2灌溉量450 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 水处理3灌溉量675 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>。

### 1.1.2 验证试验

试验于2001~2002年在北京市农林科学院农场进行, 供试土壤有机质1.5%、全氮0.1%、有效磷30.7 mg/kg、速效钾126.2 mg/kg。供试品种为籽粒高蛋白型品种“中优9507”、普通型品种“京冬8”和低蛋白品种“京411”。

试验设4个施肥处理: 0N: 全生育期不施氮; 1N: 返青期和拔节期各施纯氮60 kg/hm<sup>2</sup>; 2N: 拔节期和孕穗期各施纯氮120 kg/hm<sup>2</sup>; 3N: 拔节期和孕穗期各施纯氮120 kg/hm<sup>2</sup>, 水分管理按常规进行。

试验设3个灌溉处理: 0W: 不灌溉; 1W: 灌溉量400 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 2W: 灌溉量600 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>; 各水分处理冬前均浇冻水700 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, 灌溉区各处理均实施3N处理的

收稿日期: 2003-04-02 修订日期: 2004-08-03

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G20000779); 国家863项目(2002AA243011)、(2003AA209010); 科技新星计划(H020821020130)

作者简介: 黄文江(1974-), 男, 博士生, 助理研究员, 研究方向: 高光谱遥感和多角度遥感应用研究。北京 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 100875。Email: wenjianghuang@163.net

施肥。

## 1.2 研究项目与测定方法

### 1.2.1 冠层反射光谱

采用美国 ASD 公司产 FieldSpec FR Pro 地物光谱仪测定, 视场角  $25^\circ$ ; 波段范围 350~2500 nm, 输出波段数 2151, 间隔 1 nm, 光谱分辨率在 350~1000 nm 间为 3 nm, 通道数 512, 在 1000~2500 nm 间为 10 nm, 通道数 537。选择晴朗无云, 风力较小, 视场范围内太阳直接照射, 北京时间 10:30~14:00 间, 探头距地面 130 cm 处垂直测定, 光谱反射率经过专用参考板标准化, 每点测 20 次左右, 取平均值作为该小区的光谱反射率值, 各处理测定前、后立即进行参考板校正, 参考板与被测对象同一平面水平放置, 数据处理采用 FieldSpec FR Pro 随机软件进行处理。光谱测定后取同一目标样测定生化组分参数。

### 1.2.2 红边参数

通过计算光谱反射率在 680~750 nm 之间的一阶微分来计算红边参数, 这些参数 (参见王秀珍等<sup>[11]</sup>、谭倩等<sup>[14]</sup>) 包括:

红边位置: 在 660~770 nm 波长范围内, 当光谱反射率的一阶微分值达最大时所对应的波长 ( $\lambda_{red}$ )  $\lambda_{red} = \lambda(MAX R(\lambda)) (\lambda = 660 \sim 770 \text{ nm})$ ;

红吸收峰: 红波段的反射率最小点, 本文指 660~720 nm 之间反射率最小处的波长值。

红边振幅: 当波长为红边时的一阶微分值 ( $d_{red}$ );

最小振幅: 波长在 660~770 nm 之间的最小一阶微分值 ( $d_{min}$ );

红边峰值面积: 660~770 nm 之间的光谱一阶微分值包围的面积 ( $d_{\lambda_{680-750}}$ )。

### 1.2.3 叶片全氮

取当时已全展的最顶部及其邻位下叶 80~100 片, 烘干后粉碎混匀供试, 采用凯氏定氮法<sup>[15]</sup>, 用瑞士 Buchi 公司产全自动 B-339 凯氏定氮仪测定。

### 1.2.4 叶片可溶性糖

采用淀粉酶法<sup>[15]</sup>, 取样方法同叶片全氮。对于冠层反射光谱、红边参数、叶片全氮和叶片可溶性糖含量, 在小麦生长期共进行了 6 次测定, 测定时期分别为返青期、拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期和成熟期。

### 1.2.5 籽粒蛋白质(14% 湿基)

对于收获后的籽粒, 用近红外分析仪 (NIR) (Foss 1241 型, Foss Tecator, Sweden) 测定。

### 1.2.6 湿(干)面筋

对于收获后的籽粒, 磨粉以后, 用瑞典 Falling Number 公司的 2200 型面筋仪测定, 参照国家标准 GB/T 14608-93 进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 红边参数与生化组分间的相关性

通过研究红边参数与生化组分间的相关性, 建立对应的红边参数与生化组分之间的回归方程, 可以实现利

用红边参数进行叶片生化组分的遥感反演。叶片全氮与叶片可溶性糖含量是反映作物生理状况, 等生化组分的遥感反演对于生产上无破坏、大面积的评价冬小麦长势和栽培管理措施的实施有重要的指导意义。

表 1 为 2001~2002 年在国家精准农业示范区内开展的 4 种梯度肥处理和 4 种梯度水处理, 共有 48 个肥水处理小区, 在返青期、拔节期、孕穗期、开花期、灌浆期和成熟期 6 个生育时期的红边参数与对应目标的叶片全氮和可溶性糖的数据的统计分析结果。由表 1 可知, 叶片全氮含量与最小振幅呈显著负相关, 与红边峰值面积呈显著正相关, 可运用最小振幅来反演叶片全氮含量。叶片可溶性糖与红边位置呈极显著负相关, 与红边振幅呈显著负相关, 可通过红边位置来反演叶片可溶性糖含量。

表 1 红边参数与生化组分间的相关性

Table 1 Correlation coefficient between red edge parameters and biochemical components

	红边位置	红吸收峰	红边振幅	最小振幅	红边峰值面积
叶片全氮	0.123	0.102	0.127	-0.685*	0.137*
叶片可溶性糖	-0.663**	-0.156*	-0.170*	0.124	-0.155*

注:  $r(0.05, 288) = 0.132$ ;  $r(0.01, 288) = 0.180$ 。

### 2.2 红边参数进行生化组分反演

#### 2.2.1 利用红边位置反演叶片可溶性糖

作物叶片可溶性糖是维持叶片渗透势和养分积累的重要物质, 是反映叶片碳代谢的重要指标, 已知冬小麦不同生育时期可溶性糖的含量和变化规律可以判定作物的生长状况和物质积累能力, 由于红边位置与冬小麦可溶性糖含量之间存在极显著的负相关性, 可以通过建立红边位置与可溶性糖之间的回归方程来反演叶片可溶性糖含量 (见图 1)。

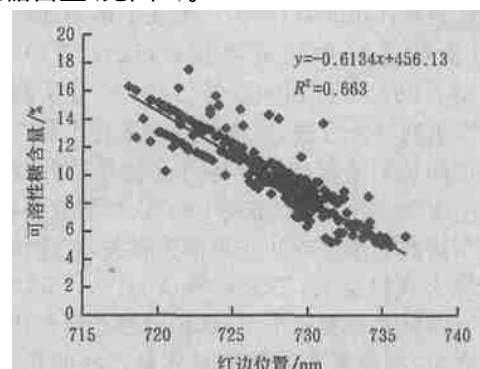


图 1 叶片可溶性糖与红边位置间的关系

Fig. 1 Relationship between soluble sugar and red edge position

红边位置与叶片可溶性糖含量之间的回归方程:

$$y = -0.6134x + 456.13 \quad R^2 = 0.663$$

式中  $y$  —— 叶片可溶性糖, %;  $x$  —— 红边位置, nm。

该回归方程的决定系数 ( $R^2 = 0.663$ , 建模样品为 288 个), 表明表明运用红边位置来反演可溶性糖含量

是可行的。

图 2 为 2001~ 2002 年在北京市农林科学院农场进行的叶片可溶性糖模拟值和实测值之间的相关性, 叶片可溶性糖模拟值与实测值之间决定系数很高 ( $R^2 = 0.806$ , 检验样品为 216 个), 所以运用红边位置在不同品种, 不同肥水不同土壤条件下进行作物叶片可溶性糖的反演是可行的。

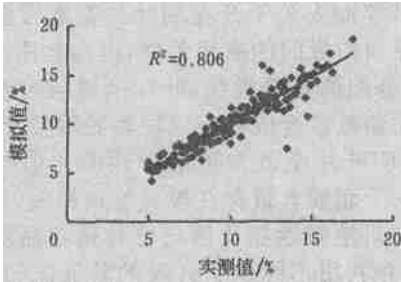


图 2 叶片可溶性糖模拟值与实测值间的关系

Fig 2 Relationship between measured and simulated values of leaf soluble sugar

### 2.2.2 利用归一化最小振幅来反演叶片全氮

氮素是反映作物生长状况的重要指标, 是作物蛋白质等生命物质的重要组成部分, 是反映叶片氮代谢的重要指标, 由于最小振幅与叶片全氮含量之间存在极显著的负相关性, 可以通过建立最小振幅与叶片全氮含量之间的回归方程来预测叶片全氮含量, 结合作物可溶性糖含量, 可以评价作物的生长状况。由于红边参数最小振幅的数值较小, 本研究将其数值进行归一化处理, 得到归一化最小振幅, 其中归一化最小振幅为最小振幅数值乘以 100 得到。归一化最小振幅与叶片全氮含量之间的关系见图 3。

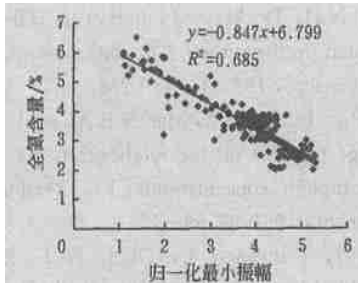


图 3 叶片全氮含量与归一化最小振幅间的关系

Fig 3 Relationship between leaf total nitrogen and normalized minimum amplitude

叶片全氮含量与归一化最小振幅间的回归方程为:

$$y = -0.847x + 6.799 \quad R^2 = 0.685$$

式中  $y$  —— 全氮含量, %;  $x$  —— 归一化最小振幅。

该回归方程的决定系数 ( $R^2 = 0.685$ , 建模样品为 288 个), 表明运用归一化最小振幅来反演叶片全氮含量是可行的。

图 4 为 2001~ 2002 年在北京市农林科学院农场进行的叶片全氮模拟值和实测值之间的相关性, 叶片模拟数值和实测值之间有很好的相关性, 叶片全氮含量模拟值与实测值之间决定系数很高 ( $R^2 = 0.852$ , 检验样品

为 216 个), 所以运用归一化最小振幅在不同品种, 不同肥水和土壤条件下进行作物叶片全氮含量的反演是可行的。

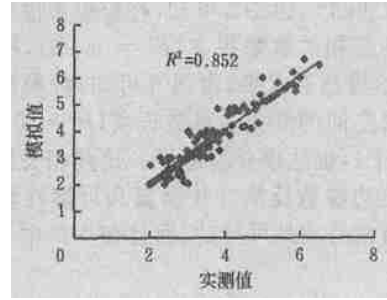


图 4 叶片可溶性糖模拟值与实测值间的关系

Fig 4 Relationship between measured and simulated values of leaf soluble sugar

### 2.2.3 开花期叶片全氮与可溶性糖的比值(比值)与籽粒品质指标的关系

作物开花期以前, 通过根系吸收的氮素经过作物体内代谢合成, 叶片和茎鞘中的氮素主要是作为贮存物质, 开花期以后叶片、茎鞘中的部分氮素向籽粒中进行运输, 且继续进行氮素的吸收和合成。王纪华等 (2003)<sup>[16]</sup>和 Huang 等 (2004)<sup>[17]</sup>研究表明, 可以运用开花期的叶片氮素含量进行作物品质指标蛋白质, 湿面筋的预测预报研究。由于作物的碳-氮代谢水平直接影响作物体内物质合成、运输和分配。本研究统计分析了开花期叶片全氮与可溶性糖的比值与籽粒品质指标间的关系。运用开花期 (48 个样本) 的叶片全氮与可溶性糖的比值 (比值), 与籽粒中粗蛋白、湿面筋、干面筋进行统计分析, 相关性达到极显著正相关。

表明如果在开花期进行籽粒粗蛋白的预测预报, 只需要得知开花期叶片全氮与可溶性糖的比值就可以了。以上研究表明, 利用遥感获取的红边位置可以进行叶片可溶性糖的反演, 利用归一化红边振幅可以进行叶片全氮的反演, 分别得到叶片可溶性糖和叶片全氮以后, 完全可以在开花期进行籽粒蛋白质品质的预测预报。

根据以上关系我们建立了开花期叶片全氮与可溶性糖的比值 ( $x$ ) 与籽粒部分品质指标 ( $y$ ) 间的回归方程, 比值与籽粒蛋白质含量间的方程为:

$$y = 8.234x + 7.725$$

( $0.5 < x < 1, R^2 = 0.892$ , 建模样品为 48 个)

式中  $x$  —— 比值;  $y$  —— 小麦籽粒粗蛋白含量, %,  $r(0.05, 48) = 0.273$ ;  $r(0.01, 48) = 0.354$  (下同)。

比值与籽粒干面筋含量间的方程为:

$$y = 5.076x + 9.641$$

( $0.5 < x < 1, R^2 = 0.878$ , 建模样品为 48 个)

式中  $x$  —— 比值;  $y$  —— 小麦籽粒干面筋含量, %。

比值与籽粒湿面筋含量间的方程为:

$$y = 18.769x + 22.487$$

( $0.5 < x < 1, R^2 = 0.729$ , 建模样品为 48 个)

式中  $x$  —— 比值;  $y$  —— 小麦籽粒湿面筋含量, %。

从对方程显著性检验的结果可知, 方程都具有较高

的复相关系数,因此方程具有较高的可靠性。通过方程,对2001~2002年在北京市农林科学院农场进行粗蛋白含量和湿面筋含量进行了预测,模拟值与实测值的相关性见图5和图6,由图5可知,籽粒粗蛋白模拟值与实测值之间的复相关系数很高( $R^2 = 0.901$ ,检验样品为36个),也达极显著水平。由图6可知,籽粒湿面筋模拟值与实测值之间的复相关系数很高( $R^2 = 0.894$ ,检验样品为36个),也达极显著水平。这些相关性结果表明利用运用红边参数反演叶片全氮和可溶性糖含量进而预测小麦蛋白质品质是可行的,而且在生产中有着广阔的应用前景。

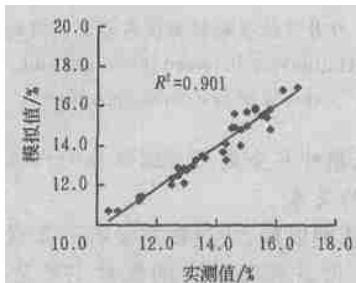


图5 籽粒粗蛋白模拟值与实测值之间的关系

Fig 5 Relationship between measured and simulated values of grain protein contents

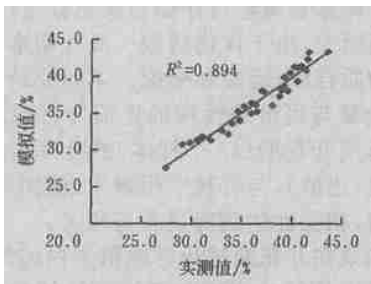


图6 籽粒湿面筋模拟值与实测值之间的关系

Fig 6 Relationship between measured and simulated values of wet gluten content

### 3 讨论与结论

1) 利用红边参数估算作物生化组分的原理及误差来源分析

通过选取红边参数红边位置、红吸收峰、红边振幅、最小振幅、红边峰值面积5个指标与反映作物碳-氮代谢的典型生物化学参数叶片全氮和叶片可溶性糖进行相关分析,表明,可以运用红边位置来反演叶片可溶性糖含量,可以运用归一化最小振幅来反演叶片全氮含量。建立了红边参数与其显著相关组分间的回归方程,并利用不同地点开展的验证试验数据,对建模试验所建立的回归方程进行了检验。对于农业生产上大面积、无破坏、及时的获取作物生长信息有重要指导作用。对于反演结果的误差来源分析,首先红边参数的光谱反射率为整个冠层的光谱反射率,而选取的生物化学参数为单叶或部分叶片的组分,不同层面叶片对光谱的贡献率差异与测定组分的均匀取样(非权重取样)之间存在对象的非统一性,叶鞘、茎秆的组分状况也会对光谱反射率

产生一定的影响;不同层位叶片的生长、扩张和衰老交错,而作物体内物质的易运转特性又加剧了上下层叶片氮素含量和可溶性糖含量的丰缺差距,如能分层模拟可能会提高反演精度。

2) 利用红边参数预报作物品质的原理及误差来源分析

通过借鉴前人关于开花期叶片氮素含量与成熟期籽粒蛋白质品质指标间的高相关性,提出运用反映物质合成、运转和分配的重要指标,叶片全氮与可溶性糖比值来进行作物氮素合成和籽粒积累的重要指标。通过统计分析,表明叶片全氮与可溶性糖比值与籽粒粗蛋白、湿面筋、干面筋含量存在极显著正相关,建立了基于叶片全氮与可溶性糖比值与籽粒蛋白质品质指标间的回归方程,并利用不同地点开展的验证试验数据,对建模试验所建立的回归方程进行了检验。表明利用运用红边参数反演叶片全氮和可溶性糖含量进而预测小麦蛋白质品质是可行的。而且在生产中有着广阔的应用前景。对于反演结果的误差来源分析,首先,本研究建模试验选取的品种为“京冬8”、“中优9507”和“京9428”,验证试验选取为“京冬8”、“中优9507”和“京411”,品种基本一致。此外,虽然建模试验和验证试验在不同地点展开,但是由于在同一年度开展,且生态区域小气候较为接近,对于其他品种、不同年份、不同生态环境条件下的试验结果可能存在差异,对此尚需进一步研究。

#### [参考文献]

- [1] Gates D M, Keegan H J, Schleter J C, et al Spectral properties of plants[J]. Application Optics, 1965, 4, 11-20
- [2] Horler D N H, Dockray M, Barber J. The red edge of plant foliar reflectance [J]. International Journal of Remote Sensing, 1983, 4, 273- 288
- [3] Curran P J, Dungan J L, Macler B A, et al The effect of a red edge pigment on the relationship between red-edge and chlorophyll concentration [J]. Remote Sensing of Environment, 1991, 35, 69- 75
- [4] Curran P J, Dungan J L, Gholz H I Exploring the relationship between reflectance, red edge and chlorophyll concentration in slash pine[J]. Tree Physiology, 1990, 7, 33- 48
- [5] Horler D N H, Barber J, Barringer A R. Effects of heavy metals on the absorbance and reflectance spectra of plants [J]. International Journal of Remote Sensing, 1980, 1(2): 121- 136
- [6] Collins W. Remote sensing of crop type and maturity[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1978, 44: 43- 55
- [7] Schutt J B, Row land R R, Heartly W H. A laboratory investigation of a physical mechanism for the extend infrared absorption ("red shift") in wheat [J]. International Journal of Remote Sensing, 1984, 5, 95- 102

- [8] Curran P.J. Imaging spectrometry [J]. Progress in Physical Geography, 1994, 48, 247- 266
- [9] Filella I, Penuelas J. The red edge position and shape as indicators of plant chlorophyll concentration, biomass and hydric status [J]. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15, 1459- 1470
- [10] 刘伟东, 项月琴, 郑兰芬, 等. 高光谱数据与水稻叶面积指数及叶绿素密度的相关分析[J]. 遥感学报, 2000, 4(4): 279- 283
- [11] 王秀珍, 王人潮, 李云梅, 等. 不同氮素营养水平的水稻冠层光谱红边参数及其应用研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(3): 301- 306
- [12] 王秀珍, 黄敬峰, 李云梅, 等. 水稻生物化学参数与高光谱遥感特征参数的相关分析[J]. 农业工程学报, 2003, 19(2): 144- 148
- [13] Zhao C J, Huang W J, Wang J H, et al. The red edge parameters of different wheat varieties under different fertilization and irrigation treatments [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 1(7): 745- 751.
- [14] 谭倩, 赵永超, 童庆禧, 等. 植物光谱维特征提取模型[J]. 遥感信息, 2001, 1: 14- 18
- [15] 张宪政, 陈风玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳: 辽宁科技出版社, 1994
- [16] 王纪华, 黄文江, 赵春江, 等. 利用光谱反射率估算冬小麦叶片和籽粒生化组分研究[J]. 遥感学报, 2003, 7(4): 277 - 284
- [17] Huang W J, Wang J H, Wang Z J, et al. Inversion of foliar biochemical parameters with at various physiological stages and grain quality indicators of winter wheat with canopy reflectance[J]. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(12): 2409- 2419.

## Application of red edge variables to nutrition diagnosis and grain quality forecast of winter wheat

Huang Wenjiang<sup>1,2</sup>, Zhao Chunjiang<sup>1</sup>, Wang Jihua<sup>1</sup>, Wang Jindi<sup>2</sup>, Ma Zhihong<sup>1</sup>

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China;

2. Research Center for Remote Sensing and GIS, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Reflectance of vegetation canopy has a significant increase at the edges of red and near infrared spectra, the point of maximum slope occurs on the boundary between red and near infrared bands that is known as the "red edge", which was located approximately in 660~ 770 nm. Correlation analysis was also made between red edge variables and leaf total nitrogen and leaf soluble sugar content. Red edge position was proved to be able to predict leaf soluble sugar content, normalized minimum was chosen for the inversion of leaf total nitrogen content. Regression equations were established between the ratio of leaf total nitrogen and leaf soluble sugar content and grain protein, grain wet gluten and grain dry gluten content at anthesis stage. For this purpose red edge variables can play a vital role in providing time-specific and time-critical information for crop management and grain quality forecast.

**Key words:** red edge variables (REV); nutrition diagnosis; grain quality forecast; leaf total nitrogen; leaf soluble sugar; winter wheat; grain quality