

宁南山区冬小麦冠层高光谱特征及其对干旱的响应

张磊^{1,2}, 刘静^{1,2}, 张学艺², 韩颖娟², 袁海燕²

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 宁夏银川 750002; 2. 宁夏气象科学研究所, 宁夏银川 750002)

摘 要: 以中引6号冬小麦为观测对象, 大田利用 Unispec-SC 型单通道便携式光谱仪观测不同灌水处理条件下冬小麦冠层高光谱特征, 并结合相应遥感指数, 筛选对干旱响应敏感的指数。结果表明, 宁南山区冬小麦灌浆期与乳熟期的冠层高光谱特征存在差异; 虽然不同于旱胁迫下的冬小麦冠层高光谱反射率曲线形式基本类似, 但在大多数波段, 反射率值的大小明显不同; 在应用各种遥感指数监测宁南山区冬小麦干旱时, 根据具体情况可优先在 RVI 和 NDVI 中选择, 其次可以考虑选用 EVI。

关键词: 宁南山区; 冬小麦; 光谱特征; 干旱

中图分类号: S423 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)02-0012-05

干旱是宁南山区农作物产量提高最主要的限制因素, 冬小麦作为宁南山区的主要农作物, 其抗旱保产增产多年来一直受到重视。众多研究者就此问题进行过多方面的研究和探索, 并取得了很多成果^[1-4]。冬小麦旱情监测及其影响评估是其中的一个重要研究方向, 可为政府部门和农户开展农业抗旱自救提供重要依据。传统的旱情监测方法主要是旱情测量站点测定土壤水分含量, 这种方法费时费力, 并且不能全面、大范围开展。从 20 世纪 60 年代以来, 遥感技术迅速发展, 已越来越广泛地应用于农业、资源环境、气象等各个领域^[5-11]。农业遥感方面, 大范围快速准确地监测农作物受旱情况、评估干旱对农作物生长(特别是产量)的影响程度是一个重要方面, 也是农业遥感研究的重要课题, 遥感技术在农业干旱监测方面发挥了巨大作用^[12]。前述的大多数遥感技术由于光谱范围相对较窄并且连续性不够, 在相关农业信息监测的定量化和精细化方面还存在一定不足, 近年来迅速发展的高光谱遥感技术可以获取许多非常窄且光谱连续的图像数据, 为农业中的多层次定量分析与应用开辟了良好前景, 因此, 逐渐成为农业遥感应用的重要前沿技术手段之一^[13-15]。目前, 已有一些研究者将高光谱遥感技术应用于农业干旱监测^[16,17], 但在宁夏本区, 这方面的研究还鲜见报导。

本文根据野外观测资料, 分析了宁南山区正常生长的冬小麦灌浆期和乳熟期冠层高光谱特征、以

及遭受不同程度干旱胁迫的冬小麦冠层高光谱差异, 以 EOS/MODIS 遥感资料的通道设计为参照, 初步比较并筛选了可以监测宁南山区冬小麦水分胁迫程度的相应遥感指数, 为大范围准确开展冬小麦干旱及长势监测提供理论依据。

1 材料与方法

观测地点为宁夏隆德县联财乡, 位于宁夏南部六盘山西麓, 境内沟谷纵横, 水土流失严重, 为黄土丘陵地带。该地区冬小麦田多为旱地。选择的试验地点有一定的灌溉条件, 正常年份灌溉两水可保障冬小麦正常生长, 试验所用冬小麦品种为“中引 6 号”, 试验时间 2008 年 6 月份。试验设三个处理: 全生育期灌 2 水(能正常生长), 全生育期灌 1 水(轻度干旱胁迫), 全生育期不灌水(重度干旱胁迫), 每处理面积 600 m² 左右。

冬小麦冠层高光谱特征采用美国产 Unispec-SC 型单通道便携式光谱仪进行测定, 该光谱仪探测波段为 310~1 130 nm, 分辨率 < 10 nm, 绝对精度 < 0.3 nm。每次观测在北京时间 10:00~14:30 进行, 正常生长的冬小麦(灌两水处理)在灌浆期(6月8日)和乳熟期(6月26日)测定, 有干旱胁迫的两个处理于 6月26日测定(此时第二水已经灌完, 缺水的两个处理冬小麦受胁迫的特征已经显现)。每处理选取不同地点测量 10 次, 取平均值作为该处理的光谱反射值。光谱仪探头设置在距离地面 1.5 m 处, 视角

收稿日期: 2009-10-20

基金项目: 科技部农业科技成果转化资金项目“宁夏重大农业气象灾害监测预警、损失评估及防控技术”(2006GB24160429); 科技部科研院所社会公益研究专项“气候变化背景下宁夏干旱监测预警系统研究”(2005DIB3J103)

作者简介: 张磊(1974—), 男, 宁夏永宁人, 硕士, 高级工程师, 主要从事农业气象、生态学等方面的研究。E-mail: zhle.131@163.com。

为8°。测量过程中,及时在每次观测前后进行标准白板校正。

2 结果与分析

2.1 冬小麦灌浆期和乳熟期冠层反射光谱特征

如图1,隆德灌2水冬小麦灌浆期的光谱反射率曲线符合冬小麦的基本光谱特征,在绿光波段(540~570 nm)出现较小的反射峰,红光波段(660~680 nm)由于强烈吸收导致出现波谷,680~760 nm出现“红边”效应,反射率从0.064急剧增大到接近0.353,760~920 nm为近红外高反射率平台,反射率

从0.352缓慢增高到0.451;920~980 nm冬小麦光谱出现明显的反射峰,其最高值出现在940 nm左右,此后从980 nm左右开始反射率又一次出现“陡增”,1 095 nm处达到最大值0.919,此后反射率在1 095~1 130 nm急剧减小。冬小麦乳熟期光谱反射率同灌浆期明显不同:在310~570 nm段的反射率同灌浆期接近,但在绿光波段没有出现反射峰,在红光波段也没有出现吸收谷;570~718 nm段反射率明显比灌浆期高,从718 nm开始,乳熟期冬小麦冠层反射率明显小于灌浆期,到1 100 nm之后,反射率接近。

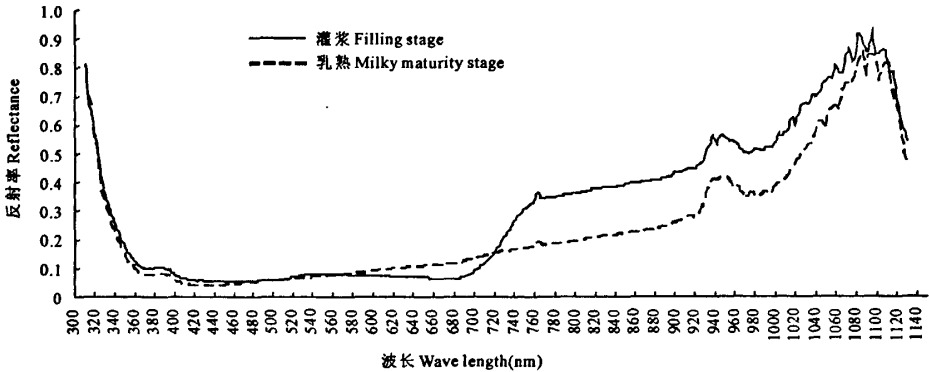


图1 冬小麦不同发育期冠层光谱反射率

Fig.1 Spectral reflectance of winter wheat canopy in different growing stages

2.2 不同灌水处理的冬小麦灌浆期冠层光谱反射特征

从图2可以看出,在310~1 130 nm波段,3种处理的冬小麦光谱反射率曲线的形式基本类似,在绿光波段(540~570 nm)出现较小的反射峰,红光波段(660~680 nm)出现吸收谷,680~760 nm出现“红

边”效应,940 nm左右和1 095 nm处出现两个反射峰。在360~930 nm波段,虽然三种处理的冬小麦冠层光谱反射率曲线形式类似,但反射率值明显不同:360~741 nm波段范围,随着缺水程度增加,反射率随之增大,并且增加幅度基本一致;而在741~930 nm波段范围,随着缺水程度增加,反射率随着减小。

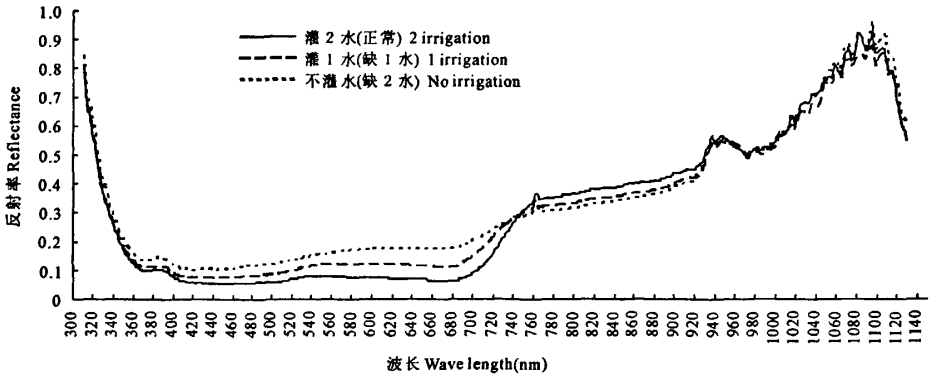


图2 不同灌水处理冬小麦灌浆期冠层光谱反射率

Fig.2 Spectral reflectance of winter wheat canopy in different irrigation treatments

2.3 表征干旱影响程度的光谱指标选择

按照 MODIS 相应通道的光谱范围,将高光谱探测数据进行各通道反射率平均,以模拟 MODIS 资料各通道反射率(表 1)。

表 1 按照 MODIS 各通道光谱范围折算的
不同灌水处理冬小麦冠层反射率
Table 1 Wheat canopy reflection ratio divided
by channel spectrum of EOS MODIS

通道 Channels	对应光谱范围 Range of spectrum (nm)	灌 2 水反射率 Reflection ratio of 2 irrigation	灌 1 水反射率 Reflection ratio of 1 irrigation	不灌水反射率 Reflection ratio of no irrigation
CH1	620 ~ 670	0.0684	0.1154	0.1747
CH2	841 ~ 876	0.3987	0.3632	0.3475
CH3	459 ~ 479	0.0554	0.0776	0.1104
CH4	545 ~ 565	0.0817	0.1201	0.1568
CH8	405 ~ 420	0.0617	0.0769	0.1044
CH9	438 ~ 448	0.0533	0.0725	0.1022
CH10	483 ~ 493	0.0581	0.0814	0.1167
CH11	526 ~ 536	0.0761	0.1074	0.1420
CH12	546 ~ 556	0.0819	0.1191	0.1546
CH13	662 ~ 672	0.0638	0.1096	0.1740
CH14	673 ~ 683	0.0636	0.1092	0.1749
CH15	743 ~ 753	0.3001	0.2932	0.2838
CH16	862 ~ 877	0.4047	0.3685	0.3537
CH17	890 ~ 920	0.4363	0.4048	0.3929
CH18	931 ~ 941	0.5380	0.5089	0.5140
CH19	915 ~ 965	0.5180	0.4935	0.4977

表征植被生长状况的光谱参数参照相应计算公

式,用该平均反射光谱资料近似计算各种指数,构建了反射光谱的 RVI、NDVI 等常用指数。各种参数的原式和根据 MODIS 通道光谱范围选择的通道列于表 2。按照表 2 中构建的参数,如果光谱波长包含在该通道中间,就用该通道的反射值作为输入因子,如果要求的波长不在之中,就用此波段(长)的实际反射值。表 2 中除红边植被指数($NDVI_{Rededge}$)、红边斜率(Rededge)和红边位置波长(λ_{rep})的计算式中含有 MODIS 无法满足所需的波长(如 710 nm、760 nm)外,其他指数所要求的波长均在其中。

表 3 是根据表 2 计算的不同处理冬小麦灌浆期各种指数值,从中可以看出各指数值随灌水处理的不同均有所变化,并且各指数值变化程度也不相同。根据表 3 计算了不同灌溉条件下相应各指数值的比值及差值,计算方法和结果见表 4。若以不灌水指数值的比值来衡量,RVI 对冬小麦干旱的响应最敏感,其后依次是 $NDVI_{Rededge}$ 、EVI、Rededge、NDVI、 $SAVI_{Rededge}$ 、SAVI 和 RDVI,其他指数的比值均超过 50,此处暂不做考虑。在这些对于干旱响应相对敏感的指数中,由于 $NDVI_{Rededge}$ 和 Rededge 的计算式中含有 MODIS 无法满足所需的波长,故将 $NDVI_{Rededge}$ 和 Rededge 排除。在余下的 RVI、EVI、NDVI、 $SAVI_{Rededge}$ 、SAVI 和 RDVI 中,若以差值的均一性来衡量,NDVI 对于干旱的响应情况最好,其后依次是 EVI、 $SAVI_{Rededge}$ 、SAVI、RDVI 和 RVI。综合考虑,在应用这些指数表征干旱情况时,根据具体情况可优先在 RVI 和 NDVI 中选择,其次可以考虑选用 EVI。

表 2 表征植被状况的各种指数

Table 2 Index calculation models of spectrum reflection ratio representing plant growth

名称 Name	代码 Code	计算方法 Calculation method
比植被指数	RVI	$RVI = R_{CH2} / R_{CH1}$
差植被指数	DVI	$DVI = R_{CH2} - R_{CH1}$
归一化植被指数	NDVI	$NDVI = (R_{CH2} - R_{CH1}) / (R_{CH2} + R_{CH1})$
增强植被指数	EVI	$EVI = 2.5(R_{CH2} - R_{CH4}) / (1 + R_{CH2} + 6R_{CH4} - 7.5R_{CH3})$ 参考: $EVI = 2.5(R_{NIR} - R_{680}) / (1 + R_{NIR} + 6R_{680} - 7.5R_{460})$
红边植被指数	$NDVI_{Rededge}$	$NDVI_{Rededge} = (R_{760} - R_{CH4}) / (R_{760} + R_{CH4})$ 参考: $NDVI_{Rededge} = (R_{760} - R_{680}) / (R_{760} + R_{680})$
红边斜率	Rededge	$Rededge = (R_{760} - R_{CH4}) / (\lambda_{760} - \lambda_{680}) * 1000$ 参考: $Rededge = (R_{760} - R_{680}) / (\lambda_{760} - \lambda_{680}) * 1000$
红边位置波长	λ_{rep}	$\lambda_{rep} = 710 + 50[(R_{CH2} - R_{CH4}) / 2 - R_{710}] / (R_{760} - R_{710})$ 参考: $\lambda_{rep} = 710 + 50[(R_{810} - R_{680}) / 2 - R_{710}] / (R_{760} - R_{710})$
红边土壤调整植被指数	$SAVI_{Rededge}$	$SAVI_{Rededge} = 1.5(R_{CH6} - R_{CH4}) / (R_{CH6} + R_{CH3} + 0.5)$ 参考: $SAVI_{Rededge} = 1.5(R_{870} - R_{680}) / (R_{870} + R_{670} + 0.5)$
土壤调整植被指数	SAVI	$SAVI = (R_{CH2} - R_{CH1}) * (1 + 0.5) / (R_{CH2} + R_{CH1} + 0.5)$ 参考: $SAVI = (R_{Nir} - R_{Red}) * (1 + 0.5) / (R_{Nir} + R_{Red} + 0.5)$
转型土壤调整指数	TSAVI	$TSAVI = 10.489(R_{CH2} - 10.489R_{CH1} - 6.604) / (10.489R_{CH2} + R_{CH1} - 69.269)$ 参考: $TSAVI = 10.489(R_{Nir} - 10.489R_{Red} - 6.604) / (10.489R_{Nir} + R_{Red} - 69.269)$

续表 2

名称 Name	代码 Code	计算方法 Calculation method
修改型二次土壤调整指数	MSAVI2	$MSAVI2 = 0.5[2(R_{CH2} + 1) - \sqrt{2(R_{CH2} + 1)^2 - 8(R_{CH2} - R_{CHI})}]$ 参考: $MSAVI2 = 0.5[2(R_{Nir} + 1) - \sqrt{2(R_{Nir} + 1)^2 - 8(R_{Nir} - R_{Red})}]$
垂直植被指数	PVI	$PVI = 0.5(R_{CH2} - 10.489R_{CHI} - 6.604) / \sqrt{1 + 10.489^2}$ 参考: $PVI = 0.5(R_{Nir} - 10.489R_{Red} - 6.604) / \sqrt{1 + 10.489^2}$
再归一化植被指数	RDVI	$RDVI = \sqrt{NDVI * DVI}$
绿度调节植被指数	GSAVI	$GSAVI = 1.5(R_{CH2} - R_{CH4}) / (R_{CH2} + R_{CH4} + 0.5)$ 参考: $GSAVI = 1.5(R_{Nir} - R_{Green}) / (R_{Nir} + R_{Green} + 0.5)$

表 3 根据表 2 计算的各样本不同光谱指数

Table 3 Parameters of spectrum reflection ratio calculated by table 2

指数名称 Index name	代 码 Code	灌 2 水(正常) 2 irrigation	灌 1 水(缺 1 水) 1 irrigation	不灌水(缺 2 水) no irrigation
比植被指数	RVI	5.8277	3.1461	1.9893
差植被指数	DVI	0.3302	0.2477	0.1728
归一化植被指数	NDVI	0.7071	0.5176	0.3309
增强植被指数	EVI	0.6139	0.4421	0.2750
红边植被指数	NDVI _{Rededge}	0.6859	0.4881	0.2663
红边斜率	Rededge	3.4697	2.6020	1.5875
红边位置波长	λ_{red}	720.79	692.71	629.69
红边土壤调整植被指数	SAVI _{Rededge}	0.5283	0.3977	0.2609
土壤调整植被指数	SAVI	0.5122	0.3797	0.2536
转换型土壤调整指数	TSAVI	1.1168	1.1961	1.2964
修改型二次土壤调整指数	MSAVI2	1.0151	0.8636	0.7371
垂直植被指数	PVI	-0.3285	-0.3536	-0.3839
再归一化植被指数	RDVI	0.4832	0.3581	0.2392
绿度调节植被指数	GSAVI	0.4849	0.3708	0.2849

表 4 根据表 3 计算的各处理指数值的比值及差值

Table 4 Ratio and difference of Parameters of spectrum reflection calculated by Table 3

指数 Index	灌 2 水指数值 比值(100 * 灌 2 水 / 灌 2 水) Ratio of 2 irrigation index	灌 1 水指数值 比值(100 * 灌 1 水 / 灌 2 水) Ratio of 1 irrigation index	不灌水指数值 比值(100 * 不灌水 / 灌 2 水) Ratio of no irrigation index	差值(灌 2 水指数 比值 - 灌 1 水 指数值比值) Difference(2 irrigation - 1 irrigation)	差值(灌 1 水指数 比值 - 不灌水 指数值比值) Difference(1 irrigation - no irrigation)
RVI	100	54.0	34.1	46.0	19.9
DVI	100	75.0	52.3	25.0	22.7
NDVI	100	73.2	46.8	26.8	26.4
EVI	100	72.0	44.8	28.0	27.2
NDVI _{Rededge}	100	71.2	38.8	28.8	32.3
Rededge	100	75.0	45.8	25.0	29.2
λ_{red}	100	96.1	87.4	3.9	8.7
SAVI _{Rededge}	100	75.3	49.4	24.7	25.9
SAVI	100	74.1	49.5	25.9	24.6
TSAVI	100	107.1	116.1	-7.1	-9.0
MSAVI2	100	85.1	72.6	14.9	12.5
PVI	100	107.6	116.8	-7.6	-9.2
RDVI	100	74.1	49.5	25.9	24.6
GSAVI	100	76.5	58.7	23.5	17.7

3 讨 论

一年的田间观测试验初步表明,在宁南山区,冬小麦灌浆期与乳熟期的冠层光谱反射趋势类似,具有一般绿色植物的特征,但不同波段的反射率有所不同,这和其他研究者的结论吻合^[18]:在 310 ~ 570 nm 段两个时期的反射率较为接近,但在 570 ~ 718 nm 段乳熟期反射率明显比灌浆期高,而从 718 nm 开始,乳熟期反射率明显小于灌浆期,到 1 100 nm 左右两者的反射率又变得较为接近。虽然在 310 ~ 1 130 nm 波段范围内 3 种不同水分处理的冬小麦冠层光谱反射率曲线的形式基本类似,但反射率的大小明显不同:在 360 ~ 741 nm 波段范围,随着缺水程度增加,反射率随之增大,并且增加幅度基本一致;在 741 ~ 930 nm 波段范围,随着缺水程度增加,反射率随之减小。这同谷艳芳等人在黄淮海地区的研究结果基本一致^[16]。基于以上结果,参照 MODIS 相应通道的光谱范围,计算了可以表征植被生长状况的各种遥感指数,初步筛选出对干旱响应相对敏感的指数是 RVI、NDVI、EVI,在实际应用这些指数监测宁南山区冬小麦干旱情况时,根据具体情况可优先在 RVI 和 NDVI 中选择,其次可以考虑选用 EVI。

参 考 文 献:

- [1] 鲁向晖,隋艳艳,高 鹏,等.宁夏南部山区不同耕作方式对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):35—39.
- [2] 王龙昌,贾志宽.宁南山区冬小麦覆膜补灌试验研究[J].西北农业学报,1999,8(4):83—86.
- [3] 李 强,赵伯图,李淑英,等.宁南山区冬小麦越冬死苗原因及保苗措施[J].宁夏农林科技,1997,(3):47—49.
- [4] 张万宝,骆安胜.宁南山区客灌农业非充分灌溉制度试验[J].宁夏农林科技,2003,(5):9—10.
- [5] 卢 玲,李 新, Frank Veroustraete. 黑河流域植被净初级生产力的遥感估算[J].中国沙漠,2005,25(6):823—830.
- [6] 宋 怡,马明国.基于 SPOT VEGETATION 数据的中国西北植被覆盖变化分析[J].中国沙漠,2007,27(1):89—93,173.
- [7] 祈 元,王一谋,王建华,等.基于遥感和 GIS 技术的荒漠化动态分析——以宁夏盐池为例[J].中国沙漠,2005,23(3):275—279.
- [8] 李青侠,张 靖,郭 伟,等.微波辐射计遥感海洋盐度的研究进展[J].海洋技术,2007,26(3):58—63.
- [9] 袁玉江,胡列群.塔克拉玛干沙漠腹地冬季地面反射光谱特征初探[J].中国沙漠,1999,19(1):23—27.
- [10] 傅国斌,刘昌明.遥感技术在水文学中的应用与研究进展[J].水科学进展,2001,12(4):547—559.
- [11] Wang J H, Huang W J, Zhao C J. Estimation of leaf biochemical components and grain quality indicators of inter wheat from spectral reflectance[J]. Journal of Remote Sensing, 2003, 7(4):277—284.
- [12] 王小平,郭 妮.遥感监测干旱的方法及研究进展[J].干旱气象,2003,21(4):76—81.
- [13] Yang Keming, Chen Yunhao, Guo Dazhi, et al. Spectral information detection and extraction of wheat stripe rust based on hyperspectral image[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 31(1):145—150.
- [14] Cheng Y B, Zarco-Tejada P J, Riso D, et al. Estimating vegetation water content with hyperspectral data for different canopy scenarios: Relationships between AVIRIS and MODIS indexes[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 105(4):354—366.
- [15] 姚云军,秦其明,张自力,等.高光谱技术在农业遥感中的应用研究进展[J].农业工程学报,2008,24(7):301—306.
- [16] 谷艳芳,丁圣彦,陈海生,等.干旱胁迫下冬小麦 (*Triticum aestivum*) 高光谱特征和生理生态响应[J].生态学报,2008,28(6):2690—2697.
- [17] 赵春江,黄文江,王纪华,等.不同品种、肥水条件下冬小麦光谱红边参数研究[J].中国农业科学,2002,35(8):980—987.
- [18] 张 凯,郭 妮,王小平,等.陇中黄土高原春小麦光谱反射特征[J].生态杂志,2008,27(3):369—373.

Characters of spectrum of winter wheat canopy and its response to drought in the mountainous region of south Ningxia

ZHANG Lei^{1,2}, LIU Jing^{1,2}, ZHANG Xue-yi², HAN Ying-juan², YUAN Hai-yan²

(1. Ningxia Key Lab for Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan, Ningxia 750002, China;

2. Ningxia Meteorological Science Institute, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: The canopy spectrum characters were observed, by Unispec - SC mono channel portable spectrograph, in the Zhongyin - 16 winter wheat fields under different water supply treatments arranged at Longde county. According to many vegetation index methods calculated by MODIS data, the vegetation indexes by canopy spectrum observation data were calculated and selected which responded to drought sensitively. The result shows that the canopy spectrum difference between various drought treatments is in evidence in the period of milky and filling. Although the spectrum curves are similar, the reflection rate in most of spectrum band is different. We should select RVI and NDVI first, and EVI second, to monitor winter wheat drought in south Ningxia.

Keywords: mountainous region of south Ningxia; winter wheat; spectrum character; drought