

# 黄淮海平原低产土壤的遥感清查\*

戴昌达 杨瑜 石晓日 刘连硕

(中国科学院南京土壤研究所) (中国科学院空间科学技术中心)

1986年1月6日收到

黄淮海平原是我国最大的平原和极重要的农区,人口、耕地均占全国六分之一强。有史记载以来,旱涝、盐碱、风沙等灾害频繁,产量低而不稳。这些低产因素集中而突出地反映在盐碱土、沙土和砂姜黑土等分布面积甚广的三类低产土壤上。因此,查清这些土壤的数量、分布及其动态变化,是确定黄淮海平原农业发展目标及制订进一步开发治理方案的科学基础。

黄淮海平原是我国研究程度较高的农区之一,许多单位先后在这个地区开展过调查研究和勘测制图,积累了大量资料,但由于种种原因,土地资源的家底仍然不清,且没有形成全平原的完整资料。为此,根据中国科学院黄淮海科技攻关任务的需要,于1984年突击开展了全平原低产土壤遥感清查的试验研究。在半年的时间内,绘制出了全平原35万多平方公里的1:50万低产土壤分布图,量算统计出5个一级区、14个二级区、三类11种低产土壤的面积。并与各种历史资料进行对比分析,判断盐碱土的消涨变化,并预测了今后的演变趋势,充分显示了遥感技术在攻关任务中的重要作用。

## 一、技术方案的选定

考虑到黄淮海平原低产土壤清查面广量大,时间紧迫,经费有限,不能指望依靠航空遥感;考虑到黄淮海平原的复杂性及陆地卫星影象分辨率的不足以及现有自动识别分类方法的局限性,不可能指望完全采用计算机信息提取方法来满足攻关任务要求等情况。因此,决定先选择三个有一定代表性、已有引进的较新卫星磁带、并有与卫星磁带时相接近的航空象片的典型地段,打印出磁带记录的四个波段灰阶值,转抄到按象元行列距设计的格网中,制成约1:1万的象元灰阶值格网图,与地形图和航空象片对应起来定位定物,深入剖析待识别地物的光谱特征,掌握其在各成象波段内有代表性的灰阶值、变幅范围,从而加深对资源卫星成象机制的认识,找出最有利于识别这些地物的特征波段与特征值,这样既可为探索改进现行自动识别分类方法提供依据,又可用以指导卫星影象的目视解译。

\* 对这项工作曾给予各种形式的援助和支持的单位有中国科学院石家庄农业现代化研究所、遥感应用研究所、北京地理研究所、南京地理研究所、自然资源综合考察委员会、水电部遥感中心、石油部遥感中心、地质矿产部遥感中心、北京市农业科学院土壤肥料研究所、河北省地理研究所、水利科学研究所、山东农业大学、山东师范大学、山东省水利科学研究院、山东省土壤普查办公室、河南地理所、河南农学院、江苏省土壤普查办公室、安徽省宿县、涡阳、蒙城等县土壤普查办公室、江苏省测绘局和国家测绘总局等,特此感谢。

与此同时,从广泛收集到的卫星影像中挑选出质量较佳、时相较宜者进行假彩色合成并放大,获得一套覆盖全平原的 1:50 万标准合成片作为解译成象的基本片。解译时充分参阅了各种专业资料与不同时相的卫星影像。解译结果经抽样实地校核验证后,逐幅转绘到 1:50 万地形图上,最后,清绘出全平原低产土壤图,并以国产 ML-F1 型电子分色图形面积测量仪量算面积。

## 二、低产土壤与定位地物的光谱特征

具有定位意义且在卫星影像上容易识别的地物主要是水体与居民点,这两者的位置一旦确定下来,各类低产土壤的分布位置就可随之而定。

水体的光谱特征相当稳定,在 MSS 成象的光谱范围内反射率都低,尤其在 MSS7 波段几乎是全吸收,其灰阶值明显低于其它地物,很容易识别。只有在水面被茂密的水生植物覆盖时, MSS7 波段的灰阶值才因植物的陡坡效应而显著升高,显示出植物光谱特性的强烈影响。此外, MSS4、5 波段的灰阶值将随水体混浊程度的增加而提高,有时甚至高于有覆盖植物的陆地。打印出的封丘试验区水体的 4 个波段灰阶值曲线,清楚地反映出了上

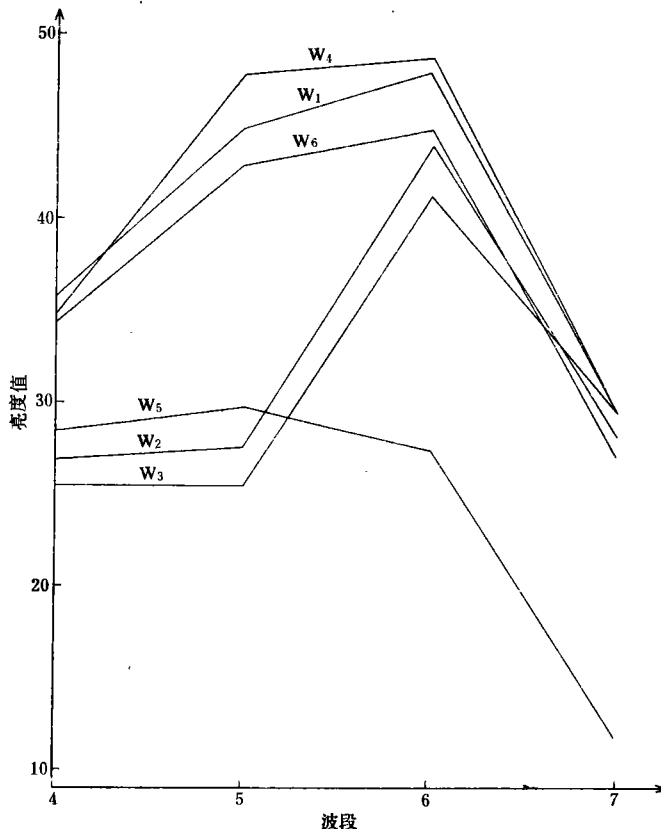


图 1 各类水体的光谱曲线

Fig. 1 The Spectral Brightness Curve of Various Water

W<sub>4</sub>, W<sub>1</sub>, W<sub>6</sub>——混浊水, W<sub>1</sub>——清洁水, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>——生长芦苇的水体

述规律(图1)。图中:  $W_1$  为清水,在 MSS4,5,6 三个波段的曲线相当低平,在 MSS7 波段趋近于零;  $W_2, W_3$  为生长芦苇的水体,其在 MSS6,7 波段强烈抬升,明显显示出植物的影响,但从整条曲线看,其位置仍较低,从而有别于其它非水体地物;  $W_4, W_5, W_6$  为混浊水, MSS5 波段的灰阶值明显高于清水和长有植物的水体, MSS6,7 波段的差异则相对较小。

居民点的光谱特征随季节和地区而异。封丘试验区的村庄周围及农舍庭院多植槐、榆、杨等树木,6月中旬树冠葱茏,这时获得的光谱数据,明显受植被影响, MSS5 波段的灰阶值降低, MSS7 波段抬升(图2)。南皮试验区居民点周围及宅旁,一般树木稀疏,且磁

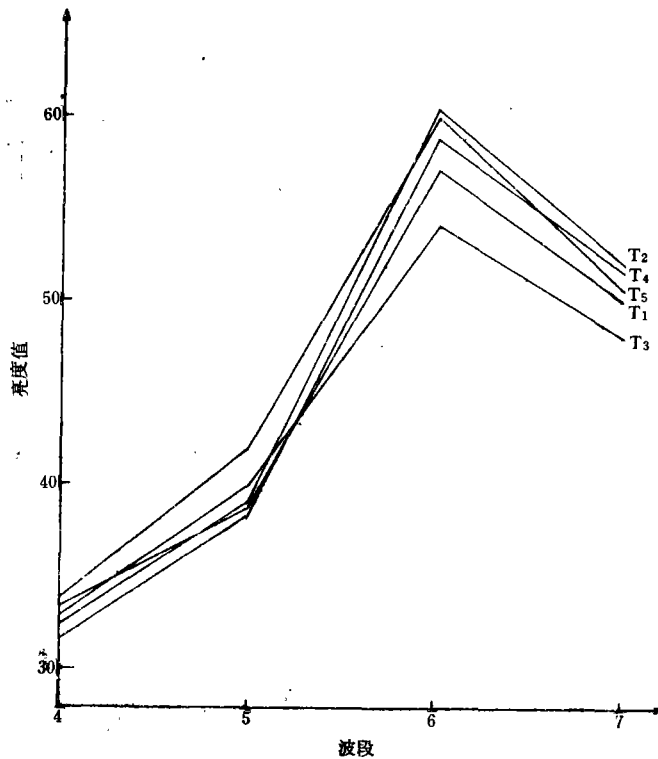


图2 封丘地区村镇的光谱曲线

Fig. 2 The Spectral Brightness Curve of Residential Area with Mang Trees in Digerent Plot in County Fengqiu of Henan Province

T<sub>1</sub>—T<sub>5</sub>——分布在不同地区的树木较多的村庄

带成像时间一幅为1978年10月16日,一幅为1981年4月21日,均不处于树木生长旺盛期,故光谱特征受植被的影响减少,主要取决于房屋的造形、材料及池塘、水坑的多寡等因素,比较复杂。从图3可以看出,曲线1—3比较低平,4个波段亮度值之间的差异较小,是水塘较多的村庄的光谱特征;曲线6—9在 MSS4,5 波段较低,在 MSS6,7 波段稍有抬升,显示了某些植被的影响;曲线12—13则反映了基本上无植被影响的居民点的光谱特征。

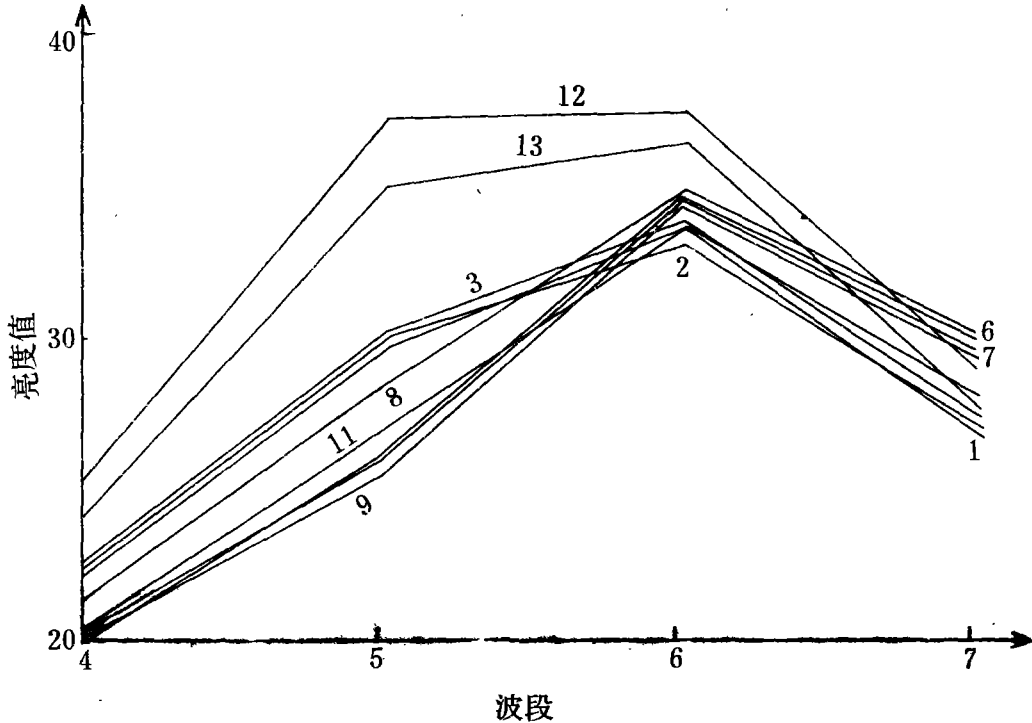


图 3 南皮地区村镇的光谱曲线

Fig. 3 The Spectral Brightness Value of Residential Area in County Nanpi of Hebei Province

1—3——水塘较多的村庄；6—9——树木较多的村庄；  
12, 13——树木较少的村庄

黄淮海平原主要低产土壤有三类：盐碱土，沙土和砂姜黑土。盐碱土的土体中含有一定量的可溶性盐。在非雨季，盐分随毛细管上升，聚积于地表，形成白盐霜或盐结皮，提高了土壤的光谱反射率，提高的程度随表土盐分含量和湿度而异。在种植作物的农地，由于盐碱会抑制作物生长，甚至出现缺苗断垄现象，这时即使地表无盐霜，其各波段，特别是MSS5, 7波段的灰阶值，也将明显区别于周围作物生长良好的地段；MSS5波段低，MSS7波段高，表现了裸地的光谱特征。图4列举了封丘地区不同地段7块盐斑的光谱曲线。在可见光波段(4, 5波段)，这些曲线斜率一致，仅随含盐量的多寡而升降，说明盐碱土的光谱特性在可见光波段比较稳定；在近红外(6, 7波段)则彼此有些交错，如C<sub>3</sub>的6, 7波段光谱值就比其它盐碱斑降低的幅度大些，表明可能系那里的表土湿度较高所致。

沙土因有机质含量低，持水能力差，因而反射力高，使其光谱特性常与盐碱土十分接近。如图5列举的S<sub>1</sub>—S<sub>4</sub>四条曲线为封丘地区裸露沙土，其曲线形状总的说与图4相似，但是，当沙地、沙丘为植被覆盖时，则曲线形状骤然改观，如图5的S<sub>5</sub>—S<sub>7</sub>，显示了植被的强烈影响。而且从MSS5, 7波段光谱值高低的排列次序可以看出，S<sub>5</sub>的植被覆盖度高于S<sub>6</sub>，S<sub>6</sub>又高于S<sub>7</sub>。

从理论上分析，盐碱土分布区的地下水位都较高，地下水通过毛细管可及地表，常使表土湿度较大。只要表土没有完全被白色盐晶覆盖，必然会影响其光谱特性，而沙土区地下水位有低有高，即使地下水位较高的地段，表层沙土的持水量一般也较低。据此，我们从

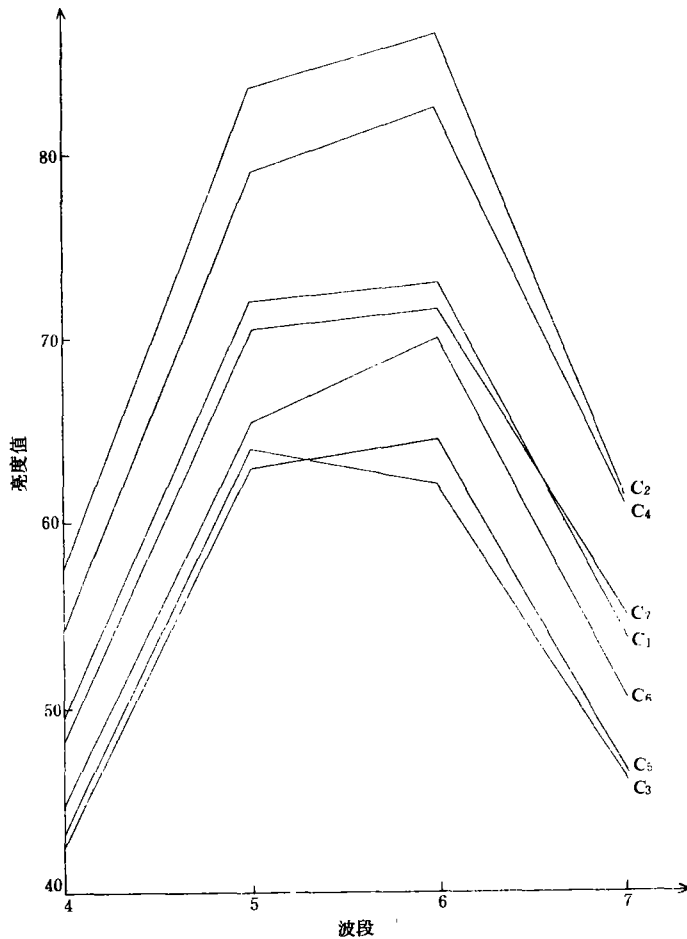


图 4 封丘地区盐碱土光谱曲线

Fig. 4 The Spectral Brightness Value of Salinized Soils in Fengqiu County

C<sub>1</sub>—C<sub>7</sub>——分布在不同地区的盐渍化土

根据航空象片确定的裸露沙地和盐碱斑中任选 7 块 (每块象元数为 10 或略多) 的光谱数据, 分别计算其可见光与近红外波段光谱均值的比值, 图 6 为计算结果。由图 6 可知, 利用比值处理, 将有可能使盐碱与沙土在可见光与近红外波段反射力的细微差异扩大, 从而加以区分。

为了对试验区各类主要地物的光谱特征有个全面概括的了解, 在分析统计数千个象元数据的基础上, 分别绘制出封丘和南皮各类地物的平均光谱曲线 (图 7 和 8)。由图 7 和 8 可以看出, 各类地物数以百计的象元的平均光谱值, 都符合前述从某些典型地段少量数据分析得出的地物光谱特性规律。由此可见, 从卫星影像中提取各类地物信息是完全可能的, 其复杂性在于类内各个体间普遍存在离散性, 有时某些个体间的离散性, 接近甚至超过不同类间的差异性, 导致自动识别分类的困难。

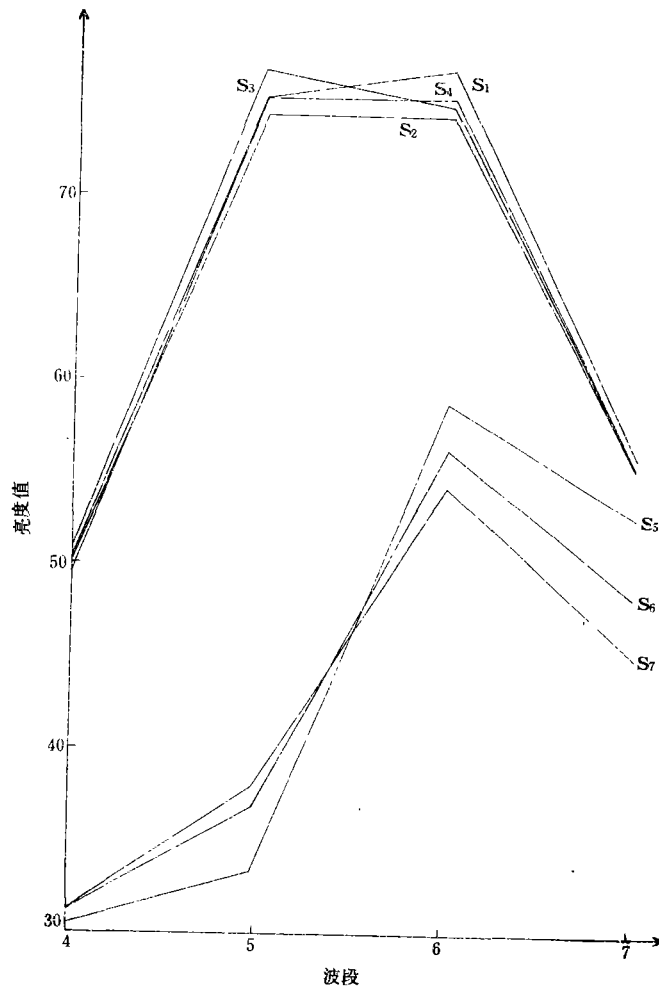


图 5 封丘地区两大类沙土的光谱曲线

Fig. 5 The Spectral Brightness Value of Sandy Soils

S<sub>1</sub>—S<sub>4</sub>——裸露沙土, S<sub>5</sub>——植被覆盖度很高的沙土,  
S<sub>6</sub>——中等植被覆盖度的沙土, S<sub>7</sub>——植被较少的沙土

### 三、卫星影象的目视解译与成图

#### (一) 各种土壤的影象特征及其解译

美国陆地卫星多光谱扫描图象,是地物在 0.5—1.1 微米波段范围内光谱反射特性的记录。从上述关于黄淮海平原三类主要低产土壤及其定位地物光谱反射特性的概要分析可以看出,一方面由于这些待识别地物的理化性质和结构的差异,使之具有不同的光谱曲线,从而在遥感图象上形成不同形状和色调特征影象,为解译提供了依据,如水体的光谱反射率低,特别是在红外波段几乎趋近于零,故 7 波段的影象呈黑灰色调,在常规彩色

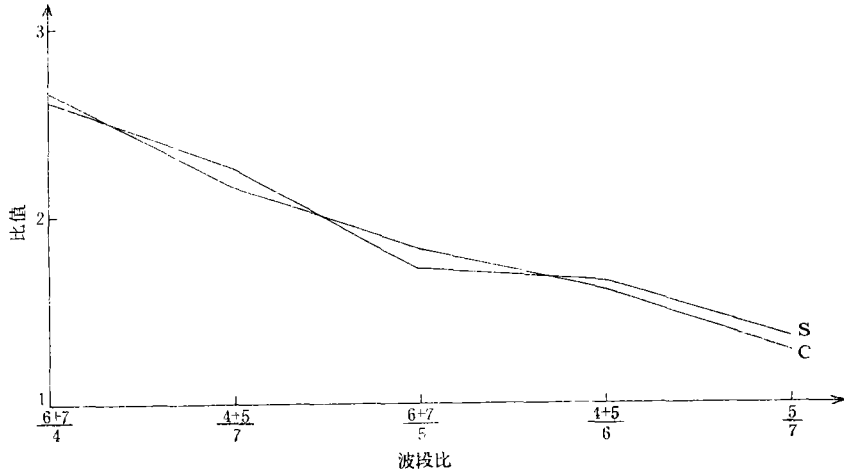


图 6 盐碱土与沙土光谱的比值

Fig. 6 The Rate of Brightness Value of Salinized Soils and Sandy Soils

C——盐渍土, S——沙土

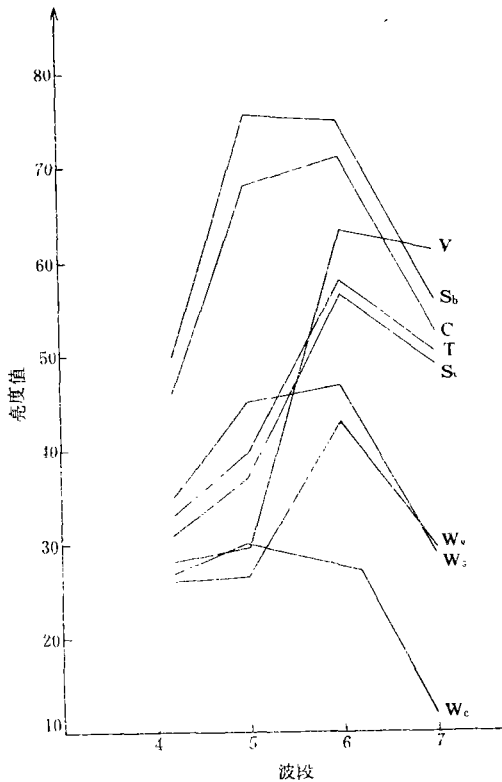


图 7 封丘地区各类地物的光谱曲线

Fig. 7 The Spectral Brightness Value of Various Objects in Fengqiu County

C——盐渍土, V——植被, Wc——消水,  
Wv——生长有植物的水, Ws——混浊水,  
S0——裸沙地, Sv——长植被的沙地, T——居民地

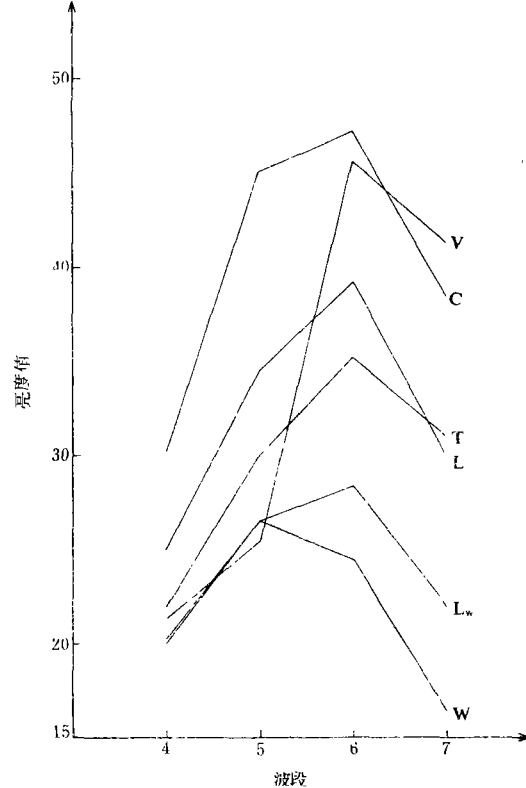


图 8 南皮地区各类地物的光谱曲线

Fig. 8 The Spectral Brightness Value of Various Objects in Nanpi County

C——盐渍土, T——居民点,  
L——裸地, Lv——湿地,  
W——水体, V——植被(小麦)

合成片上呈深蓝色,即使长有水生植物的水体,其影象也必在暗色背景上显红色,易于辨认。另一方面,世界上的事物是复杂的,影响影象形状和色调特征的因素很多,难免出现彼此混淆的情况。如地表积有盐霜或盐结皮的盐土,与某些不含暗色矿物、未长植物的沙土,及有机质、水分含量都很少且表面板结的裸地土壤,在可见光与近红外区都具有很高的反射力,因而都形成近灰白色的影象;某些含有  $MgCl_2$  的盐土容易潮解,某些碱化土壤发生有机质的溶提,均会大大降低其表土的反射率,而在图象上形成与低湿土壤或高有机质土壤相似的暗色影象,等等。因此在进行遥感图象目视解译时,不能仅仅依据地物的光谱特性及其成象机制,还必须充分利用地物之间的相互联系及各自本身的时空分布变化规律,来相互补充,相互验证,综合分析,才能减少误判,提高解译精度。

在黄淮海平原低产土壤图象解译的实践中,我们始终坚持这种综合分析的方法,首先根据水体在常规彩色合成片上的影象多呈暗蓝色的条带状、线状或边界线明确的封闭轮廓等特点,与城镇的影象多为淡蓝色、边界毛糙等不同特点将二者辨识出来以后,一定要与地形图对照核实,使之准确无误。

在解译盐土时,首先根据地理分布与影象特征相结合的方法,勾绘出沿海成条状分布、色调显蓝的滨海平原区;滨海平原外缘在稳定海岸线与常水位线之间的暗蓝色条带,系潮水尚能波及的滩涂,此为滩地盐土分布区;滨海平原内有不少新、老垦区,可看到几何形状规则(条块、方块等)、边角明显、排列较整齐的农田影象,有的显红色(长作物地)、深蓝色(稻苗未封行或未插秧的水田)或淡灰色(裸地),其中有些影象内部色调很不均匀,杂色的感觉十分鲜明,此为滨海强盐化土;色调不均匀的程度稍轻,杂色感觉较弱的地段为滨海轻盐化土;在濒临海岸带处尚有大片杂色图象,其内部见不到农田(但有的地方可见到呈蓝黑色的盐田、虾池影象,有沟渠与海水相通),则为滨海盐土荒地,其中蓝色或淡灰色影象者为植被极稀疏的重盐荒地,略显紫红色的地段生长一些耐盐植物,是滨海盐土沙滩,为重要的后备土地资源。

滨海平原内侧为内陆农区,耕作历史悠久,田块较小,排列不很整齐,故在卫星影象上看不到清晰的田块轮廓。为了避免其它人为因素等可能造成的杂色影象对解译的干扰,除重点解译春天返盐季节的基本片外,应尽量收集其它时相的卫星影象进行对比分析。在内陆农区也有些地段,影象色调很不均匀,杂色感觉十分鲜明,且底色偏亮(灰白色或浅蓝色),此为盐碱斑分布比较密集的重盐碱化土区。色调不均匀、杂色感觉比较轻微的地段,则为轻盐碱化土区。

沙土多呈较均匀的淡灰—灰白色枝状、扇状等图型,分布在大河新、老冲积扇、三角洲或沿岸破堤决口地段。其中丘垄状起伏沙土地,一般呈带状延伸,平沙地则较宽阔。如有比例尺较大的地形图(特别是航测地形图)参考,则根据地形图上的高程点及地物注记,可准确地将二者区分开。

在卫星影象上可看出,部分沙丘、沙垄及平沙地,经多年开发治理,现已绿树成荫,林、果、油料作物生长茂盛,呈鲜红色影象,但大部分沙土区仍呈现出植被覆盖率低,生物生长量少的特点,故影象色调总的来讲仍偏亮。

砂姜黑土大面积分布在地势低洼、排水不畅的淮北低平原及泰山、鲁山、燕山山前的局部洼地。土壤中上部有黑土层,土质粘重,内排水不良,造成表土容易滞水等,致使这种

土壤的光谱反射力明显降低,在卫星影象上具有较稳定的色调特征,一般都显蓝色而易与周围其它土壤相区别。近年不少地区改良、利用砂姜黑土取得成效,作物长势健旺,产量成倍增长。这些田块的影象,在蓝色基调的背景上呈鲜艳的红色。如联系其所处地形部位(这可与地形图对照分析)或参阅未长作物时期的卫星影象,则很易与其它高产土壤区分开。

在淮北大平原的卫星影象上还可见到不少淡灰色小斑点散布在大片普通砂姜黑土形成的蓝色基调的影象中,其中,有些是碱化砂姜黑土,有些是脱碱化砂姜黑土。碱化与脱碱化土,目前在图象上尚难识辨,需查阅土壤专业资料或实地调查访问才能确定。

在苏北,连接滨海平原的局部洼地,有几处砂姜黑土受高矿化水影响,产生盐化现象,为盐化砂姜黑土,在冬春返盐季节,其影象也显淡灰色。

## (二) 转绘成图与面积量算

由于受经费和设备等条件限制,对卫星图象没有进行几何纠正。采用 1:50 万地形图为转绘底图、以同名地物做控制、目视蒙绘的成图方法。由于卫星影象存在许多不规则的变形,故同名地物的控制范围有大有小,形状也不求一致,应根据实际可能分块分次对点转绘。当卫星影象与地形图的同名地物,在颇小范围内仍不能全部重合时,则采取目估法使重合误差较均匀地分布在对点四角。

经转绘制出 1:50 万全平原低产土壤分布草图,并经重点抽查验证核实后,使用国产 ML-F1 型电子分色图型面积量测仪量算面积。量算时,我们先把图上三类十一种低产土壤的图斑,在透光台上分区分种逐块描绘到白纸上,然后用高级国画墨水均匀着墨,再按五个一级区、四个二级区分次上机量算各种低产土壤图斑的面积,重复量测三次(如重复误差超过 0.3%,需再量测,为保证量测精度,避免仪器等造成的系统误差,还用另一台同型号仪器重测一遍),取其均值,然后换算统计出各区各类低产土壤面积。图版 I 为黄淮海平原低产土壤分布图。

## 四、结 语

1. 低产土壤动态分析与演变趋势预测,根据这次遥感清查结果,对比以前资料,形成以下几点看法。

(1) 内陆农区耕地中的盐渍土面积已大幅度减少,盐渍化程度明显减轻。五十年代,中国科学院和水电部曾联合组建土壤调查队,在华北平原开展过大规模土壤调查,绘制出版了 1:20 万土壤图,与这次绘制的 1:50 万图对比分析可以看出,五十年代的重盐渍区大部分仍存在,但盐渍化程度一般都有所减轻;轻、中盐渍区,不少已成为好地,不过变化程度各地区不一罢了。如黑龙港地区,在五十年代的图上,各类盐渍土覆盖区密集,占耕地比重居平原之冠,而在这次绘制的图上盐斑则显著减少;徒骇、马颊河流域减少幅度较小,其盐斑密度反超过黑龙港地区而居首位。

再按水电部系统各县上报的统计数字看,全平原农区(不包括滨海荒地)1958 年盐渍土面积为 4081 万亩,1961 年上升到 6088 万亩,1980 年缩减到 3137 万亩,近年农业系统

不少单位习用的数字则为 5000 万亩(以上均指耕地亩)。这次清查结果,内陆农区与滨海新、老垦区,盐渍土折算成耕地亩约 2200 万亩左右。由此可以认为,黄淮海平原耕地中的盐渍土面积,至少比六十年代初减少了一半,比五十年代减少三分之一强。

滨海盐渍土无数据可资对比,但从局部地段的新、老土壤资料与遥感图象分析推断,这些年来变化不大,除苏北垦区外,基本上无明显脱盐现象。在滦河、黄河、海河三角洲的某些地段,还由于淡水来量减少等原因,有些耕地撩荒,有些稻田回旱,盐化度反有所加重。

总之,黄淮海平原综合防治土壤盐渍化的工作已取得巨大成绩,内陆农区盐渍土面积明显缩小,程度显著减轻。然而就全平原而言,盐渍化的威胁尚未根本消除,有些地区还可能出现反复。

(2) 平原中的流动性沙丘和飞沙土,经三十多年的利用和治理,有的采取引黄灌淤、深翻客土等措施,改善了土壤质地;部分距交通线近的沙丘、沙垄开辟为挖取建材的基地;大面积平沙地根据因土种植、合理利用的原则建成了果林、油料基地,但从卫星影象上可清楚地看出,各地区发展不平衡。相当多的沙土区仍呈现出植被覆盖率低、生物生长量少的状况,潜力未充分发挥。个别地区的沙丘、沙垄,因近年植被遭破坏,流动性又重新表现出来,这些均值得注意。

(3) 砂姜黑土以其地势低洼、土壤粘重、内排水不良等因素限制了旱作高产。有些地区针对这些低产因素,采取开明沟、埋暗管、打鼠洞等措施排水降水,及增施磷氮化肥,引种绿肥,积制厩肥,秸秆还田等措施培肥改土,均收到良好效果,但在卫星影象上仍可看出,不少砂姜黑土区仍保持着那种低湿易涝、作物长势不够旺盛的状况。近年有些地区在改善了水利设施后种植水稻,产量成倍增长,值得在条件具备的地方大力推广。

2. 我们在河北南皮、河南封丘和安徽阜阳三个有磁带数据的地区,进行了自动识别分类试点,分别采取了经改进的二次分类法及不同方式的监督与非监督混合分类法,都取得了较好的效果。但计算机自动识别分类结果还是有混类现象。主要表现在裸地与盐碱地混类,风沙地与盐碱地混类。这是由陆地卫星 MSS 的空间分辨率和波谱分辨率决定的。立足于对影象光谱数据进行数理统计处理,而实现自动识别分类的现有各种监督与非监督方法,应用于盐碱土的信息提取,其精度常低于 80%,难于满足生产要求,特别是在沙土与盐碱土并存区,两者更易混淆难分。从我们的实践看,若在深入掌握地物光谱特性,分析各地物的特征波段、特征值及彼此间的细微差异的基础上,分别采取各种监督与非监督相结合的分类方法,和二次分类方法,可明显地提高区分盐碱地与沙土地的分类效果,这说明自动识别分类方法的改进是有很大潜力的。

## **Inventory of the Low Productive Soils in Huang-Huai-Hai Plain by Using Remote Sensing**

Dai Changda Yang Yu Shi Xiaori

(Institute of Soil Science Academia Sinica)

Liu Lianshuo

(Centre of Space Science and Technology, Academia Sinica)

### **Abstract**

This paper deals with using remote sensing to make an overall inventory on the three principal types of low productive soils (salinized soils, sandy soils and calcic concretion black soils) in Huang-Huai-Hai plain, the largest plain in China. The inventory was conducted mainly on the base of the LANDSAT MSS, imaged in the spring and some in other periods after a treatment of optical enhancement. The visual interpretation was done in the synthetic analysis methods based on the imagery mechanism combined with the geoscientific regularities, the interpretation results were transformed to a 1:500000 topographic map and the map of low productive soils distributed in Huang-Huai-Hai plain was fairly drawn with the same scale.

For the more accurate discrimination of various low productive soils and reduce the blindness and errors in the visual interpretation process, several methods for automatic discrimination and classification were preliminarily found out. As a result, the problem that in some sectors of Fengqin, Henan province where sandy soils were often confused with the salinized soils was well solved, the efficiency of automatic classification by computer was improved, the statistical data of low productive soils in three selected sectors were satisfactorily picked up and a low productive soil distribution map with the pixel as the smallest unit was printed out.



黄淮海平原低产土壤分布图