

森林遥感技术译文集

曹垣平 译

西北林学院

一九八二年三月

美国得克萨斯山区 九种木本植物的树叶光谱特性

美国得克萨斯、威斯来科，美国农业部农业研究处

H·W·格斯曼，

J·H·衣福雷特，A·H·格伯曼，和D·E·衣士克巴

摘 要

为了用遥感技术识别木本植物的种类，用分光光度计确定了得克萨斯西南山区九种木本植物成熟树叶的光谱特性。确定了九种木本植物的反射率，而透射率和吸收率只测定了六种。银叶树 (ceano) 叶具有最高反射率，位于可见光谱区 (0.38到0.75微米) 的0.55微米波段，而在0.5到2.5微米整个波段间、腺牧豆树叶的反射率最低。在近红外光谱区的0.85微米波段处，银叶树和白花破布木树叶有最高反射率，在这个波段腺牧豆树叶的反射率却是最低。在1.35到2.50微米波段中，卡文木和银叶树一般地有最高反射率，而腺牧豆树的反射率为最低。由于银叶树和牧豆树在许多山区占优势，了解它们的反射率特性，对于在遥感图象上识别这些树种是有帮助的。

导 论

为了判读由飞机和宇宙飞船取得的遥感数据，必须了解地球表面特征所产生的反射率。农业中的特殊问题，就是判读由植物

产生的反射率，通常是以土壤为背景的叠加。由于植物叶子能产生为飞机和飞船遥感口所接收的某种信息，可以使用这种信息来表示植物的特征。所以，我们必须了解这些植物与电磁辐射之间的相互作用。

一片植物叶子的反射率和透射率，根据光在多孔含纤维组织的细胞内壁与空气接触面的临界反射已经阐明。叶子的反射率是由植物细胞内壁的扩散特征取得的假设，有了进展。当树叶为水或油类的混合物所渗透时，叶面产生的光反射率，在所有波长范围内一般地要减少。所以，最大量的反射率是由内部产生，一旦细胞内壁与空气接触面被消除，反射率就减少。然而，由于在0.68和1.95微米波长的反射率对渗透影响相对不变，这样，大量的反射率就必须由叶子的表面所产生。内部折射指数的不连续性，除细胞内壁与空气接触面外，是由叶子反射的某些近红外光（0.75到1.35微米）所决定的。

有11种植物和20种农作物的光谱反射率、吸收率、透射率和几何与光学参数（真空面积指数，折射指数，吸收指数和不定反射率）已经确定。对于这些植物的散射曲线（相对于波长绘制的折射指数）完全是相似的。而在产生由实验取得看到的树叶吸收所需水的厚度和由理论确定的水厚度之间有着良好的吻合。在1.65微米波段的不定反射率表明是一个可以识别组成树叶致密层次的叶脉厚度的函数。一般来说，有致密含纤维组织的树叶反射率最低，而具疏松含纤维组织的树叶反射率最高。研究结果指出，植物伞盖组成的树叶内，含纤维组织的结构影响着到达遥感仪探测口的信息数量。吸收系数、扩散系数和不定反射率已列制成表，而与30种植物作统计上的比较。

我们研究的目的是要确定生长于得克萨斯州广大山区的几种木本植物树叶的光谱特性。一种关于木本植物、草本植物和草的

叶子光学特性的知识，在识别这些植物方面将有所帮助。

材 料 与 方 法

在这个专题研究中所用的几种木本植物、柯勒尔和约翰生把它们称为：白花破布木 (*Anacardium (cordia boissieri)*)，巴西康达木 (苏木) (*condalia hookeri*)，银叶树 (*Leucophyllum frutescens*)，耳翼花椒树 (*Zanthoxylum fagara*)，卡文木 (*Karwinskia humboldtiana*)，刺朴 (*Celtis pallida*)，腺牧豆树 (*Prosopis glandulosa*)，异蕊麻疯树 (*Jatropha dioica*)和钝叶枣树 (*Ziziphus obtusifolia*)。

在每种树中从10棵树上每树取一成熟树叶用于光谱测量。采集的单片树叶立即用莎纶色装 (塑料色装纸)，并储存于冰上，使脱水作用减至最小。把树叶进行分光光度计的测量之前，要用稍带湿润的布拭拭叶面的污染杂质。

测量单片树叶正面上从0.5到2.5微米波段的散射反射率和透射率，使用的分光光度计是备有反射率附属装置的贝克曼DA—24型分光光度计。数据经过硫酸钡标准片衰减校正后，得出绝对辐射测量数据。由绝对值计算吸收率：吸收率百分数 = $100 - (\text{反射率百分数} + \text{透射率百分数})$ 。对所有几种木本植物都确定了反射率，但是，关于花椒树、牧豆树和银叶树，由其树叶太小，在分光光度计上不能适当定形，没有确定出透射率和吸收率。

每种木本植物采集后六小时内，就对树叶厚度、漫射反射率、透射率和组织结构进行测量。

用线性移位变频器 and 数字电压表测量树叶厚度，用求积仪测定树叶面积。树叶水分含量根据干重计算确定。在权衡重量前，树叶在68℃温度中烘干48小时，然后在干燥皿中冷却收湿。

由树叶中央部份作组织片抽样，样品放在甲醛—醋酸—酒精

中固色，用三丁醇干燥，以蜡密封，用不褪色绿色或橘黄色与不褪色绿色的混合料染色。然后横向切成12微米厚度的切片。用蔡司标准全能摄影显微镜摄制显微放大象片。

为了减少大量光谱摄影产生的数据 and 简化数据的正理分析，以0.05微米的增量为单位，从0.5到2.50微米波段分成的41个波段中选定了七个波长。选取的七个波长是0.55，0.65，0.85，1.45，1.65，1.95和2.20微米；它们分别代表绿色反射率峰值，叶绿素吸收波段，近红外曲线平直部份的波长，1.45微米水吸收波段，在1.45微米水吸收波段后的1.65微米峰值，1.95微米水吸收波段和在1.95微米水吸收波段后的2.20微米峰值。

上述七个波长中每个波长的反射率、透射率和吸收率都分别作了分析。使用登康(Duncan)的多波段试验法，按5%的或然率级别，对每个波段进行各种木本植物资料中相互差异的测验。关于树叶厚度的对比关系和光谱测量中树叶的含水量，都进行了系数计算。

结 果 与 讨 论

物 理 特 性

表1中给出的九种木本植物的树叶物理特性，目的用于说明和对比。树叶厚度的范围由0.18到0.59毫米，破布木树叶最厚(根据登康的试验)而巴西康达木、枣树和卡文木是所有九种树叶中最薄的树叶。每叶面积范围由16到41.8平方厘米。破布木叶面积最大，而花椒树和牧豆树却是九种树叶中最小的面积。树叶含水量范围从55.7到78.0%、麻疯树叶具有最高含水量，而牧豆树和花椒树是所有九种树叶中含水量最低的。

表 1. 九种木本植物树叶的物理特性

植物名称	树叶厚度 ^① 毫 米	每叶面积 平方厘米	含 水 量 %
白花破布木	0.59 a	41.8 a	60.4 a
巴西康达木	0.18 b	4.1 b	64.9 b
银 叶 树	0.35 c	3.9 b	72.8 c
花 椒 树	0.2 b de	1.8 c	55.7 d
卡 文 木	0.20 b	9.6 d	58.7 a
刺 朴	0.28 e	3.9 b	63.2 b
腺 牧 豆 树	0.2 b de	1.6 c	55.7 d
异蕊麻疯树	0.25 d	5.1 b	78.0 e
钝 叶 枣 树	0.20 b	5.2 b	63.7 b

① 在同行中的取值用同一文字的，表示使用登康的多光谱试验不超过 5% 的分类级别，就用同一文字表示同级。

反 射 率

图 1. 用图解表示九种木本植物树叶从 0.55 到 2.50 微米波段内的反射率。在可见光区域 0.55 到 0.75 微米波段内的反射率于 0.55 微米有反射率峰值，而在 0.65 微米波段叶绿素吸收波段范围分别由 9.1 到 20.0% 和由 6.5 到 12.9%。对于这个波长 (0.55 和 0.65 微米)，银叶树树叶有与相对低的叶绿素密度相一致的最高反射率 (登康试验)。同其它的树叶相比较，与相对高的叶绿素密度相一致的最低反射率树种在 0.55 微米波长有卡文木和牧豆树叶，而在 0.65 微米波长有卡文木、花椒树、破布木和牧豆树叶。

代表 0.75 到 1.35 微米的近红外波段，在 0.85 微米波长处，银

叶树和破布木树叶有最高反射率（分别为49.9和49.8%），而牧豆树叶有最低反射率（为40.1%）。位于中间的反射率范围由枣树叶的42.5%到麻疯树叶的48.4%。由统计来看，枣树和卡文木，朴树和巴西康达木、花椒树和麻疯树等的反射率是相似的。

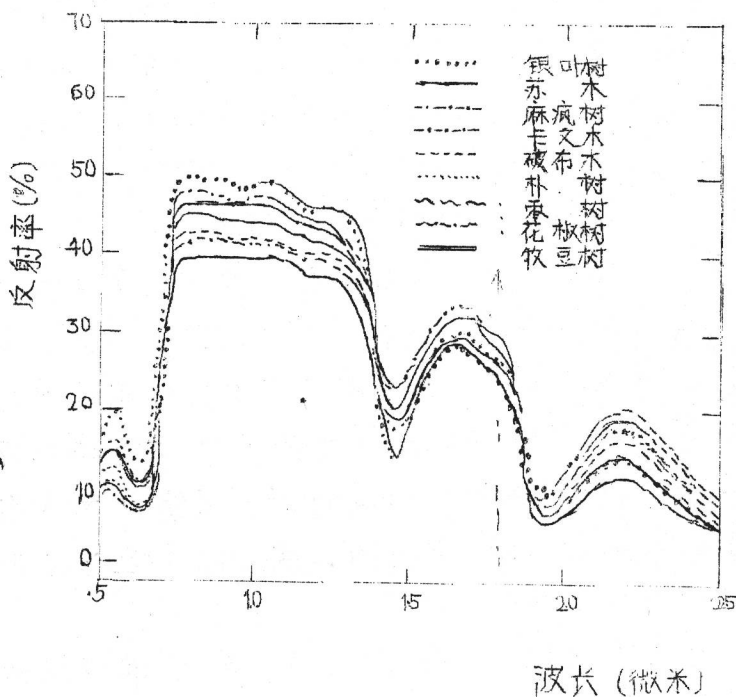


图1、几种木本植物在0.5到2.5微米波长范围内的树叶反射率。

在1.45-、1.95-和2.2微米波长处和在1.65-、1.95-和2.2微米波长处，同其它树种相比较，卡文木和银叶树树叶或者有最高反射率，或者成叶簇状有最高反射率。在1.45-、1.65-和2.2微米波长处，在所有树种树叶中牧豆树反射率最低。其它树种的树叶，则具中间的反射率。但在1.45-、1.65-、1.95-和2.2-微米波长处，没有显出一般反射率形式。

对于用遥感技术使用反射率测量，识别木本植物种类来说，

银叶树树叶在可见光谱区(0.5到0.75微米)的极高反射率和牧豆树叶在0.5到2.5-微米正个波段范围内普遍极低的反射率,对于用遥感图象来识别它们,这种情况是很有帮助的。

透 射 率

透射率曲线同图1中的反射率曲线具有相同的形状。一般来说,在全部可见光区(0.5到0.75微米)透射率数值比反射率数值较小,而在0.75-到2.5-微米波段区透射率数值比反射率数值较大。表2给出六种木本植物树叶在0.55-、0.65-、0.85-、1.45-、1.65-、1.95-和2.2-微米波长处的透射率数据。

在可见光谱区透射率的差异是微小的,差异幅度在0.55和0.65微米处分别为从7.8到12.4%和从3.2到5.5%。对于卡文本、康达木、枣树和麻疯树等树叶,在两个波长处有最高透射率。

代表0.75到1.35微米近红外光谱区的0.85微米波长的透射率,透射范围从43.9到54.0%。在这个波段枣树和卡文本树叶得到最高透射率,而破布木树叶透射率为最低,其它康达木、刺朴树和麻疯树叶则为中间的透射率值。

在六种木本植物中,由1.35到2.5微米波段范围内透射率差异是很大的。差异的范围对于1.45、1.65、1.95和2.2微米波长处,分别从14.9到33.4%,35.4到49.9%,3.0到17.1%和21.4到39.2%。在1.45和1.95微米波长处麻疯树叶得到最低透射率,而在1.65和2.2微米波长处破布木和麻疯树树叶分别得到最低透射率。

表2. 六种木本植物树叶对七个波长的透射率

植 物 名 称	波 长 (微米)						
	0.55 ^①	0.65	0.85	1.45	1.65	1.95	2.20
	%	%	%	%	%	%	%
破布木	7.8a	3.3a	43.9a	17.8a	35.4a	5.5a	22.0a
康达木	12.2b	4.0ab	49.9b	24.1b	42.7b	8.5b	29.9b
卡文木	12.4b	5.5b	5.34c	33.4c	49.9c	17.1c	39.2c
朴 树	9.2ac	3.2a	48.6ba	19.6a	39.2a	5.4a	25.0a
麻瘋树	11.8b	4.0ab	47.3a	14.9a	36.2a	3.0a	21.4a
枣 树	10.9bc	3.7ab	54.0c	26.4e	45.8e	8.8b	32.3e

① 在同行中的数值用同一文字的，表示使用登康的多光谱试验
不超过5%的有效值为类别级别、就用同一文字表示同级。

吸 收 率

表3列出六种木本植物在波长为0.55、0.65、0.85、1.45、1.95和2.2微米处的光谱吸收率。

在可见光谱区波长0.55微米处，吸收率范围由72.1到81.8%。破布木树叶有最高吸收率，康达木和麻疯树叶则具最低吸收率。在波长为0.65微米处，吸收率差异的幅度只有3.9%。所以，在这个波长用遥感技术很难辨别六种木本植物树叶间吸收率的差异情况。

代表近红外线光谱区的波长0.85微米处的吸收率的差异范围低，由3.5到6.3%。正如登康的试验指出，在0.85微米波长处，六种木本植物中树叶吸收率的差异是微小的。

在1.35到2.5微米波段范围内，六种木本植物树叶间吸收率的差异是很大的，对1.45、1.65、1.95和2.20微米波长处，其范围分别由44.7到68.4%，由18.1到31.6%，由73.2到89.3%和由40.2到50.5%。在这四个波段上同其它五种树叶相比较，卡文木的树叶吸收率相当的低。麻疯树叶在1.45微米波长和麻疯树叶、破布木树叶和刺朴树叶在波长1.65、1.95和2.20微米处有最高吸收率。

表3. 六种木本植物树叶对七个波长的光谱吸收率

植 物	波 长 (微米)						
	0.55 ^①	0.65	0.85	1.45	1.65	1.95	2.20
名 称	%	%	%	%	%	%	%
破布木	81.8 a	89.6 a	6.3 a	64.6 a	31.4 a	88.4 a	60.3 a
康达木	73.1 b	86.8 b	4.9 ab	56.5 b	24.8 b	82.9 b	50.3 b
卡文木	78.5 c	87.9 c	4.0 ab	44.7 c	18.1 c	73.2 c	40.2 c
朴 树	78.0 c	88.3 c	6.2 a	63.4 a	30.4 a	87.5 a	58.1 a
麻瘋树	72.1 b	85.7 b	4.4 ab	68.4 a	37.5 a	89.3 a	60.5 a
枣 树	78.4 c	88.3 c	3.5 b	56.6 b	24.0 b	84.5 b	51.4 b

① 在同行中的数值用同一文字的,表示使用登康的多光谱试验

不超过5% 有效值的分类级别,就用同一文字表示同级。

树叶组织与反射率

图2表示几种木本植物树叶叶肉组织的三个类型。这些类型

图2. 银叶树树叶中心叶肉组织的横切面图 (A, 上部象片), 麻疯树叶的角棚组织 (B, 中部象片); 枣树叶的篱棚组织 (C, 下部象片)

是：中心近轴（上部）和中心离轴（下部）的连续叶肉组织（图 2A）；树叶一面是脊状栅软组织细胞，而另一面是多孔软组织细胞（图 2b）；树叶两面都是分离栅软组织细胞（图 2C）。银叶树树叶有中心叶肉组织；破布木、康达木、花椒树、卡文木、刺朴和麻疯树叶有脊状叶肉组织；而牧豆树和枣树叶有分离叶肉组织。

由于树叶组织在近红外光谱区 0.75 到 1.35 微米中间对光散射有着重要的作用，树叶叶肉组织的类型在这个光谱区影响着反射率。参看图 1 中所示的近红外波段可以看出，具中心组织的银叶树树叶有最高的反射率，具脊状组织的树叶倾向于给出中等的反射率，而具分离组织的牧豆树和枣树叶则给出最低的反射率。很明显，除了脊状组织的康达木树叶外，同其它树叶相比较，银叶树树叶具有致密分开的叶肉组织，同具粗糙而分开的叶肉组织相比，具致密分离叶肉组织对于在叶缘组织中缩短光的行程是有帮助的。所以，对光的吸收就较小。同离栅组织树叶相比较，脊状组织树叶有更多的空气和细胞接触面，这就促使光的散射。

相互关系

九个树种每种树的树叶反射率与其自身树叶厚度和树叶含水量有分畝的相互关系，按七个波长的每个波段计算了系畝。

反射率与树叶含水量的相互关系一般是不良的。对于卡文木、刺朴树、麻疯树、枣树、银叶树、牧豆树和花椒树等树种，反射率与树叶含水量间的线性关系少于变量 ($Y^2 \times 100$) 的 30%。对于康达木在 0.55、0.65 和 0.85 微米波长处的相关系畝（分别为 -0.67、-0.68 和 -0.68）是很有意义的（每级 = 0.05）；而破布木树在 0.55 和 1.45 微米波长处的相关系畝（分别为 -0.65 和 0.76）也是有意义的。

反射率与树叶厚度的关系，一般来说也是不良的。对于卡文木、刺朴树、麻瘋树、枣树和花椒树，反射率与树叶厚度间的线性关系占变量的34%以下。康达木在0.55和0.65微米波长处的相关系数（分别为0.74和0.75）是有意义的（每级=0.05）。对于银叶树在波长1.95微米处的相关系数为-0.74，对于牧豆树在波长1.45微米的相关系数为0.80，同样也都是有意义的。

关于反射率和树叶厚度之间与反射率和树叶含水量之间的关系有意义的特性曲线没有估计。但对每个树种在每个波长仅根据10组数据计算了相关系数。若使用10组以上的数据，对于反射率和树叶厚度与反射率和树叶含水量的相关系数，可能提供更多的变化，并提供更佳的内容。

结 论

对于九个树种的反射率特性知识是很重要的，因为掌握了它，我们就可在遥感图象上，把它们同草或草本植物区别开来。

在本专题研究中，同其它的树叶相比较，在0.50到0.75微米可见光谱区，银叶树树叶具有最高的反射率，而牧豆树叶在0.5到2.5微米的整个波段一般有最低反射率。认识到这些特征、在遥感图象上就容易识别它们。

原载美国《地球资源遥感》第五卷本
pp. 333—345

曹坦平 译

用地球资源技术卫星一号 多光谱扫描响应推论植被密度

美国, 得克萨斯、威斯康科、美国农业部农业研究处

C. L. 威干得, H. 凡格斯曼,
J. A. 库拉, A. H. 格伯曼和 A. J. 理查得生

摘 要

在波长 0.75 到 1.35 微米区间植被的反差随植被密度的增加而增加。因此, 地球资源技术卫星一号 (以下简称卫星一号——译者) 波段 6 (0.7 到 0.8 微米) 和波段 7 (0.8 到 1.1 微米) 含有的资料, 应与作物估产和放牧地区动物容量有关系。另一方面, 植被产生的反差比裸露土壤的反差显著较小, 而在可见光波长区间, 当植被密度增加, 植被反差基本上是常数。因此, 在卫星 1 号波段 4 (0.5 到 0.6 微米) 和 5 (0.6 到 0.7 微米) 中, 当植被增加时而观测到的影象反而减弱, 这主要是由植被遮蔽土壤反射而引起的。除波段 6 和 7 之外, 波段 5 与波段 7 之比 ($5/7$) 或波段 7 减波段 5 之差 ($7-5$), 对卫星资料使用者来说, 实际上是植被密度和植被复盖的指示物。

本文还给出了为试验对面积指数、植株总数、植物复盖和植物高度与 3 块谷物地、10 块高粱地和 10 块棉花地的卫星一号多光谱扫描影象之间的关系, 而特别设计的一个试验结果。由于云雾的关系, 只有卫星一号的一个响应 (即五月 21 日图象 1308—16323),

产生了多光谱扫描资料，而这些资料又只限于波段4、5和6。叶面积指数和波段6的航空相片之间的线性关系系数，对于10块棉花地为0.823，对于高粱和谷物混合地则为0.841。叶面积指数与波段6减波段5的航空相片之间的相关系数，对于棉花地为0.888，对谷物和高粱地则为0.768。四个植物参数可解释6波段航空相片中变化的87—90%，可解释4和5波段中变化的59—90%。对于突出高粱和谷物地特征，植株总数同叶面积指数同样有用，对于突出表现棉花地特征来说，植物高度同叶面积指数一样良好。这些发现，对于利用卫星一号资料来解释绿色生物量中的变化、可收获的饲草和其它产品产量的指示物，一般认为是有帮助的。

导 言

地球的植被是地球的最有价值资源之一。植物是人类和其它动物需要的大量食物和纤维的示踪资源。而过去年代的植物，则提供对我们今天有重要意义的煤和石油的能量储藏。植物还密切关系到地球的水分平衡和能量平衡。

植物净吸收或固体物质生产是与叶子数量和光化面积相关的。由空间探测植被所得的光谱响应 (response) 主要受叶子的支配。这样，在植被复盖、植被密度和其它产量指示物(牧场、森林和作物土地)等方面，卫星一号资料中植被的光谱响应是值得研究的。

农业、林业和畜牧工作者，利用各种参数指示植被密度或植被潜在产量。例如，林业工作者利用树干径级、树冠径级、树高、叶面积指数和木材蓄积量。畜牧作者利用可收获的饲草和动物容纳量(维持一个动物一年所需的公顷或公顷数)；生态工作者利用生物量的估计，农业工作者利用叶面积指数、地