

基于多时相和多角度光谱信息的作物株型遥感识别初探

黄文江^{1,2}, 王纪华¹, 刘良云¹, 王锦地², 谭昌伟¹, 李存军¹, 王之杰¹, 宋晓宇¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089; 2 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 作物群体具有一定的冠层几何结构(株型), 对于不同株型的品种, 在相同的叶面积指数时冠层反射光谱往往不同, 使得利用冠层反射光谱来反演叶面积指数等生物物理和生物化学参数时存在不同株型产生的误差, 该文定量研究了不同叶面积指数条件下, 作物株型对冠层反射光谱的影响, 并提出运用波长 800 nm 处起身期的冠层反射光谱与该波长处拔节期和起身期冠层反射光谱的比值, 可以初步实现高密度披散型品种、低密度披散型品种、高密度中间型品种、低密度中间型品种、高密度直立型品种和低密度直立型品种的遥感识别, 结合一定条件下选取的 15°30 和 45° 观测天顶角下, 与可见光和近红外波段(波长)处的二向反射冠层反射光谱数值大小进行结合, 可以初步实现作物株型的遥感识别。

关键词: 冬小麦; 多时相; 多角度; 冠层反射光谱; 株型

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)06-0082-05

黄文江, 王纪华, 刘良云, 等. 基于多时相和多角度光谱信息的作物株型遥感识别初探[J]. 农业工程学报, 2005, 21(6): 82-86

Huang Wenjiang, Wang Jihua, Liu Liangyun, et al. Remote sensing identification of plant structural types based on multi-temporal and bidirectional canopy spectrum[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(6): 82-86 (in Chinese with English abstract)

0 引言

由于小麦群体具有一定的冠层几何结构, Pepper 等提出利用叶向值(LOV)反映叶片倾斜角度和发生角度倾斜的位置, 即表示叶片直立和平展的程度, 其数值越大, 表示叶片越直立, 则株型紧凑(直立型); 其数值越小, 表示叶片越披散, 则株型平展(披散型)^[1], 处于两者之间的株型中等(中间型)。对于不同冠层几何构型的品种, 如直立型、中间型和披散型品种在相同的叶面积指数的条件下具有不同的冠层郁闭度, 在相同的冠层郁闭度的条件下具有不同的叶面积指数, 使得遥感反演叶面积指数时存在不同株型产生的误差。以上作物冠层几何结构的差异性, 使得传统的仅仅运用冠层光谱来反演作物叶面积指数和叶绿素等生物物理参数和生物化学参数时存在目标和观测对象的不一致性, 使得运用冠层光谱来进行作物长势、营养状况和品质的监测和预测预报的精度难以满足实际需求。国内外利用不同株型的水稻、小麦及玉米开展了大量的冠层结构与光分布规律研究^[2-5], 但利用遥感方法识别株型方面还缺乏研究。

传统的遥感技术(包括高光谱)主要以传感器垂直收集数据的方式获取地面目标的二维信息。对这种数据的解译主要基于目标物漫反射的假定, 由于无论大气或地物, 都不是理想的均匀层或朗伯表面, 都有垂直方向上的变化和空间结构, 从机理上讲, 主要依赖于地物本

身的二向性反射特性。单一方向、单一时相的遥感只能得到地面目标一个时间、一个方向的投影, 缺乏足够的信息来同时推断目标的主要材料波谱和空间动态结构, 从而使定量遥感非常困难。地面目标的结构信息的提取, 是提高遥感精度和定量遥感研究要解决的问题。

与单一方向遥感相比, 多角度、多时相对地观测通过对地物目标动态、多个方向的观察, 使得对目标的观测信息得以丰富, 因而有希望从中提取比单一方向、单一时相的观测更为详细可靠的地面目标的结构信息, 为定量遥感提供新的途径。本研究综合考虑不同株型品种的叶面积指数等动态变化规律, 以及不同观测天顶角条件下, 目标中植被和土壤的比例发生变化, 来实现作物株型的遥感识别。

1 材料与方法

1.1 试验设计及处理

试验 1 不同株型品种多时相的高光谱试验: 于 2003~2004 年在小汤山试验基地进行(北纬 40°11', 东经 116°27')。0~20 cm 耕层土壤养分含量如下: 有机质 1.42%~1.48%, 全氮 0.08%~0.10%, 碱解氮 58.6~68.0 mg/kg, 有效磷 20.1~55.4 mg/kg, 有效钾 117.6~129.1 mg/kg。供试品种为 12 个不同株型的冬小麦品种, 正常肥水管理, 每公顷施氮 247.5 kg, P₂O₅ 108.0 kg, K₂O 75.0 kg。不同株型品种的行距相同。播种密度和基本苗相近。小麦株型的划分是于拔节期分别测量每片叶的叶长(L, cm)、叶基至叶片空间最高点的距离(h, cm)、叶片与茎秆的夹角(θ, °), 依据下式计算 LOV^[1]

$$LOV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [a(h/L)_i/n]$$

式中 a——叶倾角, a = 90° - θ, θ 为叶片与茎秆的夹

收稿日期: 2004-08-17 修订日期: 2004-11-30

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G20000779); 国家 863 项目(2003AA 209010); 北京科技新星计划(H020821020130)

作者简介: 黄文江(1974-), 男, 博士生, 助理研究员, 研究方向: 高光谱遥感和多角度遥感应用研究。北京市 2449 信箱 265 箱 国家农业信息化工程技术研究中心, 100089。E-mail: wenjianghuang@163.net

角; h ——叶基部到叶片最高处的长度; L ——每片叶的叶长; n ——叶片数。根据测量结果, 选用 LOV 45° 的鲁麦 21、I-93、P7 和京 411 作为直立型供试品种; 选用 LOV 25 的临抗 2、农大 3214、中优 9507 和 4P3 为披散型供试品种; 选用 25° < LOV < 45 的中麦 16、京冬 8、9158 和超优 66 为中间型供试品种。

试验 2 不同株型品种多角度、高光谱试验: 于 2003~ 2004 年在小汤山试验基地进行, 试验地块同试验 1。通过选取不同株型的冬小麦品种, 采用多角度观测架进行多角度条件下的不同株型品种的光谱特性研究。直立型品种选取京 411、中间型品种选取京冬 8、披散品种选取中优 9507。

1.2 研究项目与测定方法

1.2.1 小麦冠层反射光谱

小麦冠层光谱测量使用的仪器为 ASD FieldSpec FR 2500 光谱仪, 该光谱仪的采样间隔为 1.4 nm (350~ 1000 nm) 和 2 nm (1000~ 2500 nm)。所有光谱测量是在天气晴朗、无风或风速很小时测量的, 时间范围为 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, 取平均值, 各处理测定前后, 进行参考板校正。

1.2.2 小麦冠层多角度反射光谱

对于选取的直立、中间和披散型的品种, 采用多角度观测架分别测定太阳主平面和垂直歪向的不同观测天顶角 (-60°、-50°、-40°、-30°、-20°、-10°、0°、10°、20°、30°、40°、50°、60°) 条件下的多角度光谱数据, 观测天顶角为正表示与太阳同侧(后向), 为负表示与太阳异侧(前向)。光谱测量使用的仪器为 ASD FieldSpec FR 2500 光谱仪, 观测时期为小麦拔节期, 观测时间为北京时间 14:00~ 14:50, 太阳天顶度变化为 36.7°~ 44.4°; 太阳方位角变化为 226.6°~ 241.2°。

1.2.3 面积指数

采用干重法, 即同一处理或品种取 50~ 100 片叶测量面积后, 烘干称重, 再根据被测对象的干重反推叶面积, 用 CI-203 型激光叶面积仪进行矫正。

2 结果与分析

2.1 株型对作物冠层光谱的影响

为了定性研究株型对作物冠层光谱的影响, 选取了不同品种在叶面积指数相近条件下不同波段的冠层反射光谱数据, 研究不同株型对冠层反射光谱的影响。

表 1 不同株型品种在不同叶面积指数下的特征波段光谱反射率(%) 及光谱指数

Table 1 Reflected spectra and NDVI for different structural type varieties under different leaf area indexes

叶面积指数	品种类型	品种名称	LA I	450 nm	550 nm	680 nm	800 nm	1100 nm	NDVI
LA I 2.3 (A)	直立型	鲁麦 21	2.38	2.32	4.69	3.67	30.40	32.84	0.78
	中间型	9158	2.34	2.51	5.32	2.83	37.68	38.80	0.86
	披散型	临抗 2	2.20	2.57	5.29	3.01	39.83	41.84	0.86
		标准差 (STDEV)	0.09	0.13	0.36	0.44	4.94	4.58	0.04
		方差 (VAR)	0.01	0.02	0.13	0.19	24.41	20.93	0.00
		平均值 (\bar{x})	2.31	2.47	5.10	3.17	35.97	37.83	0.83
		变异系数 (cv)	4.10	5.16	7.02	13.92	13.74	12.09	5.20
LA I 2.6 (B)	直立型	P72.59	2.28	4.53	3.02	34.13	35.95	0.84	
	中间型	中麦 16	2.59	2.40	4.79	3.04	38.32	40.42	0.85
	披散型	9507	2.53	2.73	6.11	3.52	41.18	43.81	0.88
		标准差 (STDEV)	0.03	0.24	0.85	0.28	3.55	3.94	0.02
		方差 (VAR)	0.00	0.06	0.71	0.08	12.59	15.55	0.00
		平均值 (\bar{x})	2.57	2.47	5.14	3.19	37.88	40.06	0.86
		变异系数 (cv)	1.35	9.55	16.43	8.69	9.37	9.84	2.70
LA I 3.1 (C)	直立型	I-93	3.07	1.80	3.88	2.06	35.08	35.84	0.86
	中间型	超优 66	3.11	2.33	4.78	2.84	36.11	38.02	0.87
	披散型	农大 3214	3.15	2.30	5.20	2.71	40.23	42.11	0.90
		标准差 (STDEV)	0.04	0.30	0.67	0.42	2.72	3.18	0.02
		方差 (VAR)	0.00	0.09	0.45	0.17	7.41	10.11	0.00
		平均值 (\bar{x})	3.11	2.14	4.62	2.54	37.14	38.66	0.87
		变异系数 (cv)	1.29	13.98	14.56	16.39	7.33	8.22	1.99
LA I 4.1 (D)	直立型	京 411	4.42	1.72	3.91	1.69	42.75	42.35	0.89
	中间型	京冬 8	4.14	2.25	4.86	2.27	43.59	44.75	0.90
	披散型	4P3	4.10	2.50	5.44	2.61	47.05	47.34	0.91
		标准差 (STDEV)	0.06	0.40	0.77	0.46	2.28	2.50	0.01
		方差 (VAR)	0.00	0.16	0.59	0.22	5.20	6.24	0.00
		平均值 (\bar{x})	4.15	2.16	4.74	2.19	44.46	44.81	0.90
		变异系数 (cv)	1.47	18.44	16.24	21.23	5.13	5.58	0.78

本文选取拔节期冠层反射光谱在蓝光 (450 nm)、绿光 (550 nm)、红光 (680 nm)、近红外 (800 nm 和 1100

nm) 以及归一化植被指数的变化情况进行研究。本文定义归一化植被指数 (NDVI) [6] 为:

$$NDVI = (R_{800} - R_{680}) / (R_{800} + R_{680})$$

式中 R_{800}, R_{680} ——分别为波长为 800 nm 和 680 nm 处的冠层光谱反射率。

由表 1 可知, 冬小麦处于不同叶面积指数区间, 直立型、中间型和披散型品种对不同波段的冠层光谱反射率和归一化植被指数的差异度不同, 叶面积指数 $LAI_{2.3}$ 记为 A, $LAI_{2.6}$ 记为 B, $LAI_{3.1}$ 记为 C, $LAI_{4.1}$ 记为 D。不同株型蓝光 450 nm 处反射率 (R_{450}) 变异系数 (cv) 的大小顺序为: $cv(D_{(R_{450})}) > cv(C_{(R_{450})}) > cv(B_{(R_{450})}) > cv(A_{(R_{450})})$ 。不同株型绿光 550 nm 处反射率 (R_{550}) 变异系数 (cv) 的大小顺序为: $cv(B_{(R_{550})}) > cv(D_{(R_{550})}) > cv(C_{(R_{550})}) > cv(A_{(R_{550})})$ 。不同株型红光 680 nm 处反射率 (R_{680}) 变异系数 (cv) 的大小顺序为: $cv(D_{(R_{680})}) > cv(C_{(R_{680})}) > cv(A_{(R_{680})}) > cv(B_{(R_{680})})$ 。不同株型近红外 800 nm 处反射率 (R_{800}) 变异系数 (cv) 的大小顺序为: $cv(A_{(R_{800})}) > cv(B_{(R_{800})}) > cv(C_{(R_{800})}) > cv(D_{(R_{800})})$ 。近红外 1100 nm 处的光谱处反射率 (R_{800}) 变异系数 (cv) 的大小顺序与 800 nm 处一致。且近红外波段在叶面积指数较为接近时, 均表现出冠层反射率披散型品种 > 中间型品种 > 直立型品种。故近红外波段为作物株型对叶面积指数和株型响应的敏感波段, 随着叶面积指数的增加, 不同株型的变异系数减小。由归一化植被指数 ($NDVI$) 的变化数值可知, 不同株型 $NDVI$ 变异系数 (cv) 的大小顺序为: $cv(A_{(NDVI)}) > cv(B_{(NDVI)}) > cv(C_{(NDVI)}) > cv(D_{(NDVI)})$ 。但随着叶面积指数的增加, $NDVI$ 数值容易饱和, 不同株型的 $NDVI$ 差异较小。所以在植株叶面积指数相对较低时有利于作物不同形态的遥感识别, 但在叶面积指数太低 (小于 2), 由于作物株高较低, 作物本身的结构信息表现不明显, 也不利于作物株型的遥感识别。所以叶面积指数处于 (2 ~ 3) 之间, 此生育时期, 对于冬小麦来说, 一般处于生物学上的拔节期左右。所以对于冬小麦, 拔节期左右是进行作物株型遥感识别的关键时期。

2.2 多时相数据对作物株型的初步识别

单一时相遥感数据在农业方面的应用仅仅能监测农作物一定生育时期的生长状态, 多时相数据则能实现农作物发育状态的变化, 从而完成单一时相数据不能完成的一些深层次信息的提取。前人通过应用多时相完成了农作物产量估测、沙漠化动态图制作、作物长势模型设计、植被变化分析等^[7-10]。本研究中株型的遥感识别是对多时相遥感数据利用的另一个主要方面。

起身期由于温度回升, 冬小麦开始由相对缓慢生长进入相对快速生长阶段, 但该时期小麦群体尚未反映出其明显的株型结构特征, 拔节期作物的株型结构已有明显反映, 利用反映作物结构信息和覆盖度信息的近红外波段冠层反射光谱, 在拔节期与起身期进行比值运算, 可以表征两个生育时期之间光谱反射率的增量变化。

株型对冠层光谱影响较大, 株型较为披散的品种在光谱特征上与长势旺盛的直立型品种具有相似之处。利用冬小麦多时相光谱特征提取株型信息, 可以避免株型影响而导致的生长状况的误诊。本研究引入冬小麦拔节

期 800 nm 冠层反射率 ($R_{800 \text{ nm}}(A)$) 与起身期该波段反射率 ($R_{800 \text{ nm}}(B)$) 的比值, 与起身期该波段反射率进行综合分析, 由图 1 可知, 直立型品种、中间型品种和披散型品种在起身期 800 nm 处的光谱反射率的分布区间跨度均为 22~31 之间。可见虽然相同株型品种内部群体密度存在一定的差异, 但是不同株型品种之间在起身期的群体大小差异不大, 不同株型品种在该时期无法进行株型识别。不同株型品种光谱 800 nm 处的光谱反射率拔节期相对于起身期的比值 (以下简称比值), 不同品种之间存在明显差异梯度, 直立型品种的比值处于 1.2~1.4 之间, 中间型品种的比值处于约 1.4~1.6 之间, 披散型品种的比值处于约 1.6~1.8 之间。

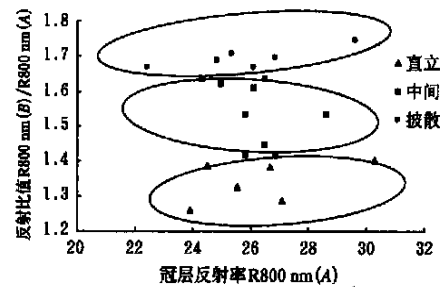


图 1 不同株型品种对 800 nm 冠层反射率及其反射率比值的响应

Fig 1 Response of canopy reflectance and ratio of 800 nm for different structural type varieties at erecting and jointing stages

起身期的 800 nm 的光谱反射率基本反映了作物群体的大小, 所以 800 nm 处的光谱反射率拔节期相对于起身期的比值基本反映了作物叶倾角 (叶向值) 的特性, 运用比值, 与起身期的 800 nm 的光谱反射率综合分析, 可以初步判定不同品种的株型类别归属。即高密度披散型品种 (增量较大, 起身期该波段反射率大)、低密度披散型品种 (增量较小, 起身期该波段反射率小); 高密度中间型品种 (增量较大, 起身期该波段反射率大)、低密度中间型品种 (增量较小, 起身期该波段反射率小); 高密度直立型品种 (增量小, 起身期该波段反射率大)、低密度直立型品种 (增量小, 起身期该波段反射率小)。但是由于对于不同密度条件下不同株型品种的准确划分尚存在一定的难度, 且随着高光谱、多角度空间技术的飞速发展, 特别是多角度遥感卫星的相继发射, 为借助多角度、高光谱遥感数据, 来实现作物株型的遥感识别提供了可能。

2.3 多角度、高光谱数据对作物株型的识别

不同观测角度条件下, 视场范围内植株和土壤的比例发生变化, 由于太阳方向与观测方向不同, 在一个像元内存在光照植被、光照土壤、阴影植被和阴影土壤 4 个分量^[11]。不同株型的品种由于叶片的方位角分布和叶倾角的分布存在差异, 使得传感器内不同观测角度条件下, 不同株型品种的光照植被、光照土壤、阴影植被和阴影土壤 4 个分量的比例发生变化, 产生了植被的二向反射特性, 植被的二向反射特性反映了植被的结构信息

和其他信息。本研究尝试运用不同观测角度、不同波长处的光谱反射率对结构的敏感程度差异, 来实现作物株型的多角度遥感识别。

图 2 为不同株型品种拔节期冠层反射光谱在蓝光 (450 nm)、绿光 (550 nm)、红光 (680 nm)、近红外 (800 nm) 波段不同观测天顶角 (观测角度) 条件下的多角度光谱。在可见光的蓝光、绿光和红光波段, 随着观测角度的增加, 前向观测的冠层反射率的变化幅度较后向小, 是由于前向观测时存在小麦阴影的影响。在后向, 随着观测角度增加, 二向性反射率变化特征, 不同品种表现不同, 直立型品种 (京 411) 反射率在后向 45 左右形成一个峰值; 中间型品种 (京冬 8) 反射率在后向 15 左右形成一个峰值; 披散型品种 (中优 9507) 反射率随着角

度一直增加, 这种变化特征与小麦具有一定的空间几何结构所形成的小麦株型和叶倾角的分布特征等有关, 对于直立型品种, 由于叶片相对直立, 植株中下层叶片的比例相对较少, 随着观测角度由天顶方向逐渐增加, 依次增加, 当观测角度为 45 左右时, 达到最大值, 当观测角度继续增加时, 反射率降低; 对于中间型品种, 由于叶片主要处于植株的中部, 随着观测角度由天顶方向逐渐增加, 当观测角度为 15 左右时, 达到最大值, 当观测角度继续增加时, 反射率降低; 对于披散型品种, 由于叶片处于植株的上、中、下各个部位, 随着观测角度由天顶方向逐渐增加, 由于叶片较为披散, 随着后向观测角度的增加, 反射率依次增加。在近红外波段, 随着角度的增加, 表现出来的光谱特征与可见光相似。

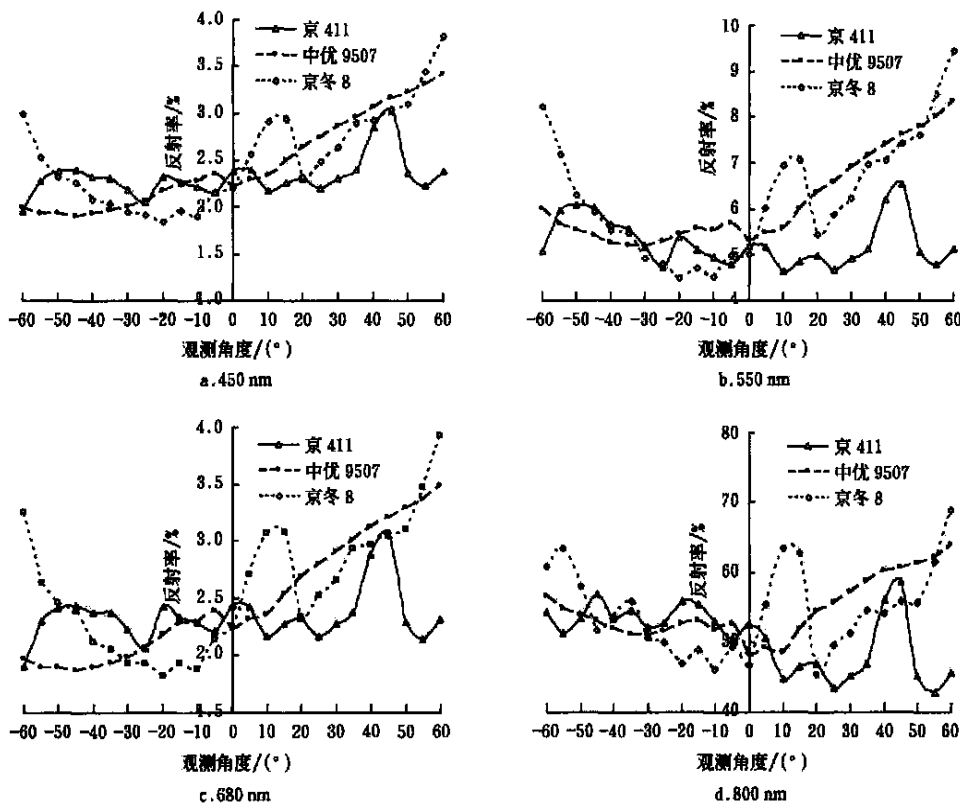


图 2 不同株型品种在不同波长条件下对不同观测角度的光谱响应

Fig 2 Response of bidirectional reflectance at different wavelengths for different structural type varieties

由以上研究结果, 可以通过选择 15°、30° 和 45° 的 3 个观测角度, 选择可见光 (如红光) 和近红外各一个波段实现作物株型的遥感识别。对于直立型品种, 选定的不同观测角度的近红外的二向反射率 $f(45^\circ) > f(15^\circ) > f(30^\circ)$, 可见光的二向反射率 $f(45^\circ) > f(15^\circ) > f(30^\circ)$; 对于中间型品种, 选定的不同观测角度的近红外的二向反射率 $f(15^\circ) > f(45^\circ) > f(30^\circ)$; 可见光的二向反射率 $f(15^\circ) > f(45^\circ) > f(30^\circ)$; 对于披散型品种, 选定不同观测角度的近红外和可见光的二向反射率均为 $f(45^\circ) > f(30^\circ) > f(15^\circ)$ 。

3 结论与讨论

3.1 作物株型对冠层反射光谱的影响

对于不同冠层几何构型的品种, 如直立型、中间型和披散型品种在相同的叶面积指数的条件下具有不同的冠层郁闭度, 在相同的冠层郁闭度的条件下具有不同的叶面积指数, 而冠层郁闭度对作物冠层光谱有极大的影响, 使得遥感反演叶面积指数时存在不同株型产生的误差。对于小麦, 在叶面积指数相对较低 (2~3) 之间的拔节期有利于作物不同形态的遥感识别, 所以拔节期左右是进行冬小麦株型遥感识别的关键时期。

3.2 多时相遥感数据对作物株型的识别

多时相遥感数据能够实现作物动态信息的获取, 作物不同生长阶段对株型识别的敏感程度存在差异, 起身

期由于小麦群体尚未反映出其明显的株型结构特征,叶片扩张速度等不同株型之间的差异较小。近红外波段(波长)的冠层反射光谱主要由群体密度决定,该波段反射光谱数值能基本反映群体密度的信息;拔节期作物的株型结构已有明显反映,近红外波段(波长)冠层反射光谱由群体密度、叶面积指数、叶倾角(叶向值)等综合决定,该波段拔节期与起身期光谱反射率比值,基本能表征两个生育时期之间光谱反射率的增量变化。所以运用拔节期相对于起身期近红外波段(波长)冠层反射率的增量,与起身期的 800 nm 的光谱反射率综合分析,可以初步判定不同品种的株型类别归属。但由于农业生产上,有时很难获取完整的作物起身期和拔节期的卫星遥感数据,且仅仅依靠单一波段(波长)的光谱信息往往很难实现不同群体密度、不同作物株型的准确划分,使得生产应用存在面临一定的局限性和挑战性。

3.3 多角度遥感数据对作物株型的识别

传统的遥感技术(包括高光谱)主要以传感器垂直收集数据的方式获取地面目标的二维信息。对这种数据的解译主要基于目标物漫反射的假定。由于无论大气或地物,都不是理想的均匀层或朗伯表面,都有垂直方向上的变化和空间结构。单一方向遥感只能得到地面目标一个方向的投影,缺乏足够的信息来同时推断一个像元的主要材料波谱和空间结构,从而使定量遥感非常困难。与单一方向遥感相比,多角度对地观测通过对地物目标多个方向的观察,使得对目标的观测信息得以丰富,因而有希望从中提取比单一方向的观测更为详细可靠的地面目标的结构信息,为定量遥感提供新的途径。根据不同株型品种在主平面、不同波段(波长)条件下对二向反射光谱的响应差异性进行分析,筛选出利用 15°、30° 和 45° 共 3 个观测角度,选择可见光(如红光)和近红外各一个波段(波长)即可以实现作物株型的遥感识别。此研究结论仅仅需要一个时段的多角度光谱信息,可充分利用现有的多角度卫星数据,并可以为研制

新型的面向农业应用的多角度卫星传感器设定波段数目和观测角度提供理论依据。但由于选定试验样本数目的局限性和仅仅为一个观测平面所得结果等因素,研究结果尚需进一步进行试验验证。

[参 考 文 献]

- [1] Pepper G E, Pearce R B, Mock J J. Leaf orientation and yield of maize[J]. *Crop Science*, 1977, (17): 883- 886
- [2] 周允华, 项月琴, 林忠辉. 紧凑型玉米群体的辐射截获[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(1): 21- 25
- [3] 申广荣, 王人潮, 李云梅, 等. 水稻群丛结构和辐射传输分析[J]. *作物学报*, 2001, 27(6): 769- 775
- [4] 胡延吉, 兰进好. 山东省冬小麦品种冠层结构及光截获的研究[J]. *中国农业气象*, 2001, 22(3): 28- 32
- [5] 项月琴, 周允华, 崔景芳. 冬小麦群丛几何结构得测量[C]. *农田作物环境实验研究*. 北京: 气象出版社, 1990: 92 - 103
- [6] Rouse J W, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation [M]. NASA/GSFC, Type III, Final report, Greenbelt, MD, U SA. 1974: 1- 371
- [7] 范云伟译. 利用 AVHRR 资料的多时相 NDV I 测量结果进行农作物估产[J]. *遥感技术与应用*, 1994, 14(2): 199- 210
- [8] 王让会, 樊自立. 利用遥感和 GIS 研究塔里木河下游阿拉干地区土地沙漠化[J]. *遥感学报*, 1998, 2(2): 137- 142
- [9] 李本纲, 陶 澍. 一种利用多时相 TM 影像分析地表植被变化的新方法——以敦煌地区绿洲植被变化分析为例[J]. *遥感学报*, 2000, 4(4): 295- 298
- [10] 裴志远, 杨邦杰. 多时相归一化植被指数 NDV I 的时空特征提取与作物长势模型设计[J]. *农业工程学报*, 2000, 16(5): 20- 22
- [11] Li X, Strahler A H. Geometric optical modeling of a conifer forest canopy [J]. *IEEE Trans Geoscience and Remote Sensing*, 1985, G E, 23: 705- 721

Remote sensing identification of plant structural types based on multi-temporal and bidirectional canopy spectrum

Huang Wenjiang^{1,2}, Wang Jihua¹, Liu Liangyun¹, Wang Jindi²,
Tan Changwei¹, Li Cunjun¹, Wang Zhijie¹, Song Xiaoyu¹

(1. National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China;

2. Research Center for Remote Sensing and GIS, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract Investigations have been made on identification of erective, middle and loose varieties by multi-temporal and bidirectional canopy reflected spectrum. It indicates that canopy reflected spectrum has significant differences between reviving stage and jointing stage. Canopy reflectance at 800 nm was similar among erective, middle and loose varieties at erecting stage, which has significant differences for the ratio of canopy reflectance at 800 nm at jointing stage to the same wavelength of canopy reference at erecting stage (Ratio). The value of ratio was: loose varieties > middle varieties > erective varieties. The combination of ratio and canopy reflectance at 800 nm at erecting stage could be used for the identification of plant structural types based on the multi-temporal data. The reflectance of visible and near infrared bands at 15°, 30° and 45° field of view for the main viewing plane could be used for the identification of plant structural types based on bidirectional data. So, it is feasible to identify loose, middle and erective varieties of wheat by multi-temporal and bidirectional canopy reflected spectrum.

Key words: winter wheat; multi-temporal; bidirectional reflectance; canopy reflected spectrum; plant structural type