

红外光谱指数反演大田冬小麦覆盖度及敏感性分析

李存军^{1,2}, 赵春江², 刘良云², 王纪华², 王人潮¹

(1. 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 杭州 310029; 2. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089)

摘 要: 植被的覆盖度能反映植被对光的截获、指示植物的生物产量等。常用的红光/近红外构成的植被指数能指示作物覆盖度, 但它们易受到不确定因素的影响, 估测结果往往偏差较大。该文以冬小麦为例, 研究了利用近红外和短波红外光谱指数估测覆盖度的可行性, 并评价了这些指数对品种、肥水处理和叶色的敏感性。试验中对冬小麦用数码相机垂直成像获取照片, 利用分类算法自动提取覆盖度。根据同步获取的冬小麦光谱特征, 构造了 56 个红外比值和 28 个红外归一化光谱指数, 并选取了 8 个基于红光近红外的植被指数, 利用通用线性模型 (GLM) 评价它们对覆盖度的预测能力及敏感性分析。结果表明, 短波红外光谱指数 R_{1690}/R_{1450} , R_{1450}/R_{1690} 及 $(R_{1450} - R_{1690})/(R_{1450} + R_{1690})$ 等不易受品种、肥水管理及叶色的影响, 能很好地预测大田冬小麦覆盖度。

关键词: 覆盖度; 光谱指数; 敏感性分析; 反演

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0159-06

0 引言

地面覆盖度 (被叶片覆盖的地面百分比) 能反映植被对光的截获能力, 指示植被的生物产量^[1,2], 是农学家、生态学家所关心的一个重要参数。随着精准农业的发展, 遥感已成为反演作物肥水胁迫、监测长势, 为最优化农业生产管理提供决策信息的重要工具。植被的光谱反射率受覆盖度影响显著。Stanhill (1972) 指出作物光谱吸收的差异是由于生物量和覆盖度的不同引起的^[3]。Wanjura 和 Hatfield (1987) 认为遥感植被指数受覆盖度的影响要大于干或鲜生物量或 LAI 等其他的参数^[4]。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。

植被在红光区的光谱反射率主要由单位土地面积上的叶绿素密度决定。植被近红外区光谱反射率主要由细胞结构以及叶面积指数决定^[5]。故叶绿素密度的变化会影响与红光区有关的光谱指数。而叶面积指数及地面覆盖度的变化影响近红外区光谱反射率。

近红外和短波红外区的光谱反射率主要由植被的水分含量和下垫面的特性决定^[6,7]。

故利用遥感进行植被参数反演时会受到不确定因素的影响, 使遥感模型的普适性差, 若在大范围大区域内使用则预测精度低。

通常红光与近红外波段被用于区分植被与非植被 (水体、土壤、岩石等)。利用这两个波段的多种组合指数已被广泛地用于监测植被和农作物, 如: NDVI^[8], RVI^[9], PVI^[10], WDI^[11], SAVI^[12], TSAVI^[13], MSAVI^[14]。其中比值植被指数 RVI 和归一化植被指数

NDVI 易获取且能较好地反映植被特征而被广泛的使用。

Tim 以甜菜为对象比较了比值和归一化的红外光谱指数估测覆盖度, 评价了这些指数对叶色和土壤背景的敏感性^[15]。Vaesen 以水稻为对象研究了红光近红外组合的 4 种植被指数对覆盖度的预测能力, 评价了这些指数对水体的浑浊度、背景、品种及氮肥处理的敏感性^[16]。Bradley 以高秆草为研究对象, 研究了 3 种红光近红外组合的植被指数对覆盖度的预测能力^[17]。

品种、肥力和灌溉条件是决定作物的生长变化, 生长状态, 生长活力的重要原因。而覆盖度、叶面积指数和生长活力等指标反映了作物的生长状态。因此, 准确提取覆盖度信息对于监测作物生长发育和估测作物的生产力具有重要意义。然而, 迄今建立的以植被指数为主的遥感监测模型受不同品种及肥水处理的影响较大, 给实际应用带来一定的困难。

本文的目的是研究不同小麦品种、肥、水及叶片颜色 4 种因素对光谱指数估测冬小麦地面覆盖度的影响, 并筛选出有好的预测能力且对上述因素的不同处理不敏感的最佳光谱指数。

1 材料和方法

1.1 试验地点

冬小麦试验中数据获取和农学参数测定于 2002 年生长季在国家精准农业示范基地进行。该基地位于北京市昌平区, 地理位置是 40°10'6"N 到 40°11'2"N, 116°26'3"E 到 117°27'0"E。

1.2 试验设计

试验设计要满足以下目的。

- 1) 供试品种的株型具有典型的叶倾角分布。
- 2) 肥水处理要有代表性, 并反映生产中不同管理水平下的叶色差异。
- 3) 通过肥水管理和密度调节, 使因变量 (覆盖度) 的梯度范围足够大以便于测试。

据此, 冬小麦的品种选择披散型的‘中优 9507’ (简

收稿日期: 2003-12-31 修订日期: 2004-05-12

基金项目: 北京市自然科学基金 (6021002); 国家 863 项目 (2003AA 209040) 资助

作者简介: 李存军, 男, 博士生, 主要从事数字影像分析处理, 遥感信息模型, 遥感与 GIS 的应用研究。杭州 浙江大学农业遥感与信息技术应用研究所, 310029

通讯作者: 王纪华, 研究员, 北京 2449 信箱 26 分箱 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089。Email: w-jihua@263.net

称 95), 较紧凑型品种的‘京冬 8 号’(简称 J8)和介于二者中间品种的‘京 9428’(简称 94)。每个品种均设 4 种肥处理和 4 种水处理, 以产生胁迫差异。共有 48 个试验小区, 每个小区的面积是 32 4 m × 30 m。4 个氮的处理分别是施纯氮量: 0, 150, 300 和 450 kg/hm²。4 个水处理的分别是灌溉量: 0, 225, 450 和 675 m³/hm²。

1.3 数据采集

1.3.1 地面覆盖度

利用 Sony 数码相机对 48 个小区的小麦冠层进行垂直拍照。3 次照相时间是 3 月 25 日, 4 月 10 日, 4 月 18 日, 分别对应冬小麦的返青期、起身期和拔节期。数码相机拍照时离地面 1.5 m, 与地面垂直。拍照时间是选择晴天当地时间 10:00 到 14:00, 因天气条件的变化, 部分照片是在云的阴影下拍摄的。产生的数字照片像素是 2228 × 1712 像元, 以 JPEG (joint photographic experts group) 格式存贮到计算机中。

由于数码相机产生的是中心投影的影像, 随着视场角的增大, 畸变也增大, 即边缘处变形最大。故只取影像中间的 1284 × 1284 像元进行分析提取小麦覆盖度。提取算法如下:

若像元满足条件: $\begin{cases} R > G \text{ and } R > B \\ 60 < H < 240 \end{cases}$ 则是小麦, 否则为背景土壤(R、G、B 指像元红绿蓝颜色值, H 指像元的色调)。通过编程利用该算法对数字影像进行自动分类。程序包含 4 部分: 读取影像; H 值的计算; 小麦提取, 计算覆盖度; 结果输出。经目视检验, 覆盖度的自动提取精度在 95% 以上。

1.3.2 反射率数据

拍摄数字照片之后, 立即利用 ASD Fieldspec FR 2500 光谱仪测定反射率, 该光谱仪的采样间隔为 1.4 nm (350~ 1000 nm 区间)和 2 nm (在 1000~ 2500 nm 区间)。所有光谱测量是在天气晴朗、无风或风速很小小时测量的, 时间范围为上午 10:00~ 14:00。视场角 25°; 距地表 130 cm 处垂直测定, 在视场范围内重复 20 次取平均, 各处理测定前后, 进行参考板校正。

1.3.3 叶绿素含量

叶绿素含量的测定采用可见分光光度计法^[18]。本文中利用叶绿素浓度来反映叶色深浅。叶绿素浓度的变化范围是 1.8~ 3.8 (mg/g)。分为两级: 叶色浅(1.8~ 2.8), 叶色深(2.8~ 3.7)。

1.4 数据分析

1.4.1 光谱指数选取与计算

图 1 是 3 个典型的覆盖度的冬小麦光谱反射曲线(覆盖度分别是: 86%, 68%, 50%)。

光谱红外区的吸收特征主要是由于叶片的水分强烈吸收的结果。在覆盖度低时, 土壤背景对光谱贡献大, 随着覆盖度的升高, 土壤的贡献率下降。

8 个窄波段的红外光谱对应于局部最小值或最大值(见图 1 标示)。这 8 个波段(波段宽度 10 nm, 取平均值)的中心波长分别为 780, 980, 1100, 1190, 1280,

1450, 1690, 2230 nm。通过这 8 个波段构造 56 个比值和 28 个归一化光谱指数, 并计算 7 个红光和近红外构成的植被指数, 用于测试反演覆盖度的效果以及对品种、水肥处理及叶色的敏感性。比值光谱指数构成为: R_i/R_j , 归一化光谱指数构成为: $(R_i - R_j)/(R_i + R_j)$ 。7 个红光近红外植被指数如表 1 所示。

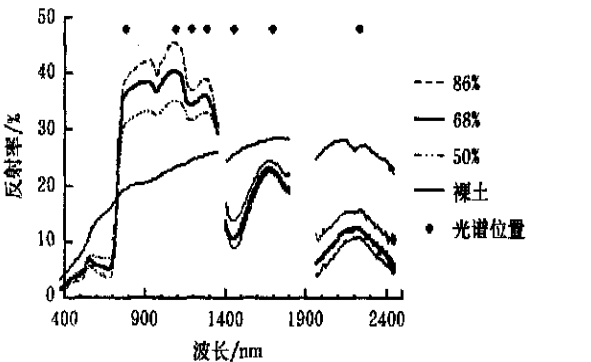


图 1 不同覆盖度的冬小麦光谱曲线
Fig. 1 Spectral curves of winter wheat with different ground coverage

表 1 7 种可见近红外植被指数
Table 1 Seven vegetation indices combined by visible red and near-infrared band

指数	公 式	出 处
PVI	$(\rho_2 - \alpha \rho_1 - \beta) / \sqrt{(\alpha^2 + 1)}$	Richardson, Wiegand, 1977
WDVI	$\rho_2 - \alpha \rho_1$	Clevers, 1989
RV	ρ_2 / ρ_1	Pearson and Miller, 1972
NDVI	$(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1)$	Rouse et al, 1974
SAVI	$(\rho_2 - \rho_1) / (\rho_2 + \rho_1 + L) (1 + L); L = 0.5$	Huete, 1988
TSAVI	$1/2(\rho_2 + 1 - \sqrt{(2\rho_2 + 1)^2 - 8(\rho_2 - \rho_1)})$	Qi et al, 1994
MSAVI	$\eta(1 - 0.25\eta) - (\rho_1 - 0.125) / (1 - \rho_1)$ $\eta = (2(\rho_2^2 - \rho_1^2) + 1.5\rho_2 + 0.5\rho_1) / (\rho_2 + \rho_1 + 0.5)$	Pinty, Verstraete, 1992

表 1 中 ρ_1 、 ρ_2 分别指冠层光谱在红光和近红外波段(中心波长分别是 670 nm 和 800 nm 处, 波段宽度为 10 nm)的反射值。 α β 分别指土壤线的斜率和截距。

土壤线是利用 800 和 670 nm 处的土壤反射率数据回归所得^[19], 见图 2。

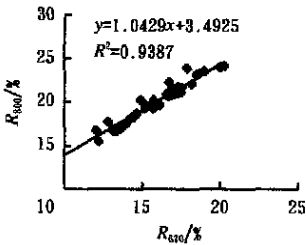


图 2 土壤线
Fig. 2 Soil line of experimental land

1.4.2 光谱指数建模及敏感性分析

对每个光谱指数与覆盖度画散点图, 然后进行回归

分析, 并计算决定系数和预测标准误差。对那些与小麦覆盖度存在显著相关的光谱指数测试它们对品种、肥、水和叶色的敏感性, 相关不显著的光谱指数舍弃。

敏感性分析原理是正交试验设计中的多因素协方差分析。通过协方差分析, 判断用光谱指数反演覆盖度时, 品种、肥、水和叶色因素的不同处理或等级对光谱指数预测覆盖度的模型的影响是否显著, 若在分析的结果中当 $p < 0.05$, 则影响显著, 对该因素不同的处理不能建立统一的反演模型, 该因素敏感; 否则该因素的不同处理对光谱指数反演覆盖度不敏感, 不同的处理可以建立统一的反演模型^[15, 16, 20]。协方差分析是在 SPSS 软件中利用通用线性模型 (General linear Model) 实现的^[21]。

最佳光谱指数选择的标准是光谱指数与覆盖度的线性相关显著, 对各个因素不敏感, 且预测标准误差小。

2 结 果

在试验中共获取冬小麦 144 个样本的数字照片和对应的同步的光谱数据, 所观测到的冬小麦覆盖度的变化范围是 23.6% ~ 86.5%。

2.1 光谱反射率与覆盖度的相关性

由图 3 可见, 波长小于 730 nm 和波长大于 1298 nm 光谱反射率与覆盖度呈负相关。在 350~704 nm、1420~1816 nm 和 1949~1470 nm 的区域, 负相关较大, 形成 3 个平台, 相关系数的绝对值在 0.85 以上。波长在 730~1289 区域, 光谱反射数据与覆盖度呈正相关, 相关系数约在 784 nm 处达到最大, 而正相关的其它区域的相关系数大部分在 0.6 以上。

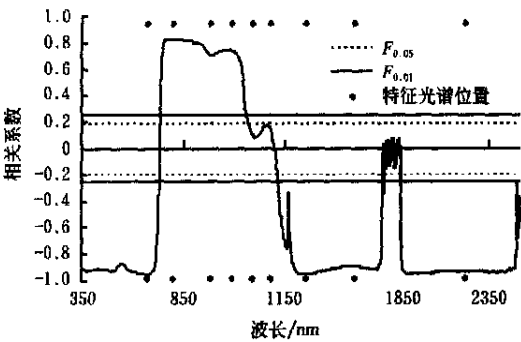


图 3 冠层反射率与冬小麦覆盖度之间的相关系数图 ($F_{0.01}$ 为 F 极显著性检验值, $F_{0.05}$ 为 F 显著性检验值)

Fig. 3 Diagram of correlation coefficients between reflective spectra of winter wheat canopy and ground cover

波长处于 728~734 nm、1157~1313 nm 和 1827~1915 nm 的光谱反射率覆盖度的相关性不显著。

这些结果与 Stanhill^[3]和Wanjura^[4]等人的研究一致。

尽管相关系数比较高, 但单波段易受影响, 具有不确定性, 常常用两个或多个波段构造光谱指数反演植被参数。

2.2 比值光谱指数与覆盖度

构造的 56 个比值光谱指数, 除了 R1190/R1280 和 R1280/R1190 之外的 54 个指数都与覆盖度达到极显著相关 (见表 2, 没达到显著相关水平的光谱指数没在表中列出)。可能的原因是 R1190 和 R1280 数值相差不大。与 RV I (受品种影响) 相比, 近红外中红外光谱指数的对覆盖度的预测能力要好 (R^2 大, 且预测标准误差要小)。

表 2 红外比值指数与覆盖度的关系统计及敏感性分析

Table 2 Statistics of the relationship between infrared ratio spectral indices and ground cover of winter wheat and sensitivity analysis						
指数	R^2	预测标准误差	品种	肥	水	叶色
R 800/R 980	0.85	0.02	n.s.	n.s.	**	n.s.
R 800/R 1100	0.78	0.02	n.s.	n.s.	*	n.s.
R 800/R 1190	0.88	0.04	**	n.s.	**	n.s.
R 800/R 1280	0.88	0.04	*	n.s.	**	n.s.
R 800/R 1450	0.83	0.72	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 800/R 1690	0.86	0.16	**	n.s.	n.s.	n.s.
R 800/R 2230	0.83	0.54	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 980/R 800	0.86	0.02	n.s.	n.s.	**	n.s.
R 980/R 1100	0.58	0.01	***	n.s.	n.s.	***
R 980/R 1190	0.88	0.02	***	n.s.	*	n.s.
R 980/R 1280	0.89	0.02	**	n.s.	*	n.s.
R 980/R 1450	0.83	0.65	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 980/R 1690	0.86	0.14	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 980/R 2230	0.83	0.49	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 1100/R 800	0.78	0.02	n.s.	n.s.	*	n.s.
R 1100/R 980	0.58	0.01	***	n.s.	n.s.	***
R 1100/R 1190	0.86	0.03	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1100/R 1280	0.87	0.03	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1100/R 1450	0.83	0.74	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 1100/R 1690	0.85	0.16	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1100/R 2230	0.83	0.56	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 1190/R 800	0.90	0.03	**	n.s.	*	n.s.
R 1190/R 980	0.90	0.02	**	n.s.	*	n.s.
R 1190/R 1100	0.88	0.02	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1190/R 1450	0.84	0.50	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 1190/R 1690	0.86	0.09	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1190/R 2230	0.84	0.37	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 1280/R 800	0.90	0.04	*	n.s.	**	n.s.
R 1280/R 980	0.90	0.02	**	n.s.	**	n.s.
R 1280/R 1100	0.89	0.02	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1280/R 1450	0.84	0.53	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 1280/R 1690	0.86	0.10	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1280/R 2230	0.84	0.39	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 1450/R 800	0.91	0.06	**	n.s.	n.s.	n.s.
R 1450/R 980	0.90	0.05	**	*	n.s.	n.s.
R 1450/R 1100	0.90	0.05	**	*	n.s.	n.s.
R 1450/R 1190	0.91	0.05	*	*	n.s.	n.s.
R 1450/R 1280	0.91	0.05	**	*	n.s.	n.s.
R 1450/R 1690	0.92	0.04	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
R 1450/R 2230	0.84	0.02	*	n.s.	n.s.	n.s.
R 1690/R 800	0.90	0.06	***	n.s.	n.s.	n.s.
R 1690/R 980	0.89	0.05	***	*	n.s.	n.s.
R 1690/R 1100	0.89	0.05	***	*	n.s.	n.s.
R 1690/R 1190	0.89	0.04	***	*	n.s.	n.s.
R 1690/R 1280	0.88	0.04	***	*	n.s.	n.s.
R 1690/R 1450	0.87	0.18	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

指数	R^2	预测标准误差	品种	肥	水	叶色
R 1690/R 2230	0.86	0.12	*	n s	n s	n s
R 2230/R 800	0.89	0.06	***	*	n s	n s
R 2230/R 980	0.89	0.06	***	*	n s	n s
R 2230/R 1100	0.89	0.05	***	*	n s	n s
R 2230/R 1190	0.89	0.05	***	*	n s	n s
R 2230/R 1280	0.89	0.05	***	*	n s	n s
R 2230/R 1450	0.83	0.03	*	n s	n s	n s
R 2230/R 1690	0.89	0.04	**	*	n s	n s
rvi	0.77	2.28	**	n s	n s	n s

注: ***, $p < 0.001$, 极显著敏感; **, $p < 0.01$, 显著敏感;
*, $p < 0.05$, 敏感; n s, 不敏感, 表 3 表 4 中的含义相同。

利用比值光谱指数对覆盖度进行预测, 经多因素协方差分析可知, 品种是最主要的影响因素, 肥处理次之。其中 44 个光谱指数受品种的影响显著, 14 个指数受肥处理的影响显著, 12 个受水处理的影响, 2 个受叶色的影响显著。

R 1450, R 1690, R 2230 做分子的比值指数受肥影响。有 6 个光谱指数不受这 4 个因素的影响。它们中分母为 1450 nm。

从表 2 可知, 在 4 种影响因素中, 受品种影响的光谱指数最多。试验中 3 个品种株型不同。中优 9507 品种是披散的, 京冬 8 号是直立的, 京 9428 介于二者之间。不同的肥水处理引起胁迫, 而覆盖度的也会不同。由于品种, 肥水不同, 叶片颜色会不同。这些光谱指数中, 只有 R 800/R 1450, R 1100/R 1450, R 1190/R 1450, R 1280/R 1450, R 1690/R 1450, R 1450/R 1690 不受肥水、品种和叶色的影响。

这 6 个指数中, 前 4 个指数的预测标准误差较大, 也不适合用来估测覆盖度。而 R 1450/R 1690、R 1690/R 1450 是估测覆盖度的最佳指数。

R 1450/R 1690 与冬小麦覆盖度散点分布见图 4 所示。

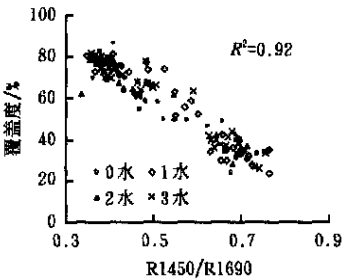


图 4 R 1450/R 1690 与冬小麦覆盖度散点图
Fig 4 Scattergram of spectral index R 1450/R 1690 and ground cover of winter wheat

2.3 归一化光谱指数

利用红外波段构造了 28 个光谱指数, 除了 (R 800 - R 1280)/(R 800 + R 1280) 和 (R 1190 - R 1280)/(R 1190 + R 1280) 外, 其他的归一化红外光谱都与覆盖度相关达到极显著水平 (见表 3)。

从这些光谱指数来看, 品种是最主要的影响因素。

22 个指数受品种影响。5 个指数受肥处理影响。3 个指数受水处理影响。4 个指数受叶色影响。

只有归一化指数 (R 1450 - R 1690)/(R 1450 + R 1690) 预测覆盖度不受品种、肥水处理的影响。

表 3 红外归一化光谱指数与覆盖度关系统计及敏感性分析

Table 3 Statistics of the relationship between infrared nom inized difference spectral indices and ground cover of winter wheat and sensitivity analysis

指数	R^2	预测标准误差	品种	肥	水	叶色
(R 800- R 980)/(R 800+ R 980)	0.54	0.01	n s	n s	*	***
(R 800- R 1100)/(R 800+ R 1100)	0.78	0.01	n s	n s	*	n s
(R 800- R 1190)/(R 800+ R 1190)	0.38	0.02	n s	n s	n s	***
(R 800- R 1450)/(R 800+ R 1450)	0.91	0.06	*	n s	n s	n s
(R 800- R 1690)/(R 800+ R 1690)	0.89	0.04	***	n s	n s	n s
(R 800- R 2230)/(R 800+ R 2230)	0.90	0.06	***	n s	n s	n s
(R 980- R 1100)/(R 980+ R 1100)	0.58	0.00	***	n s	n s	***
(R 980- R 1190)/(R 980+ R 1190)	0.84	0.01	*	n s	n s	n s
(R 980- R 1280)/(R 980+ R 1280)	0.30	0.01	n s	n s	n s	***
(R 980- R 1450)/(R 980+ R 1450)	0.91	0.06	*	n s	n s	n s
(R 980- R 1690)/(R 980+ R 1690)	0.89	0.04	***	n s	n s	n s
(R 980- R 2230)/(R 980+ R 2230)	0.89	0.05	***	*	n s	n s
(R 1100- R 1190)/(R 1100+ R 1190)	0.87	0.01	***	n s	n s	n s
(R 1100- R 1280)/(R 1100+ R 1280)	0.87	0.01	***	n s	n s	n s
(R 1100- R 1450)/(R 1100+ R 1450)	0.91	0.05	**	n s	n s	n s
(R 1100- R 1690)/(R 1100+ R 1690)	0.88	0.04	***	n s	n s	n s
(R 1100- R 2230)/(R 1100+ R 2230)	0.89	0.05	***	*	n s	n s
(R 1190- R 1450)/(R 1190+ R 1450)	0.91	0.05	*	n s	n s	n s
(R 1190- R 1690)/(R 1190+ R 1690)	0.88	0.03	***	n s	n s	n s
(R 1190- R 2230)/(R 1190+ R 2230)	0.89	0.05	**	*	n s	n s
(R 1280- R 1450)/(R 1280+ R 1450)	0.91	0.05	*	n s	n s	n s
(R 1280- R 1690)/(R 1280+ R 1690)	0.88	0.03	***	n s	n s	n s
(R 1280- R 2230)/(R 1280+ R 2230)	0.89	0.05	***	*	n s	n s
(R 1450- R 1690)/(R 1450+ R 1690)	0.91	0.03	n s	n s	n s	n s
(R 1450- R 2230)/(R 1450+ R 2230)	0.84	0.01	*	n s	n s	n s
(R 1690- R 2230)/(R 1690+ R 2230)	0.88	0.03	*	n s	n s	n s
ndvi	0.92	0.05	***	*	n s	n s

2.4 红光近红外植被指数与覆盖度

6 个由红光和近红外反射率构成的指数与覆盖度相关性都很高。其中 4 个受品种影响, 6 个全部受肥处理的影响。2 个受水处理的影响。全部不受叶色的影响 (见表 4)。

表 4 几种常用的红光与近红外光谱植被指数与覆盖度的关系统计及敏感性分析

Table 4 Statistics of the relationship between some red and near-infrared spectral indices and ground cover of winter wheat and sensitivity analysis

指数	R^2	预测标准误差	品种	肥	水	叶色
PV I	0.86	2.11	n.s.	*	*	n.s.
WDV I	0.86	3.05	n.s.	*	*	n.s.
SAV I	0.92	0.07	***	*	n.s.	n.s.
TSAV I	0.92	0.05	***	*	n.s.	n.s.
MSAV I	0.91	0.04	***	*	n.s.	n.s.
n2	0.92	0.06	***	*	n.s.	n.s.

这表明广泛使用的红光和近红外组成的植被指数在大面积大范围遥感反演时可能会受到不确定的因素影响。

3 结论与及讨论

研究结果表明: 由红光波段和近红外波段构成的比值或归一化植被指数反演覆盖度时对冬小麦品种或肥水管理有较高的敏感性。尽管与覆盖度相关显著, 但其估算覆盖度的结果易受不确定因素影响。Leamer, Shibayama 等提出近红外和短波红外作为一种补充的光谱指数来区分土壤和植被^[22, 23]。Hunt, Riggs 等在研究植被水分状况时曾发现, 利用近红外和短波红外构造的光谱指数受植被数量冠层几何形状的影响要大于水分含量的变异^[24, 25]。

本研究发现了一些基于短波红外波段构造的光谱指数有潜力用来估测冬小麦覆盖度, 且不易受品种、肥水处理和叶色的影响。这些指数是 R_{1450}/R_{1690} , R_{1690}/R_{1450} 和 $(R_{1450}-R_{1690})/(R_{1450}+R_{1690})$ 。

不同的品种, 不同肥水处理及不同叶色情况下, 冬小麦的色素含量, 植被的结构, 含水量的差异必然比较大。

红光波段对色素敏感。由近红外和红光波段构造的植被指数如NDV I, RV I, PV I, WDV I, SAV I, TSAV I, MSAV I 等用以估测覆盖度时必然受到影响, 不宜使用统一的模型。

而短波红外的光谱 R_{1450} 和 R_{1690} 除了受覆盖度影响外, 还受水分影响, 但不受色素、植被结构等因素影响。通过将 R_{1450} 和 R_{1690} 进行归一化或比值处理, 从而消除了水分的影响。所以不易受品种、肥水处理和叶色的影响而能准确地估测冬小麦的覆盖度。

目前 Spot, TM, Ikonos, 中巴资源卫星等宽波段遥感数据在农业中广泛使用。本研究结果表明: 从该类产品中提取的NDV I对大面积的区域使用时要谨慎。本文的局限性是供试只有一种土壤背景, 比较单纯, 所得到的结论对于土壤背景变化较大的区域的普适性尚须进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] Bouman B A M, Kasteren H W J. Standard relations to

estimated ground cover and LA I of agricultural crops from reflectance measurements[J]. *Rur J Agric*, 1992, 1, 249-262

[2] Steven M D, Biscoe P V, Jaggard K W, et al. Foliage cover and radiation interception [J]. *Field Crops Research*, 1986, 13, 75- 87.

[3] 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

[4] Wanjura D F, Hatfield J L. Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass [J]. *Transactions of the ASA E*, 1987, 30(3): 811- 816

[5] Kniping E B. Physical and physiological basis for reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation[J]. *Remote Sens Environ*, 1970

[6] Woolley J T. Reflectance and transmittance of light by leaves[J]. *Plant physiology*, 1971, 47: 656- 662

[7] Baret F, Guyot G, Begue A, et al. Complementarity of middle-infrared with visible and near-infrared reflectance for monitoring wheat canopies[J]. *Remote Sens Environ*, 1988, 26(3): 213- 225

[8] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring the vernal advancement retrogradation of natural vegetation [M]. (Final report Type III No. NASA /GSFC). 1974

[9] Pearson R L, Miller L D. Remote mapping of standing crop biomass {br estimation of the productivity of the short grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado, in 8th International Symposium on Remote Sensing the Environment [M]. ER M, Ann Arbor, MI, PP. 1972, 1357- 1381.

[10] Richardson A J, Wiegand C L. Distinguishing vegetation from soil background information [J]. *Photogram Eng Remote Sens*, 1977, 43: 1541- 1552

[11] Clevers J G P W. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture[J]. *Remote Sens Environ*, 1989, 29: 25- 37.

[12] Huete A R. A soil adjusted vegetation index (SAVI) [J]. *Remote Sens Environ*, 1988, 25: 295- 309

[13] Baret F, Guyot G. Potentials and limits of vegetation indices for LA I and APAR assessment [J]. *Remote Sens Environ*, 1991, 35(2- 3): 161- 173

[14] Qi J, Chehbouui A, Huete A R, et al. A modified soil adjusted vegetation index [J], *Remote Sens Environ*, 1994, 48: 119- 126

[15] Tim J. Malthus, Bruno Andrieu, F. Mark Danson, et al. Steven, Candidate High Spectral Resolution Infrared Indices for Crop Cover [J]. *Remote Sens Environ*, 1993, 46: 204- 212

[16] Vaesen K, Gilliam S, Nackaerts K, et al. Ground-measured spectral signatures as indicators of ground cover and leaf area index: the case of paddy rice [J]. *Field Crops Research*, 2001, 69, 13- 25

[17] Bradley C Rundquist. The influence of canopy green vegetation fraction on spectral measurements over native

- tallgrass prairie[J]. Remote Sens Environ, 2002, 81, 129-135
- [18] 张宪政, 陈凤玉, 王荣富. 植物生理学实验技术[M]. 辽宁科技出版社, 1994
- [19] Baret, Baret F, Jacquemoud S, et al. The soil line concept in remote sensing[J]. Remote Sensing Reviews, 1993, 65-82
- [20] 唐守正. 多元统计分析[M]. 北京: 林业出版社, 1984
- [21] 黄 海, 等. spss 10 for windows 统计分析[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2001
- [22] Leamer R W, Noriega J R, Wiegand C L. Seasonal changes in reflectance of two wheat cultivars[J]. Agron J, 1978, 70: 113-118
- [23] Shibayama M, Akiyama T. Seasonal visible, near-infrared and mid-infrared spectra of rice canopies in relation to LAI and above-ground dry phytomass[J]. Remote Sens Environ, 1989, 27: 119-127
- [24] Hunt E R, Rock B N, Nobel P S. Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance[J]. Remote Sens Environ, 1987, 22: 429-435
- [25] Riggs G A, Running S W. Detection of canopy water stress in conifers using the airborne imaging spectrometer[J]. Remote Sens Environ, 1991, 35: 51-68

Retrieval winter wheat ground cover by short-wave infrared spectral indices in field and sensitivity analysis

Li Cunjun^{1,2}, Zhao Chunjiang², Liu Liangyun², Wang Jihua², Wang Renchao¹

(1. Institute of Agriculture Remote sensing and Information Application, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;

2 National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China)

Abstract: The ground cover of vegetation indicated light interceptor of plant, and plant productivity. The red and near-infrared vegetation indices had been employed to predict the ground cover of crop, however these vegetation indices were affected by uncertainty factors such as leaf color, crop cultivar and others. This research focused on the feasibility of predicting ground cover by near infrared and mid-infrared spectral indices which were not sensitive to cultivar, fertilization treatment, irrigation treatment and leaf color. In field the digital photographs of wheat canopy were taken vertically 1.5 m aboveground and then spectra were measured by an ASD FieldSpec FR2500 spectrometer. The ground covers were automatically extracted by a novel image processing procedure based wheat and soil background features. The 8 diagnostic spectral bands in infrared and short-infrared region were selected to calculate 56 ratio indices and 28 normalized difference indices. Also 8 popular red and near-infrared vegetation indices were calculated. The general linear model (GLM) was applied to assess the relationship between ground coverage and spectral indices, and to evaluate whether they were sensitive to cultivar, fertilization treatment, irrigation treatment and leaf color. Results show that red and near infrared vegetation indices to predict ground cover were affected by at least one of the four factors mentioned above, however it is promising that some infrared indices, such as R_{1690}/R_{1450} , R_{1450}/R_{1690} , $(R_{1450} - R_{1690})/(R_{1450} + R_{1690})$, predict ground cover of wheat well and they are not sensitive to cultivar, fertilization treatment, irrigation treatment and leaf color.

Key words: ground coverage; spectral indices; sensitivity analysis; retrieval