

高光谱遥感在植被理化信息提取中的应用动态^{*}

谭昌伟^{1,2}, 王纪华¹, 黄文江¹, 刘良云¹, 黄义德², 严伟才²

(1 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089; 2 安徽农业大学 农学系, 安徽 合肥 230036)

[摘 要] 概述了高光谱遥感信息的处理方法, 综述和总结了高光谱遥感在植被生物物理和生物化学信息提取等方面的应用及国内外研究进展, 阐述了植被指数应用的可行性, 在此基础上指出高光谱遥感在提取植被信息过程中存在的问题及其发展前景。

[关键词] 高光谱遥感; 植被指数; 植被理化信息

[中图分类号] TP79

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)05-0151-06

1962年,在美国密执安大学召开了名为“环境遥感”的专题会议,从此,“遥感”就成为从空中探测地球表面及其环境的信息获取、处理和应用技术的专用术语。在此后的40多年里,随着电子技术、计算机技术、现代通讯技术、航空航天技术和地球科学的发展,遥感及其应用技术产生了质的飞跃^[1]。植被作为地球陆地覆盖面最大、对人类生存环境和生存质量影响最大的因素,一直是遥感工作者重点关注的对象之一。生物物理信息主要是指叶面积指数(LAI)、生物量、植物种类、植被郁闭度、光合有效辐射、净生产率及其他冠层结构参数等;生物化学信息主要是指植物体内的各种色素(如叶绿素、叶黄素、类胡萝卜素等),各种营养成分(如N、P、K)及纤维素、半纤维素、木质素、糖、油、淀粉和蛋白质等。笔者针对植被理化信息的高光谱遥感提取法,对遥感信息的处理、国内外研究进展、植被指数以及存在的问题进行了综述,以期对植被遥感领域的研究者提供强有力的帮助,同时,展现了高光谱遥感技术以其显著的特点适时监测地表植被动态信息的广阔前景。

1 高光谱遥感信息的处理方法

高光谱遥感信息易受诸如传感器老化、地物二向性反射、大气效应、地形因子等外部因素的影响,这些因子都会削弱高光谱遥感数据赖以区分地物的敏感性。因而,高光谱遥感信息的光谱——图像转换,必须进行定标和大气辐射校正,以消除这些因子的影响,这是遥感量化研究的一个关键环节。常规

的还有光谱图像增强处理,一方面是为了消除噪声,突出目标地物;另一方面也是为了将来进一步的导数运算。鉴于植被高光谱遥感图像的特殊性,对所获得的图像还需进行一些必要的处理。

1.1 降维运算

为了将高光谱遥感数据与常用的宽波段数据进行对比分析,有必要对其进行降维处理。主要的降维方法都是通过卷积运算得到低光谱分辨率数据。如AVIRIS(Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer)光谱(224个波段)通过卷积运算可减少到Landsat TM的对应光谱段,以便于两者进行对比分析。

1.2 导数光谱技术^[2]

导数光谱技术是分析高光谱遥感信息较为常用的一种有效技术。一般用得较多的是一阶或二阶导数技术。大多数土壤的光谱反射率几乎可以用一个线性函数来表示^[3],所以从理论上讲,二阶导数可以非常好地消除土壤背景。在某几个点,光谱曲线的一阶、二阶导数值不仅能反映冠层面积,而且不受土壤类型、冠层颜色的影响^[4],并能部分消除大气效应的影响。此外,导数光谱主要反映了由于植物中叶绿素等吸收物质的吸收而产生的波形变化,并能揭示光谱峰值的内在特性。因此,导数光谱可用在高光谱遥感中对植被指数进行估算和分析。

Demetriades-Shah等^[3]综述了高光谱遥感中导数光谱的求解方法,最简单的方法是用相邻光谱值的差除以波长间距(d_w),如求波长 λ 为 x 处的一阶

^{*} [收稿日期] 2004-08-04

[基金项目] 国家“863”高新技术研究与发展计划项目(2003AA209040; 2003AA209010); 国家“973”重点基础研究发展规划项目(G2000077907)

[作者简介] 谭昌伟(1980-),男,安徽濉溪人,在读硕士,主要从事遥感农业应用研究。E-mail: tanwei010@126.com

导数, 即

$$dR/d\lambda = (R_{\lambda} - R_{\lambda_{d_w}})/d_w \quad (1)$$

式中, R 为反射率。高阶导数的求法依此类推, 如求二阶导数:

$$d^2R/d^2\lambda = (R_{\lambda_{d_w}} + R_{\lambda_{d_w}} - 2R_{\lambda})/d_w^2 \quad (2)$$

如果波长间距(d_w)相等, 上两式可分别用下两式来近似表示^[5,6]

$$dR/d\lambda = R_{\lambda} - R_{\lambda_{d_w}} \quad (3)$$

$$d^2R/d^2\lambda = R_{\lambda_{d_w}} + R_{\lambda_{d_w}} - 2R_{\lambda} \quad (4)$$

反射率倒数的对数值 $\log(1/R)$ 与作物的吸收光谱对应, 也经常对其波形曲线求导数进行分析^[6,7]。

1.3 红边效应分析技术

由于植物体内叶绿素吸收作用的影响, 植被反射光谱在红光到近红外区(660~770 nm)出现一个陡峭的爬山脊, 称为“红边”^[8]。通常采用红边斜率和红边位置 2 个因子来描述红边的特性。利用植被高光谱遥感信息可以较为细致地描述植被的红边特性, “红边”的位置和斜率可以通过导数运算得到。红边斜率主要与植被覆盖度或叶面积指数有关, 覆盖度越高或叶面积指数越大, 红边斜率越大。红边位置主要与叶片叶绿素含量有关, 当植被中叶绿素 b 含量减少时, 红边位置将向短波方向偏移, 通常称之为“蓝移”。当植被因缺水而发生叶子枯萎时, 红边位置将向长波方向偏移(红移)。而用宽波段数据几乎不可能得到与叶绿素含量密切相关的“红边”光学参数^[9]。

1.4 高光谱遥感数据的压缩

随着遥感技术的发展和遥感数据需求量的增长, 具有高光谱分辨率覆盖几百条波段的成像光谱仪越来越多。为方便这些高光谱遥感数据的传输、存储和利用, 高光谱遥感数据的压缩技术成为必需的、关键性的遥感图像处理技术。

高光谱遥感数据的压缩有无损压缩和有损压缩 2 种类型。采用哪种压缩需根据图像应用的目的和精度要求而定。比如用于一个小区域某项研究的高光谱遥感数据, 其量很大, 为了减少购买、存储等的费用, 在可接受的精度范围内, 可采用有损压缩。Michael 等^[10]认为, 有损压缩的关键是压缩图像的合适措施和标准, 针对高光谱数据, 其采用最大似然分类法对有损压缩的各种方法进行了比较和检验, 提出了矢量量化的高光谱遥感数据有损压缩法。

2 高光谱遥感提取植被理化信息

2.1 植被生物物理信息的提取

生物物理信息在植被生态学研究中的重要意

义, 常规遥感已在植被指数(VI)、叶面积指数(LAI)等信息获取方面得到应用, 高光谱遥感的出现明显提高了常规遥感所能获取的生物物理信息的准确性和可靠性, 尤其是高光谱遥感以其极具潜力的信息获取能力, 为促进人类对植被生态系统的深入了解、解决现代信息农业建设中的农田信息获取这一瓶颈问题创造了条件。

据文献^[11]报道, Gong 等利用 CA SI 成像光谱数据对美国俄勒冈州某针叶树林的 LAI 成功地进行了试验性预测; Gong 等还利用 CA SI 成像光谱数据对美国俄勒冈州西部的卡斯卡特山脉东坡森林进行郁闭度信息获取试验, 取得的郁闭度信息分量图像比红外航片判读值高出 20%~30%, 且获得郁闭度信息分布合理的结果; 1996 年, Gong 等利用 PSD 1000 (美国海洋光学公司, 1995) 光谱数据对美国北加州乃至北美西海岸的 6 种重要针叶树种(花旗松、美国巨杉、香肖楠、美国西黄松、糖松和白冷杉)进行了识别试验, 达到了 85%~98% 的识别精度。

Tong 等^[12]利用 PHI 成像光谱数据对江苏常州五七农场同期种植的 3 种作物(水稻、红薯、大豆)进行分类识别, 其识别精度达 98%, 地块面积估计精度达 95%; ZHAO 等^[13]利用 PHI 成像光谱数据对江苏常州五七农场同期种植的 6 个不同水稻品种 WX4, WX8313, WJ8016, WY5021, 99-15 和 9520 成功地进行了识别, 对同期生长的同种作物不同生育时期实现了区分; ZHANG 等^[14]利用 PHI 成像光谱数据对日本长野县盐属市南部的 4 种作物和果树(水稻、大豆、葡萄、梨)成功地进行了识别, 并提取了作物长势空间分布信息。

2.2 植被生物化学信息的提取

生物化学信息是研究和理解植被生态系统过程和生理机制(如光合作用、碳氮循环等)的重要参数, 是诊断植物营养状况的重要依据。王人潮等^[15]从“七五”计划开始对水稻氮素营养水平与光谱特征的关系进行系统深入的研究, 认为缺氮使得早稻叶片在 680 nm 波段附近的吸收谷变浅, 在近红外区域的反射率降低, 在可见光区域的反射率增加, NDVI 和 RVI 等植被指数与水稻叶片含氮量间有良好的相关关系。诊断水稻氮素营养水平的叶片光谱敏感波段为 760~900 nm, 630~660 nm 和 530~560 nm。通过光谱测定及其变换运算, 可以区分水稻的不同氮素营养水平。

Shibayama 等^[16]利用分辨率为 5 和 10 nm 的地

物光谱仪, 在 400~1 900 nm 范围内分析了受水分胁迫的水稻的光谱反射能力, 结果发现, 在近红外和中红外波段的反射率及其一阶导数可以用来探测早期水稻冠层的水分胁迫作用。

M althus 等^[17]用地物光谱仪研究大豆受蚕豆斑点葡萄孢感染后的反射光谱, 发现其一阶导数反射率比原始的反射率要高, 可用来监测病虫害的感染发生情况。

Datt^[18]对几种树叶片的可见-近红外反射光谱特性进行了研究, 较好地改善了叶绿素含量估计偏差。结果显示, 波长 710 nm 处的反射光谱对叶绿素含量具有最高灵敏度; 在波长 550 nm 处的反射光谱对叶绿素含量的灵敏度次之。对几个反射光谱指数的测试发现, 作为一种针对较高植株叶绿素含量的遥感估计参数, 比值 $(R_{850} - R_{710}) / (R_{850} - R_{680})$ 效果最好, 一阶导数光谱的比值 D_{1754} / D_{1704} 和红边位置与叶绿素含量的相关性最好。二阶反射光谱导数的比值 D_{2712} / D_{2688} 对于叶绿素含量同样是一个最好的参数。

Curran 等^[19]用一阶导数反射光谱(FDS)、吸收特征中心深度(BNC)和吸收特征面积(BNA)3种方法, 由砍落地面的干松针叶的反射光谱对 12 种叶片的生化组分(叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b、木质素、氮、纤维素、水分、磷、蛋白质、氨基酸、糖和淀粉)含量成功地进行了预测估计。

Tian 等^[20]用 FieldSpec-FR 地物光谱仪对不同水分胁迫情况下的小麦叶片进行光谱测量, 经光谱归一化处理后, 每个叶片的光谱吸收特征(波长位置(nm)、深度和面积)被提取出来, 同时也获取了每个测试叶片的相对含水量(RWC)。经对 110 个观测样本进行线性回归分析得知: 小麦叶片的反射光谱特征在 1 650~1 850 nm 时, 与叶片水分含量明显相关。随着相对含水量的减少, 光谱吸收特征在这一光谱范围内表现得愈加明显。由已建立的反演模型, 采用 12 个对照样本对预测相对水分的相对误差和预测的光谱位置的绝对误差进行评定, 结果显示, 预测水分的相对误差小于 6%, 波长位置的预测误差小于 12 nm。

W essman 等^[21]通过落叶树和针叶松的航空成像光谱(AIS)数据, 结合地面采样(叶片生物总量、冠层氮和木质素含量)用线性回归建立了木质素和氮的预测模型, 并揭示了冠层木质素含量与氮的年无机化(碱解化)率的强相关现象。

Johnson 等^[22]通过森林冠层化学组分与航空可

见光成像光谱仪(AVIS)反射率转换后 $\lg(1/\rho)$ 的一阶导数对应的波长, 用回归方法建立了生化组分的相关预测模型, 并得出实际含量与预测含量在 3 个波长位置的强相关关系: 氮($R^2 = 0.90$; $\lambda = 752$ nm/1 593 nm/2 283 nm)、木质素($R^2 = 0.93$; $\lambda = 1 297$ nm/1 261 nm/2 353 nm)和叶绿素($R^2 = 0.94$; $\lambda = 752$ nm/1 069 nm/935 nm)。

M ary 等^[23]利用 NASA 航空可见-近红外成像光谱仪(AVIS: 光谱范围 400~2 450 nm, 通道数 224)以 20 m 的空间分辨率对美国威斯康星州 Blackhawk 岛和麻萨诸塞州哈佛(Harvard)森林的 40 个样点所采集的树枝和树叶进行光谱分析, 在冠层水平对两林地的氮和木质素含量给予了区域性估计, 并用于该林区生态系统过程评价。

Dawson 等^[24]针对航空成像光谱仪的波段位置和波段宽度等因素, 在总结线性插值和倒高斯曲线拟合确定“红边”位置(REP)的基础上, 提出一种基于反射光谱一阶微分转换的拉格朗日插值方法, 以确定植被反射光谱的 REP。结果表明, 用该方法对 3 个波段的光谱数据进行二次多项式曲线拟合, 不要求波段间间隔相等, 也不要求关于最大斜率位置对称, 显示了该法对成像光谱数据进行处理的良好适应性。

Lucas 等^[25]利用以遥感方法为基础的通用森林生态系统模型和气象数据预测 Wales 中部森林树干的碳代谢过程(SCP)。预测模型的关键输入信息是叶面积指数(LAI)和叶片氮含量(LNC)。试验结果显示, 由航空成像光谱(CASI)数据所得“红边”位置 REP 与 LAI 之间有着很强的线性相关关系, 并由此预测了 LAI 的空间分布; REP 与 LNC 之间无相关关系, LNC 的空间分布由 LAI 间接预测。

Patel 等^[26]利用印度空间研究院研制的航空成像光谱仪数据对航空高光谱遥感获取作物长势参数信息的潜力进行了分析研究。为研究小麦反射光谱的红边位置, 试验设计了不同生长状态的小麦地块。结果发现, 随着叶面积指数(LAI)和叶绿素含量的增大, 红边位置朝着长波方向移动变化; 在 LAI 的变化范围由 0.08~3.16, 叶绿素含量变化范围从 2~39 g/m² 的情况下, 发现红边位置的变化范围为 713~723 nm。最后给出了 REP 位移变形随 LAI 大小和叶绿素含量而变化的线性相关模型。

此外, 高光谱遥感在生物量遥感^[15, 21]、光合有效辐射 A PAR^[27]、植被生态群落^[11]等方面取得了较好的研究成果。王纪华等^[28]在室内条件下测定叶片

光谱反射率,利用 $1.45\ \mu\text{m}$ 水汽吸收特征的吸收深度、吸收面积及非对称度,对叶片相对含水量进行了统计回归。经逐步回归分析,得到了广泛的应用,建立了许多基于多个波段的光谱反射率或导数光谱的统计回归模型^[16,29]。Martin 等^[30]利用 AVIRIS 的 $0.75, 1.641$ 和 $2.14\ \mu\text{m}$ 波段的光谱反射率针对叶片氮含量进行统计回归,利用 $1.66, 1.74, 1.9, 2.28\ \mu\text{m}/(0.627, 0.755, 0.822, 1.661\ \mu\text{m})$ 波段的光谱反射率对木质素进行了统计回归,逐步回归方法是针对特定条件下的光谱与生化数据进行数学统计分析的结果,其核心问题是实用性很差。

3 高光谱遥感植被指数

植被指数是遥感监测地面植物生长和分布的一种方法。当遥感器测量地面反射光谱时,不仅测得地面植物的反射光谱,还测得土壤的反射光谱。当光照射在植物上时,近红外波段的光大部分被植物反射回来,可见光波段的光则大部分被植物吸收,通过对近红外和红外波段反射率的线性或非线性组合,可以消除土地光谱的影响,得到的特征指数称为植被指数。根据植被的反射光谱特征,通常是用植被红光、近红外波段的反射率和其他因子及其组合所获得的植被指数 VI (近 50 种)来提取植被信息,并在区域和全球尺度上广泛应用于从高空对农作物与林木生长状况、农业估产和生态环境的监测。归一化植被指数 $NDVI$ 是使用最广泛的一种植被指数,是植物生长状态及植被空间分布密度的最佳指示因子,与植被分布密度呈线性相关。但试验表明, $NDVI$ 对土壤背景的变化较为敏感。张良培等^[31]利用在鄱阳湖地区测得的数据,选择波长 676 和 $832.6\ \text{nm}$ 进行了 $NDVI$ 的计算,在该 2 个波长位置上,土壤的反射值相差很小。可见,利用高光谱可以消除土壤信号在 $NDVI$ 中的作用。Kenneth^[32]在干旱地区用多光谱和高光谱数据,计算比较了稀疏植被宽波段和窄波段的 $NDVI$ 值,用以监测植被覆盖度。计算结果为:宽波段 $NDVI$ 的 $r^2 = 0.63$; 高光谱数据 $NDVI$ 的 $r^2 = 0.60$; $SAVI$ 的 $NDVI$ 的 $r^2 = 0.51$; $MSAVI$ 的 $NDVI$ 的 $r^2 = 0.64$ 。由多光谱和高光谱数据组成的线性混合模型,是将图像的每一像元分解为参考光谱即最终像元的线性组合,这些最终像元数据可以由实验室或地面直接测得,也可通过卫星图像得到。用这种方法计算 $NDVI$ 的 $r^2 = 0.74$,估算精度大大提高。同时,也证明了高光谱数据结合其他遥感数据监测稀疏植被覆盖度的可行性。

4 存在问题与应用展望

4.1 存在问题

高光谱遥感尽管在植被应用中发挥了很大的作用,但仍存在一些急需解决的问题,主要表现在如下 3 个方面:

首先是遥感定量化问题。由于在植被应用中,常采用植被冠层光谱或叶片光谱反射率及反射率特征来估算植被生化组分和长势,所以大气传输仪器误差、植被光谱的角度效应等问题必须解决。对农作物而言,即便在田间地面冠层光谱测量中测定的是作物冠层对阳光的反射,但为获得作物冠层反射率光谱,则必须将冠层辐射光谱与参考板测定的太阳光谱辐射进行比值运算并乘以参考板的反射率。这一方面有非同步测量及外界光照条件变化引起的误差,而且还有参考板反射率测量的误差;另一方面,利用比值方法计算作物冠层光谱反射率本身就有一定的误差,即便每次测量均考虑了暗电流的影响,但这种方法测定的光谱与光照条件有关。

其次是植被在不同外界条件下,其冠层光谱特性会有一定的变化。如不同光照条件下,其荧光现象和调节能力将改变对不同波长光线的吸收或反射;有风条件下,叶片空间伸展姿态的改变也将改变冠层光谱反射率。

最后是对象的不统一,也就是光谱测定对象与生化采样对象不可能完全统一。

在技术方法和目前的研究成果方面,仍存在如下 3 个主要不足之处:

首先是目前的遥感模型大多是基于统计分析进行的,而随着应用条件的改变,统计模型的适用性将受到考验。

其次,对于农作物的遥感应应用,必须考虑作物生长条件和生育期,特别是禾谷类作物存在着明显的营养生长和生殖生长的阶段性以及营殖并进的交错期,加之茎秆与叶鞘的“临时贮藏”作用随生育进程不断增强,生化组分的差异及其对光谱反射率的贡献会因生育期而异,因此,需要筛选通用性好的特征吸收或反射波段,建立分段的遥感模型,而目前的遥感主要是针对某一生育时期,通过数学分析挑选最佳光谱特征来反演对应的生化组分,所以提出的方法或光谱特征难以适用到其他生育期。

最后,植被含水量的遥感反演十分困难,一些经典和成功的方法是利用吸收特征来反演生化组分,但植被含水量的遥感十分特殊,利用吸收特征来反

演必须考虑大气中的水汽干扰,而目前的技术手段难以将水汽与植被含水量对测定光谱的贡献进行分离。

4.2 应用展望

植被高光谱信息的获取方式有2种:一种来源于航空的成像光谱仪,目前应用较多的是AVIRIS图像;另一种来源于地面用各种光谱仪实测的高光谱数据。从高光谱遥感在植被生物物理信息与生物化学信息提取方面已经取得的成果以及近期可能取得的进展看,高光谱遥感将在植被理化信息提取方面发挥不可替代的作用,具体表现在如下几个方面:(1)不同植被自动识别,以便针对不同植被采用相应的遥感信息模型;(2)植被长势及其空间分布的定量化表达,即用叶面积指数等冠层结构参数量表达植被长势;(3)冠层水平的植被营养诊断,即用量化表达的冠层叶绿素含量、叶片水分含量、全氮含量、可溶性糖含量以及磷、钾养分等生物理化参量综合诊断植被的营养状况;(4)冠层水平的植被病

虫、草害的监测与发生状况诊断。高光谱遥感图像以其特有的优势可用于大面积范围内和全球尺度上的植被类型和土地覆盖类型的识别和动态监测,关键是如何发展和建立各种有效的图像处理技术和相关的植被光谱分析算法,将传统的植被指数予以改进以定量获取植被生物理化参量,实现植被生物理化成分定量制图。其次,地面获取的植被高光谱遥感数据是使遥感从定性向定量化进一步发展的基础数据,可为高光谱遥感图像的纠正与数据处理提供几何校准与辐射校准依据;也是更有效地利用多角度、多时相的高光谱遥感图像资料,建立考虑大气散射和时间参量在内的BRDF模型的基本数据。另外,地面获取的植被高光谱遥感数据还可用于以下几个方面:(1)建造光谱数据库,以便高光谱图像与此直接匹配,以识别植被类型和土壤覆盖类型;(2)研究植被的高光谱特性与植被生物理化参量的关系,为用高光谱图像在大范围内反演植被的各种生长与营养参数、监测植被长势及估产奠定基础。

[参考文献]

- [1] 陈述彭. 遥感大辞典[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [2] Fuan Tsai. Derivative analysis of hyperspectral data[J]. Remote Sensing of Environment, 1998, 66: 41- 51.
- [3] Demetriades-Shah T H, Steven M D, Clark J A. High resolution derivative spectra in remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 1990, 33: 55- 64.
- [4] Malthus T J, Andriu B, Barer F, et al. Candidate high spectral resolution derivative indices for the prediction of crop cover[Z]. France: Proc 5th Int Colloq Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, 1991. 14- 18.
- [5] Lwamoto M. Nondestructive quality measurement of food by near infrared spectroscopic technique[J]. J Japan Soc Food Sci Technol, 1980, 27(9): 464- 472 (in Japanese).
- [6] Card D H, Peterson D L, Matson P A, et al. Prediction of leaf chemistry by the use of Vis and near infrared reflectance spectroscopy[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 26: 123- 147.
- [7] Norris K H, Barnes R F, Moore J E, et al. Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy[J]. J Animal Sci, 1976, 43(4): 889- 897.
- [8] Bonham-Carter. Numerical procedures and computer program for fitting an inverted-gaussian model to vegetation reflectance data[J]. Computers and Geosciences, 1988, 14(3): 339- 356.
- [9] 蒲瑞良, 宫 鹏. 森林生物化学与CASI高光谱分辨率遥感数据的相关分析[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 21- 25.
- [10] Michael J Ryan, John F Arnold. Compression of hyperspectral data using vector quantization[J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 61: 419- 436.
- [11] 蒲瑞良, 宫 鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] TONG Q ing-xi, ZHENG Lan-fen, WANG Jin-nian. Hyperspectral remote sensing in China[Z]. Wuhan: Multispectral and Hyperspectral Image Acquisition and Processing, Proceedings of SPIE, 2001.
- [13] ZHAO Yong-chao, ZHANG Bing, TONG Q ing-xi. New Vegetation models for hyperspectral remote sensing, progress of agricultural information technology[A]. Beijing: International Academic Publishers, 2000. 294- 300.
- [14] ZHANG Bing, ZHAO Yong-chao, TONG Q ing-xi. Hyperspectral remote sensing applied on precision agriculture in China[Z]. Beijing: ICASIT, Information Technology of Agriculture, 2001.
- [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] Shibayama M, Akiyama T A. Canopy water deficit detection in paddy rice using a high resolution field spectroradiometer[J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 45: 117- 126.
- [17] Malthus T J, Maderia A C. High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field bean leaves infected by botrytis fabae[J]. Re-

- Remote Sensing of Environment, 1993, 45: 107- 116
- [18] Datt B. Visible/near infrared reflectance and chlorophyll content in eucalyptus leaves[J]. International Journal of Remote Sensing, 1999, 20(14): 2741- 2759
- [19] Curran P J, Dawson T P. Estimating the foliar biochemical concentration of leaves with reflectance spectrometry testing the kokaly and clark methodologies[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76: 349- 359
- [20] TIAN Qing-jiu, TONG Qing-xi, PU Rui-liang, et al. Spectroscopic determination of wheat water status using 1 650- 1 850 nm spectral absorption features[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(12): 2329- 2338
- [21] Wessman C A, Aber J D, Peterson D L. An evaluation of imaging spectrometry for estimating forest canopy chemistry[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10: 1293- 1316
- [22] Johnson L F, Hlavka C A, Peterson D L. Multivariate analysis of AVIRIS data for canopy biochemistry estimation along the Oregon transect[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 47: 216- 230
- [23] Mary E Martin, John D Aber. High spectral resolution remote sensing of forest canopy lignin, nitrogen, and ecosystem process[J]. Ecological Application, 1997, 7(2): 431- 443
- [24] Dawson T P, Curran P J. A new technique for interpolating the reflectance red edge position[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(11): 2133- 2139
- [25] Lucas N S, Curran P J. Estimating the stem carbon production of a coniferous forest using an ecosystem simulation model driven by the remotely sensed red edge[J]. International Journal of Remote Sensing, 2000, 21(4): 619- 631
- [26] Patel N K, Patnaik C, Dutta S, et al. Study of crop growth parameters using airborne imaging spectrometer data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2001, 22(12): 2401- 2411
- [27] Richardson L L, Wiegand C L. The detection of algal photosynthetic accessory pigments using airborne visible-infrared imaging spectrometer (AVIRIS) spectral data[J]. Marine Technology Society Journal, 1994, 28(3): 10- 21
- [28] 王纪华, 赵春江, 郭晓维, 等. 用光谱反射率诊断小麦叶片水分状况的研究[J]. 中国农业科学, 2001, 34(1): 104- 107
- [29] 牛 铮, 陈永华, 隋宏智, 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
- [30] Martin M E, Aber J D. High spectral resolution remote sensing of forest canopy lignin nitrogen, and ecosystem process[J]. Ecological Application, 1997, 7(2): 431- 443
- [31] 张良培, 郑兰芬. 利用高光谱对生物量进行估计[J]. 遥感学报, 1997, 1(2): 111- 114
- [32] Kenneth M. Hyperspectral mixture modeling for quantifying sparse vegetation cover in arid environments[J]. Remote Sensing of Environment, 2000, 72: 360- 374

A review of hyperspectral remote sensing application to extract biophysical and biochemical information of vegetation

TAN Chang-wei^{1,2}, WANG Ji-hua¹, HUANG Wen-jiang¹,

LIU Liang-yun¹, HUANG Yi-de², YAN Wei-cai²

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

2 Agronomy Department, Anhui Agriculture University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: In this paper, the methods of hyperspectral remote sensing information processing, national and international development of hyperspectral remote sensing and its application in extracting biophysical and biochemical information of vegetation, and the application feasibility of vegetation indices are reviewed in detail. Then the potentialities of further application of hyperspectral remote sensing in extracting vegetation information in order to promote remote sensing are discussed. Finally, some questions, which must be resolved now or in the future, are discussed.

Key words: hyperspectral remote sensing; vegetation index; biophysical-chemical information of vegetation