

农作物的彩色红外影象分析*

李天顺

(陕西师范大学地理系)

摘 要

本文将实测地物波谱、彩色红外航片密度测量和地面同步调查结果相结合,分析了农作物的彩色红外航片影象标志及稳定性。结果表明:(1)由于物候节律和群落外貌的差异,各种农作物的光谱反射率在量值上有差异,使得其在彩色红外正片影象上(黄/青)密度比差异显著,可以识别;(2)受盐碱危害的作物品红层密度变化明显,受浸涝危害的作物青层密度变化明显;(3)小麦拔节前后,丰产型、一般型和低产型麦田可以运用负片的[(黄+品红)/青]密度值来识别,这是一个较早获取小麦长势信息的较好时段。

彩色红外航片记录了目标物500—800nm范围内的反射能量,黄、品、青感光层自动严格重叠,具有信息量大,获取方便,分辨力强和精确度高的优点。我们将其运用于农作物的类型识别和生态监测,结果是令人满意的。

一、遥感资料及信息提取

本文所用遥感资料,主要有光谱资料、彩色红外航片和航片密度分析资料。

1. 光谱资料

于1983年8—9月和1984年3月依据“相对测量原理”测得。目标物和反射标准板的响应辐射观测值由下式给出:

$$V_{\text{标}}(\lambda, \theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2) = \tau_{\text{标}} H_{\lambda \text{标}}(\theta_1, \varphi_1) \overline{\rho_{\lambda \text{标}}(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2)} \cdot A_{\text{缝标}} S_{\lambda \text{标}} \Omega_{\text{视标}} \Delta \lambda_{\text{标}} \quad (1)$$

$$V_{\text{物}}(\lambda, \theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2) = \tau_{\text{物}} H_{\lambda \text{物}}(\theta_1, \varphi_1) \overline{\rho_{\lambda \text{物}}(\theta_1, \varphi_1, \theta_2, \varphi_2)} \cdot A_{\text{缝物}} S_{\lambda \text{物}} \Omega_{\text{视物}} \Delta \lambda_{\text{物}} \quad (2)$$

(λ 波长; θ_1, φ_1 太阳的天顶角和方位角; θ_2, φ_2 传感器的天顶角和方位角; $\tau_{\text{物}}$ 狭缝至被测体之间的大气透过率; H_{λ} 光谱辐照度; $\overline{\rho_{\lambda}}$ 平均反射率; $A_{\text{缝}}$ 狭缝面积; S_{λ} 光谱灵敏度; $\Omega_{\text{视}}$ 视场角。)

取(1)(2)两式的比值,该地面近似朗伯体,在仪器性能稳定的情况下,有:

$$\rho_{\lambda \text{物}} = V_{\text{物}}(\lambda, \theta_1, \varphi_1) / V_{\text{标}}(\lambda, \theta_1, \varphi_1) \quad (3)$$

可见,若太阳天顶角,方位角一定,光谱数据是可以比的。

2. 彩色红外航片

1983年9月拍摄的比例尺为1:3万;1984年3月拍摄的比例尺为1:8万(放大为1:5万)和1:5万原大样片。胶片特性用TR927彩色密度计测定(图1),在运用黄色滤光片截去500

* 胶片特性和影象密度由徐建平同志实测,谨此致谢。

nm以下的蓝波段后,在 500—560nm 的绿波段以黄成色层最敏感,正片上将呈蓝色调;在 580—660nm 的橙-红波段,以品红成色层最敏感,在正片上将呈绿色调;而在 700—780nm 的近红外波段,以青成色层最敏感,在正片上将呈红色调。

3. 影象密度测量

正片密度用 D122 密度计测量,得到黄、品红和青反射密度值,测点孔径 $\varphi = 3\text{mm}$,测量精度可达 0.1%。对于小目标物及精确定量的目标物,则用“Zeiss-JENA”测微密度计测量负片 440nm、540nm 和 660nm 的光谱透射密度 D_{440} 、 D_{540} 和 D_{660} ,测点孔径 $\varphi = 0.03\text{mm}$ 。考虑到黄品青 3 染料在自己的代表波段

以外还有一定光谱吸收,用下式修正,以求得黄、品红和青成色层的密度 D_Y 、 D_M 和 D_C :

$$D_Y = 1.10D_{440} - 0.18D_{540} - 0.04D_{660} \quad (4)$$

$$D_M = -0.07D_{440} + 1.13D_{540} - 0.13D_{660} \quad (5)$$

$$D_C = -0.05D_{440} - 0.02D_{540} + 0.98D_{660} \quad (6)$$

负片的平均密度,利用间隔 0.2mm 的网点平均值计算,正片则取 10 次随机测量的平均值。

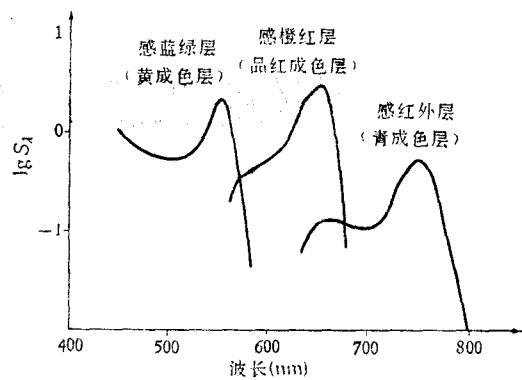


图 1 本试验所用彩色红外胶片 $\lg S_{\lambda}$ 曲线

Fig.1 $\lg S_{\lambda}$ curve of color infrared film used in the test

二、农作物的彩色红外影象分析

以河南省封丘县为例,主要做了:农作物类型识别,“病态”作物的彩色红外标志和小麦长势的苗期监测等 3 个方面的工作。

1. 农作物类型识别

对于同一摄影时间,不同作物处于不同的生长时期,具有不同的季相特征,光谱反射特性差异颇大。以 1983 年 9 月 16 日摄影时为例,棉花处于现蕾吐絮期,红薯已封垅,开始结薯,晚玉米已到蜡熟期等等,其反射光谱曲线如图 2 所示:在 700—800nm 的红外波段,红薯的反射率高达 80%,晚玉米则仅 35% 左右,各类之间至少有 5% 的差异,叶绿素特征愈突出,反射率愈高;在 600—700nm 的橙-红波段,虽差异较小,但仍有大致相反的规律可循:叶绿素特征突出的红薯、棉花、大豆等反射率较低,而高粱、晚玉米等近成熟期作物以黄褐叶为主,反射率较高。这种反射率的差异,在彩色红外航片上反映为色调差异:红薯地呈亮红色,棉花地呈深红色,晚玉米地为浅黄褐色等等。我们记录了典型地块的作物类型,物候期和覆盖度,实测了彩色红外正片的影象密度,结果表明:在同一张航片上,不同作物类型的色密度有显著差异(表 1),尤其 Y/C 值的差异明显。

但是,由于洗印条件、手段和材料不稳定,色调特征反映在每一张航片上各有不同。将色调作为识别农作物类型的遥感标志,其稳定性如何呢?我们抽取 12 张航片,分别测量了棉花、花生、大豆和晚玉米的影象色密度,就“不同航片上色调差异的稳定性问题”做了进一

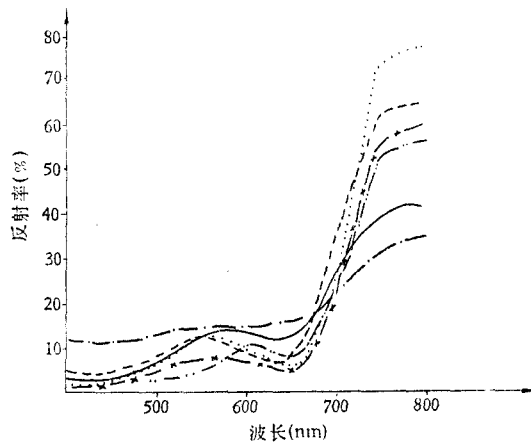


图2 几种作物的光谱曲线

Fig.2 Spectral curves of some crops

- 红薯, 已封垅, 100%覆盖, 叶色碧绿。
- 棉花, 现蕾吐絮期, 80%覆盖, 叶色绿、黄褐。
- x-x- 大豆, 结荚期, 70%覆盖。
- 水稻, 乳熟期, 100%覆盖。
- 高粱, 蜡熟期, 100%覆盖。
- - - - 玉米, 近收熟期, 100%覆盖。

表1 不同作物类型在正片上的影像差异

Table 1 Positive image diversity of different types of crop

类 型	物候期	覆盖度(%)	影色调	黄(Y)	品红(M)	青(C)	Y/C
水 稻	乳熟	100	洋红、浅褐红	1.54	1.40	0.51	3.02
红 薯	结果	100	亮红	1.96	1.58	0.34	5.76
中玉米	收熟	100	暗褐、褐	1.02	0.96	0.85	1.20
晚玉米	蜡熟	100	浅黄褐	1.14	0.96	0.78	1.46
田 菁	枯萎	100	黑褐、黄褐	1.01	0.94	0.78	1.05
棉 花	吐絮	90	深红	1.68	1.37	0.40	4.20
花 生	结果	80	浅红	1.62	1.39	0.40	2.70
大 豆	结荚	75	淡红褐	1.62	1.40	0.44	3.68
水 稻	乳熟	70	淡洋红	1.48	1.31	0.48	3.08

步的实验, 结果如图3所示: 这4种地物色密度差异的趋势具有很好的稳定性, Y/C曲线的变化大致相似, 未发生相交和颠倒。若令棉花的Y/C值为1, 晚玉米的为零, 花生和大豆按原比例线性内插, 曲线将趋于平滑。可见, 利用色调和色调差异趋势足以区别出作物的不同类型。当然, 如果依据作物的物候节律选择群落外貌差异最大的最佳成象时间, 效果将更佳。在封丘, 以5月上旬和7月中旬为宜, 此时的栽培植被群落外貌差异最大。

2. “病态”作物的彩色红外标志

在正常情况下, 叶绿素植物的光谱反射率有大致相似的谱貌特征: 可见光区域反射率一般较低, 仅在大约550nm处有一较小的极大值, 660nm附近有一极小值。但在700nm附近, 反射率陡增, 并在近红外区保持较高的水平。据已有的分析, 这是由植物叶绿素细胞的特征决定的。

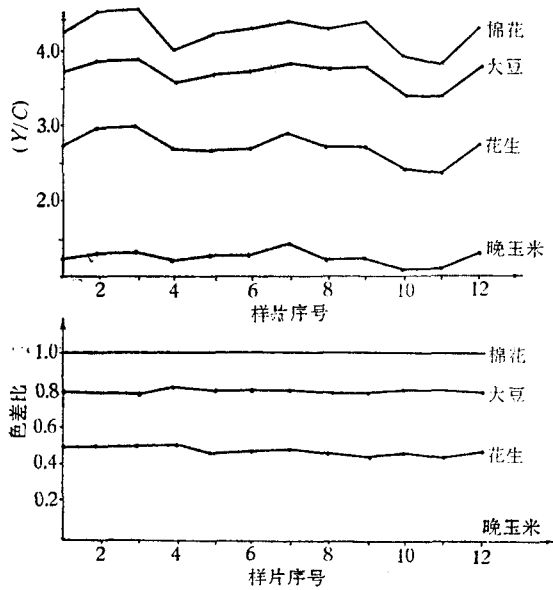


图3 不同航片上作物色调的稳定性

Fig.3 Color stability of crops on different films

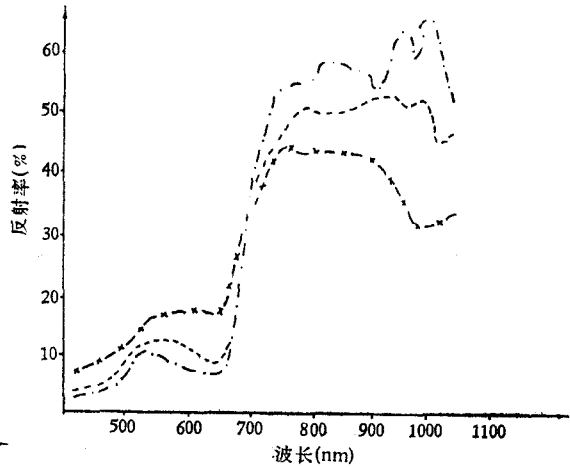


图4 盐碱化土壤上棉花的反射光谱

Fig.4 Reflective spectra of cotton living on saline-alkali soil

- 正常棉花、叶色碧绿。
- 轻盐碱地上的棉花、叶色稍黄褐。
- x-x- 重盐碱地上的棉花、黄褐叶占40%。

所谓“病态”作物，泛指受到超限度生态因子影响，生理状况发生变化的作物。在这种情况下，叶绿素植物反射光谱“两峰夹一谷”的特征被模糊，甚至被掩盖，引起彩色红外影象色调变化。我们重点分析了受盐碱危害的棉花和受浸涝影响的各类晚秋作物的彩色红外影象特征。

盐碱化土壤中棉花的群落外貌，有两个基本特点：一是枝株矮，叶片小，覆盖率降低；二是叶色发黄，甚至变为黄褐、暗褐色。在我们所选的样区中，正常生长的棉花覆盖度大于90%，冠层黄褐色叶片少于5%；而轻、中、重盐碱土上棉花覆盖率分别为70—80%、55—70%、40—55%；冠层黄褐叶约占冠层总叶片数的15%、27%、40%。如图4所示，光谱曲线的变化首先在可见光波段明显表现出来：受轻度盐碱影响的棉花，660nm附近的“低值谷”已基本消失，550nm的“小峰值”稍向红-橙波段偏移，且已不很突出；而重盐碱化土壤上的棉花，在可见光波段的反射值基本偏大近一倍，“一峰一谷”都被模糊，大致呈一条缓慢上升曲线。其次，在大于700nm的近红外波段，反射率随着作物的受害程度的加深而呈降低趋势。可见，在彩色红外胶片感光的500—800nm波段内，600—700nm峰值感光的品红成色层密度差异显著，是监测盐碱危害的理想波段。

我们选择土壤盐碱化程度不同的盐碱地作为典型样地，用随机样方实测了棉田覆盖度和冠层黄褐叶所占比重，用D122密度计实测了彩色红外正片上相应的色密度，结果(见表2)表明：色密度变化大致与光谱曲线所反映的规律相似；随着盐碱危害的加重，黄色和品红色密度减小，青色密度略有增加；彩色红外影象的色调由深红逐渐变为略带黄色的红和浅红。进一步的分析证明：品红成色层密度(DM)与棉田冠层黄褐叶的百分数(G)有较好的线性

表 2 不同程度盐碱化土壤中棉花在正片上的反射密度

Table 2 Positive image reflective densities of cotton living on varying degrees of saline soil

盐碱化程度	棉田覆盖度(%)	冠层黄褐叶百分比(%)	黄(Y)	品红(M)	青(C)	M/C
轻	80	10	1.63	1.32	0.38	3.47
	78	12	1.57	1.28	0.37	3.46
	70	16	1.42	1.21	0.40	3.03
	70	15	1.47	1.23	0.40	3.08
中	65	21	1.32	1.14	0.53	2.15
	60	28	1.26	1.09	0.57	1.91
	56	32	1.26	0.92	0.62	1.48
重	47	40	1.13	0.84	0.48	1.75
	42	47	1.08	0.76	0.42	1.81

关系，回归方程为：

$$D_M = -0.015G + 1.456 \quad (7)$$

相关系数可达98.37%，在1%水平上显著。考虑到盐碱地棉田中冠层黄褐叶比重与盐碱程度的相关性，可见利用品红层密度的差异监测棉田的盐碱危害是可行的。

同理，我们利用类似的办法分析了受浸涝危害的晚秋作物。与受盐碱危害的棉花相比，受浸涝危害的作物有两个突出特点：一是光谱曲线700nm附近陡然上升段的斜率显著减小；二是红外反射值明显降低。以图5所示的高粱光谱反射率为例：

受轻微浸涝影响的高粱，500—600nm的

峰值稍有降低，600—700nm的低谷段则略微升高，红外反射率减低5%左右；受严重浸涝危害减产40%的高粱，光谱曲线大致已呈缓慢上升型，红外反射率降低25%以上。究其原因，除了叶绿素植物本身的变化之外，还与背景过度湿润有关（水对近红外辐射强烈吸收）。典型样地的工作证明（表3）：受不同程度浸涝危害的作物，其影象色调和密度的差异是显著的；浸涝危害愈重，红色调愈弱，青层密度愈大。

3. 小麦长势的苗期监测

冬小麦的遥感监测，以前有过许多研究，但多集中在小麦生长后期。通过本区工作，我们发现：在小麦返青以后至拔节初期，丰产型的“壮苗”、一般型的“中苗”和低产型的“弱苗”等类麦田之间，小麦的叶长、叶宽和叶色、分蘖数的差异相当明显，叶面积系数介于0.4—2.5之间，总覆盖度50%—80%不等，各类麦田光谱特征有明显差异，特别是在600—800nm的橙-红外波段，如图6：600—700nm呈负相关，700—800nm呈正相关。我们与航空摄影同步采样，在盐碱地和非盐碱地选出长势不同的小麦各3块，用随机样方实测了

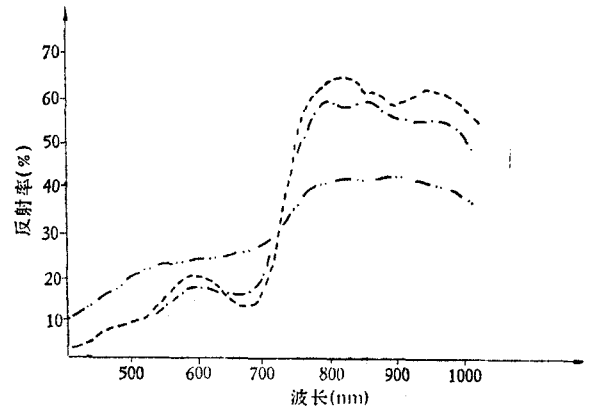


图 5 浸涝高粱的反射光谱

Fig. 5 Reflective spectra of chinese sorghums living on water logged land

—— 正常生长的高粱，已抽穗。
 - - - 积水1天，水分过饱和状态维持4天。
 - · - · 严重积水，水分过饱和1周以上，减产40%。

表3 受涝渍危害作物在正片上的色调特征及反射密度

Table 3 Positive image characters of hue and reflective densities of crops living on water logged land

类 型	灾 情	作物减产(%)	影象色调	反 射 密 度		
				D _Y	D _M	D _C
棉花 (两合土)	轻	6	红	1.64	1.37	0.43
	重	17	浅红	1.23	1.11	0.52
棉花 (轻碱两合土)	轻	7	浅洋红	1.45	1.23	0.44
	重	17	淡红、稍发黄	1.32	1.10	0.62
晚玉米	轻	20	浅 褐	1.14	0.96	0.80
	重	40	深 褐	1.03	0.95	0.90
红 薯	轻	品质稍变	明亮、深红	1.96	1.56	0.38
	重	品质变坏	淡 红	1.80	1.56	0.40
大 豆	轻	11	褐 黄	1.48	1.40	0.51
	重	27	暗 褐	1.20	1.01	0.75

它们的苗数、分蘖数、叶长、叶宽、叶面积系数和覆盖度，记录了长势和叶色，与彩红外象象的对比表明（表4）：丰产型麦田叶绿素光谱特征突出，呈暗红色，而低产型麦田则由于

表4 不同长势小麦在彩红外航片上的影象差异¹⁾

Table 4 Color IR aeral film image diversity of wheat growing in different ways

类 型	万株/亩	叶长 (厘米)	叶宽 (厘米)	分 蘖	叶 色	影象色调	叶面积 系数	覆 盖 度	负片透射密度			
									D _Y	D _M	D _C	
(1)	(2) ²⁾	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	
非盐碱地	壮 苗	28.4	14.3	0.86	5.3	暗绿	暗红	2.5	0.83	1.476	1.219	0.940
	中 苗	29.9	11.7	0.68	4.9	绿	浅红	1.5	0.62	1.586	1.257	0.927
	弱 苗	29.5	9.0	0.50	4.4	黄绿	淡红(淡蓝)	0.7	0.50	1.666	1.332	0.897
盐碱地	壮 苗	24.5	8.6	0.48	2.7	绿褐	微红	0.46	0.38	1.678	1.532	0.952
	中 苗	15.4	6.5	0.51	1.2	褐黄	微白	0.11	0.11	1.848	1.669	0.963
	弱 苗	14.1	5.6	0.42	1.1	暗褐	浅褐白	0.08	0.08	1.975	1.775	1.018

1) 采样时间：1984年3月下旬。

2) (2)为20个样方(0.33×0.33米²)的平均值；(3)、(4)、(5)、(6)为100个随机点的平均值；(9)为15个样方的平均值；(10)、(11)、(12)为10个测点的平均值。

土壤背景对整个景观的影响使影象显微红，甚至淡蓝、蓝褐色调；在盐碱化土壤的麦田中，盐碱景观构成了总背景，使影象具有白色或微白色基调，但随着小麦覆盖度的增加，淡红色调增加的趋势仍很明显。为了精确分析这种规律，我们以小麦覆盖度为定量指标，选择不同长势的麦田12块，测定了彩红外负片上的相应密度，并按(4)一(6)式换算，结果如图7所示：对于非盐渍化麦田，胶片的分层密度随着小麦覆盖度的增加呈规律变化：青层密度(D_C)递增，黄层密度(D_Y)和品红密度(D_M)递减。考虑到胶片密度(D)和胶片所记录的能量(H)呈对数关系：

$$D = \gamma \log_{10} H \quad (8)$$

(γ : 胶片及环境影响系数)

即

$$H = 10^{D/\gamma} \quad (9)$$

该麦田中小麦覆盖率为 H' %, 则 H' 与 H 有某种关系, 故选择“指数函数模型”回归。对于所选采样点, 有

$$H' = 304.3 \times 10^{-1.72 D_Y} \quad (10)$$

$$H' = 138.2 \times 10^{-1.84 D_M} \quad (11)$$

$$H' = 0.00045 \times 10^{3.42 D_C} \quad (12)$$

相关系数分别达 -91.0%、-97.1%、96.3%, 均在 1% 水平上显著。取 $D' = (D_Y + D_M)/D_C$ 为自变量, 得回归方程:

$$H' = 4.84 \times 10^{-4.23 D'} \quad (13)$$

相关系数可达 -97.4%, 且曲线梯度趋于平缓。可见运用彩红外航片分析非盐渍化麦田的苗期长势是可行的。

对于盐渍化土壤上的麦田, 由于普遍缺苗, 分蘖少, 覆盖度小于 60%, 情况略有不同: 盐

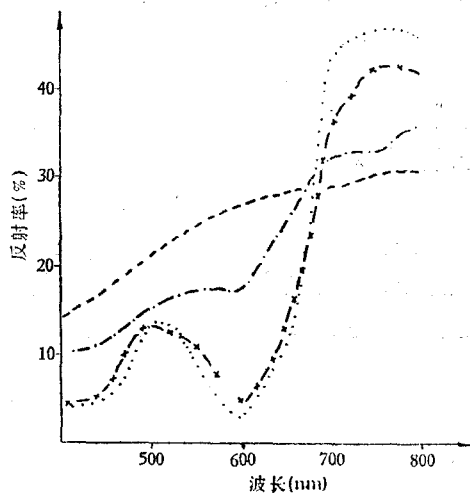


图 6 不同长势麦田的反射波谱
Fig.6 Wheat land reflective spectra of different ways of growing

- 覆盖85%, 长势良好.
- x-x- 覆盖70%, 长势一般.
- 覆盖40%, 长势一般.
- - - - 覆盖50%, 盐碱背景.

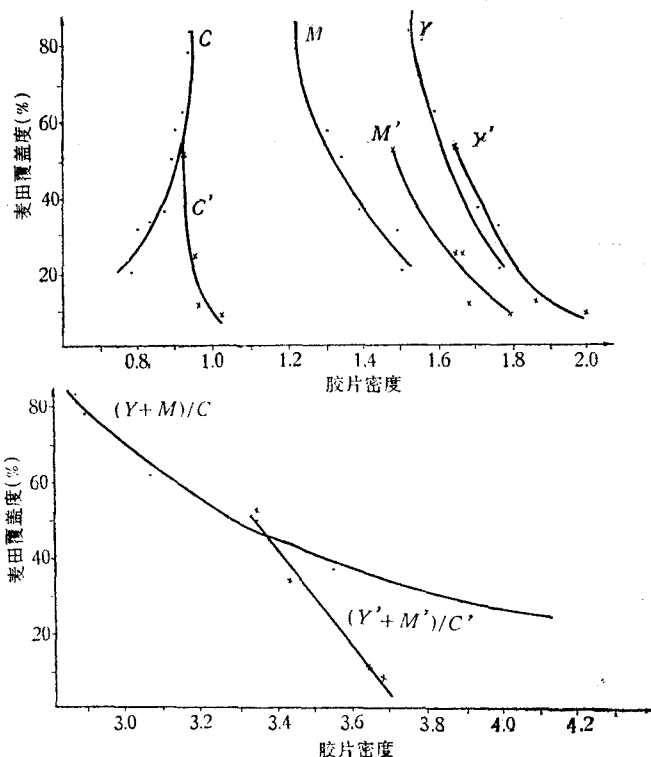


图 7 胶片密度与小麦麦田 (苗期) 覆盖度
Fig.7 Relation between film density and cover degrees of wheat lands (seedling stage)
Y、M、C 为非盐碱地麦田的黄色、青胶片密度曲线。
Y'、M'、C' 为盐碱地麦田的黄色、青胶片密度曲线。

碱背景在影象的形成中起了重要作用；盐碱地各波段上反射能量都较大，且盐渍化愈强，反射能量就愈大，其光谱曲线特征与麦苗的迥然不同，大致为缓慢、均匀上升型，且起点高；其结果使胶片各层密度都明显偏大。但是，盐渍化程度与麦田长势呈负相关，而麦田长势又与它对影象形成的贡献率呈负相关，仍是有规律可循的： $(D_Y + D_M)/D_C$ 与麦田覆盖度仍有较好的负相关关系，大致为：

$$H' = 471.28 - 126.15D' \quad (14)$$

其在 1% 水平上也是显著的。由于样本较小，其精确定量关系尚待研究。但上述分析足以证明：虽然由于高空散射的影响，各波段的感光能量与光谱曲线有差别，但对于航片来讲，作为监测小麦长势的工具还是足以胜任的。

三、小 结

1. 各种农作物的光谱反射率曲线虽谱貌相似，但由于物候节律和群落外貌的差异，分光反射率在量值上仍有一定差异。若选用恰当时节成像的彩色红外航空照片，不同种类农作物的（黄/青）密度比差异显著，可通过色调特征清晰识别。

2. “病态作物”可运用彩色红外影象进行监测。受盐碱危害的作物，在 600—700nm 之间反射率显著增加，品红层密度明显减小；受浸涝危害的作物，在 700—780nm 之间反射率显著降低，青层密度明显增大。这种变化随着“病态作物”受危害的程度加深而增大。

3. 小麦拔节前后，丰产型、一般型和低产型麦田的覆盖度差异明显，麦田个体的形态特征也显著不同；反映在彩色红外航片上，除个别生长过旺麦田外，可以运用负片的 $(\text{黄层密度} + \text{品红层密度})/\text{青层密度}$ 值来识别，这是较早获取小麦长势信息的一个较好的时段。

参 考 文 献

- 李荣华 1984 地物波谱反射率相对测量精确度的探讨。环境遥感与地理制图，第24页。科技文献出版社重庆分社。
 Overhage, C.F.J. 1950 Principles of color sensimtry 699—704.
 Tucker, C.J. 1979 Red and photographic infrared linear combinations for Monitoring vegetation, *Remote Sensing of Environment* 8(2):127—150.

ANALYSIS OF COLOR INFRARED IMAGE OF CROPS

Li Tianshun

(Department of Geography, Shaanxi Normal University)

The Characteristics of aerial color infrared film image of Crops and their stability have been analysed in this paper on the basis of measurement of aerial color infrared film density and terrain spectra combined with synchronous survey of ground truth, The results are as follows:

1. Because of the diversity of phenological reasons and communities, there exists a quantitative difference in spectral reflectances of various crops, which makes (Yellow/Cyan) the difference in density ratio of color infrared positive image notable and makes it possible that different crops are distinguished.
2. Densities of crops harmed by salinization vary in Magenta obviously. Densities of crops harmed by water log vary in Cyan obviously.
3. About jointing of wheat, wheat plots of high yield, common yield and low yield can be distinguished by $[(\text{Yellow} + \text{Magenta}) / \text{Cyan}]$ density values of negative image. This is a good period of getting information on the growth of wheat sooner.