

舒 田, 岳延滨, 李莉婕, 等. 基于高光谱遥感的农作物识别[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(6): 1310-1314.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2016.06.018

## 基于高光谱遥感的农作物识别

舒 田, 岳延滨, 李莉婕, 黎瑞君, 李裕荣, 彭志良  
(贵州省农业科技信息研究所, 贵州 贵阳 550006)

**摘要:** 高光谱遥感为农作物种类识别提供了新的技术手段, 对发展精准农业具有重要意义。本研究在分析农作物光谱信息特征的基础上, 利用不同数据变换形式和 10 种常用植被指数对采收期的 7 种农作物进行了识别能力研究。结果表明: 在 350 ~ 500 nm 波长芭蕉芋反射率最高, 农作物在 760 ~ 915 nm、1 000 ~ 1 115 nm 波长反射光谱曲线差异明显; 识别这 7 种农作物的最佳波长位置有 516 nm、568 nm、609 nm、642 nm、660 nm、700 nm、717 nm、760 nm、928 nm、1 001 nm、1 118 nm、1 136 nm 和 1 327 nm 等; 采用原始光谱计算的 10 种植被指数中 *RVI* 辨识农作物的能力最强, 其他由强到弱依次为 *MSRI*、*NVI*、*TDVI*、*EVI*、*NDVI*、*SAVI*、*DVI*、*TVI*、*IPVI*。由此可见, 不同特征谱段和植被指数能够识别不同类型农作物。

**关键词:** 农作物; 高光谱遥感; 植被分类

**中图分类号:** S127

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-4440(2016)06-1310-05

## Crop identification based on hyperspectral remote sensing

SHU Tian, YUE Yan-bin, LI Li-jie, LI Rui-jun, LI Yu-rong, PENG Zhi-liang  
(Guizhou Institute of Agricultural Science and Technology Information, Guiyang 550006, China)

**Abstract:** Hyperspectral remote sensing provides a new technical means for the identification of crop species, which is of great significance for the development of precision agriculture. In this study, spectral characteristics-based identification were conducted on 7 crops at harvest by using different data forms and 10 commonly used vegetation indices. The reflectivity of Canna was very prominent in 350–500 nm wavelength, and the spectral reflectance of crops varied in 760–915 nm, 1 000–1 115 nm. The best wavelengths for identification of the 7 crops was 516 nm, 568 nm, 609 nm, 642 nm, 660 nm, 700 nm, 717 nm, 760 nm, 928 nm, 1 001 nm, 1 118 nm, 1 136 nm and 1 327 nm. Among 10 vegetation indices, *RVI* showed the strongest identifying potential, followed by *MSRI*, *NVI*, *TDVI*, *EVI*, *NDVI*, *SAVI*, *DVI*, *TVI*, *IPVI*. To sum up, the characteristic spectrum and vegetation index are capable of crop discrimination.

**Key words:** crop; hyperspectral remote sensing; vegetation classification

收稿日期: 2016-03-01

基金项目: 贵州省科技厅、贵州省农业科学院联合基金项目  
[黔科合 LH 字(2015)7066 号]; 贵州省农业科学院  
研究生创新基金项目[黔农科合(创新基金)  
2010013 号]; 贵州省农业科学院自主创新科研项目  
[(2014)011]

作者简介: 舒 田(1981-), 男, 湖南洞口人, 硕士, 助理研究  
员, 主要从事农业 GIS 与遥感应用研究。(E-mail)  
378074794@qq.com。

通讯作者: 彭志良, (E-mail) pengzhiliang@126.com

农作物的精准识别是农作物种类、面积、长势及产量信息提取的基础<sup>[1-7]</sup>, 是区域内农作物空间格局分布、农业资源调查、农作物估产和灾害监测等的重要保障。近年来, 随着遥感技术在农业中的广泛应用, 遥感为作物识别提供了新的研究手段和丰富的数据支持。美国最早基于 NOAA/AVHRR 遥感数据对全球范围内多种粮食作物如小麦、大豆、玉米、水稻等进行了种类识别、种植面积及产量估算<sup>[8]</sup>。然而, 由于数据价格昂贵、多光谱波段少、数据质量不

高、获取周期长及受天气影响等条件限制,通常不能满足农业领域更高层次的需求。与多光谱遥感相比,高光谱成像技术能够在许多非常窄的波段对农作物的细微差别进行探测,使农作物识别精度的提高成为可能,其独特的光谱优势对发展精准农业具有重要意义<sup>[9]</sup>。王崇等<sup>[10]</sup>利用实测光谱数据对水稻、小麦、油菜、棉花、花生、红薯、茄子、白菜等8种农作物进行了识别分析,构建的BP神经网络模型隐含层节点数为13时总体识别精度最高。邢东兴等<sup>[11]</sup>基于光谱分析技术对成熟期的7种挂果果树的树种进行了识别,同样也建立了辨识果树树种的BP神经网络模型。由于仅限于果树树种,加上果树叶片遮挡果实,导致其原始光谱曲线变化差异不是很明显。黎瑞君等<sup>[12]</sup>分析了辣椒品种盛果期的冠层反射光谱数据的差异,在波长为753 nm、698 nm、494 nm和767 nm位置处容易将8819线椒、黔春201、日本三樱椒和遵义朝天椒等4个辣椒品种识别开来,由于该研究缺乏多年期几种辣椒品种的光谱数据,不同辣椒品种冠层光谱反射率与叶片全氮含量、叶片SPAD值和地上干生物量的相关性不明显。

因此,在前人研究成果的基础上,本研究以采收期的黔西南州特色的山地农作物芭蕉芋、烟草、水稻、辣椒、生姜、豌豆尖和薏仁为研究对象,基于实测的冠层光谱反射率数据,通过原始冠层光谱、不同数据变换形式和10种常用植被指数对7种农作物进行了详细分析和高光谱识别,研究采收期7种农作物的光谱曲线差异,探寻它们的特征谱段,从而为农作物高光谱遥感解译和精准分类提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

选取贵州黔西南州种植范围广、附加值高和最具区域优势的农作物芭蕉芋、烟草、水稻、辣椒、生姜、豌豆尖和薏仁,7种农作物种植面积都在66.7 hm<sup>2</sup>以上,其中芭蕉芋、辣椒、生姜种植在旱地,水稻种植在水田,烟草、辣椒、豌豆尖和薏仁水田旱地均有种植,而且种植区域相对集中连片,芭蕉芋、辣椒、薏仁种植的行距0.50 m,株距0.40 m,水稻的行距0.20 m,株距0.15 m,烟草的行距为0.80 m,株距0.60 m,生姜的行距和株距分别为0.40 m和0.30 m,豌豆尖为撒种。测试区域海拔为1 400 ~ 1 500 m。光谱测试时期为7种农作物的采收期/盛

果期,光谱测试部位为农作物冠层。

### 1.2 测量方法

冠层反射光谱采用美国ASD Field Spec<sup>®</sup> 3地物光谱仪(光谱范围350 ~ 2 500 nm,光谱采样间隔为1.377 nm@ (350 ~ 1 050 nm)、2 nm@ (1 000 ~ 2 500 nm)光谱分辨率为3 nm@ 700 nm、10 nm@ (1 400 nm,2 100 nm)进行测量。测定时间为2015年11月上旬,每天的10:00–14:00,测定时天空晴朗无云,无风或微风,空气湿度小,仪器探头距离作物冠层顶1.2 ~ 1.5 m,垂直向下,每种作物选择20处测量点,每个测量点记录5个光谱,然后取平均值,每隔0.5 h对仪器进行优化和校正。

### 1.3 数据处理

利用ASD公司提供的仪器自带软件Viewspec Program处理测定的原始反射光谱,用Excel获取光谱反射曲线。由于空气中水蒸气及植物本身因素的影响而出现强烈的噪声,数据会显得异常,同时考虑到项目及相关分析的需要,只选取350 ~ 1 350 nm的反射光谱数据进行处理,在剔除异样光谱曲线的基础上进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 原始反射光谱对农作物的识别能力

在Viewspec Program软件中对测量的7种农作物原始反射光谱进行均值处理后,在Excel中获取了波长在350 ~ 1 350 nm光谱反射曲线(图1)。从图1可以看出,总体上7种作物反射光谱曲线走势一致,尤其是在可见光(380 ~ 780 nm)和近红外(780 ~ 1 500 nm)区域;可见光350 ~ 500 nm波长内芭蕉芋反射率明显高于其他6种作物,反射率一直在10%以上,生姜反射率最低,其他作物反射率相差不大;在550 nm绿峰(绿光区域作物反射率的最大值)处烟草和芭蕉芋反射率有所接近,成熟的薏仁和水稻在该区域绿峰不明显,这与前人研究结论相同<sup>[13]</sup>;在500 ~ 720 nm波长内芭蕉芋反射率最高,生姜的反射率也是最低,基本上都有红谷(红光区域作物反射率的最小值)的出现;在近红外的760 ~ 915 nm、1 000 ~ 1 115 nm波长内反射光谱曲线差异十分明显,几乎反射率都在28%以上,并具有波状起伏的特点,芭蕉芋的反射率还是最高,水稻反射率最低,这2个谱段区间应当作为农作物识别的重点研究范围;在大于1 115 nm的光谱区间内,生姜、烟草和薏仁的反射率

交替下降或升高,差异不大,其他 4 种作物反射率差异大。造成这些光谱差异的原因很多,有农作物本身的原因,包括作物本身结构、健康状况、含水量、叶片的颜色、叶片的细胞构造等。水稻在成熟期叶黄穗熟趋向衰老,叶面积逐渐减小,且叶片细胞内海绵组织及细胞间隙结合水缺失,稻穗对水稻冠层光谱的影响很强<sup>[13-14]</sup>,导致近红外区域反射率最低。芭蕉芋属单子叶植物,其叶片大,颜色呈绿色边缘带暗红,叶片水分含量高,加上红色花瓣导致其在近红外区光谱反射率在这几种作物中最高,反射率均在 50% 以上。

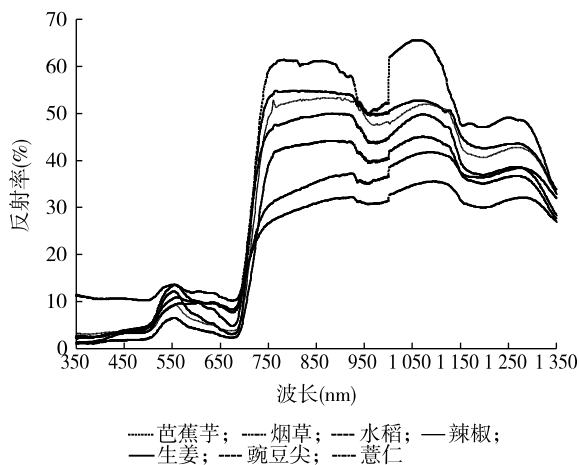


图 1 7 种农作物冠层的光谱反射率曲线

Fig. 1 Spectral reflectance curves of 7 crop canopies

## 2.2 不同数据变换形式对农作物的识别能力

微分处理后的导数光谱可削弱土壤背景对目标物光谱的影响,并能消除部分大气效应等噪音,分辨重叠光谱,提高信噪比,从而更好地反映作物内部的生化组成及其含量信息<sup>[14]</sup>,原始光谱经对数变换后可以反映地物的吸收特征,同时对数变换还能与微分变换一起使用<sup>[15]</sup>。因此,研究以一阶微分(First order differential, FD, 波长间隔为 3 nm、5 nm、7 nm、9 nm、11 nm、13 nm、15 nm)、倒数的对数 $[\lg(1/\lambda)]$ 以及倒数对数的一阶微分 $\{FD[\lg(1/\lambda)]\}$ ,波长间隔为 3 nm、5 nm、7 nm、9 nm、11 nm、13 nm、15 nm 等 15 种数据变换形式对 7 种农作物的识别能力。

Viewspec Program 计算和 Excel 分析结果表明,7 种农作物的一阶微分以及倒数对数的一阶微分光谱曲线,无论哪种波长间隔,其变化走向基本一致,但是在部分波长范围内 7 种农作物的一阶微分值差异明显。以对原始光谱进行的一阶微分变换(波长间隔为 3 nm)为例,根据农作物间光谱差异最大为

原则,在可见光波段内有 2 段波峰最大差异值,分别为 485 ~ 550 nm、670 ~ 765 nm,这也是区分 7 种农作物的最佳光谱区间,辣椒、芭蕉芋、烟草的一阶微分光谱明显比其他 4 种作物高。大于 553 nm 后开始出现负值,直到 670 nm 后开始逐渐为正,在 716 nm 处达到峰值,然后在 920 nm 后吸收谷和反射峰交替出现。同理,其余 14 种数据变换形式的最佳光谱波长位置见表 1。

通过变换数据形式,波长出现频率最多以及比较接近的波长范围是识别农作物的最佳波段。从表 1 可以看出,识别 7 种农作物的最佳波长位置有 516 nm、568 nm、609 nm、642 nm、660 nm、700 nm、717 nm、760 nm、928 nm、1 001 nm、1 118 nm、1 136 nm 和 1 327 nm 等。

## 2.3 植被指数对农作物识别的能力

植被指数是指利用植被光谱数据线性和非线性组合构建的光谱指数,近红外区域是农作物叶片健康状况最灵敏的标志区域,对植被差异及植物长势反应敏感,指示着植物光合作用是否正常运行,近红外和可见光/红光区域是构建植被指数的最经典波段。本次研究选取了最具代表性的 10 种植被指数<sup>[15]</sup>,包括归一化植被指数(NDVI)、土壤调节植被指数(SAVI)、差值植被指数(DVI)、比值植被指数(RVI)、增强植被指数(EVI)、非线性植被指数(NVI)、改进的简单比值指数(MSRI)、近红外百分比植被指数(IPVI)、转换植被指数(TVI)、转换型差值植被指数(TDVI)等(表 2)对 7 种农作物进行识别。在前人研究<sup>[10]</sup>的基础上参考常见卫星传感器相应通道的近红外、红光的中间波长即 830 nm、660 nm,然后取 2 个波段的农作物光谱反射率( $\rho_{830}$ 和 $\rho_{660}$ ),通过表 2 中的计算公式得到各农作物的植被指数方差和标准差(表 3)。

由表 3 可以看出,通过计算得到的 10 种植被指数中 RVI、MSRI、IPVI、TVI 值均大于 1,其它 6 种植被指数均为 0 ~ 1。通过综合比较分析可知,由近红外和红光波段取值计算的植被指数中方差和标准差最大的是 RVI,分别为 27.805 0 和 5.273 1,表明这 10 种植被指数中 RVI 识别这 7 种农作物的能力最大;方差和标准差最小的是 IPVI,分别仅为 0.001 0 和 0.028 6,表明这 10 种植被指数中 IPVI 识别这 7 种农作物的能力最小,10 种植被指数识别农作物的能力大小依次顺序为 RVI > MSRI > NVI > TDVI > EVI > NDVI > SAVI > DVI > TVI > IPVI。

表 1 15 种数据变换形式的最佳波长位置

Table 1 The best wavelength of 15 kinds spectral conversion forms

不同数据变换形式	最佳波长位置 (nm)						
	1	2	3	4	5	6	7
FD(波长间隔为 3 nm)	516	700	717	760	1 001	1 018	1 121
FD(波长间隔为 5 nm)	512	700	717	760	999	1 020	1 121
FD(波长间隔为 7 nm)	517	702	717	751	1 000	1 023	1 119
FD(波长间隔为 9 nm)	516	702	716	750	998	1 008	1 118
FD(波长间隔为 11 nm)	515	703	714	998	1 001	1 018	1 119
FD(波长间隔为 13 nm)	516	703	714	750	1 001	1 023	1 120
FD(波长间隔为 15 nm)	517	703	713	754	994	1 017	1 116
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 3 nm)	570	609	642	660	1 000	1 136	1 327
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 5 nm)	568	608	644	660	931	1 140	1 328
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 7 nm)	568	609	642	662	999	1 148	1 331
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 9 nm)	568	609	642	660	997	1 140	1 130
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 11 nm)	567	609	641	659	928	1 138	1 326
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 13 nm)	568	609	640	660	926	1 136	1 325
FD( $\lg(1/\lambda)$ )(波长间隔为 15 nm)	567	610	641	660	928	1 135	1 327
$\log(1/\lambda)$	486	543	611	665	758	1 001	1 144

表 2 植被指数及计算公式

Table 2 Vegetation indices and calculating formulas

植被指数	缩写	计算公式
归一化植被指数	NDVI	$(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}})$
土壤调节植被指数	SAVI	$(1 + L) (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}) / (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}} + L), L=0.5$
差值植被指数	DVI	$\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}$
比值植被指数	RVI	$\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}$
增强植被指数	EVI	$(\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}) \times (1 + L) / (\rho_{\text{NIR}} - C_2 \rho_{\text{RED}} - C_2 \rho_{\text{B}} + L)$ , $C_2, L$ 经验值分别取 7.5、1.0, $\rho_{\text{B}}$ 为蓝光 510 nm 的反射率
非线性植被指数	NVI	$(\rho_{\text{NIR}}^2 - \rho_{\text{RED}}^2) / (\rho_{\text{NIR}}^2 - \rho_{\text{RED}}^2)$
改进的简单比值指数	MSRI	$(\frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{RED}}} - 1) / (\sqrt{\frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{RED}}} + 1})$
近红外百分比植被指数	IPVI	$\frac{\rho_{\text{NIR}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}}$
转换植被指数	TVI	$\sqrt{\text{NDVI} + 0.5}$
转换型差值植被指数	TDVI	$1.5 \times \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\sqrt{\rho_{\text{NIR}}^2 - \rho_{\text{RED}}^2 + 0.5}}$

### 3 讨论

以黔西南州芭蕉芋、烟草、水稻、辣椒、生姜、豌

豆尖和薏仁 7 种农作物为研究对象,通过原始冠层反射光谱分析发现,这 7 种主要农作物的反射光谱曲线存在较大差异,在 350 ~ 500 nm 波长内芭蕉芋反射率最高,在 760 ~ 915 nm、1 000 ~ 1 115 nm 波长内 7 种主要农作物反射光谱曲线差异明显;根据不同数据变换形式后出现频率最多的波长作为最佳识别波长,最佳识别 7 种农作物的波长位置有 516 nm、568 nm、609 nm、642 nm、660 nm、700 nm、717 nm、760 nm、928 nm、1 001 nm、1 118 nm、1 136 nm 和 1 327 nm 等。采用原始光谱计算的 10 种植被指数识别农作物能力从强到弱依次为  $RVI > MSRI > NVI > TDVI > EVI > NDVI > SAVI > DVI > TVI > IPVI$ 。

采收期 7 种农作物的原始冠层反射光谱曲线在 760 ~ 915 nm 和 1 000 ~ 1 115 nm 波长段差异明显,是区别它们的适宜波段。在可见光区域内芭蕉芋冠层反射率最高,生姜反射率最低;在近红外区域内芭蕉芋冠层反射率最高,水稻反射率最低。由于采集原始光谱时受作物的种植密度、高度、叶片特征及土壤光谱的干扰,可能会导致光谱曲线有些跳动或差异,如豌豆尖和生姜紧贴地面生长,难免受到部分地面土壤光谱干扰。因此,在诸多因素的影响下,使得采集的农作物原始光谱本身在某些波段存在较大差异,这正是高光谱能够识别不同作物的原因<sup>[10]</sup>。

对原始光谱进行数据变换来识别作物间的差异也比较明显。研究结果表明,由于可见光区域一般植被原始光谱反射率值较低,经过导数变换可以限



表 3 7 种农作物的植被指数、方差及标准差

Table 3 Vegetation indices, variance and standard deviations of 7 crops

植被指数	芭蕉芋	烤烟	水稻	辣椒	生姜	豌豆尖	薏仁	方差	标准差
NDVI	0.701	0.789	0.545	0.859	0.891	0.880	0.607	0.016	0.128 1
SAVI	0.617	0.619	0.359	0.686	0.640	0.709	0.420	0.016	0.124 8
DVI	0.498	0.433	0.213	0.489	0.409	0.511	0.260	0.012	0.110 6
RVI	5.698	8.466	3.393	13.225	17.360	15.600	4.095	27.805	5.273 1
EVI	0.693	0.617	0.295	0.680	0.595	0.728	0.368	0.025	0.156 6
NVI	0.550	0.612	0.012	0.750	0.766	0.790	0.170	0.082	0.286 8
MSRI	2.968	3.566	2.299	4.362	4.927	4.696	2.530	0.968	0.984 0
IPVI	1.106	1.058	1.089	1.040	1.025	1.035	1.084	0.001	0.028 6
TVI	1.096	1.135	1.022	1.166	1.179	1.175	1.052	0.003	0.058 0
TDVI	0.758	0.727	0.387	0.810	0.726	0.840	0.465	0.026	0.162 2
$\rho_{660}$	10.6	5.8	8.9	4.0	2.5	3.5	8.4	—	—
$\rho_{830}$	60.4	49.1	30.2	52.9	43.4	54.6	34.4	—	—

制低频背景光谱(通常是土壤、凋落物及地物光谱)对目标光谱的影响,经过对数变换则可以增强可见光区域的光谱差异,还能减少因光照条件变换引起的乘性因素影响<sup>[16-17]</sup>。一阶微分(FD)、倒数的对数 $[\lg(1/\lambda)]$ 、倒数对数的一阶微分 $\{FD[\lg(1/\lambda)]\}$ 数据变换在原始光谱的基础上进行了扩大,从而使得不同作物间的差异十分明显,识别能力相对较强,因而识别作物精度相对要高,其中一阶微分(FD)比倒数的对数 $[\lg(1/\lambda)]$ 、倒数对数的一阶微分 $\{FD[\lg(1/\lambda)]\}$ 识别作物的精度要高。像 $1/\lambda$ 数据形式变换则缩小了作物间的差异,识别能力相对较弱,识别作物的精度相对要低于原始光谱<sup>[10]</sup>,因此对 $1/\lambda$ 变换不进行研究。

针对黔西南州 7 种特色农作物进行的原始光谱特征分析,不同数据变换形式和不同植被指数的识别研究,在不同波长区间和特定波长位置都能较好地识别 7 种农作物,展现了高光谱遥感识别作物的优势。根据本研究结果,为了更直观、更具代表性地反映各种特色农作物的优势种植区域,确保种植面积提取的精度,还需结合高光谱遥感影像数据的解译和野外抽样调查,从而达到真正的农作物遥感精准识别。

#### 参考文献:

- [1] BALAGUER A, RUIZ L A, HERMOSILL T, et al. Definition of a comprehensive set of texture semivariogram features and their evaluation for object-oriented image classification[J]. Computers and Geosciences, 2010, 36:231-240.
- [2] JIA K, WU B, LI Q. Crop classification using HJ satellite multi-spectral data in the North China Plain[J]. Journal of Applied Remote Sensing, 2013, 7:573-576.
- [3] 汤 斌,王福民,周柳萍,等. 基于地级市的区域水稻遥感估产与空间化研究[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11):525-528.
- [4] 欧文浩,苏 伟,薛文振,等. 基于 HJ-1 卫星影像的三大农作物估产最佳时相选择[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11):176-182.
- [5] 金正婷,李卫国,景元书,等. 基于影像融合的冬小麦种植面积提取适宜尺度研究[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(6):1312-1317.
- [6] 李 峰,赵 红,赵玉金,等. 基于 HJ-1 CCD 影像的冬小麦种植面积提取研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(5):109-114.
- [7] 陈刘凤,林开平,胡宝清,等. 基于 Landsat8\_OLI 数据的甘蔗种植面积监测[J]. 南方农业学报, 2015, 46(11):2068-2072.
- [8] 周清波. 国内外农情遥感现状与发展趋势[J]. 中国农业资源与区划, 2004, 25(5):9-14.
- [9] 张喜旺,刘建峰,秦 奋,等. 作物类型遥感识别研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(33):278-285.
- [10] 王 崇,吴 见. 农作物种类高光谱遥感识别研究[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(2):29-33.
- [11] 邢东兴,常庆瑞. 基于光谱分析的果树树种辨识研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7):1937-1940.
- [12] 黎瑞君,聂克艳,彭志良,等. 辣椒盛果期的冠层反射光谱特征[J]. 贵州农业科学, 2014, 42(12):230-233.
- [13] 沈掌泉,王 珂,王人潮. 水稻冠层光谱反射特性的动态变化研究[J]. 国土资源遥感, 1996(4):40-44.
- [14] 冯 伟,郭天财,谢迎新,等. 作物光谱分析技术及其在生长监测中的应用[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23):182-188.
- [15] 黄敬峰,王福民,王秀珍. 水稻高光谱遥感实验研究[M]. 杭州:浙江大学出版社, 2010.
- [16] 丰明博,牛 铮. 基于经验模型的 Hyperion 数据植被叶绿素含量反演[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(1):71-77.
- [17] 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.

(责任编辑:陈海霞)