

在 GIS 支持下的东南山区土壤景观监测与制图

沙晋明¹, 李小梅¹, 史舟², 王人潮²

(1. 福建师范大学地理所, 福建 福州 350007; 2. 浙江大学农业遥感所, 浙江 杭州 310029)

摘要: 本研究就土壤景观的监测方法、制图技术进行探讨, 提出了以景观生态学分析和地物隶属关系分析为主的东南山区土壤景观制图技术。利用 GIS 和 RS 技术, 通过图形叠加、图形-影像叠加而生成的双因素、三因素叠加图, 不但反映了土壤景观变化, 而且量化了土壤景观因素之间的关系。如 1997 年与 1985 年相比, 中海拔地形中多样性指数下降, 土壤景观结构的有序性增强; 但低海拔和最高海拔的地形中多样性指数上升, 土壤景观结构的有序性变差, 同时优势度指数也有所下降。

关键词: GIS; 遥感; 土壤景观制图

中图分类号: P285.2⁺3; S159

文献标识码: A

土壤分布与土壤景观有着直接关系, 本研究试图通过对土壤景观的遥感监测分析, 建立起土壤景观要素之间的定量关系, 从而探索一条土壤景观调查的新途径。本研究所采用的软件系统有: 地理信息系统 ARC/INFO (工作站版)、图像处理系统 ENVI (微机版) 等。

1 研究区域的自然概况

研究区为浙江省龙游县, 该县位于 28°44'10"N ~ 29°17'15"N, 119°1'41"E ~ 119°15'22"E, 总面积为 1 105.3 km²。由于新构造运动, 使得该县形成了南北高, 中间低平的格局。衢江由西向东形成了中央的河谷盆地, 海拔为 50 m 左右。衢江河谷平原外缘南北两侧向丘陵山地过度带, 海拔高程为 60 m ~ 150 m。丘陵山地主要分布在盆地顶部的南北两侧, 海拔最高处为南部的桃源尖 1 438.9 m, 北部最高处为 940 m。龙游县南部为山区, 北部分布有大量的丘岗和少量山区。山区主要生长有松、杉、柳杉、黄山松、毛竹等乔木, 有常绿阔叶林、常绿针阔混交林、落叶针阔混交林等, 南部山区植被覆盖率为 70% ~ 80%, 北部的覆盖率为 50% ~ 55%。

衢江河谷平原及其主要支流的下游沿岸低平地, 其成土母质为各个时期的河流冲积物, 分布有各

种黄红壤(红砂土)、潴育型水稻土(培泥砂田、黄化培泥砂田、泥质田)、潮土(卵石滩)等。这个地区的土地利用类型为水田、桑园、旱地。河谷平原外侧至低丘陵的过渡带海拔在 50m ~ 150m, 分布的成土母质复杂, 主要有白垩纪衢江红砂岩、第四纪红色黏土、方岩组的紫砂岩、紫砂页岩、红紫砂岩、红紫砂砾岩等。在此基础上形成的土壤类型为黄红壤(红砂土)、红壤(黄筋泥)、钙质(紫砂土、红紫砂土)以及水稻土等。缓坡岗地的外缘直至中低山区的土壤分布主要受成土母质及海拔高度影响, 一般来说丘陵到低山为黄红壤分布带。由于南北丘陵山地的成土母质差异, 导致南北丘陵土壤的分异, 南部中高丘陵土壤主要为黄红壤(黄泥土), 其次为侵蚀红壤(白岩砂土)、黄红壤(黄红泥土), 北部中高丘陵土壤为侵蚀红壤(石砂土)、黄红壤(黄泥土)、其次为石灰岩土(油黄泥)、钙质土(紫砂土)。

整个研究区域地形地貌齐全, 土壤类型丰富, 森林种类繁多、覆盖度高, 代表性强, 基本上反映了我国东南山区的土壤景观特点。

遥感资料采用的是 1997-06-05 的 TM 数据, 通过几何精纠正, 并用矢量图切割, 得出研究所需影像。这时地面已基本为植被所覆盖, 便于制作以森林植被为主的土壤景观监测图。

收稿日期: 2002-03-24; 改回日期: 2002-05-24。

基金项目: 本研究受到福建省人才基金“生态环境征兆图谱表示的研究”、福建省资源与环境学省“211工程”重点学科和福建师范大学博士基金的资助。

作者简介: 沙晋明(1964-), 男, 广东梅州人, 博士、研究生导师, 主要从事资源与环境遥感调查、地理信息系统、人工智能等教学科研工作。1994-2002年参加及主持科研项目多项, 发表相关论文二十多篇。E-mail: jmsaha@263.net

rights reserved. http://www.cnki.net

2 GIS 支持下的土壤景观遥感监测与制图技术

景观是由相互作用的拼块或生态系统组成的以相似的形式重复出现的, 具有高度空间异质性的区域。其基本结构既为景观结构的嵌块体、廊道或条带及周围的基质。

土壤景观图是以地面覆盖图(如, 植被覆盖图等)与地形图或岩石图组成的, 是能较好地反映土壤成土条件及环境特征的复合图, 其制图单元主要依据组成复合图的因素进行组合; 组合因素多, 所形成的制图单元也多, 土壤景观图图斑破碎, 但是, 图斑信息相对丰富了, 便于进行各种数学、地学分析。

龙游县的土壤景观图(1:5 万)的制作采用两种方法: 1985 年矢量图叠加生成法, 1997 年遥感监测图并矢量图。

基础图件为: 1:5 万的土壤图、1:5 万的地形图、1:25 万的岩性图、1:28 万的森林图。在 ARC/INFO 支持下, 将这些不同来源、不同比例尺的图形矢量化, TIC 点的配准、图形的 TRANSFORM、UNION, 形成两两叠加的新图层。叠加后产生了以下一些效果: 图斑数成倍的增加, 图斑面积减小, 图斑属性丰富了, 每一图斑的属性拥有了两幅图的属性。为了控制图斑数量, 一般图形叠加不应超过 4 幅, 否则图斑太多, 微机运算易出现死机或图形扭曲等现象, 本研究进行了 4 幅图的叠加, 最后产生出一万多个图斑。

矢量图形输入的单位为米, 以地形图为标准进行转换配准, 岩石图转换时产生的误差(RMS)为(38, 38), 森林图转换时的误差(RMS)为(39, 37)。在 1:5 万图幅上产生的误差分别为 0.152 mm 和 0.139 mm, 这种误差是在容许范围内的。

根据龙游县土壤发生学及环境地理规律, 结合现有的资料, 本研究进行如下图形叠加: 森林—高程、森林—岩石、森林—土壤, 将叠加之后的图形按森林类型排成 8 类型区, 之后再按或岩石、或高程、或土壤进行排序、计算。如森林—岩石叠加图的分析所采用的方法是: 计算每类岩石在某个森林类型区的所占百分比, 并以此做 Y 轴, 以岩石类型做 X 轴, 以森林类型区划分曲线线型, 制成如下图形。其他叠加图均采取此法计算绘制。这类图基本上反映了森林类型与岩石、土壤、地形之间的相关关系, 通过分析某类森林在一定区域出现的概率, 可以判定出相应的地物类型。

从叠加图的分析可知龙游县的土壤景观大致可分为: 农田景观、河流景观、低丘景观、低山景观、中山景观五大类型。这些景观类型分别对应于水稻土、潮土、红壤、黄壤等, 以及不同的土地利用方式。

3 土壤景观遥感影象的处理与分析

3.1 图象处理及分类

土壤景观的遥感监测是以森林类型作为监测对象的, 为此对图象进行了归一化植被指数的计算和主成分分析。主成分分析之后, 前三个波段含有原始波段的 90% 以上的信息, 而其中第一分量就占了 73%, 它主要反映了地物的亮度信息。

主成分分析所采用的算法为 $y = K * x$

其中 K 是通过原始波段的协方差矩阵、特征值和特征向量建立起来的矩阵, 是一种特征域的变换。

NDVI 虽然对植被覆盖反映效果好, 但是, 非作物绿色信息对遥感植被指数的影响随时空变化, 因此有必要加入一个信息量大的, 反映地面反射特性的波段, 这个波段就是主成分中的第一成分。以主成分分析中的第一成分和归一化植被指数进行组合, 并对此进行监督分类。监督分类典型区域的选择是采用矢量化的 1985 年森林图叠加到影象图上并结合地形分析、地面调查资料, 选定 8 种覆盖类型的典型小区, 每一小区根据不同的地形地貌环境特点、覆盖特点又选取多个点, 从而保证了点代表的广泛性。

ENVI 分类方法选取图象处理软件提供的方法: Parallelepiped、Minimum Distance Mahalanobis Distance、Maximum Likelihood、Spectral Angle Mapper 等, 通过初步的分类实验比较 Mahalanobis Distance 效果比较理想。从实际情况可看出 mahalanobis 分类效果比较理想且算法简便, 分类中的马氏距离参数直接关系到分类效果, 如果距离参数较小, 那么可能有较多的象元无法归类, 而距离过大又可能使每一类归并的象元过大。本研究的距离值为 60, 监测出来的效果与地面调查结果一致, 精度达 87%。

3.2 土壤景观的生态学分析

对通过叠加、监测得出的土壤景观图, 分别按照如下方法计算其多样性指数、均匀性指数、优势度指数、类斑丰富度指数, 结果见表 1~4。

多样性指数
$$H = - \sum_{i=1}^n P_i \times \log_2 P_i$$

式中 n 为景观要素类型数目, P_i 为 i 类景观要素

所占面积比例。
均匀性指数

$$E = -H \div \log_2 l$$

式中 l 为斑块的类型数。

优势度指数

$$D = H_{\max} - H$$

式中 H_{\max} 为最大多样性指数。

类斑丰富度指数

$$B = (1 - n_i) \times l \div s \times \sum_{i=1}^{n_i} H_i$$

式中 n 为某类景观要素的数目, s 为整个景观的面积, h_i 为第 i 个景观要素的面积。

表 1 1985 年龙游各地貌区土壤景观面积及斑块数

Table 1 Speckles and Area of Soil Landscape for Each Soil Physiognomy in Longyou (1985)

森林类型 forest	地形类型 terrain	个数 count	面积 (km ²) area	地形类型 terrain	面积 (km ²) area	个数 count	地形类型 terrain	面积 (km ²) area	个数 count	地形类型 terrain	面积 (km ²) area	个数 count
1	8	821	154.000	16	24.700	144	26	3.390	37	28	0	0
2	8	103	14.200	16	9.260	69	26	4.660	46	28	0.231	4
3	8	276	51.100	16	95.200	478	26	34.500	229	28	0	0
4	8	7	0.496	16	1.170	16	26	1.390	6	28	0	0
5	8	151	25.600	16	2.640	23	26	0.236	4	28	0	0
6	8	43	5.830	16	9.320	90	26	10.700	109	28	0.474	7
7	8	162	33.400	16	12.300	80	26	10.200	86	28	0.153	5
8	8	1139	558.000	16	35.800	398	26	2.750	63	28	0	0

表中代码说明: 本研究的土壤景观要素为两大类, 森林覆盖类型: (1)松、(2)杉、(3)竹、(4)阔叶林、(5)经济林、(6)灌木林、(7)荒地、(8)农田、(水体及其他没有划分出来的)等九个类型。地形要素为: 300 m 以下平原低丘区(8); 600m 以下高中丘(16); 1100m 以下低山区(26); 1100m 以上中山区(28)。

表 2 土壤景观结构指标

Table 2 Structure Index of Soil Landscape(1985)

地形类型 terrain	H	D	B	E
8	0.222	2.948	0.046	0.070
16	0.232	2.938	0.050	0.073
26	0.402	2.768	0.128	0.127
28	0.209	2.961	0.749	0.066

表 3 遥感监测的土壤景观结构指标(1997)

Table 3 Structure Index of Soil Landscape Inspected by Remote Sensing(1997)

地形类型 terrain	H	D	B	E
8	0.327	2.843	0.086	0.103
16	0.222	2.948	0.046	0.070
26	0.241	2.929	0.052	0.076
28	0.227	2.943	0.048	0.072

表 4 土壤景观遥感监测结果(km²)

Table 4 Result of Soil Landscape Inspected by Remote Sensing

森林类型 forest	地形类型 8 terrain 8	地形类型 16 terrain 16	地形类型 26 terrain 26	地形类型 28 terrain 28
1	48.100	9.980	2.620	0.083
2	79.400	7.530	1.370	0.002
3	38.700	22.900	5.780	0.033
4	47.600	62.800	25.30	0.560
5	185.000	6.530	1.320	0.011
6	57.700	57.400	31.20	2.360
7	150.000	23.900	9.660	2.300
8	206.000	12.800	2.260	0

由表 2、3 可知, 1997 年 16、26 类的地形中 H (多样性指数) 下降表明土壤景观结构的有序性增强, 这表明在海拔低的地区土地利用结构调整程度较高海拔地区高, 而同时 8、28 类的地形中 H (多样性指数) 上升, 土壤景观结构的有序性变差。1997 年 E 值 (均匀性指数) 在 8、28 类地形中下降, 表明景观类型分布分散。1997 年 D 值 (优势度指数) 在 16、26 类地形中增加, 表明有个别种逐步开始占优势; 而在 8、28 类地形中减少, 表明景观结构趋向均匀。

3.3 1997 年土壤景观监测图的制作及分析

将监测结果图与数字化矢量图叠加, 形成土壤景观监测影象图, 以地形和森林类型的叠加图斑作为基本的制图单元。在数据库管理系统的支持下, 分别计算森林—地形关系, 森林—岩石隶属关系。

隶属值的算法为以矢量化的森林图叠加在地形图上 (图 1), 落入某类森林的面积每一地形类型的面积除以该类森林的面积, 这样可得到 29×8 个数据。计算式为

$$X = N_{ij} / M_{ii}$$

式中 j 代表某类地形, i 代表某类森林, N 代表地形面积总和, M 代表森林面积, X 代表相对系数。

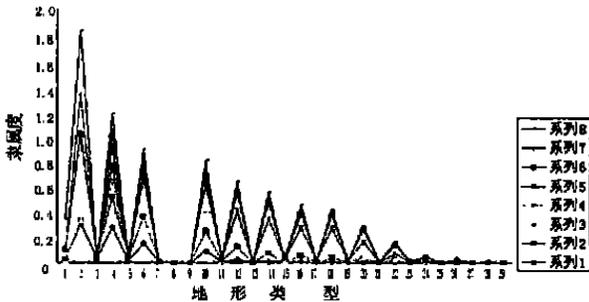


图 1 地形—森林关系图

Fig. 1 Topography-Forest Relation

从曲线图中可知, 当森林类型为 5、7 或 1 时该区域很有可能为第 4 类地形, 概率分别为 0.75、0.5、0.32 等; 当森林类型为 1、2、3 该区域可能为第 7 类地形的概率分别为 0.28、0.22、0.17 等等。从图中可知森林类型 5 与地形类型 2 的相关性较好达 0.69; 森林类型 8 与地形类型 2 的相关性较好 0.5; 森林类型 1 与地形类型 2 的相关性较好 0.31; 森林类型 2 与地形类型 4、6、10、12 的相关性性达到 0.1; 森林类型 6 与地形类型 4、6、12、14、18、20 的相关性达到 0.1; 森林类型 4 与地形类型 10、12、14、16、18、20 的相关性达到 0.1; 森林类型 1 与地形类型 2、4、6 的

相关性达到 0.15 以上。虽然这种计算方法对于面积较小的高海拔地区指示不够灵敏, 但是高海拔的地区 TM 监测也有一定难度, 有时候甚至监测不到。这种现象正好与此关系吻合。

同样可获得岩石—森林关系, 不同的岩石类型与不同的森林类型之间关系有所不同: 8、9、10 类岩石与 8、5、1 类森林的相关性较好最高可达 0.45; 5、6、7 类岩石与森林类型关系基本上没有最高值仅为 0.1; 2、3、4 类岩石与 3、2、6 森林类型关系较好, 高的相关性可达 0.36; 而 1 类岩石与森林类型关系较密切, 4、7、6、1、2、3、8、5 依次为其相关性大小排列, 最高可达 0.97。

海拔低于 300m 的区域占龙游总面积中的 75.6%, 以农田景观为主, 分布有水稻土、红壤及潮土类, 这一带是龙游县的主要粮食生产基地, 土地覆盖类型复杂。在川地、平地有水稻田; 在低丘有经济林, 此外还有各种地貌上分布着的荒地和建设用地, 这个区域也是土地结构调整最频繁的区域: 建设用地的扩展、经济林的增加、耕地结构的调整等等。因此, 地区的光谱特征非常复杂, 进行监督分类所采的典型地段、典型样区要适当增多、均匀分布; 同时还需要结合历史资料和野外调查, 用以保证监督分类的准确性。该区域也是确定马氏距离分类的重要参考依据。

海拔高度高于 1 100m 的地区总面积比较小, 只有 5 km², 1985 年该区域只有杉树、灌木、荒地, 景观类型较少, 而到 1997 年以后该地区景观类型发展到了 8 种, 同时这一区域还分布着垂直分布性很强的土壤, 这样就要求在遥感监测时, 应结合高程因素, 通过高程模板将这区域划出来, 而后分类。影象揭示了这么一种现象: 在这个区域森林对地形的指示作用较小, 这个意义从遥感特性上得到了反映。表 2、4 揭示了 1985~1997 年龙游的中山地区景观结构发生了巨大变化、生物的多样性增加了、土壤景观丰富了, 同时提高了土壤景观监测的难度。

对 300m~600m 之间地貌类型的监测结果表明, 该区域的农田在 12a 间得到了大幅度的调整, 一些坡度较大的田块或退耕还林或还牧, 而另外一些区位优势好的、地势平坦的地被用于发展城镇和居民住宅。因此, 在遥感监测中这类地与荒地一样很少或没有植被。

土壤景观要素之间量的关系能反映出土壤景观监测结果与地形、岩石之间的定量关系, 这种关系是

指导景观遥感的基础,面积绝对值小的图斑在遥感的过程中反映出的信息少,对其他地物的指示性差,而地物面积大的,其遥感指示意义明确。

4 土壤景观制图讨论

本研究是针对一个县开展的,再加之采用的遥感影像为 TM 资料,所以最终成图比例尺应选为 1:5 万。制图单元的产生是通过两两图形叠加生成的基本单位为制图单元的,这种组合单元可以充分利用大比例尺提供的详细信息作为信息补充。如:地质图—森林图(这两幅图比例尺为 1:25 万和 1:5 万,制图单元为高级分类单位,这样两者叠加可以产生适量的制图单位为 $10 \times 8 = 80$ 个,而龙游县 1:5 万的土壤图制图单位为土属,共有 50 个)。地质图—地形图(它们的比例尺分别为 1:25 万、1:5 万,因此,需对地形图按照龙游县土壤分布特点进行适当的划分等级: $< 150\text{m}$ 、 $150\text{m} \sim 600\text{m}$ 、 $600\text{m} \sim 1100\text{m}$ 、 $> 1100\text{m}$,通过这种处理最终将产生的制图单位为 $10 \times 4 = 40$ 个;另外,可以视情况的不同,还可再引进 DEM 对图形进行细化等等)。如果要进一步明确各种土壤景观与土壤分布之间的关系,那么只需对 TM 进行森林、岩石的高级分类进行监测并叠加,即可得到更详细结果。所以,采用此方法可以降低土壤监测的难度。

土壤景观制图方法不同于一般的土地资源分类

法,一般县级的土地资源类型种类过多且细碎,无法采用遥感监测的办法进行直接监测;土壤景观制图突出了景观因素—植被,对其进行二级分类,调查中采用的尺度比较大,易于实现监测。另一方面还可以在 GIS 的支持下进行叠加,形成较小的图斑,从而满足更大范围的应用。

生产实际过程中往往需要提供详细的背景材料,而专业图往往是各种图幅的综合,综合的过程本身就是一种信息的取舍,信息损失较大,土壤景观图的制图思想中保留了尽可能多的信息,便于使用者对这些信息综合判断,因此其具有较大的生产实践意义。

参考文献:

- [1] 陈宏伟. 云南省头塘山地系统侵蚀结构景观分析[J]. 山地研究, 1997, 15(1): 42~45.
- [2] 赵景柱. 景观生态学空间格局动态度量指标体系. 生态学报, 1990, 10(2): 136~138.
- [3] 王协康, 方铎. 流域地貌系统定量研究的新指标. 山地研究, 1998, 16(1): 8~10.
- [4] 孙家柄, 刘继林. 多源遥感影像融合. 遥感学报, 1998, 1: 47~50.
- [5] 孙红雨, 王长耀. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系. 遥感学报, 1998, 3: 204~209.
- [6] 刘纪远. 基于 GIS 的中国东北植被综合分类研究. 遥感学报, 1998, (4): 285~291.
- [7] 曾开泉. 应用陆地卫星 TM 图象编制闽北土壤图(1:10 万)的方法研究. 自然资源学报, 1991, (3): 279.

Monitoring and Mapping Soil Landscape in Southeast Mountains of China by GIS

SHA Jin-ming, LI Xiao-mei, SHI Zhou², WANG Ren-chao²

(1. Inst. Of Geography, Fujian Normal University, Fujian Fuzhou 350007 China;

2. Inst. Of Agricultural Remote Sensing, Zhejiang University, Zhejiang Hangzhou 310029 China)

Abstract: Methods of surveying and technology of mapping soil landscape were discussed in the paper. A new mapping technology based on the landscape ecological analysis was put forward for sketching out the soil landscape of Southeast Mountains. It was found that overlaid maps of two factors or three factors from GIS map or RS images not only reflect the changing of soil landscape, but also can describe the soil landscape with quantified values. For example, in the region of middle elevation, diversity index drops and regularity of soil landscape structure becomes better from 1985 to 1997, while in district with low or highest elevation, diversity and superiority index drops, therefore regularity of soil landscape structure becomes worse from 1985 to 1997.

Key words: GIS; remote sensing; soil landscape mapping