

土壤遥感自动分类与制图的初步试验*

刘 兴 文

(中国科学院南京土壤研究所)

自从美国通过所发射的第一、二、三颗资源卫星获得了大量的航天遥感资料以来,很多国家都在利用这些资料进行土壤自动分类与制图的试验,企图用以提高土壤调查制图工作的质量与速度。但从所发表的资料看来,均没有说明所得最后结果是否能满足所需精度的要求^[1,2,5]。

能否利用遥感资料来进行土壤自动分类与制图,其关键是图像处理系统能否根据遥感资料来识别与划分不同的土壤类型。当土壤处于裸露状态下,不同土壤所反射的不同波长的电磁波谱强度不相同^[6],图像处理系统所分类出来的具有不同亮度等级的象元就代表不同土壤的分布范围。当土壤被茂密的自然植被或农作物覆盖时,遥感资料所记录的信息虽不是土壤本身的光谱特点,而是不同类型的植被或农作物的光谱特征,但由于很多土壤和植被或农作物之间存在着密切的关系,因此,图像处理系统所分类出来的具有不同亮度等级的象元也间接地指明土壤的不同。当土壤被覆盖度大小不同的植被或农作物所覆盖时,图像处理系统也能把这种土壤所对应的象元作为若干个亮度等级与其它土壤区别开来,只要利用足够数量的野外观察点来进行核校,就能确定这若干个亮度等级的象元所对应的土壤及其分布范围。

为了探索利用航天遥感资料进行土壤自动分类与制图的可能性,笔者在墨西哥进修期间对此进行了试验研究。现将试验结果整理如下。

一、试验地区的自然条件和土壤

试验区位于墨西哥中部盖赖塔洛市的西南,面积约 917 平方公里,属半湿润亚热带。地形地貌条件比较复杂,既有低山、高丘,也有缓丘及冲积平原。成土母质主要为玄武岩、凝灰岩、砂岩和河流冲积物。自然植被有灌木、半刺性灌木、混合型灌木及次生牧草。各种类型植被的覆盖度都随破坏程度不同而有所变化。试验区内,耕地面积约占 50%。作物种类比较单一,主要为玉米、高粱和豆类。部份平原地段有灌溉设施,终年可种植作物。丘陵地区没有灌溉设施,仅在雨季才能生长庄稼。

按照墨西哥所修正的联合国粮农组织的土壤分类系统^[4],试验区的主要土壤类型和分布范围如图 1 所示。在较干旱地区的玄武岩上(其坡度多在 30° 以下)和由玄武岩风化物运积而成的冲积平原上多发育成普通变性土。在较湿润的台地上,虽母质亦为玄武岩,

* 该试验是在墨西哥国家土地总局 (DETENAL) 的 Rafael Allende 和 Nicolás Flores 工程师指导下完成的。试验进行过程中还得到了 Humberto Ramos、Marciano Cruz 和 Sergio Yañez 工程师的帮助。在此一并表示感谢。

但常常发育成红色淋溶土。各种正常软土多发育在凝灰岩和砂岩母质上,其坡度皆小于25—30°。石质土总出现在坡度陡峻地段,且几乎与降雨量和成土母岩都没有密切关系。

二、试验方法

该试验分如下步骤:常规法土壤制图、自动分类与制图、辅助目视判读及精度计算。

1. 常规法土壤制图 为了检查自动分类制图的精度,先用常规土壤制图法绘制出试验区五万分之一的土壤类型图,然后遵照相应的精度要求,缩制成二十五万分之一的土壤图(图1),作为检查基础。土壤类型的划分是根据野外观察资料和室内分析结果,按照墨西哥修改的联合国粮农组织的土壤分类系统进行的。野外观察剖面60个。在进行辅助目视判读时,其中28个则为确定各分类等级所对应的土壤的主要依据。

2. 自动分类与制图 自动分类与制图所用的遥感资料是第二颗资源卫星在1976年3月28日所摄取的CCT磁带。所用设备为SIDAM1图像处理系统。分类方法为非监督分类法(同时使用四个波段)。分类结果为23级,我们称之为“分类等级”。通过利用野外观察资料进行校核知道,大多数离散度小于20的分类等级多属于同一种土壤(表1)。据此,借助图像处理系统将离散度小于20的分类等级进行合并。合并后的分类等级称为“分类等级组”。将反映各分类等级组的图像进行几何纠正后,再由图像打印机打印成比例尺为十万分之一的分类等级组图像(图版I),供辅助目视判读用。

3. 辅助目视判读 由于自动分类技术尚未完全成熟,因此,目视判读仍被用做自动分类的辅助手段。即使对于一些比较成功的自动分类,有的人还是主张应辅助以目视判读。本试验的辅助目视判读的目的为:(1)利用野外观察点校核各分类等级组所对应的土壤;(2)勾绘出土壤界线,使之更醒目。辅助目视判读后的分类等级组图像经清绘、复照缩小后,即为自动分类法所绘制的土壤图(图2)。

4. 计算精度 为了衡量自动分类法所绘制的土壤图的精度,我们将自动分类法所绘制的土壤图与常规法所绘制的土壤图准确叠合,并一一比较它们的所有图斑。通过比较、量算,判定自动分类法所绘制的土壤图的图斑范围和内容的精确程度。由于各图斑在其范围和内容方面所表现出的误差都不可能一样,这就需要拟定一个能够客观地定量反映各图斑精度的计算方法。为此,我们将不同的图斑内容赋以不同的数值,并称之为“图斑内容错误指数”¹⁾,它表示一块图斑中不同图斑内容发生错误时的严重程度(表2)。

将一图斑的图斑内容错误指数乘以该图斑面积占制图区总面积的比例,所得乘积称为“图斑误差系数”。一块图斑的图斑误差系数反映出该图斑的误差占制图区总误差的多少(绝对数值)。将所有图斑的图斑误差系数累加起来,所得总和称为制图区的“总误差系数”。一幅土壤图的总误差系数反映该图所具有的精度。计算总误差系数的公式如下:

$$\text{总误差系数} = \sum_{j=1}^N \left(E_j \cdot \frac{A_j}{S} \right)$$

式中: E_j 为第 j 块图斑的图斑内容错误指数; A_j 为第 j 块图斑的面积; S 为制图区

1) 本试验中的图斑内容错误指数是在墨西哥土地利用总局图件质量检查处所规定的数值基础上,经修改后拟定出来的。

表1 各分类等级间的离散度及相对应的土壤

Table 1 The divergence among different classification categories and the corresponding soils

对应土壤 Corresponding soils	$\frac{VP}{3Lp}$ 或 $\frac{VP}{3L}$	$\frac{HH}{2}$ 或 $\frac{I}{2}$	$\frac{VP}{3Lp}$ 或 $\frac{VP}{3L}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{HH}{2}$ 或 $\frac{I}{2}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{LC}{3Lp}$	$\frac{HH}{2}$ 或 $\frac{I}{2}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3}$
分类等级 Categories	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
离散度 Divergence	2	32										
	3	26	135									
	4	323	326	433								
	5	8	10	72	407							
	6	35	101	24	244	70						
	7	160	359	65	806	259	97					
	8	33	109	6	354	70	11	39				
	9	44	7	174	460	12	163	455	155			
	10	463	512	430	34	594	278	557	365	699		
	11	14594	11137	14165	431	14561	8550	11009	11182	14689	305	
	12	409	855	207	1550	631	319	46	168	1022	1052	15243
	13	6	62	8	293	29	12	99	11	89	377	12829
	14	89	283	18	727	174	69	25	18	344	581	14696
	15	95	28	291	813	40	281	660	254	9	1044	15956
	16	115	319	38	760	201	98	12	33	371	561	14378
	17	245	548	246	1776	330	444	565	6	521	1727	32669
	18	54	148	22	355	103	8	54	6	215	324	8558
	19	121	301	39	551	211	62	5	21	391	395	10616
	20	51	194	5	636	111	41	42	8	240	568	14612
	21	580	547	704	20	680	429	1140	593	699	33	2177
	22	396	819	181	1208	630	249	28	129	1045	837	15129
	23	83	238	18	399	161	33	20	7	321	330	10668

对应土壤 Corresponding soils	$\frac{VP}{3}$ 或 $\frac{VP}{3Lp}$	$\frac{VP}{3Lp}$ 或 $\frac{VP}{3L}$	$\frac{VP}{3Lp}$ 或 $\frac{VP}{3L}$	$\frac{HH}{2}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{LC}{3Lp}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3Lp}$ 或 $\frac{VP}{3L}$	$\frac{VP}{3}$	$\frac{VP}{3}$ 或 $\frac{VP}{3Lp}$
分类等级 Categories	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
离散度 Divergence	13	298									
	14	92	49								
	15	1406	165	522							
	16	44	75	6	544						
	17	654	254	297	746	331					
	18	222	22	44	350	62	479				
	19	77	68	14	583	11	470	28			
	20	139	23	4	380	18	257	28	23		
	21	2050	526	1070	1164	1076	2539	565	783	978	
	22	5	265	69	1470	28	706	161	47	113	1624
	23	123	39	11	496	19	372	11	6	10	598

表 2 各种图斑内容的错误指数

Table 2 Error index of different mapping pattern contents

图斑种类 Pattern type	单一土壤图斑 Single soil mapping pattern			土壤组合图斑 Soil associated mapping pattern					
				第一种土壤 First soil			第二种土壤 Second soil		
图斑内容 Pattern content	土壤类型 Soil type	深度 Depth	质地 Texture	土壤类型 Soil type	深度 Depth	质地 Texture	土壤类型 Soil type	深度 Depth	质地 Texture
错误指数 Error index	0.60	0.25	0.15	0.35	0.15	0.10	0.25	0.10	0.05

如果一块图斑中有几项图斑内容同时发生错误,则 E_i 为这几项图斑内容所对应的错误指数的总和。如果一块图斑的图斑内容错误指数等于或大于 0.60, 则视该图斑的图斑内容为完全错误,取 1.0 为其图斑内容错误指数。

为了比较不同土壤(或土壤组合)的自动分类精度间的差别,我们将上式中的 E_i 代以某种土壤(或土壤组合)第 i 块图斑的图斑内容错误指数,将 A_i 代以这种土壤(或土壤组合)第 i 块图斑的面积,将 S 代以这种土壤(或土壤组合)的总面积,将 N 代以这种土壤(或土壤组合)的图斑总数,所得结果则为“土壤误差系数”。一种土壤的土壤误差系数的大小,反映图像处理系统对这种土壤进行识别与分类的难易程度。

三、结果讨论

根据上述方法计算出的自动分类法绘制的土壤图的精度资料列于表 3。

从表 3 可以看出:自动分类法绘制的土壤图的图斑总数为 82,是常规法绘制的土壤图的图斑数(90)的 91.1%;总误差系数为 0.151。若以墨西哥土地利用总局所规定的 0.20 作为检查一土壤图的误差系数上限¹⁾,本试验所绘制的土壤图已达到了二十五万分之一的土壤图的精度要求。但对不同土壤来说,其土壤误差系数却很不一样。

1. 厚层粘质普通变性土 厚层粘质普通变性土的分类精度最高,土壤误差系数仅为 0.031。由于这种土壤的土体暗黑,且已全被开垦农用,在旱季里,或呈裸露状态,或部份为农作物所覆盖,所以其亮度分类等级及其组合情况都不同于其它土壤。因此,图像处理系统很容易将它和其它土壤区别开来。图 3 中的分类等级组 1、2、3,图 4 中的分类等级组 4、5 和图 5 中的分类等级组 10 都为厚层粘质普通变性土对应的分类等级组。等级组 1(包括分类等级 12 和 22)代表耕翻后的裸露厚层粘质普通变性土。等级组 2(包括分类等级 7、16、19 和 23)代表未耕翻的、带有作物残茬的厚层粘质普通变性土。等级组 3(包括分类等级 4 和 21)、4(仅包括分类等级 11)和 5(仅包括分类等级 10)代表被绿色作物所覆盖的厚层粘质普通变性土。分类等级组 10(包括分类等级 6 和 18)代表成熟玉米覆盖下的厚层粘质普通变性土。虽然分类等级组 1 和 2 也出现在中层和薄层粘质普通

1) 墨西哥土地利用总局所采用的误差系数上限为 0.15 和 0.20。0.15 用来检查平原区的土壤图质量,0.20 用来检查丘陵山区的土壤图质量。

表 3 自动分类制图法绘制的土壤图的精度

Table 3 Precision of mapping of soils by automatic classification method

图斑种类 Pattern type	面积 (km ²) Area	图斑数目 Pattern number	各类图斑误差系数总和 Sum of error coefficient in each type of pattern	土壤误差系数 Soil error coefficient
$\frac{VP}{3}$	274.19	12	9.73×10^{-3}	0.031
$\frac{VP}{3Lp}$	176.51	11	1.76×10^{-2}	0.092
$\frac{VP}{3Lp} + \frac{VP}{3L}$	88.63	6	1.62×10^{-2}	0.168
$\frac{VP}{3Lp} + \frac{VP}{3}$	24.70	2	2.90×10^{-3}	0.108
$\frac{VP}{3L}$	118.61	15	5.66×10^{-2}	0.439
$\frac{VP}{3L} + \frac{VP}{3Lp}$	0.40	1	4.36×10^{-4}	1.000
$\frac{VP}{3L} + \frac{I}{3}$	122.42	3	6.16×10^{-3}	0.046
$\frac{I}{3}$	0.65	1	0	0
$\frac{VP - Na}{3}$	19.33	2	4.60×10^{-3}	0.305
$\frac{HH}{2}$	44.36	7	5.09×10^{-3}	0.106
$\frac{HH - Na}{2}$	12.8	2	1.30×10^{-3}	0.934
$\frac{HH}{2L}$	17.54	4	1.05×10^{-3}	0.551
$\frac{HH}{2Lp}$	4.11	1	7.14×10^{-3}	0.350
$\frac{I}{2} + \frac{HH}{2L}$	3.42	2	1.58×10^{-3}	0.425
$\frac{I}{2}$	0.47	2	0	0
$\frac{LC}{3Lp}$	10.32	1	1.24×10^{-3}	0.099
$\frac{GE - Na}{2}$	1.06	1	3.16×10^{-3}	0.728
居民点	4.24	5	6.75×10^{-3}	0.015
无名分类区	4.24	4	7.24×10^{-3}	1.000
总和	920.09	82	0.151	

变性土地区中，但往往还有其它分类等级组和它们构成了特殊的分类等级组组合。所以在辅助目视判读时很容易把它们和厚层粘质普通变性土区分开来。

2. 中层及薄层粘质普通变性土

无论中层及薄层粘质普通变性土呈单种土壤分布状态，还是呈土壤组合分布状态，其土壤误差系数都大于厚层粘质普通变性土，其值在 0.092 至 1.00 之间。虽然这两种普通变性土也部份地包括等级组 1 和 2，但主要为等级组 6 (包括分类等级 1 和 13) 和 7 (包括等级 3、14 和 20)。分类等级组 6 和 7 的光谱亮度特征曲线(图 4)反映了半落叶型灌木及牧草覆盖下的中层及薄层粘质普通变性土的光谱特点。这两种变性土的分类精度不如厚层粘质普通变性土高的原因，是所覆盖的植被很相似，在所打印出的分类等级组图上，它们之间的界线很不明显。在进行辅助目视判读时，只能根据野外观察资料来确定它们之间的界线。但如果把这两种变性土合并起来作为一个土相来识别与分类，则几乎可以达到与厚层粘质变性土相同的分类精度。

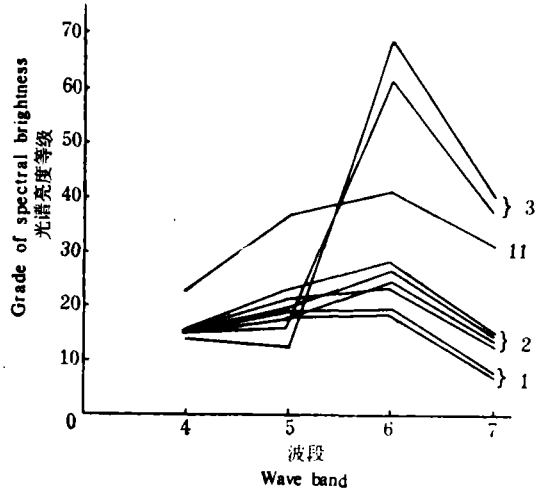


图 3 分类等级组 1, 2, 3 和 11 的光谱亮度曲线
Fig. 3 Spectral brightness curves for the categories 1, 2, 3 and 11 in classification

注：在图 4 至图 6 中由于传感器的光谱响应不同，第四、五、六波段的最大光谱亮度等级为 128，第七波段为 64。

3. 粘质及壤质石质土

根据所采用的分类系统规定的指标，土体厚层小于 10 厘米的土壤为石质土。在试验区里，石质土的总面积并不小，但多呈零星的斑块状和条纹状分布。除少数土斑可以在二十五万分之一的土壤图上单独制图外，大部份土斑只能和其它土壤组成组合形式制图。因此，在二十五万分之一的土壤图上，难以单独计算它的自动分类精度。但从十万分之一的分类等级组图上可以看出：由于石质土上的植被很稀疏，土壤侵蚀作用强烈，所以粘质石质土所对应的分类等级组与裸露的粘质普通变性土相同，而壤质石质土所对应的分类等级组则与裸露的壤质正常软性土相同。在进行辅助目视判读时，根据特殊的图斑形状，很容易把呈条纹状的粘质石质土、壤质石质土分别和粘质普通变性土及壤质正常软性土区分开来。对于几块能在二十五万分之一土壤图上单独制图的图斑来说，所判读出的图斑界线和内容都和常规法所绘制的土壤图的界线和内容完全一致，其图斑误差系数几乎为零。

4. 厚层壤质正常软性土

厚层壤质正常软性土的分类精度较高，土壤误差系数为 0.106。图 5 中的分类等级组 8 (包括分类等级 2 和 5)、9 (包括分类等级 9 和 15) 分别代表耕翻后裸露的和作物残茬覆盖下的厚层壤质正常软性土的光谱亮度特征。由于正常软性土的颜色远比其他土壤浅淡，所以不论它呈裸露状态，还是为作物残茬覆盖，它各波段的光谱反射能力都比其它土壤强，因此，图像处理系统很容易把它区分出来。

5. 中层及薄层壤质正常软性土

在试验区里，这两种正常软性土占的面积很小。由

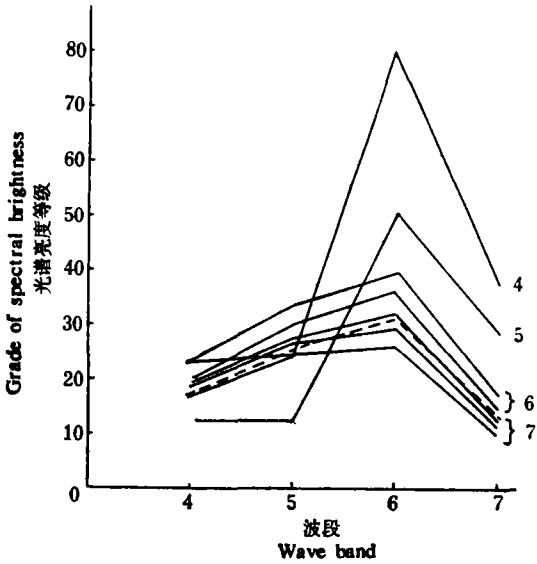


图 4 分类等级组 4, 5, 6 和 7 的光谱亮度曲线
 Fig. 4 Spectral brightness curves for the categories 4, 5, 6 and 7 in classification

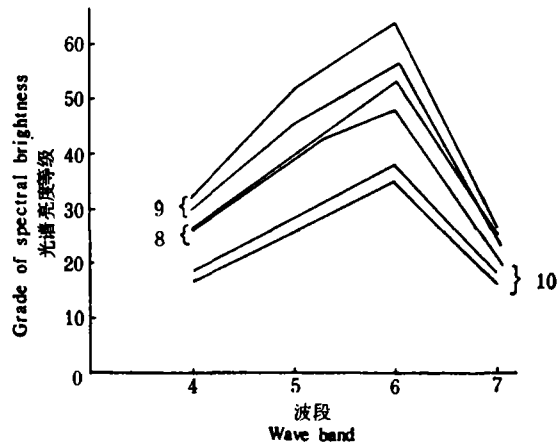


图 5 分类等级组 8, 9 和 10 的光谱亮度曲线
 Fig. 5 Spectral brightness curves for the categories 8, 9 and 10 in classification

于它们的反射光谱特点与厚层壤质正常软性土相似，所以图像处理系统未能将它们区分开来。在进行辅助目视判读时，只能参照野外观察资料来勾绘它们的分布范围。因此，分类误差较大，土壤误差系数分别为 0.350 和 0.551。

6. 厚层壤质碱化软性土和厚层粘质碱化变性土 在试验区里，这两种土壤占的面积也很小。由于这两种土壤多未经开垦农用，其反射光谱特点分别和灌木覆盖下的厚层壤质正常软性土及中、薄层粘质普通变性土相似。图像处理系统未能把它们清楚地区分出来，故分类误差较大，土壤误差系数分别为 0.934 和 0.305。

7. 中层粘质红色淋溶土 在试验区里，约 30—40% 的中层粘质红色淋溶土已被开垦农用。在旱季里，开垦农用的红色淋溶土多呈裸露状态。图 3 中的分类等级组 11 (包括分类等级 17) 和图 4 中的分类等级组 7 中的分类等级 8 (虚线所示)，分别反映出裸露状态和作物残茬覆盖下的中层粘质红色淋溶土的光谱亮度特征。由于分类等级 8 与分类等级 3、14 和 20 之间的离散度小于 20，所以它已被并入中、薄层粘质普通变性土中。未开垦农用的中层粘质红色淋溶土多被灌木或牧草覆盖，其光谱特征与未开垦农用的中、薄层粘质普通变性土相似，故它们的分类等级发生了混淆。由于这些原因，在进行辅助目视判读时，只能根据分散的裸露中层粘质红色淋溶土的图斑来确定中层粘质红色淋溶土的分布范围。这样勾绘出来的土壤界线，其土壤误差系数仍能达到 0.099。

四、结 束 语

在墨西哥中部半湿润亚热带地区利用航天遥感资料进行土壤自动分类与制图，不仅能提高土壤制图工效近三倍，而且图件的详尽度及精度均能满足编制二十五万分之一

土壤图的要求。

虽然自动分类所绘制出的土壤图的总精度已达到了二十五万分之一的土壤图的要求,但不同土壤的制图精度很不一样:厚层粘质普通变性土的制图精度最高;厚层壤质正常软性土和 中层粘质红色淋溶土次之;中层及薄层粘质普通变性土较差;中层及薄层壤质正常软土、厚层粘质碱化普通变性土、厚层壤质碱化正常软性土最差,很多图斑没有达到精度要求。

虽然离散度已被推荐用来做为判别不同分类等级是否代表不同地物的较好参数^[3],但用在土壤自动分类制图中,不仅需要较多的野外观察资料来对分类等级进行校核,才能找出一适当的离散度来归并同属于一种土壤的不同分类等级,而且离散度很小的两个分类等级有时也可能不属于同一种土壤,从而增加了自动分类制图产生的误差。

参 考 文 献

- [1] Hector, Montecinos, 1979: Clasificación de áreas agrícolas y uso de suelo mediante procesamiento digital, II Seminario internacional sobre el uso de sensores remotos, p. 109, IBM de México, S. A.
- [2] Michikazu Fukubara, 1979: Extraction of soil information from vegetated area, Machine processing remotely sensed data, p. 242, Institute of Electric and Electronic Engineers.
- [3] Philip H. Swain and Shirley M. Davis, 1978: Remot Sensing: The quantitative approach, p. 166, McGRAW-WILL International Book Company.
- [4] Rafael Allende L. 1977: Modificación al sistema de clasificación FAO.UNESCO: una opción ante el problema de clasificación de suelo para México, p. 19, CETENAL.
- [5] Rogelio Garcia Z. 1979: Evaluación y representación cartográfica de cinco grados de erosión del Estado de México y Distrito federal, mediante el análisis automático de imágenes de satélite, II Seminario internacional sobre el uso de sensores remotos, p. 81, IBM de México, S. A.
- [6] V. Leoman, 1972: The NASA earth resources spectral information system; A data compilation, First supplement, p. 22, NASA manned spacecraft center.

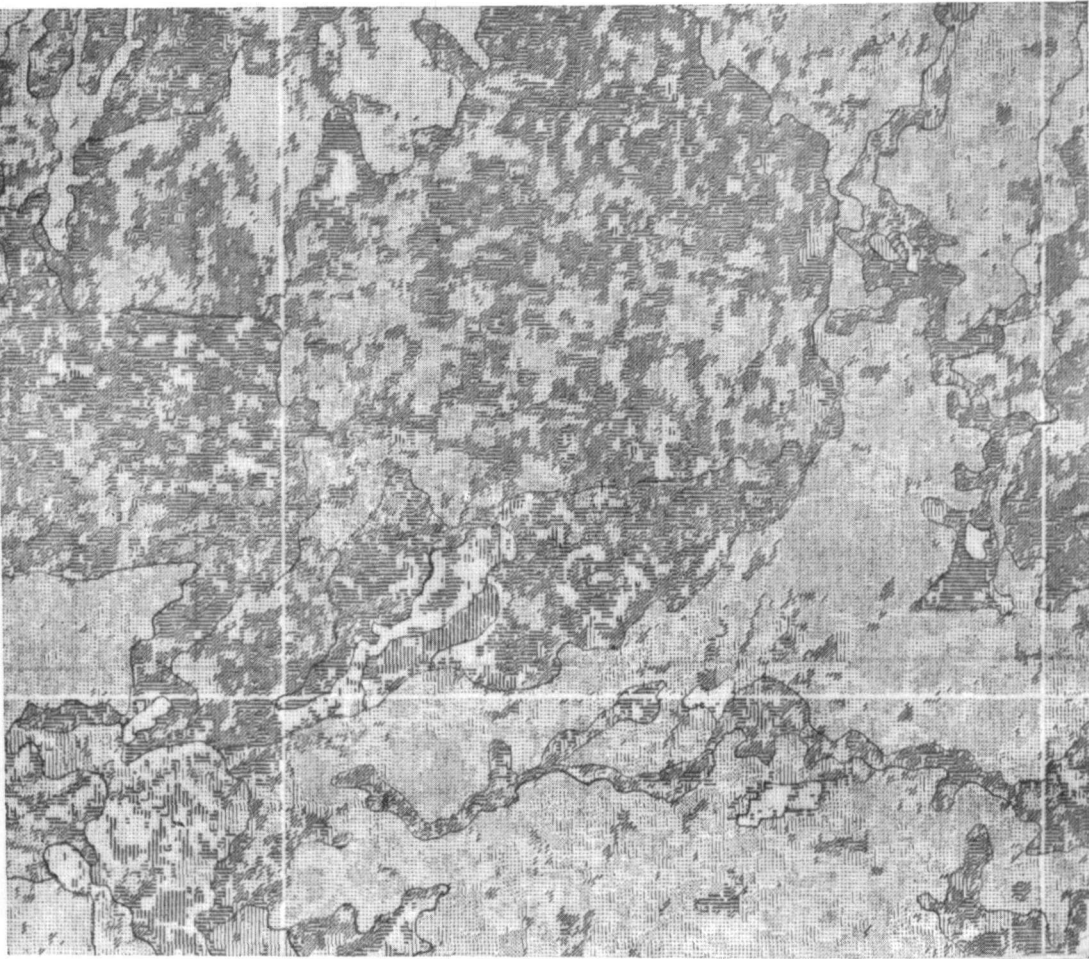
PRELIMINARY EXPERIMENT OF THE AUTOMATICAL CLASSIFICATION AND MAPPING OF SOILS BY REMOTE SENSING METHOD

Liu Xing-wen

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)





Summary





This paper deals with the preliminary experiment of the automatical classification and mapping of soils by means of remote sensing method which was part of the research work of the author in Mexico. Experimental results showed that the automatical classification method not only raised the working efficiency by nearly twofolds, but also increased the cartographical precision up to the level required by a soil map on the scale of 1:250,000. But different soil types vary in mapping pattern error. According to the errors occurred from minimum to maximum, the soils are arranged as follows: (a) pellic vertisol, deep phase, (b) orthic phaeozem, deep phase and cromic luvisol, deeply lithic phase, (c) pellic vertisol, deeply lithic phase and lithic phase, (d) orthic phaeozem, deeply lithic and lithic phase; natric vertisol, deep phase; natric phaeozem, deep phase. Of course, some mapping patterns of the soils with great errors are below the level of cartographical precision required.






图

例

-  分类等级组 1
-  分类等级组 2
-  分类等级组 3
-  分类等级组 4

-  分类等级组 5
-  分类等级组 6
-  分类等级组 7
-  分类等级组 8

-  分类等级组 9
-  分类等级组 10
-  分类等级组 11

分类等级组图象 (1:100,000, 为全试验区的分类等级组图的一部分)

The image illustrating the categories of classification (1:100,000, it is a part of the whole experiment area)