

## 光谱技术在作物生长与营养信息监测方面的研究进展

孙金英<sup>1</sup>, 曹宏鑫<sup>2</sup>, 黄云<sup>1</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716;

2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 数字农业工程技术研究中心, 南京 210014)

**摘要:**随着光谱技术的发展,植物光谱分析方法已成为监测作物生长与营养信息的重要手段。通过概述利用光谱技术监测作物叶面积指数(LAI)、生物量、含水量、叶绿素及氮素五项指标的研究进展,对光谱技术在作物生长与营养信息监测方面的研究进行了展望。

**关键词:**光谱技术;光谱反射率;监测;作物生长;植物营养

中图分类号: S126 文献标识码: A 文章编号: 1008-0864(2008) S1-0018-07

## Research Advances of Spectral Technology in Monitoring the Growth and Nutrition Information of Crop

SUN Jin-ying<sup>1</sup>, CAO Hong-xin<sup>2</sup>, HUANG Yun<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716;

2. Institute of Agricultural Resources and Environment Research, Engineering Research Center for Digital Agriculture, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** With the development of spectral technology, the spectral analysis methods on plant have become an important means of monitoring the information of crop growth and nutrition. The research advances that monitor five indexes such as leaf area index (LAI), biomass, water content, chlorophyll content, and nitrogen content of crop growth and nutrition by the spectral technology were reviewed. The prospects of applying the spectral technology in monitoring the information of crop growth and nutrition were put forward.

**Key words:** spectral technology; spectral reflectance; monitoring crop growth; plant nutrition

光谱技术具有简便、快速、精度高和无损测定等优点,已成为监测作物生长与营养信息的重要手段之一。根据作物叶片反射光谱特征变化可判定其生长及营养状况,以制定相应的施肥方案,实施精确施肥;根据作物冠层光谱反射特征反映的冠层温度、叶水势判断作物现有水分状况,可制定相应灌溉方案,实施精确灌溉;根据各种植被指数(主要是RVINDVI)估算农作物产量,可制定相应农业管理方案,实施农业宏观调控<sup>[1]</sup>。

### 1 植物光谱监测原理

植物本身是不规则的自然灰体,其体温总

在绝对温度 0 K 以上,因此,植物体会不断发射各种波长的电磁波,并对来自外界的人工和自然电磁辐射有一定的吸收和反射<sup>[2]</sup>。由于各种物体的内部结构和表面特性均不相同,因此,对不同波长电磁波的吸收和反射也不同。物体对不同波段光谱的响应特性叫光谱特性,植物光谱监测的基础便是植物的光谱特性。植物叶片生化成分含量的变化在光谱维方向表现为吸收波形的变化,植物光谱的导数可从实质上反映植物内部物质(叶绿素及其他生化成分)的吸收波形变化,因而通过植物的光谱特性可以监测植物的营养状况<sup>[3]</sup>。

收稿日期: 2008-01-14; 修回日期: 2008-04-04

基金项目: 江苏省“六大人才高峰”项目(06-G-169)资助。

作者简介: 孙金英, 硕士研究生, 主要从事农业资源信息管理研究。E-mail: sunjinying240@sina.com。通讯作者: 曹宏鑫, 研究员, 博士, 主要从事作物品质生理生态、“数字农业”关键技术等研究。Tel: 025-48390125; E-mail: caohongxin07@yahoo.cn

## 2 光谱技术在监测作物生长和营养信息方面的应用

### 2.1 作物生长信息监测

2.1.1 叶面积指数 叶面积指数(LAI)是植被冠层结构的重要参数,它与植被的生理过程,如光合、呼吸、蒸腾、碳循环和降水截获等密切相关,同时它也可作为植被表面最初能量交换的描述提供结构化定量信息<sup>[4]</sup>,所以,国内外均较重视对LAI的研究。Wiegand等<sup>[5]</sup>首次把光谱观测与LAI联系起来,但难以直接通过遥感信息反演LAI,而高光谱遥感的应用与发展为此提供了可能。Mutanga等<sup>[6]</sup>研究表明在可见光波段(400~700 nm),植被的反射光谱主要由叶绿素和其他色素的吸收决定,而叶绿素的积累量与LAI一般呈线性正相关<sup>[7]</sup>,这段光谱反射率与LAI呈负相关;在红外及近红外波段(700~1 000 nm),植被的反射光谱主要受叶片细胞排列方式和植被结构的影响<sup>[8]</sup>,对光谱产生强烈反射,这段光谱的反射率与LAI呈正相关。因此,基于光谱反射率与LAI的关系,在敏感波段可选出一些特定的波段组合形成多种植被指数反演LAI。Miller<sup>[9]</sup>应用比值植被指数、垂直植被指数等反演LAI为利用高光谱数据反演植被LAI奠定了基础。另外,Patel等<sup>[10]</sup>则利用基于植被反射光谱波形分析的红边参数反演LAI。近年来,宋开山等<sup>[11]</sup>研究表明,大豆的冠层光谱反射率在350~680 nm波段、红边区680~760 nm波段和近红外区760~1 050 nm波段与其LAI相关性较高,红边区的导数光谱与大豆LAI相关程度高。郑国清等<sup>[12]</sup>认为,玉米一阶微分光谱(480 nm)与LAI所建回归方程优于原始冠层光谱。李映雪等<sup>[13]</sup>指出,高光谱植被指数RVI(810, 510)、RVI[R(760~850)、R(350~400)]、PVI以及红边参数(位置和斜率)和高光谱特征参数P<sub>A</sub>rea1100与LAI都呈极显著相关。薛利红等<sup>[14]</sup>研究表明宽波段光谱植被指数与水稻LAI相关性呈幂函数和指数关系。Aparicio等<sup>[15]</sup>在小麦上的研究表明,LAI与植被指数的关系不仅不受栽培措施影响,也不受品种及栽培地区影响。这证明利用光谱植被指数与LAI的关系,进行大

面积农作物长势监测是可行的。

常用的植被指数有比值植被指数、差值植被指数、垂直植被指数和归一化植被指数等,其计算公式如下:

比值植被指数 RVI(ratio vegetation index), 1972年由 Person和 Miller<sup>[16]</sup>提出。RVI对于浓密植物反射的红光辐射很小, RVI将无限增长。

$$RVI = R_{NIR} / R_{Red} \quad (1)$$

$R_{NIR}$ 和  $R_{Red}$ 分别是近红外波段和红光波段的反射率。

差值植被指数 DVI(differential vegetation index), 1969年由 Jordan<sup>[17]</sup>提出。

$$DVI = R_{NIR} - R_{Red} \quad (2)$$

$R_{NIR}$ 和  $R_{Red}$ 分别是近红外波段和红光波段的反射率。

垂直植被指数 PVI(perpendicular vegetation index), 1977年由 Richardson和 Wiegand<sup>[18]</sup>基于“土壤线”概念而建立。

$$PVI = \frac{R_{NIR} - aR_{Red} - b}{1 + a^2} \quad (3)$$

a、b为土壤线性系数;  $R_{NIR}$ 和  $R_{Red}$ 分别是近红外波段和红光波段的反射率。

归一化植被指数 NDVI(normalized difference vegetation index), 1978年由 Rouse等<sup>[19]</sup>提出,并将比值限定在(-1, 1)范围内。

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad (4)$$

$R_{NIR}$ 和  $R_{Red}$ 分别是近红外波段和红光波段的反射率。

大量研究表明作物植被指数与LAI呈线性或非线性关系<sup>[20~22]</sup>,归一化植被指数(NDVI)是其中应用最广泛的一个。然而,王福民等<sup>[23]</sup>综合比较了所有由红绿蓝光波段各种组合构成的植被指数对水稻LAI的估算能力,认为用绿光波段代替红光波段构成的NDVI(GNDVI)和用绿光与蓝光波段代替红光波段构成的NDVI(GBNDVI)与LAI有更好的关系,比传统NDVI具有更佳的效果。

2.1.2 生物量 生物量是生态系统研究中最重要生物物理参数之一,也是植被长势遥感监测研究中最常见的指标之一。由于作物叶面积与地上部生物量密切相关,因此估算作物地上部鲜生物量主要通过作物LAI之间的关系实现,用于

监测作物 LAI的方法一般也适用于生物量的光谱监测。如宋开山等<sup>[24, 25]</sup>研究表明大豆 LAI与地上部鲜生物量关系密切,能估算大豆 LAI的有效波段及 RV 都可用来估算大豆地上部鲜生物量;大豆冠层光谱反射率、导数光谱与大豆 LAI地上部鲜生物量的变化趋势与相关系数变化大致相同,且在近红外波段,大豆光谱反射率与地上部鲜生物量的线性回归的判定性系数较之于 LAI的更高。研究还表明绿光波段反射峰区、红光波段以及红边区的单波段反射率与作物地上部鲜生物量相关性较高,而其他波段与作物鲜生物量相关性相对较小。Hansen等<sup>[26]</sup>利用高光谱反射率在 438~884 nm(光谱波段间隔 1 nm)范围内穷尽了所有两波段间的相关关系,构建了多种归一化光谱指数估算小麦地上鲜生物量。Gitelson等<sup>[27]</sup>研究证明用红边位置的对数方程估测生物量效果较好。唐延林等<sup>[28, 29]</sup>研究表明水稻地上部鲜、干重与 RV 和 NDVI 均显著相关,冠层光谱变量  $R_{990} / R_{550}$ 、 $R_{800} / R_{550}$ 、 $R_{750} / R_{550}$ 、 $R_{800} / R_{680}$ 及红边参数与水稻、玉米和棉花的鲜、干叶重均存在极显著相关关系。王渊等<sup>[30]</sup>研究表明油菜叶、茎和荚果干重与光谱植被指数(RVI, NDVI)之间显著相关,且 RV 较 NDVI 更好。王秀珍等<sup>[31]</sup>建立了以蓝边内一阶微分总和(SDb)与红边内一阶微分总和(SDr)构成的比值植被指数为变量的模型,作为高光谱估算地上鲜生物量的最佳模型。黄春燕等<sup>[32]</sup>基于棉花反射光谱 550~750 nm 波段深度参数(Dc)和 NDVI RVI(763, 670)植被指数,建立了地上鲜生物量的 5种单变量线性与非线性函数模型,其中,以指数函数、幂函数和双曲线函数构建的棉花鲜生物量估算模型精度相对较高。

从国内外研究可见,生物量与 LAI的光谱监测波段相似,但冠层光谱变量和植被指数有所不同。

2.1.3 含水量 水分是控制植物光合作用、呼吸作用和生物量的主要因素之一。因此,研究植物水分状况具有重要意义。基于植被光谱随含水量的变化,可以应用光谱遥感技术及时准确地监测和诊断植被含水量,该项研究越来越受到重视。

Daniel等<sup>[33]</sup>、Pu等<sup>[34]</sup>研究表明光谱数据可以估算植被含水量;中心波长位于 975 nm 与

1 200 nm 的比值指数构造的光谱指数  $Ratio_{975}$  和  $Ratio_{1200}$  可线性模拟叶片含水量。Ceccato等<sup>[35]</sup>认为结合使用短波红外波段(1 600 nm)和近红外波段(820 nm)的比值估测的植被含水量比只用单一波段估测的更准确。Penuelas等<sup>[36]</sup>研究表明水分指数  $R_{970} / R_{900}$  可监测小麦的水分状况。田庆久等<sup>[37]</sup>研究得出,小麦叶片相对水分含量与光谱反射率在 1 450 nm 波段附近水的特征吸收峰深度和面积呈良好线性正相关,通过光谱反射率可定量预测作物含水量,监测小麦缺水状况。王纪华等<sup>[38]</sup>研究表明,小麦叶片含水量与 1 650~1 850 nm 处的光谱特征峰的吸收深度和吸收面积呈显著线性负相关。

常用含水量表示方法有两种:即相对含水量 FMC (fuel moisture content) 和等价水深 EWT (equivalent water thickness)。FMC 是叶片中水量占鲜叶重<sup>[39]</sup>或干叶重<sup>[40]</sup>的百分比:

$$FMC = \frac{\text{鲜叶重} - \text{干叶重}}{\text{鲜叶重 (或干叶重)}} \times 100\% \quad (5)$$

EWT 表示单位叶面积的含水量<sup>[41]</sup>,单位是  $g \cdot cm^{-2}$  或 cm。公式为:

$$EWT = \frac{\text{鲜叶重} - \text{干叶重}}{\text{叶面积}} \quad (6)$$

FMC 和 EWT 是表征含水量的两个不相关量,是定量提取含水量的两种不同方法<sup>[42]</sup>。许多研究结果也证实了该结论,如沈艳等<sup>[43]</sup>基于光谱指数法,建立了含水量与不同光谱指数的统计模型,结果表明含水量的两种表征形式 FMC 和 EWT 在提取叶片含水量时差异较大。EWT 与各光谱指数的相关性较 FMC 高,但 FMC 对叶片含水量的反演精度高于 EWT。董晶晶等<sup>[44]</sup>研究表明 EWT 与叶片反射率之间呈较高线性关系,而 FMC 与叶片反射率相关性较小,构造指数方法优于普通的光谱回归分析,其中,  $Ratio_{975}$  和  $Ratio_{1200}$  效果最好。

从国内外研究可见,植被含水量光谱监测的中心波长位于 975 nm 与 1 200 nm,结合使用短波红外波段(1 600 nm)和近红外波段(820 nm)的比值比只用单一波段效果更好。

2.1.4 叶绿素 叶绿素含量是植被光合效率、氮

素胁迫和发育状况(特别是衰老过程)的指示器,它既能表明作物的生长状况,又是作物与外界发生物质能量交换的重要条件。因此,估测作物叶绿素含量已成为评价作物长势的一种有效手段,国内外许多学者就叶绿素及其衍生参数与光谱反射率的关系做了大量研究。Tomas和Caula<sup>[45]</sup>认为小麦因缺乏营养元素而减少叶绿素含量,从而增加可见光波段光谱反射率,这是由于叶绿素控制着作物可见光波段的光谱反射率<sup>[46]</sup>。Thomas和Gausman<sup>[47]</sup>的研究也表明叶绿素直接影响着植物在可见光波段的反射率,其显著差别主要表现在550~600 nm波段<sup>[48,49]</sup>,这些显著差别与叶片叶绿素含量紧密相关<sup>[50]</sup>。李云梅等<sup>[51]</sup>认为叶绿素对叶片反射率的影响,在710 nm波长达到最大值,标准差变化曲线在550 nm、710 nm、795 nm和830 nm处形成4个峰值,叶绿素对冠层反射率影响最大的波长分别为715 nm、720 nm和725 nm。这些研究使利用光谱数据估算作物叶绿素含量成为可能。Borgea和Mortensen<sup>[52]</sup>认为基于窄频红边波形分析的植被指数可以改进小麦冠层叶绿素密度的估算。王秀珍等<sup>[53]</sup>用红边参数来预测叶片的叶绿素含量,认为红边位置与上层叶片的叶绿素含量相关性最大,可用于定量上层叶片叶绿素含量,其中与上层叶片中的叶绿素a相关性达极显著水平,说明可用红边参数估算水稻冠层叶绿素含量。程一松等<sup>[54]</sup>提取了氮素胁迫下冬小麦的近红外反射峰值、绿峰和红端位移特征,与冬小麦的叶绿素密度、叶绿素含量等生理参数进行相关分析,并建立了线性光谱模拟模型。

可见,在研究叶绿素与植被光谱的关系中,“红边参数(红边位置、红边斜率、红边振幅)和近红外光谱参数(近红外反射峰值、近红外平台振幅)等应用较多。

## 2.2 作物氮素状况监测

氮肥是农业生产上用量最大且难以精确定量的一种肥料,也是农业生产中过量施用而导致成本上升与环境污染的一种肥料。因此,实时、无损、准确地监测作物营养状况是农业生产上迫切需要解决的难题。用植物光谱分析方法诊断植物营养水平具有快速、自动化、非破坏性等优点,在外观尚未发现缺氮症状时,已能区分作物的氮素

营养水平。为了建立准确度高和实用性强的作物氮素营养监测与诊断模型,促进作物氮素营养无损监测与精确诊断技术的发展和运用,国内外学者进行了大量研究。

牛铮等<sup>[55]</sup>选择2120 nm和1120 nm处的叶片光谱反射率的一阶导数与鲜叶含氮量建立线性回归方程,预测值与实测值相关度达80%。Kokaly等<sup>[56]</sup>研究表明,利用2054 nm和2172 nm的光谱吸收特征可估算水稻叶片含氮量。Osborne等<sup>[57]</sup>采用光谱诊断玉米氮磷营养发现,植物体内氮含量的预测应在红光和绿光波段,但具体波段随生育期不同而异。Hung等<sup>[58]</sup>用偏最小平方回归法建立水稻叶片的氮含量、氮密度等四个变量的回归模型方程,相关系数达0.79以上,可较好地预测水稻叶片的生长状况。薛利红等<sup>[59]</sup>用近红外和绿光波段 $R_{810}/R_{560}$ 的比值与群体冠层叶片氮积累量建立了线性关系,可定量监测水稻冠层氮素营养状况。王纪华等<sup>[60]</sup>研究表明820~1100 nm波段的光谱反射率与叶片含氮量呈极显著正相关;1150~1300 nm波段的光谱反射率与叶片含氮量也呈显著相关。谭昌伟等<sup>[61]</sup>在研究夏玉米光谱特征时指出 $R_{653}$ 的导数值与叶片全氮含量的相关性较好。周启发等<sup>[62]</sup>的水稻光谱试验研究表明,水稻叶片和稻穗的光学反射指数(PR I)随着施氮量的增加而上升;归一化色素总量/叶绿素比值指数(NFC I)随着施氮量的增加而下降; $R_{NIR}/R_{Red}$ 值随着施氮量的增加而增加;而稻穗 $R_{NIR}/R_{Red}$ 值在不同氮处理下基本不变。张金恒等<sup>[63]</sup>研究氮素营养水平与水稻叶片光谱的关系,得出了NDVI、RV I等与水稻叶片含氮量的相关关系,提出了上下叶位叶片红边一阶微分光谱反射峰变化趋势的描述参数LRP-SA(leaf red edge peak slope angle);分析了其与叶片光谱、叶绿素含量值、叶片光谱红边斜率和叶片含氮量之间的相关性;建立了估算氮素含量的回归模型。朱艳等<sup>[64]</sup>提出了归一化差值植被指数NDVI(1220 nm, 610 nm),与已有的氮素敏感波段或植被指数相比,它不完全限定在可见光波段,而且综合了近红外波段的信息;同时NDVI(1220 nm, 610 nm)的相关性高于单波段反射率,用NDVI(1220 nm, 610 nm)监测稻麦叶片氮

含量具有较好的稳定性,这是对已有单个作物氮素营养光谱监测理论和技术的深化与发展。黄春燕等<sup>[65]</sup>用高光谱遥感数据提取了红边(680~750 nm)波段范围的最大一阶微分值(Dr)和红边面积(SDr)参数,分析红边位移现象,结合基于冠层红边面积建立的氮素估测模型可以快速、非破坏性的诊断棉花群体冠层的氮素营养状况,对于棉花大面积的精准管理具有重要的指导作用。

在作物其他营养元素的光谱诊断方面,国内外学者也进行了不少的研究,但大多只是表面的研究,不是很深入,还有待进一步研究<sup>[66]</sup>。

### 3 展望

光谱技术在作物生长与营养信息监测方面已在国内外得到广泛研究,作物 LAI 生物量、含水量、叶绿素及氮素状况的敏感光谱特征参数及定量反演模型,是光谱技术在作物生长监测上应用的理论依据。

目前国内利用光谱技术在作物生长与营养信息监测方面的研究越来越多,但真正大范围地应用到田间生产实践上的还很少。主要原因在于,其一,光谱分辨率不高,很难区别生长期相同、外形相差不大、颜色和品质相近的混作物,因此应大力发展高光谱技术;其二,由于光谱模型只是建立在少量数据基础之上,模型不够完善、精度不高,不具有代表性,难以用于指导生产,今后应加强与地面遥感和高空遥感的结合,获得大面积的航空成像高光谱资料,建立较大尺度的农业遥感应用技术;其三,光谱技术在作物上的研究主要集中在水稻、玉米、小麦和棉花上,作物光谱研究的范围应进一步扩大;其四,光谱监测技术需要与基于生长模型的决策支持系统相结合,才能发挥预测与决策的作用。其五,植物光谱监测所需仪器多从国外引进,价格比较昂贵。因此,随着光谱信息提取技术的日益成熟,以及应用算法和软件包的完善,应提炼出不同指标在不同波段的特征参数,进而优选波段,并利用特征参量归一化定量分析技术,建立新型的活体测定方法,研制出性能优越的仪器设备,实现国产化和规模化生产;进一步与基于生长模型的决策支持系统相结合,促进光谱技

术在作物生长监测和精确管理中的应用,这将是今后研究工作的重点。光谱技术将在我国农业生产中发挥更为重要的作用。

### 参 考 文 献

- [1] 唐延林,王人潮. 遥感技术在精准农业中的应用[J]. 现代化农业, 2002, 2: 33 - 35.
- [2] 张宏名. 农田作物光谱特征及其应用[J]. 光谱学与光谱分析, 1994, 14(5): 25 - 30.
- [3] 申广荣,王人潮. 植被高光谱遥感的应用研究综述[J]. 上海交通大学学报(农业科版), 2001, 19(4): 315 - 321.
- [4] 浦瑞良,宫 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社, 2000, 123 - 144.
- [5] Wiegand C L, Gausman H W, Cuellar J A. Vegetation density as deduced from ERTS - 1 MSS response[A]. In: Third ETRS symposium[C], NASA-SP-351, Vol(1)A. Washington, DC: NASA, 1974, 93 - 116.
- [6] Mutanga O, Skidmore A K, Wieren S. Discrimination tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatment using spectroradiometry[J]. J. Photo. Rem. Sen., 2003, 57: 263 - 272.
- [7] Thenkabail P S, Smith B B, Pauw E. Hyper-spectral vegetation indices and their relationship with agricultural crop characteristics[J]. Rem. Sen. Environ., 2000, 71: 158 - 182.
- [8] Jago R A, Mark E J C, Curran P J. Estimation canopy chlorophyll concentration from field and airborne spectra[J]. Rem. Sen. Environ., 1999, 68: 217 - 224.
- [9] Miller J R. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance: an inverted gauss in reflectance model[J]. Int. J. Rem. Sen., 1990, 11: 1775 - 1795.
- [10] Patel N K, Pataik C, Dutta S, et al. Study of crop growth parameters using airborne imaging spectrometer[J]. Int. J. Rem. Sen., 2001, 20: 2401 - 2411.
- [11] 宋开山,张 柏,李 方,等. 高光谱反射率与大豆叶面积及地生物量的相关分析[J]. 农业工程学报, 2005, 21(1): 36 - 40.
- [12] 郑国清,赵巧丽,乔 淑,等. 玉米冠层光谱在农学参数上的应用研究[J]. 中国农业科学, 2007, 40(增刊 2): 58 - 62.
- [13] 李映雪. 基于冠层反射光谱的小麦氮素营养与籽粒品质监测[D]. 南京:南京农业大学,博士学位论文, 2005.
- [14] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 47 - 52.
- [15] Aparicio N, Araus J L, Villegas D, et al. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat[J]. Crop Sci., 2002, (42): 1547 - 1555.
- [16] Pearson R L, Miller D L. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie[A]. In: Proceedings of the eighth international symposium on remote sensing of environment[C]. Ann Arbor MI: ER M, 1992, 2: 1357 - 1381.
- [17] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor[J]. Ecology, 1969, 50: 663 - 666.
- [18] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from

- soil background information [J]. *Photogram. Eng. Rem. Sens.*, 1977, 43: 1541 - 1552.
- [19] Rouse JW, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation [R]. NASA/GSFC, Type , Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1974, 1 - 371.
- [20] 王培娟,朱启疆,吴门新,等.冬小麦冠层的 FAPAR、LAI 与 VIs 之间关系的研究 [J]. *遥感信息*, 2003, 3: 19 - 22.
- [21] 彭朋,张树文.基于 NDVI 与 LAI 的水稻生长状况研究 [J]. *东北测绘*, 2002, 25 (4): 16 - 19.
- [22] 吕雄杰,潘剑君,张佳宝,等.水稻冠层光谱特征及其与 LAI 的关系研究 [J]. *遥感技术与应用*, 2004, 19 (1): 24 - 29.
- [23] 王福民,黄敬峰,唐延林,等.新型植被指数及其在水稻叶面积指数估算上的应用 [J]. *中国水稻科学*, 2007, 21 (2): 159 - 166.
- [24] 宋开山,张柏,李方,等.高光谱反射率与大豆叶面积及地上鲜生物量的相关分析 [J]. *农业工程学报*, 2005, 21 (1): 36 - 40.
- [25] 宋开山,张柏,于磊,等.玉米地上鲜生物量的高光谱遥感估算模型研究 [J]. *农业系统科学与综合研究*, 2005, 21 (1): 65 - 67.
- [26] Hansena P M, Schjorring J K. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2003, 86: 542 - 553.
- [27] Gitelson A A, Kaufman Y J, Stark R, et al. Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2002, 80: 76 - 87.
- [28] 唐延林,王秀珍,王珂.利用光谱法测定水稻生物物理参数及其光谱变量的相关性研究 [J]. *贵州大学学报(农业与生物科学版)*, 2002, 21 (5): 327 - 331.
- [29] 唐延林,王秀珍,王福民,等.农作物 LAI 和生物量的高光谱法测定 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2004, 32 (11): 100 - 104.
- [30] 王渊,王福民,黄敬峰.油菜不同组分生物量光谱遥感估算模型 [J]. *浙江农业学报*, 2004, 16 (2): 79 - 83.
- [31] 王秀珍,黄敬峰,李云梅,等.水稻地上鲜生物量的高光谱遥感估算模型研究 [J]. *作物学报*, 2003, 29 (6): 316 - 321.
- [32] 黄春燕,王登伟,曹连莆,等.棉花地上鲜生物量的高光谱估算模型研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23 (3): 131 - 135.
- [33] Daniel A S, John A G. Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2003, 84: 526 - 537.
- [34] Pu R, Ge S, Kelly N M, et al. Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus agrifolia*) leaves [J]. *Int. J. Rem. Sen.*, 2003, 24 (9): 1799 - 1810.
- [35] Ceccato P, Flasse S, Tarantola B, et al. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2001, 77: 22 - 23.
- [36] Penuelas J, Filella I, Bidel C, et al. The reflectance at the 950 ~ 970 nm region as an indicator of plant water status [J]. *Int. J. Rem. Sen.*, 1993, 14 (10): 1887 - 1905.
- [37] 田庆久,宫鹏,赵春江.用光谱反射率诊断小麦水分状况的可行性分析 [J]. *科学通报*, 2000, 45 (4): 2645 - 2650.
- [38] 王纪华,赵春江.利用遥感方法诊断小麦叶片含水量的研究 [J]. *华北农学报*, 2000, 15 (4): 68 - 72.
- [39] Mbou C. Proposition of a method for early fires planning using ground and satellite (NDVI 3 NOAA-AVHRR) data from Niokolo Koba National Park (Southeast Senegal) [A]. In: *Proceeding of the second international symposium on operationalization of remote sensing* [C]. Poster presentation Enschede, Netherlands, 1999, 16 - 20.
- [40] Chuvieco E, Deshayes M, Stach N, et al. Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data [A]. In: *Remote sensing of large wildfires in the European mediterranean basin* [C]. Berlin, 1999, 228.
- [41] Danson FM, Steven M D, Malthus T J, et al. High-spectral resolution data for determining leaf water content [J]. *Int. J. Rem. Sen.*, 1992, 13: 461 - 470.
- [42] Gond V, De Pury D G, Veroustraete F, et al. Seasonal variations in leaf area index, leaf chlorophyll and water content: scaling up to estimate FAPAR and carbon balance in a multi-layer, multispecies temperate forest [J]. *Tree Physiology*, 1999, 19: 673 - 679.
- [43] 沈艳,牛铮,颜春燕.植被叶片及冠层层次含水量估算模型的建立 [J]. *应用生态学报*, 2005, 16 (7): 1218 - 1223.
- [44] 董晶晶,牛铮,沈艳,等.利用反射光谱信息提取叶片水分含量的方法比较 [J]. *江西农业大学学报*, 2006, 28 (4): 587 - 591.
- [45] Tomas A S, Caula A B. Changes in spectral reflectance of wheat leaves in response to specific macronutrient deficiency [J]. *Adv. Space Res.*, 2005, 35 (2): 305 - 317.
- [46] Knippling E B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 1970, 1: 155 - 159.
- [47] Thomas J R, Gausman H W. Leaf reflectance vs leaf chlorophyll and carotenoid concentration for eight crops [J]. *Agro J.*, 1977, 69: 799 - 802.
- [48] Blackmer T M, Sheperd J S, Varvel G E. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves [J]. *Agro J.*, 1994, 86: 934 - 938.
- [49] McMurtry 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]. *Rem. Sen. Environ.*, 1994, 47: 36 - 44.
- [50] Hong S, Rim S, Lee J, et al. Remote sensing for estimating chlorophyll amount in rice canopies [A]. In: *International proceedings of geoscience and remote sensing symposium* [C]. Singapore, 1997.
- [51] 李云梅,倪绍祥,黄敬峰.高光谱数据探讨水稻叶片叶绿素含量对叶片及冠层光谱反射特性的影响 [J]. *遥感技术与应用*, 2003, 18 (1): 1 - 4.
- [52] Broge N H, Mortensen J V. Deriving green crop area index and canopy chlorophyll density of winter wheat from spectral reflectance data [J]. *Rem. Sen. Environ.*, 2002, 81: 45 - 57.
- [53] 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*, 2001, 27 (3): 301 - 306.
- [54] 程一松,胡春胜,郝二波,等.氮素胁迫下的冬小麦高光潜

- 特征提取与分析[J].资源科学,2003,25(1):86-93.
- [55] 牛铮,陈永华,随洪智,等.叶片化学组分成像光谱遥感探测机理分析[J].遥感学报,2000,4(2):125-129.
- [56] Kokaly R, Root R, Brown K, et al. Calibration of compact airborne spectrographic imager (CASI) data to surface reflectance at Theodore Roosevelt National Park [A]. In: Annual meeting of the American chemical society[C]. Abstract 221<sup>st</sup>, San Diego, 2001 April 1-5
- [57] Osborne S L, Schepem J S, Francis D D, et al. Detection of phosphorus anti nitrogen deficiencies in corn using spectral radiance measurements[J]. Agro J., 2002, 94: 1215-1221.
- [58] Nguyen H T, Lee B W. Assessment of rice leaf growth and nitrogen status by hyper-spectral canopy reflectance and partial least square regress [J]. Euro J. Agro., 2006, 24: 349-356.
- [59] 薛利红,曹卫星,罗卫红,等.基于冠层反射光谱的水稻群体叶片氮素状况监测[J].中国农业科学,2003,36(7):807-812.
- [60] 王纪华,黄文江,赵春江,等.利用光谱反射率估算叶片生化组分和籽粒品质指标研究[J].遥感学报,2003,7(4):277-284.
- [61] 谭昌伟,工纪华,黄文江,等.夏玉米叶片全氮、叶绿素及叶面积指数的光潜响应研究[J].西北植物学报,2004,24(6):1041-1046.
- [62] Zhou Q F, Wang J H. Leaf and spike reflectance spectra of rice with contrasting nitrogen supplemental levels[J]. Int. J. Rem. Sen., 2003, 24(7): 1587-1593.
- [63] 张金恒,王珂,王人潮.红边参数LRPSA评价水稻氮素营养的可行性研究[J].上海交通大学学报(农业科学版),2003,21(4):349-360.
- [64] 朱艳,李映雪,周冬琴,等.稻麦叶片氮含量与冠层反射光谱的定量关系[J].生态学报,2006,26(10):3463-3469.
- [65] 黄春燕,王登伟,闫洁,等.基于红边参数的棉花冠层叶片氮积累量之估算研究[J].中国农学通报,2006,22(7):563-566.
- [66] 王磊,白由路.基于光谱理论的作物营养诊断研究进展[J].植物营养与肥料学报,2006,12(6):902-912.

## 2008年中国植病和菌物学会联合学术讨论会通知(第一轮)

经中国植物病理学会和中国菌物学会批准,由中国植物病理学会植物病原真菌专业委员会、中国菌物学会植物病原真菌专业委员会和中国植物病理学会西南区代表处,联合召开2008年学术讨论会,此次大会由浙江大学农业与生物技术学院承办。

### 一、会议情况

1. 会议内容:学术交流,专题报告和现场参观;同时评选优秀论文和讨论植物病理学会专业委员会换届。会后组织杭州附近生态考察。

2. 会议时间:2008年10月上旬,会期三天。

3. 会议地点:浙江杭州。

4. 会议规模:80~100人。

5. 会务费:每位代表500元,学生300元;食宿自理。

6. 出席会议成员:凡上述三会理事、委员和老会员均可出席;一般会员凭入选论文出席会议;欢迎相关单位领导、科研工作者与会。

### 二、论文征集

1. 论文内容:近2~3年来未公开发表,有关植物病理学和菌物学领域的教学与科研成果、研究进展综述、解决生产问题的新方法、新技术、新病害诊断鉴定和新型杀菌剂的应用等论文的全文或简报。

2. 会议论文将在《中国食用菌》杂志以增刊形式正式出版论文集。由会议组织审稿,每篇收

审稿费80元,经评审获准发表论文收版面费120元/版。论文截止日期为2008年6月30日。

3. 论文要求:限5000字以内,请按《中国食用菌》投稿要求和写作格式撰写(其中参考文献务必按该期刊要求的格式著录,图版要清晰,扫描时使用600像素),同时提交论文纸质文档和电子文档(Word格式)。

4. 论文或简报提交方式:

电子文档可通过邮件发送至: xutong@zju.edu.cn; 或 zhangzy1929@yahoo.com.cn

寄送纸质文档或手写稿的,须字迹、图表清楚。请寄往:

(1) 昆明市北郊黑龙潭云南农业大学植物保护学院(650201) 张中义 收

联系人: 鲁海菊, 宫飞燕, 荆宇

电话: 0871-5220382

(2) 杭州华家池浙江大学农业与生物技术学院(310029) 徐同 收

电话: 0571-86971208

### 三、优秀论文评选

与会者可提交近年已正式出版的真菌论文一篇,一式二份,寄往徐同或张中义收。论文经专家评审,入选者发给奖状,以表彰先进,启迪后学。不收评审费,酌收邮挂费。截止日期:2008年6月30日。