

doi: 10. 6046/gtzyyg. 2014. 03. 04

引用格式: 靳彦华,熊黑钢,张芳. 水浇地与旱地春小麦冠层高光谱反射特征比较[J]. 国土资源遥感,2014,26(3):24-30.  
(Jin Y H, Xiong H G, Zhang F. Comparative study of canopy spectral reflectance characteristics of spring wheat in irrigated land and dry land[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2014, 26(3): 24-30.)

## 水浇地与旱地春小麦冠层高光谱反射特征比较

靳彦华<sup>1,3</sup>, 熊黑钢<sup>2,3</sup>, 张芳<sup>1,3</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 北京联合大学应用文理学院, 北京 100083;  
3. 教育部绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 用野外实测的水浇地与不同坡向旱地春小麦各发育期的冠层光谱数据, 对比分析各发育期春小麦冠层光谱反射特征; 依据 TM 图像的波段设置将实测光谱划分为 4 个波段, 对比分析水浇地与旱地春小麦光谱在各波段的差异, 并选择出识别水浇地与旱地春小麦的最佳波段。研究表明: 不同地类水浇地与旱地春小麦冠层光谱反射率在可见光波段呈现的总特点是阳坡地 > 双面坡地 > 阴坡地 > 水浇地, 在近红外波段则相反; 不同发育期的水浇地与旱地春小麦在可见光波段均呈现起身期 > 乳熟期 > 拔节期 > 抽穗期 > 扬花期的特点, 在近红外波段则呈现扬花期 > 抽穗期 > 拔节期 > 起身期 > 乳熟期的特点; 因各地类春小麦叶绿素含量的相对值和覆盖度不同, 在可见光波段的光谱曲线也存在差异——水浇地与旱地春小麦在起身期和乳熟期的光谱曲线各成 1 条线, 而在其他 3 个发育期则形成 2 条曲线(水浇地和阴坡地的光谱曲线基本重合, 阳坡地和双面坡地的光谱曲线完全重合)。760 ~ 900 nm 谱段是识别水浇地与旱地春小麦的最佳波段。

**关键词:** 水浇地; 旱地; 春小麦; 冠层光谱反射特征

**中图分类号:** TP 79; S 127; O 433.3

**文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2014)03-0024-07

### 0 引言

高光谱遥感技术是当前遥感的前沿技术<sup>[1]</sup>, 已成为对地观测和研究现代农业的一项重要内容和发展趋势<sup>[2-4]</sup>, 它能以足够的光谱分辨率区分不同的地表作物。作物光谱特征的变化主要由其组织结构、生物化学成分和形态特征决定, 其中叶片的颜色、细胞结构和植物水分等起主要作用, 而植被的这些特征又与其生长发育阶段和健康状况等密切相关, 因此可以根据不同作物光谱响应的差异监测作物的生长状况。

新疆具有独特的自然生态条件, 作物实行连片种植, 栽培管理统一化, 机械化程度高, 因此, 该地区作物的种植管理模式适宜实施农业遥感技术与精准农业的管理。小麦作为我国重要的粮食作物, 在新疆种植面积较大, 其产量的高低对我国粮食生产安全具有举足轻重的作用; 同时, 小麦冠层部分对太阳光的反射和吸收也是影响小麦产量的一个重要因素。以实测光谱为主的高光谱遥感技术在农业领域

得到了广泛应用, 已成为研究地表植被的重要手段之一<sup>[5]</sup>。

目前, 国内外学者已对农作物光谱做了很多研究, 取得大量成果, 得出的主要结论是: ①不同株型水稻品种群体冠层对太阳光谱辐射的反射率存在明显差异, 其中以蓝光区(400 ~ 510 nm)的反射率差异最为显著<sup>[6]</sup>; ②依据不同发育阶段和不同灌溉条件下的小麦冠层反射光谱特征, 可找出最能有效区分发育阶段和灌溉条件的波段, 并利用模糊聚类的方法加以区分<sup>[7-8]</sup>; ③缺氮和正常营养条件下的水稻叶片光谱特征显著不同, 叶绿素是导致光谱特征差异的主要内在因素<sup>[9]</sup>。有的学者通过分析作物光谱参数与叶片含水量及叶绿素测量仪(soil and plant analyzer development, SPAD)测量值的相关关系, 确定了叶片水分及绿度特征的最佳波段与光谱指数<sup>[10]</sup>; ④根据植被指数与叶片含水量之间的量化关系, 建立了快速、无损诊断水稻叶片含水量的估测模型<sup>[11]</sup>。有的学者则认为不同灌水量、氮素营养条件及品种对棉花冠层光谱反射特性均有影响, 且随着灌水量的增加, 棉花冠层光谱在近红外波段

收稿日期: 2013-06-17; 修订日期: 2013-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目“新疆天山北坡人类活动影响下绿洲水盐耦合关系与环境效应”(编号: 41171165)、北京联合大学人才强校计划项目(编号: BPHR2012E01)和北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划项目(编号: IDHT20130322)共同资助。

(700~800 nm)的反射率呈上升趋势,在盛蕾期和盛花期不同灌水量处理下的光谱反射率差异明显<sup>[12]</sup>。

上述研究主要侧重于对同一地类中不同作物种类的光谱识别,以及不同营养水平下作物反射光谱的变化,但至今对不同地类春小麦各生育期冠层光谱特征的研究却鲜有报道。旱地是在干旱、半干旱地区山前丘陵及缓坡上的一种特殊地类,因长期处于缺水状态,与水浇地的光谱差异较大。本文主要对水浇地与旱地春小麦光谱特征进行分析,并依据TM图像的4个波段对春小麦实测光谱进行波段划分,确定识别不同地类小麦的最佳波段,旨在为进一步利用光谱技术监测不同地类农作物生长发育及营养状况提供基础信息与技术支持,并促进高光谱遥感技术在小麦长势监测和估产中的应用。

## 1 数据与方法

### 1.1 试验设计

#### 1.1.1 水浇地春小麦

2012年4—8月,在新疆维吾尔自治区昌吉州奇台县设置了3块主要依靠井水灌溉的水浇地春小麦样地,即:水浇地1(E 89°37'08", N 44°00'15")、水浇地2(E 89°35'57", N 44°02'32")和水浇地3(E 89°34'22", N 44°05'52")。样地播种时间为2012年4月1日,小麦品种为新春26号。各试验地面积为28 m×24 m=672 m<sup>2</sup>,共设置10个小区,其中每个小区的面积为8.4 m×8 m=67.2 m<sup>2</sup>;小麦实行垄和行并存种植,垄间沟宽度20 cm,行间距10 cm,株距约5 cm。

#### 1.1.2 旱地春小麦

在设置水浇地春小麦样地的同时,在奇台县天山山前丘陵区选择了3块不同坡向的旱地春小麦样地,这些样地因阳光照射方向不同又可分为阴坡地(E 89°55'03", N43°41'54")、阳坡地(E 89°53'17", N 43°41'55")和双面坡地(E 89°51'38", N43°43'13")。阴坡地始终背向阳光,阳坡地始终朝向阳光,双面坡地一面朝向阳光,另一面背向阳光。各类旱地因坡度大、地面凹凸不平,无法设置垄引渠道水进行人工灌溉,主要依靠天然降水。阴坡地处于北坡,接受新疆主要的西北向水汽;同时避免了阳光直射,土壤水分高。阳坡和双面坡地处于南坡和东、西坡,环境条件与阴坡地相反,蒸发强烈,土壤水分少。小麦播种时间为3月28日,主要种植新春26号。各试验地实行均行种植,行距约15 cm,株距6 cm。试验地施肥情况:①播种前大约一周,各样地均施一定量的农家肥,磷酸二铵25 kg/亩<sup>①</sup>,复合肥10 kg/亩

作为基肥;②小麦起身期,各样地均施尿素15 kg/亩,磷肥15 kg/亩;③抽穗期,各样地施硫酸钾25 kg/亩。水浇地春小麦从起身期到乳熟期共灌溉7次(大约每13 d灌水一次),旱地春小麦在整个发育过程中只降过一次水。

### 1.2 春小麦冠层光谱测定

#### 1.2.1 光谱测量仪器

采用美国ASD公司生产的ASD FieldSpec FR地物光谱仪测量春小麦冠层光谱。该光谱仪的波段范围为350~2 500 nm,其中在350~1 000 nm谱段光谱分辨率为3 nm,采样间隔为1.4 nm;在1 000~2 500 nm谱段光谱分辨率为10 nm,采样间隔为2 nm。视场角为25°<sup>[13]</sup>。

#### 1.2.2 不同地类春小麦冠层光谱测定

在春小麦起身、拔节、抽穗、扬花和乳熟期,选择晴朗、无云、无风天气,在北京时间12:00—16:00之间,用地物光谱仪分别测量水浇地和旱地春小麦群体光谱反射率。测量结果显示,光谱曲线在350~900 nm谱段比较平滑,之后随着波长的增大,噪声也增大。这一谱段包括了遥感常用的可见光和近红外波段,可满足本文分析的需要。

进行春小麦群体光谱反射率测量时,传感器探头垂直向下,视场角25°,探头距离冠层顶部垂直高度约15 cm。每块样地选择5个固定位置,每次测量5个光谱数据,取其平均值作为该小区的光谱反射率值。测量前、后都立即进行标准白板校正(标准白板反射率视为1,所测目标物光谱是无量纲的相对反射率)。采用移动平均法对实测光谱进行去噪处理<sup>[14]</sup>,选取测定样本某一点前、后光谱曲线上一定范围,取其平均值作为该点的光谱反射率值,即

$$R'_i = \frac{1}{2k+1} (R_{i+1} + R_{i-k+1} + \dots + R_i + \dots + R_{i+k}) \quad (1)$$

式中: $R'_i$ 为样本第*i*点的反射率值(均值), $i=1,2,\dots,n$ ;  $k$ 为实测光谱反射率值的个数。

### 1.3 春小麦 SPAD 值及长势测定

春小麦 SPAD 值测量选用美能达 SPAD-502 叶绿素测量仪,该仪器是一种外形小巧、对植物无破坏性的叶绿素含量相对值测定仪。测量时由叶片从上而下,分叶尖、中部和叶基部3个部位各测量3次,最后取其均值作为该叶片叶绿素含量的相对值。

用卷尺测定各样地春小麦的行距、苗高和叶宽,每一项选5个点,测5次,取其平均值作为该项指标的数据。测量叶宽时,每个叶片均测量其中部。

①1亩=0.0667 hm<sup>2</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 春小麦冠层反射光谱特征对比

#### 2.1.1 水浇地与旱地春小麦反射光谱共同点

在可见光波段,各地类春小麦反射光谱在拔节、抽穗、扬花期均表现为“两谷一峰”(蓝紫谷、红谷和绿峰),即冠层反射率由低到高,而后再降

低,在 550 nm 附近叶绿素吸收较少,形成相对较强的反射峰;在起身期和乳熟期光谱反射率均高于拔节、抽穗、扬花期,且起身期 > 乳熟期,主要是因为春小麦在起身期受土壤背景影响较大,在乳熟期随着叶片逐渐变黄,反射率增大,并且在绿光波段(520 ~ 560 nm)的反射峰也逐渐消失,致使可见光谱段内小麦冠层反射光谱曲线的形状发生了明显的变化(图 1)。

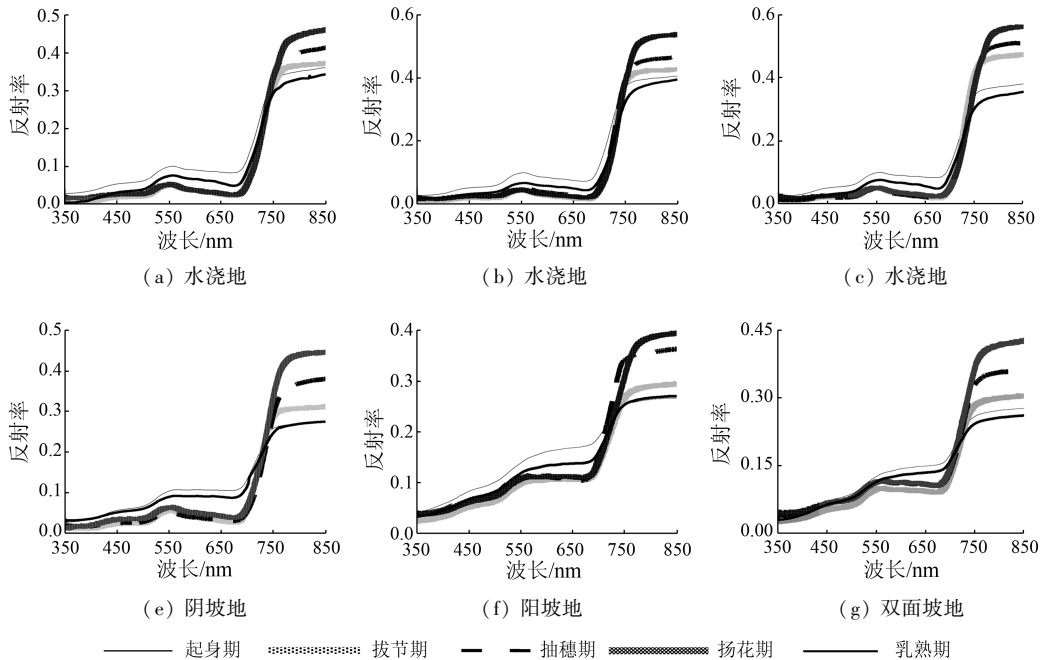


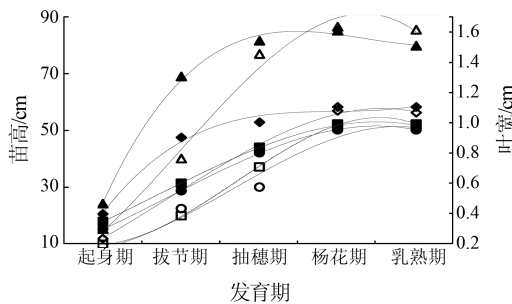
图 1 各地类春小麦冠层反射光谱特征

Fig. 1 Spectral reflectance characteristics of spring wheat canopy in different kinds of land

在近红外波段,各地类春小麦反射光谱均表现出扬花期 > 抽穗期 > 拔节期 > 起身期 > 乳熟期的特点。在这一波段,作物反射光谱主要受叶子内部结构、生物量和覆盖度的影响,扬花期春小麦长势(叶宽、苗高)最好,覆盖度最大,抽穗期和拔节期次之(图 2),起身期和乳熟期最差。其原因是春小麦在起身期刚开始生长,叶片较小,苗高较低,覆盖度也小;而在乳熟期叶片变黄,内部结构发生变化。

#### 2.1.2 水浇地与旱地春小麦反射光谱差异

因受叶绿素含量的相对值影响(图 3),阳坡地和双面坡地春小麦在中间 3 期冠层光谱反射率的“峰谷”没有水浇地和阴坡地的明显。



水浇地苗高 阴坡地苗高 阳坡地苗高 双面坡地苗高  
水浇地叶宽 阴坡地叶宽 阳坡地叶宽 双面坡地叶宽

图 2 春小麦叶宽和苗高随不同发育期的变化

Fig. 2 Changes of spring wheat seedling height and leaf width at different growth stages

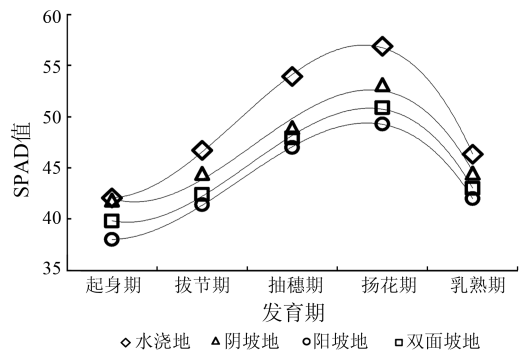


图 3 各地类春小麦叶绿素含量相对值对比

Fig. 3 Chlorophyll content of spring wheat at different growth stages in different kind of land

在可见光波段,各地类春小麦在各发育期冠层光谱反射率呈现的总特点是:阳坡地 > 双面坡地 > 阴坡地 > 水浇地,说明后 2 种地类的春小麦长势好,

叶绿素含量的相对值较高,可见光部分吸收强;而阳坡地和双面坡地的春小麦因叶绿素含量的相对值较低,覆盖度较小,反射率高于阴坡地和水浇地的春小麦冠层反射率。

在近红外波段,各地类春小麦冠层光谱反射率表现出的总特点是:水浇地 > 阴坡地 > 双面坡地 > 阳坡地,与在可见光波段的特点完全相反。

无论在可见光波段,还是在近红外波段,各地类春小麦光谱曲线在拔节、抽穗、扬花期与在起身期和乳熟期的光谱曲线相差较大,较易区分。阳坡地和双面坡地春小麦的光谱曲线几乎一致,阴坡地春小麦的光谱曲线在起身期和乳熟期与阳坡地和双面坡地春小麦的光谱曲线相似,在拔节、抽穗、扬花期则与水浇地相似。

### 2.2 不同发育期春小麦冠层反射光谱特征对比

在可见光波段,起身期春小麦的光谱受土壤背景的影响较大,且因小麦长势不一,受土壤背景的影响不同,阳坡和双面坡地受影响较大,其春小麦的光谱曲线基本重合成1条曲线。水浇地和阴坡地的光

谱则形成2条不同的曲线。随着小麦生长,覆盖度逐步增大;进入拔节期后,水浇地和阴坡地春小麦叶绿素含量的相对值逐渐增大,二者的光谱曲线重合成1条曲线,这种状态持续到扬花期。到了乳熟期,各地类春小麦叶片变黄,且变黄的程度不同,水浇地与旱地春小麦光谱曲线各自成1条曲线。

在近红外波段,春小麦光谱曲线主要受叶片结构及内部组织的影响。在起身期,因水浇地与旱地春小麦长势差异较大,光谱反射率差异也较大;在拔节期,因水浇地和旱地所含水分不同,其小麦长势也不同,光谱曲线也存在差异;在抽穗期和扬花期,小麦群体结构基本稳定,光谱曲线差异较小;在乳熟期,由于小麦叶片变黄,内部结构发生变化,其光谱曲线差异不明显。

处于各发育期的不同地类春小麦光谱反射率在可见光波段和近红外波段表现出截然相反的变化规律,即由起身期 > 乳熟期 > 拔节期 > 抽穗期 > 扬花期转变为扬花期 > 抽穗期 > 拔节期 > 起身期 > 乳熟期(图4)。

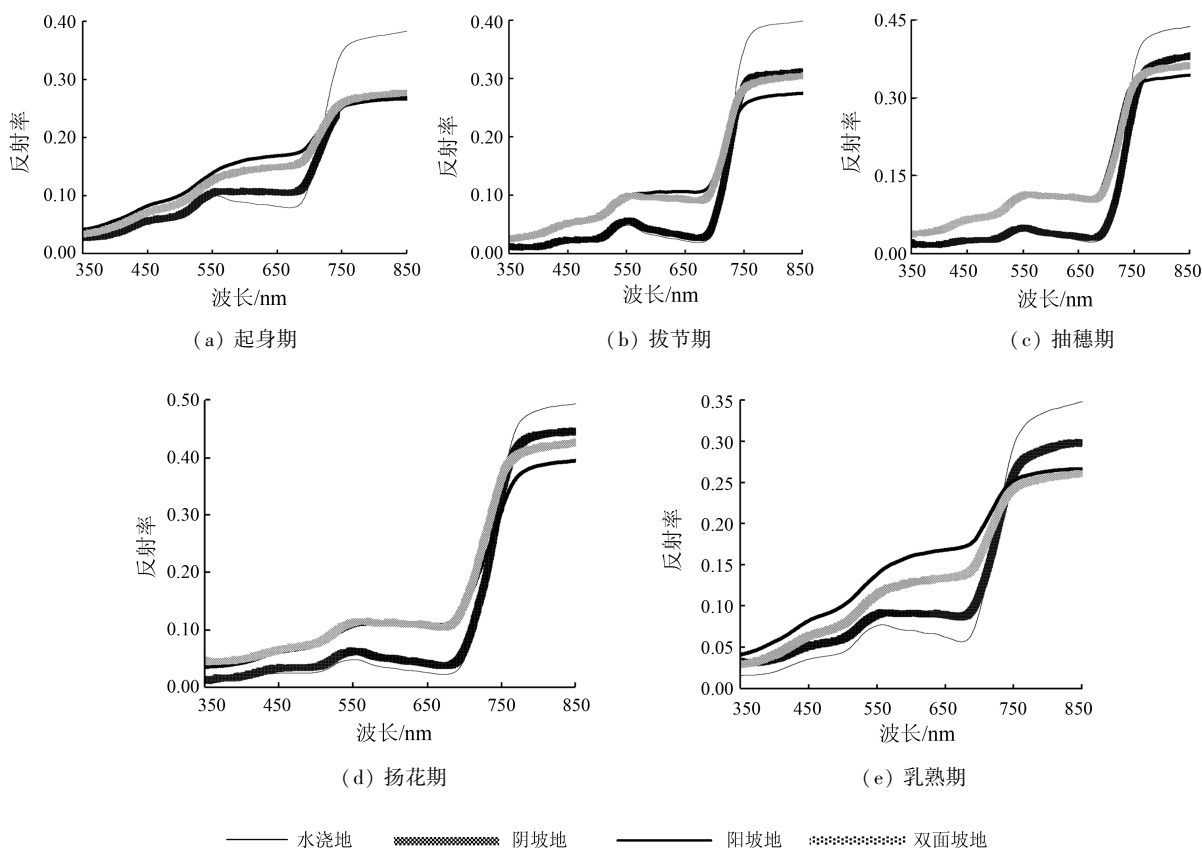


图4 不同发育期春小麦冠层反射光谱特征

Fig. 4 Spectral reflectance characteristics of spring wheat at different growth stages

### 2.3 春小麦遥感识别最佳波段选择

对各发育期水浇地与旱地春小麦光谱反射率取

平均值,作为其在不同发育期的反射光谱特征曲线(图5)。

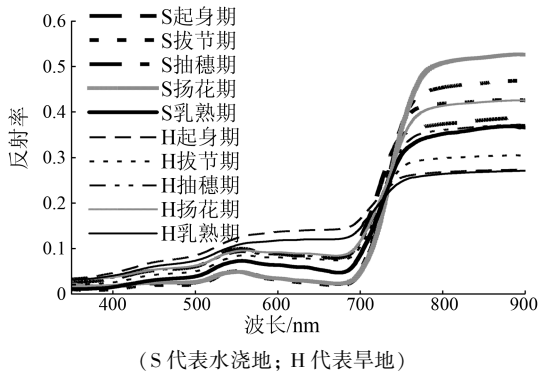


图 5 各发育期水浇地与旱地春小麦反射光谱曲线对比  
 Fig. 5 Comparison among spectral reflectance curves of spring wheat at different growth stages

为了利用遥感图像更精准地区分水浇地与旱地春小麦,实时反馈各地类小麦的生长、营养及病虫害情况,参照常用的 TM 图像的波段设置,对实测春小麦光谱进行波段划分,从而为遥感反演模拟和估算提

供光谱依据。TM1—4 波段分别为可见光波段 TM1 (450 ~ 520 nm)、TM2(520 ~ 600 nm)和 TM3(630 ~ 690 nm),近红外波段 TM4(760 ~ 900 nm)。

在可见光波段,水浇地与旱地春小麦光谱存在一定差异,但差异较小;在近红外波段,各发育期的水浇地春小麦的光谱反射率明显高于旱地春小麦的光谱反射率,尤其是在 740 nm 以后,水浇地春小麦光谱曲线的上升速率明显高于同期的旱地春小麦(图 5)。

水浇地与旱地春小麦的各波段反射率均存在差异,在可见光波段,旱地春小麦在各发育期的反射率均大于水浇地的反射率,而在近红外波段则相反(表 1)。4 个波段中, TM4 的不同发育期水浇地与旱地冬小麦反射率差值最大(表 2);因此,可利用 TM4 的数据对各发育期水浇地与旱地春小麦进行监测。

表 1 各发育期水浇地与旱地春小麦实测光谱反射率

Tab. 1 Measured spectral reflectance of spring wheat in irrigated and dry land at different growth stages

波段	水浇地					旱地				
	S <sup>②</sup> 起身期	S 拔节期	S 抽穗期	S 扬花期	S 乳熟期	H <sup>③</sup> 起身期	H 拔节期	H 抽穗期	H 扬花期	H 乳熟期
TM1 <sup>①</sup>	0.058	0.021	0.025	0.027	0.037	0.081	0.048	0.058	0.060	0.070
TM2	0.092	0.040	0.043	0.042	0.067	0.123	0.079	0.087	0.090	0.107
TM3	0.082	0.021	0.025	0.025	0.052	0.142	0.076	0.082	0.087	0.121
TM4	0.378	0.420	0.457	0.508	0.356	0.269	0.300	0.364	0.415	0.266

①TM1, TM2, TM3 和 TM4 分别为 450 ~ 520 nm, 520 ~ 600 nm, 630 ~ 690 nm 和 760 ~ 900 nm 波长范围,表中数据为在该波长范围内春小麦实测光谱反射率均值;② S 代表水浇地;③ H 代表旱地。

表 2 不同发育期水浇地与旱地春小麦反射率差值

Tab. 2 Reflectance differences between spring wheat in irrigated and dry land at different growth stages

波段	发育期				
	起身期	拔节期	抽穗期	扬花期	乳熟期
TM1	0.023	0.027	0.033	0.033	0.033
TM2	0.031	0.039	0.044	0.048	0.040
TM3	0.060	0.055	0.057	0.062	0.069
TM4	0.109	0.120	0.093	0.093	0.090

2)小麦冠层反射光谱主要反映小麦群体(包括叶片、茎秆、穗、花及土壤等)的光谱信息。因含水量、土壤肥力、种植密度等不同,小麦的冠层光谱特征存在差异。本文所选地类的土壤施肥情况相同,最大的不同是旱地小麦主要依靠天然降水,长期处于缺水状态;水浇地则定期灌溉,水分充足。因此,水分是造成水浇地与旱地春小麦光谱差异的主要原因。因春小麦含水量不同,水浇地与阴坡地春小麦的光谱曲线比较接近,而与阳坡地和双面坡地春小麦的光谱曲线差异明显。

3)不同发育期春小麦的光谱受到不同因素的影响,如在起身期受土壤背景的影响较大,在扬花期主要受春小麦开出的白花的影响;但目前的很多学者不太注重这些因素对不同期春小麦冠层光谱的影响,而将各发育期春小麦冠层光谱综合在一起来分析作物的光谱特征,这明显存在缺陷。本文则将各发育期分开,分别探讨不同地类春小麦在不同发育期的光谱特征,这为利用遥感技术区分水浇地与旱地春小麦及其他作物提供了理论依据。

### 3 讨论

1)作物光谱特征的差异是利用遥感技术区分作物信息的物理基础,同时也是建立地面实测光谱与遥感图像光谱之间关系的桥梁,是对作物进行遥感研究和各种模拟的基础数据。在实际生产中,作物光谱特征研究对于应用高光谱遥感技术监测作物病虫害、了解农田养分供应状况、采取有效增肥措施和加强农田管理具有积极意义。

## 4 结论

本文通过对水浇地与旱地春小麦在各发育期的冠层光谱进行对比分析,得出以下结论:

1) 在可见光波段,处于起身期的春小麦冠层光谱受土壤背景的影响较大,而各地类因土壤含水量不同,小麦长势差异较大,受土壤背景的影响也不同,这直接导致各地类春小麦冠层光谱曲线差异较大,主要体现在水浇地和阴坡地春小麦光谱在这一波段呈现“低—高—低”的趋势,在 550 nm 附近形成一个很小的反射峰;而双面坡地和阳坡地春小麦光谱的“峰谷”特征不明显。在拔节、抽穗和扬花期,虽然各地类春小麦光谱均存在“峰谷”,但因阳坡和双面坡地春小麦叶绿素含量和覆盖度比水浇地和阴坡地春小麦的低,故其反射率明显较高。在乳熟期,各地类春小麦叶片变黄的程度不同,光谱曲线差异明显。

2) 在近红外区域,因水浇地春小麦长势较好,叶宽、苗高均好于其他地类的春小麦,因此无论哪个发育期,春小麦冠层反射率均呈现出水浇地 > 阴坡地 > 双面坡地 > 阳坡地的特点。

## 参考文献 (References):

- [1] 易秋香,黄敬峰,王秀珍,等. 玉米粗脂肪含量高光谱估算模型初探[J]. 作物学报,2007,33(1):171-174.  
Yi Q X, Huang J F, Wang X Z, et al. Preliminary hyperspectral estimation models for crude fat content in corn[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(1): 171-174.
- [2] 方红亮,田庆久. 高光谱遥感在植被监测中的研究综述[J]. 遥感技术与应用,1998,13(1):62-69.  
Fang H L, Tian Q J. A review of hyperspectral remote sensing in vegetation monitoring[J]. Remote Sensing Technology and Application, 1998, 13(1): 62-69.
- [3] 叶娜,贾建军,田静,等. 浒苔遥感监测方法的研究进展[J]. 国土资源遥感,2013,25(1):7-12.  
Ye N, Jia J J, Tian J, et al. Advances in the study of Ulvaplifera monitoring with remote sensing[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2013, 25(1): 7-12.
- [4] 侯学会,牛铮,黄妮,等. 小麦生物量和真实叶面积指数的高光谱遥感估算模型[J]. 国土资源遥感,2012,24(4):30-35.  
Hou X H, Niu Z, Huang N, et al. The hyperspectral remote sensing estimation models of total biomass and true LAL of wheat[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(4): 30-35.
- [5] 童庆禧,郑兰芬,王晋年,等. 湿地植被成像光谱遥感研究[J]. 遥感学报,1997,1(1):50-57.  
Tong Q X, Zheng L F, Wang J N, et al. Study on imaging spectrometer remote sensing information for wetland vegetation[J]. Journal of Remote Sensing, 1997, 1(1): 50-57.
- [6] 杨长明,杨林章,韦朝领,等. 不同品种水稻群体冠层光谱特征比较研究[J]. 应用生态学报,2002,13(6):689-692.  
Yang C M, Yang L Z, Wei C L, et al. Canopy spectral characteristics of different rice varieties[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 689-692.
- [7] 周学秋,朱雨杰,严衍禄. 生育阶段小麦冠层的反射光谱特征及其模糊聚类研究[J]. 激光生物学,1996,5(3):870-873.  
Zhou X Q, Zhu Y C, Yan Y L. Studies on canopies reflectance spectroscopy of wheat under different developmental periods by fuzzy cluster analysis[J]. Laser Biology, 1996, 5(3): 870-873.
- [8] 朱雨杰,周学秋,严衍禄. 不同灌溉条件下小麦冠层的反射光谱特征及其模糊聚类研究[J]. 激光生物学,1996,5(3):874-877.  
Zhu Y C, Zhou X Q, Yan Y L. Studies on canopies reflectance spectroscopy of wheat under different irrigational conditions by fuzzy cluster analysis[J]. Laser Biology, 1996, 5(3): 874-877.
- [9] Shibayama M, Akiyama T. A spectro-radiometer for field use: Radiometric estimation for chlorophyll index of rice canopy[J]. Japanese Journal of Crop Science, 1986, 55(4): 433-438.
- [10] 金林雪,李映雪,徐德福,等. 小麦叶片水分及绿度特征的光谱法诊断[J]. 中国农业气象,2012,33(1):124-128.  
Jin L X, Li Y X, Xu D F, et al. Spectroscopy piagnostics of water content and greenness features in wheat leaf[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(1): 124-128.
- [11] 刘小军,田永超,姚霞,等. 基于高光谱的水稻叶片含水量监测研究[J]. 中国农业科学,2012,45(3):435-442.  
Liu X J, Tian Y C, Yao X, et al. Monitoring leaf water content based on Hyperspectra in rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(3): 435-442.
- [12] 王进,李新建,白丽,等. 干旱区棉花冠层高光谱反射特征研究[J]. 中国农业气象,2012,33(1):114-118.  
Wang J, Li X J, Bai L, et al. Characteristics of reflection spectrum of cotton canopy in north Xinjiang[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(1): 114-118.
- [13] 浦瑞良,宫鹏. 高光谱遥感及其应用[M]. 北京:高等教育出版社,2000:185-228.  
Pu R L, Gong P. Hyperspectral remote sensing and its applications [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 185-228.
- [14] 何挺,王静,程焯,等. 土壤氧化铁光谱特征研究[J]. 地理与地理信息科学,2006,3(2):30-34.  
He T, Wang J, Cheng Y, et al. Study on spectral features of soil Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [J]. Geography and Geo-Information Science, 2006, 3(2): 30-34.

# Comparative study of canopy spectral reflectance characteristics of spring wheat in irrigated land and dry land

JIN Yanhua<sup>1,3</sup>, XIONG Heigang<sup>2,3</sup>, ZHANG Fang<sup>1,3</sup>

(1. College of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China; 2. College of Art & Science, Beijing United University, Beijing 100083, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** Canopy data from hyperspectral remote sensing of irrigated land and dry land at different growth stages were used to analyze the difference between irrigated land and dry land. According to the bands of TM image, the measured spectrum was divided into four bands, the comparison of the spectra between irrigated land and dry land at each band was made and, on such a basis, the best band to identify irrigated land and dry land for spring wheat was chosen. The results show that canopy spectral reflectance in the visible region and in the near - infrared region of spring wheat has complete variation regularity: at the first band, the order is sunny land > double - sided land > shady land > irrigated land, which is opposite to the things of the near - infrared band. From setting to milk stage, in the visible band, spring wheat of irrigated land and dry land shows the order of setting stage > milk stage > jointing stage > heading stage > flowering stage; in the near - infrared band, the order is flowering stage > heading stage > jointing stage > setting stage > milk stage. The spectral curves are different because of chlorophyll content and coverage. In the visible band, spectral curves of spring wheat at setting and milk stage have their own lines but become two lines in the middle period; i. e., sunny land and double - sided land are completely coincident with each other, whereas shady land and irrigated land are basically coincident with each other. The spectral range of 760 ~ 900 nm is the optimal band for identifying spring wheat in irrigated land and dry land.

**Key words:** irrigated land; dry land; spring wheat; canopy spectral reflectance characteristics

第一作者简介: 靳彦华(1987 -), 女, 硕士, 主要从事区域可持续发展研究。Email: jyh76707027@163.com。

通信作者: 熊黑钢(1956 -), 男, 博士, 教授, 主要从事遥感应用及干旱区资源环境研究。Email: xhg1956@sohu.com。

(责任编辑: 刘心季)

=====

## 下期要目

- 沈文娟 Landsat 长时间序列数据格式统一与反射率转换方法实现
- 郑莎莎 基于激光点云数据的树冠空隙度指数分析
- 魏永明 岷江流域映秀 - 茂县段地震次生地质灾害分布规律及发展趋势分析
- 肖春蕾 利用机载 LiDAR 提取与分析地裂缝的方法
- 张云峰 陕西柞水冷水沟地区遥感地质特征及找矿预测
- 胡莹瑾 基于 RS 和 GIS 的农作物估产方法研究进展
- 李晓燕 基于 GIS 与虚拟现实的土地利用总体规划仿真展示平台设计
- 王 艳 升降轨 PSInSAR 观测反演沉降与水平向位移试验
- 匡 薇 中亚近 14 年土地退化强度与趋势分析
- 王 博 一种多尺度几何细节抽取的阴影处理算法