第33卷，第6期
2012年12月
中国农业资源与区划
Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning
Vol. 33, No. 6, pp38-44
December, 2012

·技术方法·

基于 HJ-1 卫星的冬小麦叶片 SPAD 遥感监测研究*

夏　天[1,2]，周清波[1,2+]，陈仲新[1,2]，周　勇[3]，于　雷[3]

（1. 农业部农业信息技术重点实验室，北京　100081；2. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所，北京　100081；
3. 华中师范大学城市与环境科学学院，湖北 武汉　430079）

摘　要　SPAD 能够反映植株叶绿素含量，而植株叶绿素的含量及动态变化，对评价作物生产能力、预测产量和品质均有重要意义。该研究以湖北省潜江市后湖管理区冬小麦为研究对象，通过田间观测不同生育期冬小麦叶片 SPAD 变化情况，结合我国自主研发的 HJ-1 卫星对研究区域进行同步监测，选取并计算 RVI、DVI、NDVI、GRVI 四种植被指数，通过对 4 种植被指数与冬小麦叶片 SPAD 进行相关性分析，并构建植被指数与冬小麦叶片 SPAD 回归反演模型，结果显示相关性均较高。通过对比四种植被指数模型反演精度，NDVI-SPAD 对数模型预测精度较高，精度检验表明平均相对误差为－2.34，均方根误差（RMSE）为 5.65，能够较好的反演研究区域内的冬小麦 SPAD。利用 HJ-1 卫星结合 NDVI-SPAD 对数模型能够有效对研究区域冬小麦叶片 SPAD 进行遥感监测。

关键词　HJ-1 卫星　冬小麦　SPAD　监测

SPAD 值（SPAD reading）称为叶色值（leaf color values），表示叶片中叶绿素含量相对应的参数[1]。日本 Minolta Camera 公司生产的 SPAD－502 叶绿素仪可以准确地测定植物叶片叶绿素含量（SPAD），由于它具有操作简单，不受时间、气候条件限制等特点使用十分广泛[2]。Marenco 研究发现 SPAD-502 测量叶绿素含量的精度很高，几乎跟化学实验测得的叶绿素结果一样[3]。许多学者通过测定水稻、小麦等作物的叶绿素含量及 SPAD，研究发现 SPAD 与叶片叶绿素含量呈显著正相关性[4-6]，相关性达到极显著水平，结果表明可以用 SPAD 代替叶绿素的含量[7-9]。同时植物体叶绿素的变化与其光合能力、生长发育以及氮素状况有较好的相关性，通常被称为监测植物生长发育和营养状况的指示器[10-12]。而叶片光合能力的大小和产量具有密切关系，是粮食作物产量形成的直接动力，所以了解植株叶绿素的含量及动态变化，对评价作物生产能力、预测产量和品质均有重要意义[13]。

传统测量植株叶绿素的方法效率低并具有破坏性，随着遥感技术的发展，遥感可以直接对地物进行微弱光谱差异的定量分析，利用遥感估测植物叶绿素含量等参数已经成为一种重要手段[14-15]，并在植被遥感研究与应用中表现出强大优势[16]。国内外在此方面都进行了相关研究，如：Sampson、Carter and Knapp 等发现叶片的叶绿素含量是叶片的主要参数，它决定叶片光谱可见光部分的变化，叶绿素的含量与光谱反射率的变化相关[17-18]。Dash J 基于单一的植被类型的冠层叶绿素含量估测，结果表明绿、红以及红外波段附近的光谱信息对于叶绿素含量较为敏感[19]。Bauerle 等在研究木质植物光合作用时，指出在 400～700nm 波长范围内，SPAD 测量值与叶子透射和吸收值存在显著回归关系，但与光谱反射的回归关系不精确[20]。20 世纪 70 年代来以来，随着对地观测卫星的相继发射（如：MODIS、TM、ETM、SPOT5、ALOS、Quickbird 影像等），为实时的对地监测提供一种新的手段。但是这些国外卫星影像存在获取难，成本高等诸多问题，不利于我国科研机构使用[21]。

收稿日期：2012-02-12　夏天为博士后　周清波为研究员、通讯作者　陈仲新为研究员　周　勇为教授　于雷为讲师

* 基金项目：国家自然科学基金项目（40971218）、全球变化研究国家重大科学研究计划项目（2010CB951504）、农业部农业科研杰出人才基金项目、农业部农业信息技术重点实验室开放课题（2011002）、中央级公益性科研院所专项资金项目（IARRP－2012－29）

HJ-1 卫星是我国自主研制的环境和灾害监测预报小卫星，两颗装有空间分辨率为 30m 宽幅多光谱 CCD 相机的 HJ-1A 星和 HJ-1B 星能够满足 2 天重访的要求，该卫星具有较高的时间分辨率和空间分辨率[22]。本研究探讨利用 HJ－1 卫星反演研究样区冬小麦叶片 SPAD 的可行性，为大面积的冬小麦生长状况及健康情况监测提供一种新的技术手段，以期推动我国遥感卫星在实时监测冬小麦叶片 SPAD 的应用。

1　材料与方法

1.1　数据采集

研究选取湖北省潜江市后湖管理区（112°36′E～112°44′E，30°12′N～30°24′N）作为研究区域，该地区位于江汉平原腹地，地势平坦，土壤以黏土为主，地面高程在 26～31m 之间，全年平均气温在 16.1℃左右，年均降水量 1 110mm，属亚热带季风性湿润气候。后湖管理区主要种植水稻和冬小麦两种粮食作物，同时套种棉花和油菜两种经济作物。该区域的冬小麦品种以郑麦 9023 和皖麦 369 为主，从 2010 年 3 月至 2010 年 5 月，对后湖管理区的冬小麦（品种：郑麦 9023、皖麦 369）进行监测。

1.1.1　遥感监测

研究选取 HJ－1 卫星 2010 年 3 月 17 日（HJ-1A CCD2）、2010 年 4 月 16 日（HJ-1B CCD1）、2010 年 5 月 1 日（HJ-1B CCD2）和 2010 年 5 月 24 日（HJ-1B CCD2）遥感影像。这四景影像分别为冬小麦的拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期拍摄，拍摄时天气状况较优并有田间观测相配合。HJ-1A/B 星 CCD 相机空间分辨率为 30m，光谱范围覆盖蓝光波段（0.43～0.52μm）、绿光波段（0.52～0.60μm）、红光波段（0.63～0.69μm）和近红外波段（0.76～0.90μm）。

1.1.2　田间观测

研究样区选取位于后湖管理区中部的五分场，采样点中心子样点（CP）设置在田块中央，围绕中心子样点，以 15m 为半径，分在正东、南、西、北设置四个子样点（EP、SP、WP、NP），采样间距在 30m 左右，这样能保证与 HJ-1 卫星数据的分辨率匹配，每一个监测点使用差分 GPS 记录监测点的坐标。

绿色叶片是小麦积累光合产物的重要器官。小麦的一生叶片分为 3 组：近根叶组、中层叶组和上层叶组。倒二叶属于上层叶组，在孕穗期，小麦植株最后三片功能叶对每穗结实粒数影响：倒二叶＞剑叶＞倒三叶[23]。故研究选取对冬小麦植株重要的倒二叶作为研究对象。研究分别在每个子样点附近 1m 范围内随机选择 4 株冬小麦，测量倒二叶位叶片的 SPAD。对每一个倒二叶位叶片测量时，通过测量叶片的上部 1/3 处、中部和下部 1/3 处求其平均值。

1.2　数据处理

1.2.1　影像数据处理

影像处理步骤如下：(1) 辐射定标和大气校正。利用中国资源卫星应用中心公布的 2010 年 HJ－1A/B 星 CCD 相机的辐射定标参数将多光谱图像 DN 值转换为辐亮度图像，然后运行 ENVI 中 FLASSH 模块对影像进行大气校正，由辐亮度转换反射率。(2) 冬小麦播种面积影像提取。准确判定土地覆盖类型，提取出冬小麦种植的范围，是利用遥感技术反演冬小麦 SAPD 的基础。为了能够更加准确的提取出后湖管理区冬小麦的影像，研究利用 2009 年末第二次全国土地利用调查的矢量数据对影像进行裁剪，结合后湖管理区的调研实际情况，得到研究区的冬小麦影像数据。

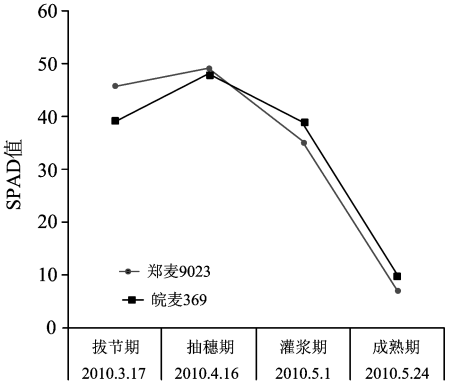


图 1　冬小麦叶片 SPAD 变化趋势

1.2.2　SPAD 处理

对采集的冬小麦 SPAD 进行预处理，将所有的 SPAD 数据按照采样监测点、采样的方位和采样时间分别进行分类。后湖管理区的郑麦 9023、皖麦 369 主要生育期 SPAD 变化均呈抛物线趋势（如图 1），其中拔节期分别为 45.8 和 39.1，最大值出现在抽穗期，分别为 51.6 和

48，最小值出现在成熟期分别为 4.8 和 6.5。研究区的冬小麦叶片 SPAD 从拔节开始不断增加，抽穗期达到最大，随后进入灌浆期，冬小麦的营养不断的供给麦穗，叶子和麦秆慢慢凋萎，最后达到成熟期小麦叶片的 SPAD 降至最低点。

1.3 SPAD 估算模型构建

遥感数据可以构建许多对植株相对敏感的植被指数（VI），它能够精确地表达植物内部物质吸收和散射的波形，有助于提高遥感数据表达叶绿素含量的精度。该研究选取 4 种能反映冬小麦叶绿素特点的植被指数（如表 1）构建反演模型，比值植被指数（RVI）绿色植被的一个灵敏的指示参数，它与叶绿素含量相关性高。差值植被指数（DVI）对土壤背景的变化较 RVI 敏感，植被覆盖度高时，对植被的敏感度有所下降，适宜于冬小麦初期的植被覆盖研究；归一化植被指数（NDVI）可以消除大部分与仪器定标、太阳角、地形、云阴影和大气条件相关辐射照度的变化的影响，常用于研究植被生长状态及覆盖度。而绿波段指数（GRVI）对叶绿素浓度有较高的敏感性。

表 1 研究采用的高光谱植被指数表达式

高光谱植被指数	表达式	文献出处
比值植被指数（RVI）	RVI＝NIR/Red	Anderson G L et al.，1993[24]
差值植被指数（DVI）	DVI＝NIR－Red	Richardson AJ et al.，1977[25]
归一化植被指数（NDVI）	NDVI＝（NIR－Red）/（NIR＋Red）	Miller J R et al.，1990[26]
绿波段指数（GRVI）	GRVI＝NIR/Green－1	Gitelson A A et al.，1996[27]

式中：NIR、Red、Green 分别为 HJ-1 CCD 第 4 波段（近红外波段）反射率、第 3 波段（红光波段）反射率和第 2 波段（绿光波段）反射率

将各生育期采集的各监测点冬小麦叶片 SPAD，利用差分 GPS 仪测定坐标，将田间监测数据与 HJ－1 遥感数据在时间和空间上对应起来。从田间监测数据中随机选取 15 个样点数据用来分析建模，另取 12 个样点数据作为测试样本进行模型精度检验。通过建立监测点将冬小麦叶片 SPAD 与卫星影像数据的联系起来，对冬小麦叶片 SPAD 与影像像元中的植被指数进行相关性分析并构建回归模型。采用决定系数 R2 和均方根误差（RMSE）对模拟值和实测值之间进行拟合度检验。

2 结果与分析

2.1 植被指数预测模型对比分析

利用差分 GPS 定位坐标，从 HJ-1 提取与冬小麦叶片 SPAD 在时间和空间上一致光谱反射率并计算 4 种植被指数[28]。将各植被指数与冬小麦叶片 SPAD 利用 SPSS 软件进行相关性分析，分析结果如表 2，结果显示四种植被指数与冬小麦叶片 SPAD 相关系数在 0.827～0.934 之间。根据统计学的划定：相关系数 $|r|\geqslant 0.8$ 时，视为高度相关；$0.5\leqslant |r|<0.8$ 时，视为中度相关；$0.3\leqslant |r|<0.5$ 时，视为低度相关；$|r|<0.3$ 时，说明变量之间相关程度极弱，可视为不相关。该研究植被指数与 SPAD 相关性均视为高度相关，可用于冬小麦叶片 SPAD 预测。植被指数 NDVI 与冬小麦叶片 SPAD 相关性最高，相关系数达 0.934，视为高度相关。

表 2 植被指数与冬小麦叶片 SPAD 相关性分析

参数	植被指数			
	GRVI	NDVI	DVI	RVI
SPAD	0.827**	0.934**	0.924**	0.839**

注：**表示在 0.01 水平（双侧）上显著相关

为了综合比较四种植被指数预测冬小麦叶片 SPAD 的精度，故建立它们之间的回归模型（结果见表 3）。从表 3 中能够看出各植被指数回归方程拟合的情况，R2 最大的是 NDVI 幂方程，达到了 0.910，最小的为 RVI 的指数方程（0.609）。RMSE 最小的 NDVI 对数方程，均方根误差为 5.02。综合考虑四种植被指数的拟合情况，结合样点的分别情况（图 2），对数方程较其它回归方程拟合度高、预测精度高，适合预测冬小麦叶片 SPAD。经分析，本研究认为 NDVI 的对数方程较适合对 SPAD 进行预测。

2.2　模型应用及检验

将 NDVI-SPAD 反演模型运用到研究选取的四幅 HJ-1 卫星遥感影像中，对后湖管理区内冬小麦各主要生育期（拔节期、抽穗期、灌浆期和成熟期）的 SPAD（如图 3）反演，结果显示通过该方法能够有效的反映出该地区冬小麦 SPAD 的变化情况。拔节期时，后湖管理区内 SPAD 值主要变化区域为 20～30 之间，部分区域达到 45 左右。抽穗期时，后湖管理区内 SPAD 值主要变化区域为 30～45 之间，其中有 1/2 区域达到 50 左右。灌浆期时，后湖管理区内 SPAD 值主要变化区域为 20～30 之间，部分区域达到 40 左右。成熟期时，后湖管理区内 SPAD 值主要变化区域为 10～20 之间，零星区域的 SPAD 值还很高。通过 HJ－1 遥感影像对冬小麦 SPAD 进行反演，反演 SPAD 的变化趋势与实际变化趋势相同，能够对研究区域的冬小麦 SPAD 进行有效的遥感监测。

表 3　植被指数预测模型

植被指数	回归方程	R^2	RMSE
GRVI	$y = 7.11e^{0.82x}$	0.640	17.68
	$y = 16.4x + 7.07$	0.678	7.65
	$y = 23.57\ln(x) + 26.14$	0.847	5.89
	$y = 18.25x^{1.21}$	0.842	11.99
NDVI	$y = 4.10e^{4.59x}$	0.836	12.21
	$y = 90.34x - 3.35$	0.855	5.76
	$y = 27.64\ln(x) + 61.57$	0.895	5.02
	$y = 113.91x^{1.43}$	0.910	7.57
DVI	$y = 6.5e^{6.08x}$	0.701	16.17
	$y = 119.77x + 5.76$	0.717	7.37
	$y = 21.86\ln(x) + 69.37$	0.846	5.91
	$y = 171.91x^{1.14}$	0.868	10.13
RVI	$y = 4.46e^{0.69x}$	0.609	17.68
	$y = 13.72x - 2.13$	0.640	7.85
	$y = 36.34\ln(x) + 1.44$	0.777	6.81
	$y = 5.22x^{1.85}$	0.760	14.85

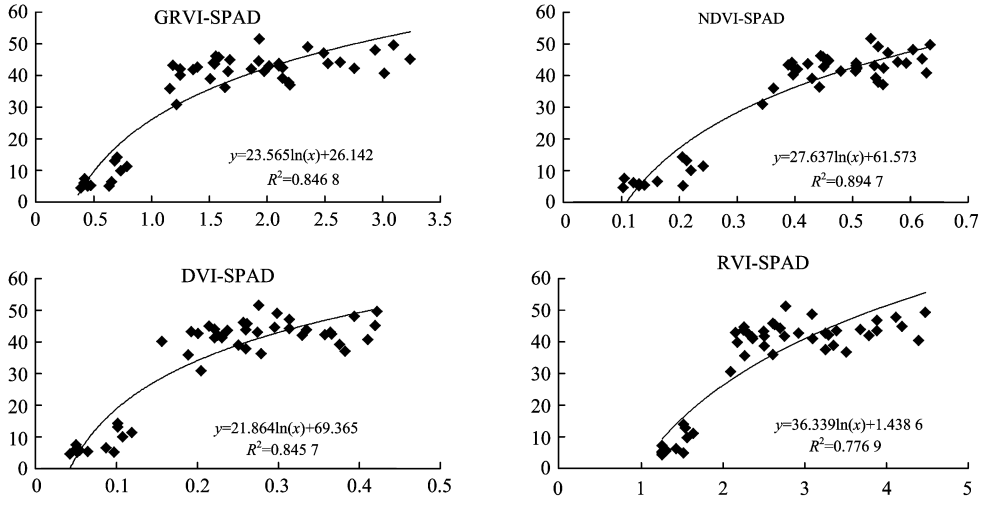
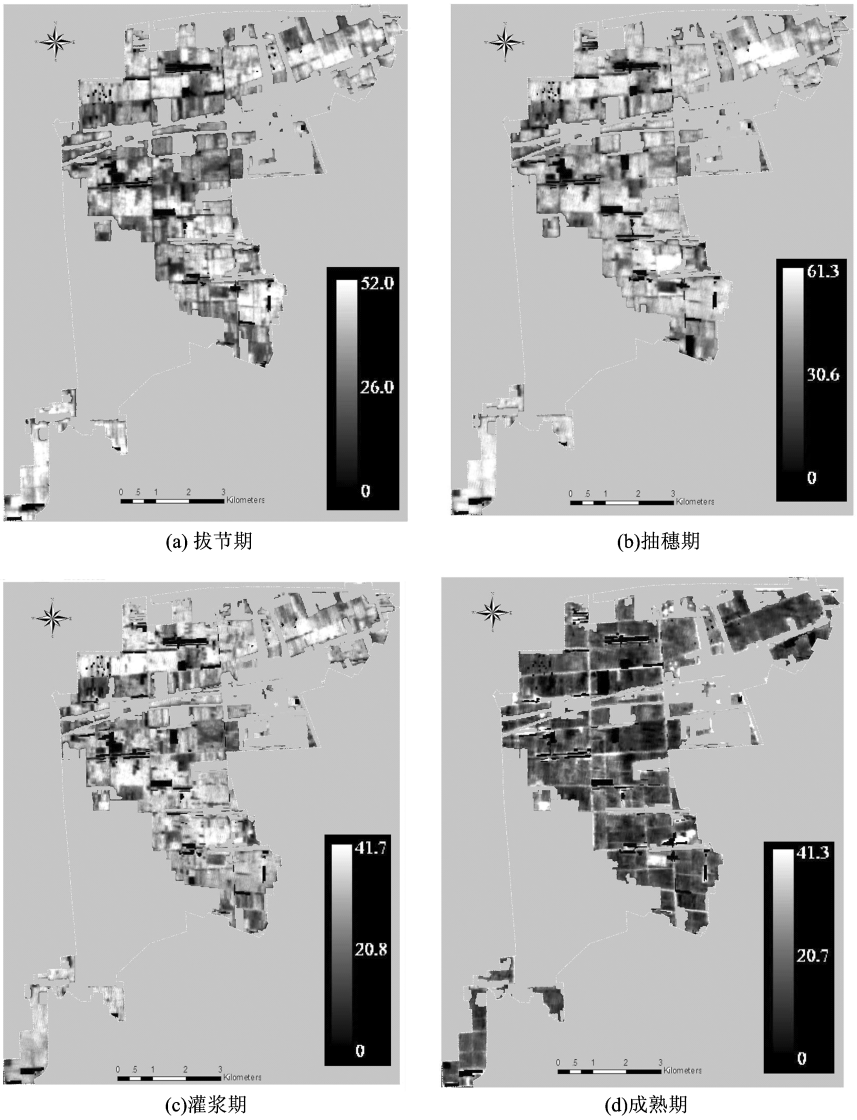


图 2　植被指数与小麦叶片 SPAD 拟合模型

为了进一步检验 HJ－1 遥感影像反演冬小麦 SPAD 精度，本研究利用另外 12 个地面数据对模型反演精度进行检验。利用采样点坐标从反演影像中提取冬小麦 SPAD 预测值，将影像反演值与田间实测值进行对比，计算预测值与实际值的相对误差，其中最大误差值为 6.75，平均相对误差为－2.34，均方根误

差（RMSE）为 5.65。验证结果表明，HJ－1 卫星 CCD 数据计算的植被指数 NDVI 与冬小麦叶片 SPAD 相关性较高，NDVI 对数模型能够较好的预测研究区冬小麦的 SPAD。



(a) 拔节期 (b)抽穗期

(c)灌浆期 (d)成熟期

图 3 后湖管理区小麦主要生育期 SPAD 反演

3 讨论

及时了解植被生长状况、动态跟踪诊断植被，对管理植被均具有重要的意义。遥感技术区别与传统技术是它能实时的、大面积、不间断监测，但是由于卫星受到天气、重返周期等技术方面的限制，一定程度上限制了它的发展。HJ－1A/B 星具有较好的空间分辨率（30m）和高时间分辨率（重返周期 2 天）的优势，在农业监测方面发挥着重要的作用。

该研究利用 HJ－1 卫星对江汉平原潜江市后湖管理区的冬小麦进行动态监测，从定量的角度监测了该地区冬小麦植被指数的时空变化情况，通过与冬小麦叶片 SPAD 进行相关性分析构建反演模型，由反演结果可以看出，该定量分析方法能够对冬小麦叶片 SPAD 的变化情况进行监测，一定程度上可以反演该地区冬小麦的生长状况。然而，冬小麦自身复杂性以及植被内部变化情况不一定能够及时从光谱信息中反映出来，怎样能够提高反演的精度需要进一步研究。

耕地信息的提取是提高反演精度的一个基础，也是遥感影像监测的关键问题[29]。本研究使用的第二

次全国土地利用调查的矢量数据对 HJ-1 卫星影像数据进行裁剪，虽然一定程度能提高提取的精度，但是研究区除种植冬小麦外还套种了一定数量油菜等经济作物，这些作物并没能从影像中扣除，这些作物对最终的结果产生了一定得影响。从反演的结果中也可以看出，在零星的区域中存在着数据异常的一些现象，造成该现象的主要原因是套种作物和裁剪精度的影响。

4　结论

该研究利用 HJ-1 卫星对江汉平原地区潜江市后湖管理区的冬小麦进行实时动态的监测，并通过实地测量冬小麦叶片 SPAD 变化情况，将遥感监测与田间监测相结合，探讨采用植被指数反演该地区冬小麦叶片 SPAD 的可行性。研究结果表明：RVI、DVI、NDVI、GRVI 四种植被指数与冬小麦叶片 SPAD 相关性均较高，通过回归分析构建 SAPD 值反演模型，其中 NDVI 对数方程能够较好的反演冬小麦叶片 SPAD，方程 R2 为 0.895，RMSE 为 5.02。经检验，该模型的平均相对误差为－2.34，均方根误差（RMSE）为 5.65。利用 HJ－1 CCD 影像和 NDVI 对数反演模型能够较好的预测冬小麦叶片 SPAD，这将为农业工作者实时动态监测冬小麦叶片 SPAD 提供了一种有效方法。

参考文献

[1]　田永超，朱艳，曹卫星，等．利用冠层反射光谱和叶片 SPAD 值预测小麦籽粒蛋白质和淀粉的积累．中国农业科学，2001，37（6）：808～813

[2]　陈防，鲁剑巍．SPAD-502 叶绿素计在作物营养快速诊断上的应用初报．湖北农业科学，1996，（2）：31～34

[3]　R. A. Marenco，S. A. Antezana-Vera，H. C. S. Nascimento. Relationship between specific leaf area，leaf thickness，leaf water content and SPAD-502 readings in six Amazonian tree species. photosynthetica. 2009，47（2）：184～190

[4]　郑丕尧，蒋钟怀，王经武．夏播“京早七号”玉米叶片叶绿素含量消长规律的研究．华北农学报，1988，3（1）：21～27

[5]　姜丽芬，石福臣，王化田，等．叶绿素计 SPAD－502 在林业上应用．生态学杂志，2005，24（12）：1543～1548

[6]　李海云，任秋萍，孙书娥，等．10 种园林树木叶绿素与 SPAD 值相关性研究．林业科技，2009，34（3）：68～70

[7]　艾天成，李方敏，周治安，等．作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究．湖北农学院学报，2000，20（1）：6～8

[8]　艾天成，周治安．小麦等作物叶绿素速测方法研究．甘肃农业科技，2001，4：16～18

[9]　Tobias D J，Yosihkawa K，Ikemoto A，et a1. Seasonal changes of leaf chlorophyll content in the crowns of several broad-leaved tree species. J Jap Soc Reveget Technoogyl，1994，20（1）：21～32

[10]　童庆禧，张兵，郑兰芬．高光谱遥感的多学科应用．北京：电子工业出版社，2006

[11]　方慧，宋海燕，曹芳，等．油菜叶片的光谱特征与叶绿素含量之间的关系研究．光谱学与光谱分析，2007，27（9）：1731～1734

[12]　黄敬峰，王秀珍，胡新博．新疆北部不同类型天然草地产草量遥感监测模型．中国草地，1999，1：7～11

[13]　冯伟，朱艳，姚霞，等．小麦叶片色素含量的高光谱监测．应用生态学报，2008，19（5）：992～999

[14]　Miguel Pagola，Rubén Ortiz，Ignacio Irigoyen，et al. New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis Comparison with SPAD-502. Computers and electronics in agriculture. 2009：213～218

[15]　John Markwell，John C Osterman，Jennifer L. Mitchell. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. Photosynthesis Research 1995，46：467～472

[16]　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．农业工程学报，2010，26（3）：183～190

[17]　Sampson P H，Zarco－Tejada P J，Mohammed G. H，et al. Hyperspectral remote sensing of forest condition：Estimating chlorophyll content intolerant hardwoods. Forest Science. 2003，49（3）：381～391

[18]　Carter G. A.，Knapp A. K. Leaf optical properties in higher plants：linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentrations. Am. J. Bot. 2001，88：677～684

[19]　Dash J and Curran P J. The MERIS terrestrial chlorophyll index. International Journal of Remote Sensing，2004，25（23）：5403～5413

[20]　William L Bauerle，David J Weston，Joseph D Bowden，Leaf absorptance of photosynthetically active radiation in relation to chlorophyll meter estimates among woody plant species. Scientia Horticulturae. 2004，169～178

[21]　陈鹏飞，王卷乐，廖秀英，等．基于环境减灾卫星遥感数据的呼伦贝尔草地地上生物量反演研究．自然资源学报，2010，25（7）：1122～1131

[22]　王来刚，郑国清，陈怀亮，等．基于 HJ－CCD 影像的河南省冬小麦种植面积变化全覆盖监测．中国农业资源与区划，2011，32

(2)：58～67
[23] 于振文．作物栽培学各论．中国农业出版社，2003
[24] Anderson G L，Hanson J D，Haas R H. Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semisrid rangelands. Remote sensing of Environment，1993，45 (2)：165～175
[25] Richardson AJ，Wiegand CL. Distinguishing vegetation from soil background information. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing，1977 (43)：1541～1552
[26] Miller J R，Hare E W，Wu J. Quantitative characterization of the vegetation red edge reflectance 1. An inverted-Gaussian reflectance model. International Journal of Remote Sensing，1990，11 (10)：1755～1773
[27] Gitelson A A，Kaufman Y，MerzlyakM N. Use of Green Channel in Remote of Sensing Global Vegetation from EOS-MODIS. Remote Sensing of Environment，1996，58：289～298
[28] 陈雪洋，蒙继华，吴炳方，等．基于 HJ-1 CCD 的夏玉米 FPAR 遥感监测模型．农业工程学报，2010，26 (S1)：241～245
[29] 张莉，吴文斌，左丽君，等．基于 EOS/MODIS 数据的南方水稻面积提取技术．中国农业资源与区划，2011，32 (4)：39～44

MONITORING WINTER WHEAT SPAD BASED ON HJ －1 CCD

Xia Tian[1,2]，**Zhou Qingbo**[1,2*]，**Chen Zhongxin**[1,2]，**Zhou Yong**[3]，**Yu Lei**[3]

(1. Key Laboratory of Agri－Informatics，Ministry of Agriculture，Beijing 100081；
2. Institute of Agricultural Resources and Regional Planning，Chinese Academy of Agricultural Sciences，Beijing 100081；
3. College of Urban and Environment Sciences，Huazhong Normal University，Hubei Wuhan 430079)

Abstract The plant chlorophyll content and the dynamic change，which can be reflected by SPAD，have important significance in evaluating crop production capacity and predicting crop yields and quality. Taking the winter wheat in Hou Lake Management District，Qianjiang City，Hubei province as the study object，through field observation in different growth period of winter wheat leaves of SPAD change situation，this paper combined with synchronous monitoring using the HJ-1 satellite independently developed by China，chose and calculated the RVI，DVI，NDVI，GRVI four vegetation index. Through the correlation analysis between the 4 vegetation index and leaf of winter wheat SPAD，the regression model of vegetation index and leaf of winter wheat SPAD (i. e.，NDVI－SPAD) was constructed. The NDVI－SPAD logarithm model was tested for the accuracy，the average relative error was 2.34 with the root mean square error (RMSE) of 5.65. The results showed that the NDVI-SPAD logarithm model had high prediction accuracy which can better inverted the SPAD of winter wheat. It concluded that using HJ-1 satellite combining NDVI-SPAD logarithmic model can effectively monitored the winter wheat leaves of SPAD in the study area.

Keywords HJ-1 satellite；winter wheat；SPAD；monitoring