

半湿润雨养农业区油菜冠层反射光谱与覆盖度的相关分析

王 静, 郭 锐, 王小平, 邓超平, 郭海英, 黄 斌, 张谋草, 王银珍

(中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,

中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘 要: 以黄土高原甘肃庆阳西峰为半湿润雨养农业区典型代表, 分析研究油菜营养生长阶段苗期、蕾苔期和生殖生长阶段初期开花始期的冠层反射光谱特征与其覆盖度的相关性。结果表明, 这几个时期油菜覆盖度与 450、550、650、850、1650nm 波段反射率存在明显的相关关系, 尤其是蕾苔期, 相关关系达到极显著水平。另外, 研究了 10 个常用的植被指数同油菜覆盖度间的相关关系, 这 10 个植被指数同油菜覆盖度存在着极显著的相关关系, 相关性高于同单波段反射率间的关系。并且, 利用各时期最优的 2 个植被指数建立了油菜覆盖度线性及非线性回归监测模型, 方程的拟合度都较好。苗期, 线性和非线性回归模型拟合程度差异不大, 蕾苔期, 以线性方程拟合精度较其它方程高; 开花始期则以指数模型拟合精度高。

关键词: 油菜; 反射光谱; 覆盖度; 植被指数; 相关性

中图分类号: S565.401 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)04-0230-05

地面覆盖度指植株覆盖地面的百分比, 目前这一参数在农业方面应用较少, 但实际上它可以反映作物前期营养生长阶段的生长状况, 而营养阶段的生长状况对作物后期产量形成具有重要作用。随着遥感技术的发展, 愈来愈多的学者研究发现作物地面覆盖度可以反映作物对光的截获能力, 较其它农学指标更能敏锐反映作物的光谱特性^[1,2], 因此逐渐成为农学家们利用新技术估测作物后期产量的一个桥梁因素而愈来愈受到关注^[3]。因此, 估测农作物的覆盖度对指导农业生产管理和农业生态系统评价有重要的意义。

遥感监测作物覆盖度主要是利用作物不同覆盖度可以影响作物光谱吸收, 形成特有的反射光谱特征关系实现的。该方法已成为目前农作物覆盖度监测的重要技术手段。目前, 有关利用遥感技术对作物覆盖度进行监测的研究, 国内已有相关报道^[3], 尤其是随着地面遥感监测技术的迅速发展更受到越来越广泛关注。地面遥感技术能精确、实时地观测作物光谱特征, 对作物覆盖度进行精确监测, 而不会存在大气效应等因素的干扰, 同时可与卫星遥感配合, 提高卫星遥感监测作物覆盖度的精度, 是卫星定量遥感的基础, 对提高卫星遥感服务精度和水平具有重要意义。

甘肃省庆阳市位于陇东黄土高原, 是甘肃第二大产粮区, 属于典型的半湿润雨养农业区, 油菜种植面积大, 因此通过简单易行的地面遥感手段监测油菜前期覆盖度对于估测农业生产状况是极为有价值的。另外, 该区位于甘肃东部黄土高原腹地的董志塬中部, 董志塬是黄土高原最大的塬区, 地势平坦, 也为地面遥感监测提供了很好的基础。为此, 本文利用地面遥感监测资料重点分析了该地油菜营养生长阶段苗期、蕾苔期和生殖生长阶段初期开花始期的冠层反射光谱特征与其覆盖度的相关性, 并建立相应的监测模型, 为利用光谱法监测油菜覆盖度和预估其后期产量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 自然概况

本试验在甘肃省庆阳市西峰区(35°35'N, 107°38'E)进行, 海拔 1 335 m, 冬季寒冷漫长, 夏季炎热干燥, 春季升温快, 秋季降水足, 年均日照 2 490 h, 年均温度 9.6°C, 年降水 556 mm, 无霜期 181 d, 该区土壤为黄绵土。

1.2 试验方法

选取该乡生长状况良好, 范围较大的大片冬油菜地为观测点(东经 107°38.601'~107°38.690', 北

收稿日期: 2006-07-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(40375011)

作者简介: 王 静(1978—), 女, 陕西汉中, 硕士, 助理研究员, 主要从事生态学研究。E-mail: wangjing1102@tom.com 或 wangjing1102@126.com

纬 35°35.991'~35°35.802'), 在油菜生长的主要生育期(苗期、蕾苔期、开花始期)进行观测,每次观测均在该片农田上随机确定 10 个面积为 1 m×1 m 的样区,观测该小区光谱反射率及覆盖度。

光谱反射率的测定:采用两法国 CIMEL 公司生产的 CE313-2 五波段地物光谱仪于晴天上午 10:00 进行观测,一台观测目标,另一台观测白板。仪器由一个光学探头和一个高度密封的电子控制箱组成,探头视场角为 10°。仪器的波段宽度为 428~472 nm、514~584 nm、621~671 nm、787~883 nm、1 555~1 699 nm,中心波段分别为 450、550、650、850 和 1 650 nm。观测前将两台仪器时间调成一致(精确到秒),将一台仪器探头固定在厂家特制的支架上,支架上的方向轮保持探头始终垂直地面,观测时探头离地面高度为 3 m。将另一台仪器固定在另一个支架上观测标准参考板,探头垂直于白板,离白

板距离为 0.5 m,并保证白板水平。每一个观测小区重复观测 5 次(以平均值计),观测白板仪器在相同时间进行观测,最后每个样本数据利用白板进行校正,并计算光谱反射率。

覆盖度的测定:采用目测法估计样区覆盖度。

1.3 植被指数的计算

计算 10 个常用植被指数 *NDVI*(归一化植被指数)、*EVI*(增强植被指数)、*RVI*(比值植被指数)、*DVI*(差值植被指数)、*SAVI*(土壤调整指数)、*MSAVI*(修改型土壤调整指数)、*RDVI*(再归一化植被指数)、*NIR/G*(近红外与绿光波段的比值)、*PVI*(垂直植被指数)(表 1)^[7~14],其中红波段采用 650 nm 的反射率,近红外波段采用 850 nm 的反射率,蓝波段采用 450 nm 的反射率,绿波段采用 550 nm 的反射率。

表 1 常见植被指数的计算公式
Table 1 Vegetation indexes formulase

植被指数 Vegetation indexes	计算公式 Formulase	来源 Reference
归一化植被指数 <i>NDVI</i>	$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red}}$	Rouse, 等 ^[4]
增强植被指数 <i>EVI</i>	$EVI = 2.5 \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{L + \rho_{NIR} + C_1 \rho_{Red} - C_2 \rho_{Blue}}, \quad L = 1, C_1 = 6, C_2 = 7.5$	Liu & Huete ^[5]
比值植被指数 <i>RVI</i>	$RVI = \rho_{NIR} / \rho_{Red}$	Pearson & Miller ^[6]
差值植被指数 <i>DVI</i>	$DVI = \rho_{NIR} - \rho_{Red}$	Jordan ^[7]
土壤调整指数 <i>SAVI</i>	$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L} (1 + L), \quad L = 0.5$	Huete ^[8]
修改型土壤调整指数 <i>MSAVI</i>	$MSAVI = \frac{1}{2} [2(\rho_{NIR} + 1) - \sqrt{(2\rho_{NIR} + 1)^2 - 8(\rho_{NIR} - \rho_{Red})}]$	Qi, 等 ^[9]
再归一化植被指数 <i>RDVI</i>	$RDVI = \sqrt{NDVI \times DVI}$	Reujean & Breon ^[10]
近红外与绿光波段的比值 <i>NIR/G</i>	$NIR/G = \rho_{NIR} / \rho_{Green}$	Shibayama & Akiyama ^[11]
转换型植被指数 <i>TVI</i>	$TVI = \sqrt{NDVI + 0.5}$	Rouse, 等 ^[4]
垂直植被指数 <i>PVI</i>	$PVI = \frac{\rho_{NIR} - a\rho_{Red} - b}{\sqrt{1 + a^2}} \quad a = 10.489, b = 6.604$	Richardson & Wiegand ^[12]

注: $\rho_{NIR}, \rho_{Red}, \rho_{Blue}, \rho_{Green}$ 指近红外、红、蓝、绿波段反射率; L 指土壤调节参数; C_1, C_2 指大气修正参数; a, b 指线土壤系数。

Note: $\rho_{NIR}, \rho_{Red}, \rho_{Blue}, \rho_{Green}$ mean reflectance at NIR, red, blue and green band, respectively; L mean soil adjustment factor; C_1 and C_2 mean atmosphere correction factor; a and b mean soil line coefficients.

2 结果与分析

2.1 油菜覆盖度与单波段反射率的相关性

油菜覆盖度与单波段反射率的相关性分析表明,油菜覆盖度与 450、550、650、1 650 nm 波段反射率呈负相关关系,光谱反射率越高,油菜覆盖度越低;与 850 nm 波段反射率呈正相关关系,植株在 850 nm 波段的光谱反射率越高,油菜覆盖度越高。这主要与植物的反射光谱特性有关,作物在蓝光谱

段,反射率低,在绿光谱段,形成反射率小峰,在红光光谱段,反射率也较低,尤其是在 650 nm 处,达到一个低谷,但在 850 nm 左右,反射率达到最高峰,之后在 1 300 nm 较快下降,在近红外波段,总体来说趋势则是下降的,因此油菜覆盖度与不同波段反射率形成不同的相关关系。

油菜苗期、蕾苔期、开花始期覆盖度与各波段反射率相关关系不同(表 2)。苗期,油菜覆盖度与 450、650 nm 波段存在极显著相关关系,与 1 650 nm

波段存在显著相关关系,与 550 和 850 nm 波段关系不显著;蕾苔期,与各波段反射率均存在极显著相关关系;开花始期,与 650、850、1 650 nm 波段反射率存在极显著相关关系,与 450 nm 波段存在显著相关关系,与 550 nm 波段关系不显著。从生育期看,蕾苔期油菜覆盖度与单波段反射率的相关性最强。

另外,油菜覆盖度与 650 nm 波段反射率的相关性最强,与 450、850 和 1 650 nm 波段反射率相关性次之,与 550 nm 波段反射率相关性较小。因此,在利用单波段反射率监测油菜覆盖度时,采用 650 nm 波段更好些。

表 2 不同生育期油菜覆盖度与单波段光谱反射率的相关性 ($n=10$)

Table 2 Relativity between rape coverage and single band reflectance in different growth stages

生育期 Growth stages	波段 Band (nm)				
	450	550	650	850	1650
苗期 Seedling	-0.796**	-0.601	-0.855**	0.618	-0.762*
蕾苔期 Budding	-0.895**	-0.845**	-0.872**	0.780**	-0.847**
开花始期 Early flowering	-0.705*	-0.486	-0.778**	0.859**	-0.850**

注:*,**分别表示 0.05 和 0.01 水平上显著。Notes: * and ** mean significant differences at $P=0.05$ and $P=0.01$, respectively.

2.2 不同植被指数与油菜覆盖度的相关性分析

植被指数是不同遥感光谱波段间的线性和非线性组合,可反映绿色植物生物参量特征,我们根据各植被指数的特点,选择了 10 种植被指数分析油菜覆盖度同植被指数的相关性(表 3)。大量研究表明,各植被指数在监测植物覆盖度时,同植被覆盖度均存在良好的相关性,但不同植被指数监测效果不同。其中,RVI 在植被覆盖度较高时效果较好;NDVI 对绿色植物非常敏感,尤其适用于低覆盖度状态^[13];EVI 可同时消除土壤和大气的影 响,常用于目前卫星遥感中^[14];RVI 适应于高密度状态下的植被,当植被覆盖度低于 50% 时,效果不理想;DVI 能较好地反映植被覆盖度的变化,但当覆盖度大于 80%,对植被的敏感性降低;SAVI 适合于小范围、覆盖度变化较小的植被,可减少土壤和植被冠层背景的干扰;MSAVI 可增强植被信号,最大限度地消除土壤干扰^[15];RDVI 可用于高低两种覆盖度下监测^[16];NIR/G 主要是根据植被和土壤在可见光区反射率的差异建立的,目前常用于农田监测^[17];PVI 是基于土壤背景线指数发展的,受土壤亮度影响小^[13]。

油菜覆盖度与植被指数间的相关性结果表明,

同一时期,植被指数与油菜覆盖度的相关性高于单波段反射率与油菜覆盖度的相关性,油菜苗期、蕾苔期和开花始期覆盖度与各植被指数的相关性均达到了极显著水平,相关系数均在 0.8 以上,尤其是蕾苔期油菜覆盖度与植被指数的相关性又高于其它两个时期,这一阶段除 PVI 指数外,其它指数与覆盖度的相关系数都达到了 0.9 以上。不同时期、不同植被指数与油菜覆盖度的相关性也不一样,分别是苗期以 NDVI 和 TVI、蕾苔期以 RVI 和 NIR/G、开花始期以 DVI 和 MSAVI 与覆盖度的相关性最强。

2.3 油菜覆盖度监测模型的建立

根据以上分析,我们可知光谱植被指数与油菜覆盖度间存在着极显著的相关关系,利用它们之间的这种关系用光谱植被指数进行油菜覆盖度监测,以提供油菜早期的生长状况是可行的。因此,我们建立了各生育期光谱植被指数同覆盖度间的线性及非线性回归监测模型,非线性回归模型采用常用的指数和对数模型。由于不同生育期不同植被指数和覆盖度间的相关性存在差异(表 3),因此各生育期选取相关性最强的两个植被指数建立油菜覆盖度的监测模型(表 4)。

表 3 不同生育时期油菜覆盖度与植被指数间的相关性 ($n=10$)

Table 3 Relativity between VI and rape coverage in different growth stages

生育期 Growth stages	植被指数 Vegetation indexes									
	NDVI	EVI	RVI	DVI	SAVI	MSAVI	RDVI	NIR/G	TVI	PVI
苗期 Seedling	0.913**	0.893**	0.893**	0.827**	0.887**	0.831**	0.89**	0.899**	0.914**	0.903**
蕾苔期 Budding	0.949**	0.954**	0.977**	0.953**	0.953**	0.957**	0.952**	0.976**	0.941**	0.891**
开花始期 Early flowering	0.866**	0.877**	0.842**	0.881**	0.876**	0.882**	0.875**	0.791**	0.868**	0.807**

注:*,**分别表示 0.05 和 0.01 水平上显著。Notes: * and ** mean significant differences at $P=0.05$ and $P=0.01$, respectively.

表4 油菜覆盖度监测模型($n=10$)
Table 4 The monitoring models of rape coverage

生育期 Growth stages	植被指数 Vegetation indexes	线性模型 Linear models	R^2	对数模型 Non-linear models	R^2	指数模型 Non-linear models	R^2
苗期 Seedling	NDVI	$y = 171.1NDVI - 34.591$	0.834	$y = 93.097\ln(NDVI) + 116.92$	0.837	$y = 10.319e^{3.0715NDVI}$	0.822
	TVI	$y = 350.76TVI - 299.45$	0.835	$y = 358.98\ln(TVI) + 51.661$	0.836	$y = 0.0882e^{6.3037TVI}$	0.825
蕾苔期 Budding	RVI	$y = 20.433RVI - 21.103$	0.954	$y = 38.258\ln(RVI) - 5.5221$	0.916	$y = 1.5643e^{1.1839RVI}$	0.944
	NIR/G	$y = 23.277(NIR/G) - 34.062$	0.952	$y = 51.189\ln(NIR/G) - 22.221$	0.921	$y = 0.7185e^{1.3609(NIR/G)}$	0.960
开花始期 Early flowering	DVI	$y = 331.3DVI - 17.289$	0.777	$y = 43.772\ln(DVI) + 117.07$	0.761	$y = 3.9831e^{13.132DVI}$	0.806
	MSAVI	$y = 228.96MSAVI - 95.907$	0.778	$y = 125.01\ln(MSAVI) + 105.39$	0.779	$y = 0.1763e^{9.0777MSAVI}$	0.808

基于植被指数建立的油菜覆盖度监测模型结果如表4所示,从表中可以看出油菜苗期、蕾苔期和开花始期所采用的两个植被指数同覆盖度建立的模型,拟合程度都较好,各回归方程的复相关系数都达到了0.7以上,以蕾苔期方程拟合度最好,达到了0.9以上。苗期,线形和非线性回归模型拟合程度差异不大,拟合方程的复相关系数均在0.83左右;蕾苔期,以线性方程拟合精度较其它方程高;开花始期则以指数模型拟合精度高,方程的复相关系数达到0.8以上。

3 结论

通过地面遥感技术监测作物前期生长状况因子——覆盖度已成为监测作物生长、农业生产的一项重要技术手段,对后期作物产量估测起到了良好的作用。本文利用多光谱仪对甘肃省庆阳地区油菜覆盖度与冠层反射光谱间的关系进行了研究,结果发现,油菜苗期、蕾苔期、开花始期覆盖度与单波段反射率间存在明显的相关性,尤其是蕾苔期,相关关系达到了极显著水平;与450、550、650、1650 nm波段反射率呈负相关关系,与850 nm波段反射率呈正相关关系。另外选取了10个常用植被指数,探讨了植被指数同油菜覆盖度的相关关系。这10个植被指数同油菜覆盖度在油菜苗期、蕾苔期、开花始期相关性均高于同单波段反射率的相关性,相关关系均达到极显著水平,因此,利用植被指数同覆盖度间的关系监测油菜生长明显优于利用单波段反射率监测油菜生长。不同植被指数同覆盖度的相关性存在部分差异,苗期以NDVI和TVI,蕾苔期以RVI和NIR/G,开花始期以DVI和MSAVI与覆盖度的相关性最强。为了进一步发挥地面遥感技术的监测作用,因此利用各时期相关性最强的2个植被指数建立了油菜覆盖度监测线性回归与非线性回归模型,方程的拟合度都较好,但苗期,线形和非线性回归模

型拟合程度差异不大,蕾苔期,以线性方程拟合精度较其它方程高;开花始期则以指数模型拟合精度高。

参考文献:

- [1] Stanhill G, Kafkafi U, Fuchs M, et al. The effect of fertilizer application on solar reflectance from a wheat crop[J]. Israel J agric Res, 1972, 22(2): 109-118.
- [2] Wanjura D F, Hatfield J L. Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass[J]. Transactions of the ASAE, 1987, 30(3): 811-816.
- [3] 李存军,赵春江,刘良云,等. 红外光谱指数反演大田冬小麦覆盖度及敏感性分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 159-163.
- [4] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation[R]. Greenbelt, MD, USA: NASA/GSFC, 1974. 1-371.
- [5] Liu H Q, Huete A R. A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise[J]. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 1995, 33: 457-465.
- [6] Pearson R L, Miller D L. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie[A]. Pawnee National Grasslands[C]. Michigan: Ann Arbor, 1972. 1357-1381.
- [7] Jordan C F. Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor[J]. Ecology, 1969, 50: 663-666.
- [8] Huete A R. A soil-adjusted vegetation index(SAVI)[J]. Remote Sensing of Environment, 1988, 25: 295-309.
- [9] QI J, A Chehbouni, Huete A R, et al. A modified soil adjusted vegetation index[J]. Remote Sensing of Environment, 1994, 48: 119-126.
- [10] Reuveau J L, F M Breon. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 51: 375-384.
- [11] Shibayama M, T Akiyama. Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass[J]. Remote Sensing of Environment, 1989, 27: 119-127.
- [12] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from soil background information[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1977, 43: 1541-1552.

- [13] 田庆久, 闵祥军. 植被指数研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(4): 327—333.
- [14] 王正兴, 刘 闯, H Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR—NDVI 到 MODIS—EVI[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 979—987.
- [15] 牛志春, 倪绍祥. 青海湖环湖地区草地植被生物量遥感监测模型[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 695—702.
- [16] 弋良朋, 尹林克, 王雷涛. 基于 RDVI 的尉犁绿洲植被覆盖动态变化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(6): 66—71.
- [17] 薛利红, 曹卫星, 罗卫红, 等. 光谱植被指数与水稻叶面积指数相关性的研究[J]. 植物生态学报, 2004, 28(1): 47—52.

Correlation analysis of canopy reflectance and coverage of rape in semi-wet rainfed agriculture area

WANG Jing, GUO Ni, WANG Xiao-ping, DENG Chao-ping, GUO Hai-ying,
HUANG Bin, ZHANG Mou-cao, WANG Yin-zhen

(Lanzhou Institute of Arid Meteorology, CMA, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster,
Key open laboratory of arid climate change and disaster reduction of CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China)

Abstract: The relationship between coverage and canopy reflectance of rape in seedling, budding and early flowering stage in Xifeng district of Qingyang City was studied. The result showed that rape coverage had a distinct correlation with the spectral reflectance of 450, 550, 650, 850 and 1 650 nm band. And especially in budding stage, this correlation was very significant. In addition, the correlations of ten normal vegetation indexes with coverage were proved, which are more significant than those with single band reflectance. By using the best two VI monitoring models about coverage were constructed, and the fitting degrees are better. But in seedling stage the differences of linear and non-linear regression models are indistinct, in budding stage the linear equation is better, and in early flowering stage the exponential equation is better.

Key words: rape; reflectance spectra; coverage; vegetation index; correlation

(上接第 224 页)

The study on physiological characteristics of root system in transgenic(BADH) rice under dry cultivation

SUN Yao-zhong, DONG Fang-yang

(Dept. of Life Sciences, Hebei Normal University of Science & Technology, Changli, Hebei 066600, China)

Abstract: Experiment was conducted in combining the field cultivation and the indoor cultivation in a pot method to study the physiological characteristics of root system in transgenic(BADH) rice after flowering. The result indicated that the transgenic rice has obvious advantages under dry cultivation, and can keep higher SOD and POD activation, while malondialdehyde(MDA) content declines; the high soluble sugar content can adjust the whole cell osmotic potential of cell and reduce the injury to the root system of harmful ion; the root activity in transgenic rice after flowering by water stress is higher than its parents Zhonghua⁸, which proved that transgenic(BADH) rice can slow down the aging of the root system. These characteristics might be helpful for the maintenance of root physiological activity during the graining filling period of varieties of transgenic(BADH) rice genotype——52—7.

Key words: rice; transgenic rice; dry cultivation; root system; physiological characteristic