

# 水稻氮素机器视觉诊断最佳叶位和位点的选择研究<sup>\*</sup>

祝锦霞 邓劲松 林芬芳 王珂

(浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029)

**【摘要】** 选用扫描仪获取水稻叶片的数字图像,通过比较第1和第3完全展开叶(L1和L2)颜色参量的空间分布,研究基于机器视觉技术的水稻氮素诊断的最佳叶位和位点选择。结果表明基于机器视觉的水稻氮素营养诊断是有理论依据的,能反映出叶片的营养状况;选择 $B$ 、 $b$ 、 $b/(r+g)$ 、 $b/r$ 、 $b/g$ 作为最优颜色特征参量;比较颜色特征参量对应的变异系数CV,得到低氮处理的CV明显高于正常氮素水平,同时CV随着叶位的增加而减小;不同位点的CV其叶尖和叶基的变化幅度较为接近,不同位点间差异不显著。初步研究选择第3完全展开叶作为水稻无损氮素诊断的最佳叶位。

**关键词:** 水稻 氮素 机器视觉 叶位 位点 变异系数

**中图分类号:** S2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0179-05

## Determination of Suitable Leaf for Nitrogen Diagnosis in Rice Based on Computer Vision

Zhu Jinxia Deng Jinsong Lin Fenfang Wang Ke

(Institute of Agricultural Remote Sensing and Information Technology Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

### Abstract

Prior research indicated that leaves at different positions responds differentially to the spectral characteristics under different nitrogen rates. A method based on the computer vision technology was proposed, by comparing the spatial differences of color parameters which was captured from the scanned images of upper fully expanded leaves. The result illustrated that the diagnosis of rice based on the scanned image under different N rates is able to partly reflect the hyperspectral properties. And the  $B$ 、 $b$ 、 $b/(r+g)$ 、 $b/r$ 、 $b/g$  were selected as the optimum color parameters. The coefficient of variation (CV) of the color parameters is higher at low N condition than normal. Furthermore, CV decreases with the increased leaf position. Meanwhile, the difference of CV at different part of the leaf is not obviously. The preliminary research concluded that the third fully expanded leaf can be applied as the ideal indicator to quantify the different status of nitrogen.

**Key words** Rice, Nitrogen, Computer vision, Leaf position, Different part of the leaf, Coefficient of variation

### 引言

氮素是水稻等作物吸收利用的主要元素之一,氮元素的吸收利用效率已经成为人们关注的焦点。

同时,叶片作为光合作用最主要的器官,其位置、形状、大小及其空间分布直接关系光合作用率的高低。因此,农作物营养元素含量的多少,元素的缺乏都会在叶片上有所反映。水稻的叶色及氮素营养状况在

收稿日期:2008-11-10 修回日期:2009-02-16

\*国家自然科学基金资助项目(30571112)、国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2006AA10Z204)和浙江省科技计划项目(2007C2308、2008C33008)

作者简介:祝锦霞,博士生,主要从事农业遥感与信息技术应用研究, E-mail: ko-ko998@163.com

通讯作者:王珂,教授,博士生导师,主要从事农业遥感与信息技术应用研究, E-mail: kwang@zju.edu.cn

不同叶位存在明显差异,前人通常选用第1完全展开叶作为氮素营养诊断的测定叶位,指导大田施肥<sup>[1-2]</sup>。也有研究认为下位叶更适合作为测定目标<sup>[3]</sup>。现存的叶位选择都是通过化学诊断、叶绿素计读数(SPAD值)分析不同叶位叶色的空间分布特征来决定。前者(叶片全氮含量)分析工作繁琐且工作量大。后者测定部位感光,容易受生育期生长环境差异的影响。两种方法都费时费工、精度不高<sup>[4-5]</sup>。

近年,图像处理及机器视觉技术在作物生长监测方面应用愈加广泛,已成为实现多种农业生产自动化必不可少的技术,应用前景非常广阔<sup>[6-11]</sup>。通过图像的外观特征进行分类识别应用,是一种及时便捷、切实有效的方法<sup>[12]</sup>。目前已市场化的小型便携式扫描仪,其周围环境对图像采集的干扰较小,尤其在获取静态图像的纹理等信息上显示出巨大的优势。获取的数字图像分辨率较高,图像中包含的颜色特征和光谱反射特征与叶绿素含量和光合作用密切相关。颜色特征具有很强的稳定性,对大小、方向都不敏感,具有相当强的鲁棒性<sup>[12]</sup>。本文选择扫描数字图像作为研究对象,研究基于机器视觉的叶片氮素营养状况和叶片颜色特征的空间分布特征,比较不同叶位叶色和氮素营养状态之间的相关性和差异性,利用叶片颜色特征确定氮素营养诊断的最佳测定叶位,为精确诊断水稻氮素营养状况以及推荐施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

整个试验过程采用直播方式,水稻田间试验选用常规晚熟秀水110号,研究区域在浙江省富阳市高桥镇。于2007年7月2日种植于试验区内,在水稻拔节期(2007年8月30日)采集各种试验数据,包括光谱和其他农学参数(叶片含氮量和SPAD值)。氮素试验设置4个处理(N0、N1、N2、N3分别施用纯N量是0、60、90、120 kg/hm<sup>2</sup>),采用单因素完全随机区组设计,氮肥的施用分3次进行,分别是基肥50%,分蘖肥35%,穗肥15%,每个施肥水平设4个重复,完全随机排列。在本次试验中,选择尿素作为施用肥,4个氮素水平折合成尿素量分别是0、133.4、200.0、266.7 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.2 数据采集与分析

#### 1.2.1 光谱参数测定

光谱测定选用美国ASD (Analytical Spectral Device)公司的ASD Fieldspec Pro FR型光谱仪和日本SPAD-502型叶绿素计定期测定不同氮素水平

的光谱参数和SPAD值。高光谱的间隔为350~2500 nm,采样间隔为2 nm,光谱分辨率为10 nm。选择10:00~14:00基本无云无风的时候测定水稻冠层光谱反射率。测量时视场角保持在25°,传感器探头垂直向下,距离冠层顶端0.7 m。每次测量前用白板进行校正。

#### 1.2.2 水稻数字图像获取及特征信息的提取

水稻数字图像的获取选择分辨率为300DPI的平板扫描仪EPSON EXPRESSION 1680型。田间获取水稻样品后,为避免叶片枯萎造成颜色变化,应迅速对叶片进行扫描,采集不同氮素水平的水稻样品第1完全展开叶(L1)、第3完全展开叶(L2)等功能叶的数字图像。并采用中值滤波法去除图像扫描过程中传递和转换造成的噪声。并通过非线性转换器标定R、G、B颜色坐标,将分布在0~255的R、G、B值转换成归一化的r、g、b值,以减小因亮度变化带来的影响<sup>[13]</sup>,其公式为

$$r = R / (R + G + B) \quad (1)$$

$$g = G / (R + G + B) \quad (2)$$

$$b = B / (R + G + B) \quad (3)$$

式中 R、G、B——绝对的红光、绿光和蓝光光谱值

r、g、b——相对的红光、绿光和蓝光光谱值

#### 1.2.3 生物化学参数

将水稻叶片剪成2mm左右的小块混合均匀,并称取0.15 g置于50 mL容量瓶中,放入浸提液(纯丙酮、无水乙醇、蒸馏水体积比为4.5:4.5:1)。室温下黑暗放置24 h,取出容量瓶,观察叶片组织全部变白。随后,根据李合生的方法测定水稻第1和第3完全展开叶的叶绿素A浓度<sup>[14]</sup>。水稻含氮量的测定需要将叶片在105℃杀青30 min,75℃烘干至恒质量,随后采用凯氏定氮法测定叶片的全氮含量。SPAD值的测定需要随即选取4个氮素水平的20片最新完全展开叶L1、L2,并取测得的SPAD的平均值。考虑到测定部位对读数影响较大,数据采集过程应尽量保持一致并避开叶脉。

## 2 结果与讨论

### 2.1 氮素营养诊断机理

#### 2.1.1 R、G、B颜色特征在不同叶位和不同氮素营养水平分析

整个水稻叶片的R、G、B的分布在不同氮素水平下差异较大<sup>[12]</sup>,说明数字图像颜色特征可以很好的表征作物的营养水平。同时,不同叶位的R、G、B颜色特征差值在不同的氮素水平下差异不一致(图1a)。在低氮水平(N0和N1水平)下,水稻L2的颜色特征值R、G、B较小(图1b、1c、1d),2个水稻

品种的 L1 与 L2 的颜色特征值 ( $R, G, B$ ) 差异较大 (图 1d)。随着施氮量的增加, 植株氮水平超过一定值后 (中氮水平 N2 和正常氮素水平 N3), L1 和 L2

之间的  $R, G, B$  颜色特征值差异很小。由此可见, 在不同氮肥水平下, L2 对土壤氮素供应的响应度最大。

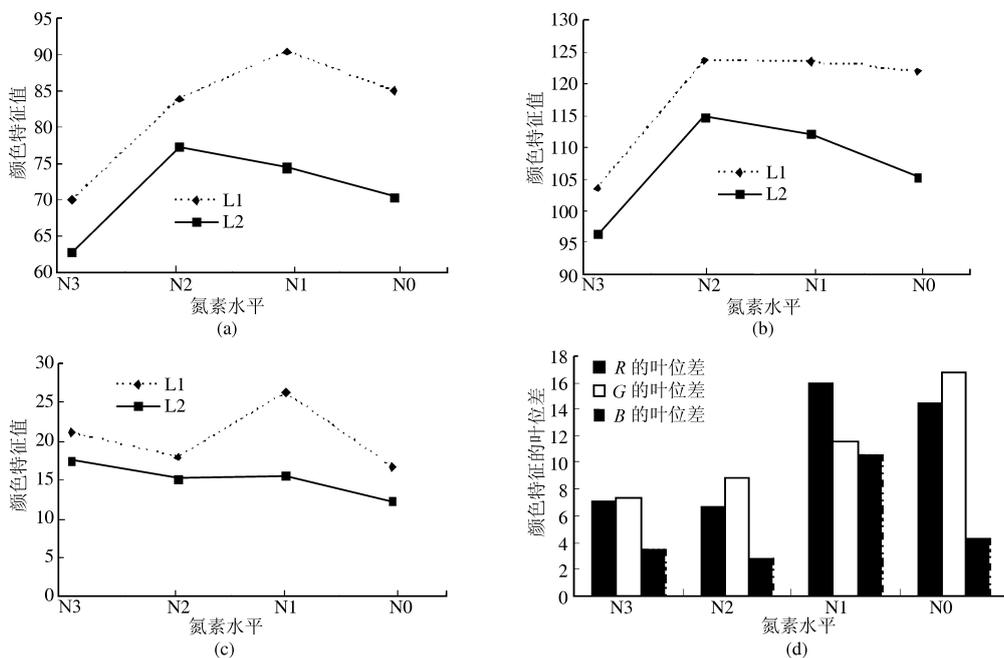


图 1  $R, G, B$  在不同叶位和不同氮素水平下的分布图

Fig. 1 Distribution of  $R, G, B$  at different nitrogen status and different position

(a)  $R$  颜色特征 (b)  $G$  颜色特征 (c)  $B$  颜色特征 (d) 颜色特征叶位差

### 2.1.2 扫描图像不同叶位叶色特征与高光谱特征的相关性分析

王人潮等认为缺氮使得水稻叶片在 680 nm 波段附近的吸收谷变浅, 在可见光区域的反射率增加。诊断水稻氮素营养水平的叶片光谱敏感波段在 760 ~ 900 nm, 630 ~ 660 nm 和 530 ~ 560 nm<sup>[15]</sup>。本研究中发现, 4 个不同的氮素水平对应的叶片光谱反射率都保持先上升后下降的趋势, 在 550 nm 左右处形成反射峰, 只是在反射强度上有所差别<sup>[12]</sup>。在可见光区 (460 ~ 710 nm), 随着施氮量的增加, 反射率一般随施氮水平的增加逐渐降低<sup>[16]</sup>, 这与叶片中叶绿素含量的增加有关。

## 2.2 氮素营养水平对叶位、位点光谱特性影响

### 2.2.1 颜色特征参量与叶绿素 A 在不同叶位的叶位差分析

对叶片的颜色特征参量和叶绿素 A 在不同氮素水平、不同叶位进行相关性分析<sup>[12]</sup>, 得到低氮水平 (N0、N1、N2) 颜色特征参量和叶绿素 A 的相关性在不同的叶位之间差异较大。同一氮素水平, L2 对应的相关性明显高于 L1, 即随着叶位的增加相关性增强。正常氮素水平 N3 的颜色特征参量和叶绿素 A 之间的相关性最高, 相关系数达到 0.75 以上<sup>[12]</sup>。

不同氮素营养水平, 水稻叶位之间差异大小不

同。水稻不同叶位 (L1 和 L2 叶位) 的叶绿素 A 含量差和颜色特征参量差的分布特点说明, 水稻叶片随施氮量的增加, 水稻不同叶位的叶片叶绿素 A 含量逐渐增加。但是, 随着叶位升高, 叶绿素 A、叶绿素 B 及类胡萝卜素含量降低。L1 和 L2 的叶绿素 A 含量在低氮 (N0、N1) 水平下存在显著差异, 而在中氮和正常氮素 (N1、N3) 水平下差异不显著 (表 1)。研究表明, 不同叶位叶对氮素供应的敏感性不同。水稻相邻叶位之间的叶色差异可以较好地指示植株氮素营养状况。L2 的叶色能较好地表征植株氮素营养状况颜色特征参量差和叶绿素 A 的差异之间的相关性分析。

表 1 叶绿素 A 和 5 个颜色特征参量在不同叶位的叶位差

Tab. 1 Difference of five color parameters and chlorophyll-A at different position

处理	叶绿素 A	$B$	$b$	$b/(r+g)$	$b/r$	$b/g$
N3	0.231	5.929	0.015	0.018	0.034	0.035
N2	0.113	3.001	0.006	0.006	0.011	0.013
N1	1.009	13.035	0.041	0.049	0.103	0.092
N0	0.628	7.298	0.028	0.033	0.099	0.047

### 2.2.2 不同叶位颜色特征参量相对变异系数分析

比较水稻颜色特征参量在不同的叶位状况下相对于正常氮素水平的变异系数 (coefficient of

variance, 简称 CV), 总体表现出 CV 在不同叶位的差异显著。低氮水平的相对 CV 高于正常氮素水平, 即相对 CV 值大于 1(表 2)。反映出下叶位颜色特征对应的相对 CV 大于上叶位。同时, 施氮量的增加能够减小这种差异, 即随着施氮量的增加相对 CV 减小(表 2)。研究表明, 植物的下叶位对氮素水平的变化反映更为灵敏, 更容易反映出氮素的水平。因为植物在缺氮素时, 氮素从下叶位的老叶转移到上叶位的新叶, 集中分布在上叶位。

在同一个氮素水平, 颜色特征参数的相对 CV 表现出 L2 大于 L1, 即随着叶位的增加颜色参量波动程度变大, 相对 CV 变小(表 2)。并且 L2 的颜色特征参数比较稳定<sup>[12]</sup>, 这和植物缺氮素时表现出来的生理特性相一致, 即第 3 完全展开叶对缺氮比较敏感且较为稳定。

由 L2 的颜色特征参量和叶绿素含量、SPAD 值

表 3 水稻 L2 的颜色特征参量和叶绿素、SPAD 值、含氮量之间的相关关系

Tab. 3 Coefficients of variance of color parameters of different parameters

参数	叶绿素 A	叶绿素 B	叶绿素 A + B	类胡萝卜素	SPAD	N
<i>B</i>	0.753 **	0.772 **	0.759 **	0.834 **	-0.855 **	-0.776 **
<i>b</i>	0.846 **	0.856 **	0.850 **	0.870 **	-0.511	-0.603 *
<i>b/r + g</i>	0.846 **	0.856 **	0.851 **	0.872 **	-0.511	-0.600 *
<i>b/r</i>	-0.874 **	-0.915 **	-0.894 **	-0.895 **	0.435	0.524 *
<i>b/g</i>	0.771 *	0.756 *	0.771 *	0.788 *	0.571 *	0.700 *

### 2.2.3 L2 叶尖、叶基的颜色特征参量的分析

叶片的不同位点其颜色特征和叶位一样也会随着氮素水平的差异发生变化。表 4 说明 L2 不同位点的颜色特征参量变异系数都较小。

表 4 水稻不同位点的颜色特征参量变异系数

Tab. 4 Coefficients of variance of color parameters of different position of leaf

CV	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>b/(r+g)</i>	<i>b/r</i>	<i>b/g</i>
N3 叶尖	0.079 0	0.086 5	0.096 2	0.098 2	0.097 0
N3 叶基	0.049 9	0.021 6	0.024 4	0.010 3	0.034 2
N2 叶尖	0.099 3	0.065 3	0.071 8	0.076 7	0.071 2
N2 叶基	0.063 2	0.045 0	0.048 8	0.058 8	0.042 3
N1 叶尖	0.011 6	0.034 8	0.041 9	0.037 6	0.099 8
N1 叶基	0.038 5	0.073 8	0.081 0	0.064 8	0.048 0
N0 叶尖	0.211 3	0.153 1	0.194 9	0.153 7	0.177 5
N0 叶基	0.169 6	0.118 7	0.127 6	0.114 1	0.136 5

表 5 说明不同的氮素水平对应的叶尖和叶基的变异幅度较为接近, 平均在 0.03 左右。

同时, 从叶尖和叶基颜色特征参量的方差分析得到, 方差检验的 sig 值明显大于 0.05 (sig 为

表 2 水稻颜色特征参数在不同叶位的相对于正常氮素水平的变异系数

Tab. 2 Relative coefficients of variance of color parameters at different position

相对 CV	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>b/(r+g)</i>	<i>b/r</i>	<i>b/g</i>
N0(L1)	1.497	1.090	1.088	0.823	1.337
N0(L2)	1.956	2.250	2.100	0.771	2.902
N1(L1)	1.788	1.392	1.431	1.067	1.742
N1(L2)	1.504	1.692	1.617	0.786	2.039
N2(L1)	0.852	0.783	0.773	0.641	0.890
N2(L2)	1.372	2.135	2.017	0.863	2.529

和叶片含氮量的相关性分析, 得到 L2 的颜色特征参量和水稻氮素营养诊断各参数之间的相关性都很好(表 3)。综合分析不同叶位的颜色特征参量与叶绿素 A 的相关性和叶片颜色特征参数的变异系数, 选择 L2 作为理想的指示叶。

0.881) 接受零假设, 即叶尖和叶基没有显著差异, 这和水稻缺氮素所表现出来的整体黄化特性相一致。因此可以选择整个 L2 作为氮素诊断的指示叶。这个特性与水稻缺钾时主要在叶尖黄化是不同的, 因此叶尖黄化程度有可能区分水稻缺氮和缺钾。

表 5 水稻不同位点的颜色特征参量变异系数差

Tab. 5 Difference of CV for color parameters at different position of leaf

差值 CV	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>b/(r+g)</i>	<i>b/r</i>	<i>b/g</i>
N0	0.041 7	0.034 4	0.067 3	0.039 6	0.041 0
N1	-0.026 9	-0.039 0	-0.039 1	-0.027 2	0.051 8
N2	0.036 1	0.020 3	0.023 0	0.017 9	0.028 9
N3	0.029 1	0.064 9	0.071 8	0.087 9	0.062 8

注: 差值 CV 为叶尖 CV 与叶基 CV 之差

### 3 结束语

水稻叶片的颜色特征参量和叶绿素 A 有较强的相关性, 分析不同叶位颜色特征参量的空间分布情况, 得到叶位之间的差异较大, 且低氮处理的变异系数明显高于正常氮素水平, 说明水稻在缺氮的情

况下比较容易识别;并且随着叶位的增加波动程度增加,由此得出高叶位的叶片对氮素水平比较敏感;同一叶片不同位点的 CV 其叶尖和叶基的变化幅度较为接近,不同位点间差异不显著,这和水稻缺氮素所表现出来的整体黄化特性相一致。因此,第3完全展开叶在氮素供给发生变化的时候要比第1完全

展开叶较早反应而且敏感,是水稻氮素营养诊断较为理想的单叶指示叶。初步研究结果表明基于机器视觉的扫描数字图像水稻氮素营养诊断是有理论依据的,有可能建立一种新的实时、快速、准确的水稻氮素诊断方法,具有很大应用前景。

#### 参 考 文 献

- 1 Wallihan E F, Moomaw J C. Selection of index leaf for studying the critical concentration of nitrogen in rice plants [J]. *Agron. J.*, 1967, 59 (5): 473 ~ 474.
- 2 Peng S, Garcia F V, Laza R C, et al. Increased N-use efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice [J]. *Field Crops Res.*, 1996, 47(2~3): 243 ~ 252.
- 3 沈掌泉,王珂,朱君艳. 叶绿素计诊断不同水稻品种氮素营养水平的研究初报[J]. *科技通报*, 2002, 18(3): 173 ~ 176.  
Shen Zhangquan, Wang Ke, Zhu Junyan. Preliminary study on diagnosis of the nitrogen status of two rice varieties using the chlorophyll meter [J]. *Journal of Bulletin of Science and Technology*, 2002, 18(3): 173 ~ 176. (in Chinese)
- 4 Wang Shaohua, Zhu Yan, Jiang Haidong, et al. Positional differences in nitrogen and sugar concentrations of upper leaves relate to plant N status in rice under different N rates [J]. *Field Crops Research*, 2006, 96(2~3): 224 ~ 234.
- 5 王渊,黄敬峰,王福明,等. 油菜叶片和冠层水平氮素含量的高光谱反射率估算模型[J]. *光谱学与光谱分析*, 2008, 28(2): 273 ~ 277.  
Wang Yuan, Huang Jingfeng, Wang Fuming, et al. Predicting nitrogen concentrations from hyperspectral reflectance at leaf and canopy for rape [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2008, 28(2): 273 ~ 277. (in Chinese)
- 6 Zhu Yan, Yao Xia, Tian Yongchao, et al. Analysis of common canopy vegetation indices for indicating leaf nitrogen accumulations in wheat and rice [J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2008, 10(1): 1 ~ 10.
- 7 Pagola M, Ortiz R, Irigoyen I, et al. New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis: comparison with SPAD-502 [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 65(2): 213 ~ 218.
- 8 Huang J L, He F, Cui K H, et al. Productivity and sustainability of a spring wheat - field pea rotation in a semi-arid environment under conventional and conservation tillage systems [J]. *Field Crops Research*, 2008, 105(1~2): 70 ~ 80.
- 9 Peng S B, Roland J B, Huang J L, et al. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China [J]. *Field Crops Research*, 2006, 96(1): 37 ~ 47.
- 10 Paradis Someth, Naritaka Kubo, Hajime Tanji. A combined technique of floodplain storage and reservoir irrigation for paddy rice cultivation [J]. *Paddy and Water Environment*, 2007, 5(2): 101 ~ 112.
- 11 Wu Jindong, Wang Dong, Rosen Carl J, et al. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies [J]. *Field Crops Research*, 2007, 101(1): 96 ~ 103.
- 12 祝锦霞,邓劲松,石媛媛,等. 基于水稻扫描叶片图像特征的氮素营养诊断研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2009, 29(8): 2 171 ~ 2 175.  
Zhu Jinxia, Deng Jinsong, Shi Yuanyuan, et al. Diagnoses of rice nitrogen status based on characteristics of scanning leaf [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2009, 29(8): 2 171 ~ 2 175. (in Chinese)
- 13 Tian, L F, Slaughter, D C. Environmentally adaptive segmentation algorithm for outdoor image segmentation [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 1998, 21(3): 153 ~ 168.
- 14 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001: 123 ~ 124.
- 15 王人潮,黄敬峰. 水稻遥感估产[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- 16 浦瑞良,宫鹏. 高光谱研究及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.