

利用遥感数据排序特征制作土壤 侵蚀图的研究*

卜兆宏

李士鸿

(中国科学院南京土壤研究所) (水利部南京水文水资源研究所)

摘 要

本文介绍了土壤侵蚀类型的 CCT 排序特征,提出了利用该特征制作土壤侵蚀图的原理和方法。经实验,获得了实验区的土壤侵蚀图和各类面积数,与常规调查结果基本一致。讨论了该法确保制图精度的各项措施,分析了成本费用,得出该法具有制图精度高和成本费用低的优点,有着广为应用的前景。

在资源调查制图中,遥感技术得到了普遍采用^[8,9,11-13]。就土壤侵蚀制图而言,在我国也广泛采用了遥感技术,其中有 1:25 万(或 20 万)、1:50 万合成卫片的目视判读法^[7],有用卫星磁带图象的监督分类法^[1,2],还有用密度分割仪、投影仪等制图的仪器判读法^[4]。从制图速度、精度、重复监测、制图比例尺及成本费用等方面分析,它们各有长短。一般说来,目视判读法受主观因素影响较大、难重复,仅宜于较小比例尺制图,但有成本费用低的优点。监督分类法的上机费用较高,却具有人为影响少、速度快、精度较高、可重复监测和较宜制大比例尺图的优点。仪器判读法,受仪器和底片质量的影响大,一般只宜较小比例尺制图,但有受人为影响小和成本费低的优点。可见,现行土壤侵蚀制图的遥感方法,在制图精度和成本费用方面,均未达到最佳。

能否找到一种受人为影响少、制图精度高,而成本费又低的方法?以实现快速、准确的动态监测,为国土整治提供确切依据,则是本项研究目的之所在。

一、排序特征制图的原理

(一) 遥感数据的排序特征

在实地调查中,我们采集了各种土壤侵蚀类型的原状土样,做了模拟遥感的光谱反射特性测试,并按 Landsat 波段整理数据成表 1。从表 1 可知:波段 5 中侵蚀类型的数据值,有随植被覆盖度的变小而依次增大的变化;其它波段则没有或不明显。

为了深入研究 CCT 遥感数据的特征,我们将典型地段(260 × 314 个象元)的四个波段值打印出,并按象元抄编贴成数字图。同时,将其放大至 1:5 万。然后到实地作侵蚀类

* 本工作是国家自然科学基金会资助的项目。

表1 不同土壤侵蚀类光谱反射测试数据的特征

Table 1 Characteristics of reflective spectrum data of different soil erosion classes

类名(及景观) Class name (Landscape)	MSS 波段反射率(%) Reflectance of MSS band			
	波段 4 0.5—0.6 μ	波段 5 0.6—0.7 μ	波段 6 0.7—0.8 μ	波段 7 0.8—1.1 μ
无明显侵蚀(90%以上盖度的草地)	8.0	5.2	18.4	56.5
轻度侵蚀(80%盖度的草地)	9.2	11.2	33.0	38.5
中度侵蚀(表面草、土各半)	12.2	20.0	25.2	29.0
强度侵蚀 1(第四纪红土层红壤)	12.4	26.4	30.7	32.0
2(紫色土)	19.0	27.4	30.6	34.0
3(出露的网纹层红壤)	13.5	27.4	30.6	38.0
极强度侵蚀(发育于花岗岩的白暴沙土)	41.9	51.8	55.4	58.0
堆积类地物 1(干沙滩地)	24.7	34.6	37.8	41.0
2(水稻土)	16.1	19.2	21.3	25.4
3(水面)	12.6	16.6	9.4	2.9

型调查,把各种类型一一标注在图象和数字图上,对它们进行统计,得表2。用其平均值按波段绘制出图1后,则可清楚地看出二个显著特征:①位于山(丘岗)区的侵蚀类型的遥感数据,按照“无”(明显侵蚀)、“轻”(度侵蚀)、“中”(度侵蚀)、“强”(度侵蚀)、“极强”(度侵蚀)很有次序地排列在波段5数轴上;②位于谷地平原的堆积类型中水域、农田、沙滩沙土地、村镇等的遥感数据,也由小到大有序地排列在波段7数轴上。我们称这样的两个特征为遥感数据的排序特征。

波段5的排序特征,主要由植被的覆盖度和土壤类型及其裸露或侵蚀程度决定的。其中“无”、“轻”主要由植被决定,数据均较小;而中度以上的侵蚀,主要由土壤类型决定,植被次之。紫色土和红壤的数据相近,位于同类的下限。红土的数据在同类的中间。而含石英砂粒的红土和白暴沙土的数据,则在同类的上限。

波段7的排序特征,主要由水份决定。凡富含水的谷地,数据较小;而干沙滩地、旱梯田的数据较大。

如果把波段5中各侵蚀类上下限值内的数据处理为同一灰度或颜色,则可以对山区的侵蚀类型作出正确区分。同理,应用波段7也可较正确地区分出堆积类中的水域、农田等。这就是利用遥感数据排序特征制作土壤侵蚀图的主要原理。

(二) 利用地图信息分出山区和谷地

位于谷地的地物,在波段5数轴上不具排序特征,而散布于山区各侵蚀类中(见图1),造成干扰。即使利用波段7处理,也只能分出水域、农田,而沙滩、村镇等与山区侵蚀类型混淆。因此,为消除波段5、7中的混淆干扰,必须利用地图信息。首先,视精度要求选用适宜地图,依其地形、地貌和地物信息,勾绘出山谷界线图。然后,将其输入机器,与波段5、7图象配准。借此,将波段5、7图象分解成山区和谷地两部分后,再行处理则可消除干扰。

如果仅象常规调查样,谷地统归为堆积类,则只需做波段5山区部分的侵蚀分类。为

表 2 土壤侵蚀类型和堆积类地物的遥感数据特征
 Table 2 Characteristics of CCT remotely sensed data of different soil erosion class and sedimentary surface object

序号与类名 No. & Class name	景 观 Landscape	波段 4 均值/标准差 Band 4 me./sd.	波段 5 均值/标准差 Band 5 me./sd.	波段 6 均值/标准差 Band 6 me./sd.	波段 7 均值/标准差 Band 7 me./sd.	合成颜色(4,5,7) United colour
① 无明显侵蚀	1. 针叶林(阴坡)	19.7/1.05	17.9/1.06	43.1/4.68	45.5/4.48	暗红色
	2. 杉木林	21.4/1.26	19.7/0.67	46.8/0.92	40.9/0.99	红色
	3. 阔叶灌丛	22.2/1.16	20.5/0.93	51.0/3.12	48.8/3.24	红色
	4. 松杂林(阳坡)	24.2/1.35	22.2/1.27	67.9/5.80	66.2/6.37	红色
	5. 草地	23.4/0.74	25.0/1.31	44.2/1.16	36.5/1.20	棕红色
	6. 松草地	23.3/1.52	23.7/1.12	45.2/2.70	40.4/2.50	红色
② 轻度侵蚀	7. 80%草地(紫色土)	25.1/1.20	27.7/1.72	47.7/2.22	41.8/1.95	红黄色
	8. 80%松林地(红壤)	25.5/1.02	29.0/1.50	49.5/1.38	42.8/2.35	红黄色
	9. 70%草地(红壤)	26.7/1.34	30.3/1.91	50.5/2.97	43.3/1.91	红黄色
③ 中度侵蚀	10. 70%松林地(红壤)	29.4/1.35	36.7/2.54	52.3/2.33	43.6/2.67	青橙色
	11. 60%草地(红壤)	30.5/1.58	41.9/3.31	55.9/2.80	44.8/2.88	青黄色
	12. 50%花生地(红土)	29.6/1.14	42.6/3.09	58.3/4.22	48.2/3.07	黄橙色
	13. 30%草地(红壤)	34.5/1.79	53.4/4.74	65.6/4.88	51.0/4.93	灰白色
④ 强度侵蚀	14. 30%黄豆地(红土)	33.5/1.29	57.4/4.49	65.6/4.02	49.0/3.03	灰白色
	15. 20%灌丛地(红土)	35.8/3.57	57.4/6.56	69.7/5.80	54.3/4.45	白色
	16. 30%茶叶地(红壤)	35.0/1.93	49.1/3.91	62.3/4.58	47.6/4.21	灰白色
	⑤ 极强度侵蚀	白暴沙土、含石英沙红土				
堆积类地物	17. 农田(大谷区)	30.1/1.31	37.4/2.09	47.8/3.47	34.7/1.97	蓝绿色
	18. 农田(中谷区)	31.0/2.16	39.3/3.40	46.4/4.06	29.4/3.47	青绿色
	19. 农田(小谷区)	36.8/2.29	52.2/4.46	56.7/3.95	34.4/2.24	浅蓝色
	20. 菜园沙土	37.4/2.22	49.4/3.31	58.8/3.28	46.9/3.51	灰白色
	21. 沙滩地	42.3/3.62	57.3/5.66	65.8/4.59	51.1/2.64	白色
	22. 沙滩地	48.2/2.76	67.1/5.07	68.7/4.65	51.8/3.22	白色
	23. 水城(净水)	23.2/1.22	20.2/0.91	17.7/2.16	11.3/2.75	黑色
	24. 水城(河水)	31.9/1.29	37.2/2.70	28.6/3.83	14.2/3.20	青色
	25. 水城(含泥沙浊水)	34.6/1.21	39.9/2.02	26.1/5.60	12.0/4.78	蓝色

在典型地段和线路调查中未发现该类的连片分布

适应山水田综合治理要求,能进一步分出谷地的水域、农田等,自然更有实用价值。

当波段7中地物不具排序特征时,利用地图信息就显得更为重要。

(三) 分段线性变换处理

由表2和图1可知,波段5中各侵蚀类数据变化的上下限值: ①类是2-26,为“无”; ②类是27-32,为“轻”; ③类是33-46,为“中”; ④类是47-63,为“强”; ⑤类是64-127,为“极强”。 波段7各堆积类地物数据变化的上下限值: ①类是1-25,为水域; ②类是26-35,为农田; ③类是36-40,为村镇及其它; ④类是41-127,为沙滩沙土地。

为了将上下限内变化的数据变成同一灰度或同一颜色的图斑,必须采用分段线性变换处

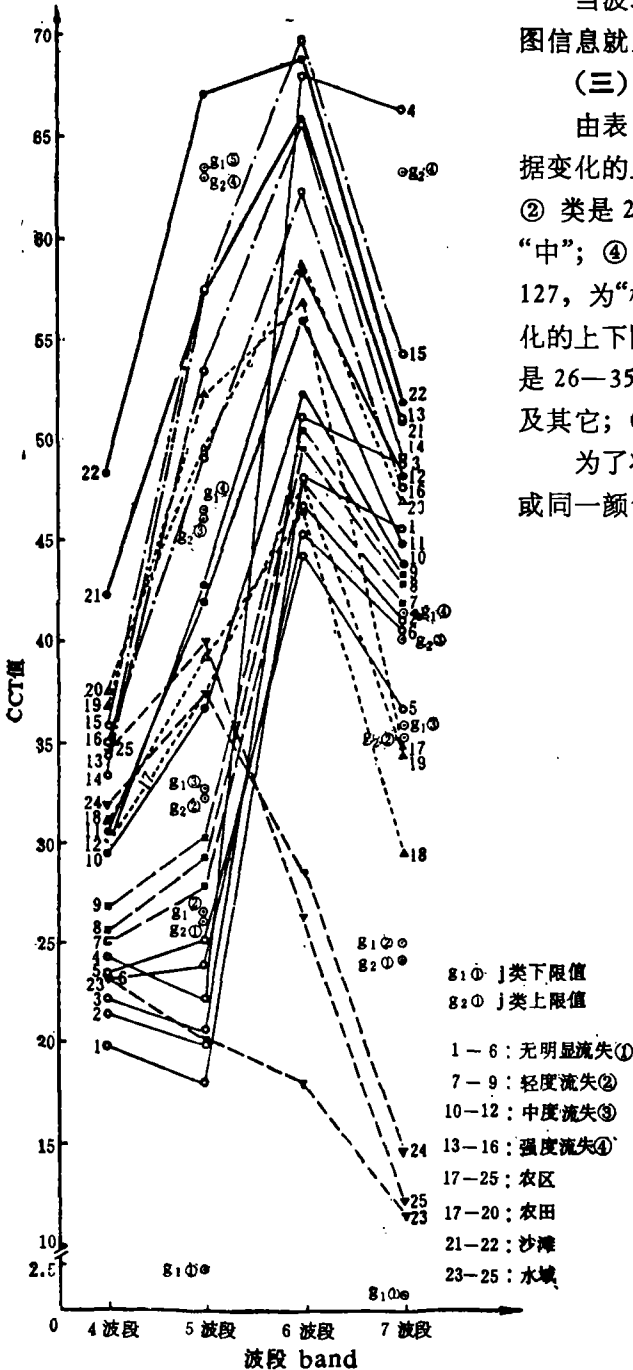


图1 土壤侵蚀类型及堆积类各地物的 CCT MSS的波段排序特征
Fig. 1 Ordering characteristics of CCT's MSS band data of the soil erosion class and sedimentary surface object

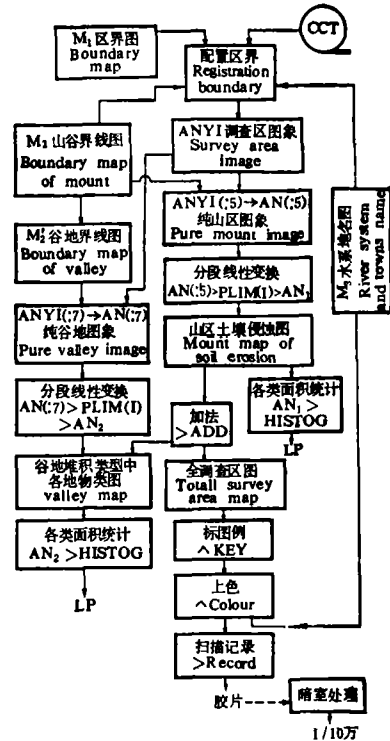


图2 利用排序特征制作土壤侵蚀图的作业流程
Fig. 2 Flow chart on the mapped soil erosion using ordering characteristics of the remotely sensed data

理。其原理公式为

$$G(s, l) = \frac{g(s, l) - g_{ij}}{g_{2j} - g_{1j}} (G_{2j} - G_{1j}) + G_{1j}$$

式中 $g(s, l)$ 和 $G(s, l)$ 分别为第 s 列第 l 行象元在变换前和变换后的数据值。 g_{2j} 、 g_{1j} 和 G_{2j} 、 G_{1j} 分别为 j 类在变换前和变换后的上、下限数据值。为使变换后同一 j 类的数值相同, 须使 $G_{1j} = G_{2j}$ 。在波段 5 可令: $G_{10} = G_{20} = 15$; $G_{12} = G_{22} = 30$; $G_{13} = G_{23} = 60$; $G_{14} = G_{24} = 75$; $G_{15} = G_{25} = 90$ 。在波段 7 可令: $G_{10} = G_{20} = 1$; $G_{13} = G_{23} = 45$; $G_{15} = G_{25} = 105$; $G_{18} = G_{28} = 120$ 。

在 101、575 和 ARIES 型图象处理系统中, 都含有这种分段线性变换的功能^{[10], [12]}且运行机时甚少。变换前、后的 (g_{1j} 、 G_{1j} ; g_{2j} 、 G_{2j}) 数据值, 将作为该功能的参数输入, 操作十分简便。

用波段 5 和波段 7 的图象分别做完山区和谷地的分类变换处理后, 采用相加运算, 合并成一体, 则获得全调查区的土壤侵蚀图和各类图斑的面积数。

(四) 机上作业流程及有关说明

利用排序特征制作土壤侵蚀图的机上作业流程, 如图 2 所示。 M_1 、 M_2 和 M_3 分别为来自地图信息的调查区的区界图、山谷界线图和水系地名图。它们必须输入机器, 且能与遥感数据图象配准。 M_2 只显示山区; M_3 是用机器制出的 M_2 的负象, 只显示谷地。两次行打 (LP) 的各类面积数据, 是换算为亩数的基础。用机器标出图例、地名、图名和上色以后, 便可输出扫描成彩色负象胶片的土壤侵蚀图。再经暗室彩色放大到规定的比例尺以后, 便完成了该区土壤侵蚀制图的全部工作。

二、实验结果和讨论

(一) 实验区、资料 and 结果

1. 实验区 该法实验区选择在江西省安义县。该县地貌类型多样, 有低山、高中低丘和岗地、河谷平原。在山(丘岗)区有发育各类岩石的红壤、红黄壤、第四纪红土和紫色土, 而白暴沙土较少。在河谷平原有水稻土、潮土、水域、村镇及其它(道路、渠)、沙滩沙土地等。该县的土壤侵蚀状况, 在中亚热带北部很有代表性。

2. 实验资料 所选用的实验资料是 1985 年 5 月 8 日无云成象的 CCT。此时, 山区的自然植被葱绿; 岗上的旱作, 花生、大豆有 10—15cm 高的苗, 麦穗、油菜黄熟; 平原谷地的农田正栽稻秧, 也有少数刚耕过或割过的油菜茬地。此时的利用现状和 CCT 资料基本反映了土壤侵蚀面貌。

3. 实验结果 整个实验分为制备图象和数字图及 M_1 、 M_2 、 M_3 图、野外线路调查、分析统计出各类的上下限值和上机作业等阶段。经实验取得的主要结果有: ① 安义县土壤侵蚀图(见图 3-a); ② 该县各类图斑的面积数据(见表 3)。该结果与县水保办的常规调查图(见图 3-b) 和面积数比, 基本上是一致的, 且更符合实际。两者的轻度侵蚀类差异

1) 地质遥感中心计算机室译编, 1984 年: IPOS/101 图象处理用户手册。地质矿产部地质遥感中心(铅印本)。

2) 北京农业大学遥感中心译, 1983 年: ARIES-II 应用软件包操作员手册(第二版), (铅印本)。



图 3-a 利用排序特征值制作的水土流失图
(原图为 1:10 万彩色照片)
Fig. 3-a Soil erosion map using ordering characteristic value

图 3-b 常规调查的土壤侵蚀图
(由 1:10 万缩小成)
Fig. 3-b Soil erosion map by conventional survey

较大,多发生在山地、高丘处,常规调查未曾查实而划为无明显侵蚀类。

(二) 结果讨论

为了分析该法的应用前景,特对其确保制图精度的措施和成本费用作一讨论。

1. 确保制图高精度的措施 它涉及两方面,一是侵蚀类型的分类精度,二是几何精度。

① 为了确保分类精度,必须找准每个侵蚀类和堆积类地物在波段 5,7 的排序上下限值。这就要求在典型地段做好不同植被和不同土壤的侵蚀类型的实况调查,并做好数字图的分析统计工作。本次实验,采用均值和标准差来确定各类的排序特征(上下限)值。表 3 表明,如此确定的值是准确的。若上下限值定错,则会导致分类错误。可见,找准排序特征值很重要。

表3 CCT排序特征分类结果与常规调查结果的比较

Table 3 Comparison for the results of classification by CCT ordering characteristics and the results of conventional survey

类 名 Class name	用排序特征分类的面积数 (万亩, 10 ⁴ mu) Area of classification of CCT ordering characteristics	1984年常规调查的面积* (10 ⁴ mu) 1984 Conventional survey area	精度(%) Exactitude
无明显侵蚀	20.5374	(27.2658)	(75.3)
轻度侵蚀	12.1387	6.0930	50.2
中度侵蚀	9.9481	8.8063	88.5
强度侵蚀	8.7326	9.1232	95.7
极强度侵蚀	0.4785	/	/
总计侵蚀面积	31.2979	24.0225	76.8
急需治理面积	9.2111	9.1232	99.0
农 区	水稻田	18.5956	71.2
	沙滩沙土地	13.6137	47.3
	村镇道路渠	11.0322	98.3
	水 面	3.6308	92.6
	农区总计	46.8723	99.4
全县总面积	98.7076	98.4285**	99.8

* 引自安义县水土保持规划报告(油印资料), 1984年11月。括号内数据由县总面积数推算出, 原报告中未列明此类数。

** 县总面积数, 引自江西省测绘局文件公布的。

分类精度, 还与选用的地图有关。因山区各类的总面积由 M_2 (山区图) 决定, 故需选用现势性强、比例尺适宜的地图。本实验选用的是 1:10 万地图, 制备的 M_2 准确。

此外, 应选用太阳角大于 50° 无云成象的 CCT, 以避免山影对排序特征的干扰。本实验的太阳高度角为 58° , 是适宜的。

② 为了确保制图的几何精度, 必须采用相应的处理措施。遥感数据图象因卫星姿态、扫描器和地球自转等的变化和影响, 致使几何位置误差很大^[5,6], 往往难与地图套合。通常采用几何粗、精校正预处理后, 再行分类。用该法制作土壤侵蚀图, 必须使 M_1 、 M_2 、 M_3 均与图象准确配置。否则, 即使图象做了精校正, 也得不到准确分类的图斑和面积数。本实验采用了“区界配置方法”的成果^[3], 实现了各图与图象的准确配置, 所制图件能与地图套合, 表明有较高的几何精度, 达到了 1:10 万的制图要求。因此, 采用“区界配置方法”也是确保制图精度的很重要措施。

正是上述两方面措施, 使该法既消除了监督分类法的混淆或错分现象, 又发挥了它较客观分类的长处; 既克服了目视判读法受主观影响大的短处, 又发挥了它使用地图判读不出大错的特点。因此, 该法可以实现客观、高精度的土壤侵蚀制图之目标。

诚然, 它与所有纯遥感数据的分类一样, 尚需正确输入和利用地形信息。因为土壤的

侵蚀程度除与植被密切相关外,尤在植被稀少区还与地形坡度有关^[4]。随着象元所处坡度的大小,有的图斑要做或升或降的调整。为此,需给各象元赋予坡度值,并按坡度值进行自动调整。

2. 成本费用分析 该法的成本费用,主要由CCT的拷贝、野外调查、上机前准备、上机和彩放费组成。其总费用比常规调查法要低得多,也省人力。与目视判读法比,虽然增加了拷贝(或新购磁带)和上机费,但因免去判读、转绘、量算面积、清绘、复照和制印的大量工时费用,故总费用比目视判读法低。与以往的监督分类法比,因只用两个单波段处理,比四个波段的组合处理占用机时少,特别是分段线性变换处理,960 × 1447个象元仅需几分钟,故其上机费要少十几倍。可见,它是现行方法中成本费用较低的一种。

当该法在实验区取得成功,可将排序特征值应用到同幅内的其它县区,得到同样满意的效果。这时,该法的成本费用因免去拷贝、野外调查、制备数字图和分析统计等费,而进一步大量减少。

此外,该法还可以在若干年后,对同一时间的CCT用同一标准(排序特征值)重复进行处理,实现动态监测。这也是目视判读法难以做到的。

综上所述,该法具有制图精度高、成本费用低等优点,是现行方法中较理想的土壤侵蚀制图方法。它无疑有着广为应用的前景。

三、结 论

经上述分析研究,可以得出如下结论: 1. 土壤侵蚀类型的卫星遥感数据在波段5、7具有排序特征; 2. 利用排序特征制土壤侵蚀图的方法,具有制图精度高、成本费用低的优点; 3. 尚需给每个象元配置坡度信息,以做局部图斑的升降调整,使方法更臻完善^[1]。

参 考 文 献

- [1] 卜兆宏、史德明等, 1983: 水土流失调查的一种新方法。中国水土保持, 第3期, 25—27页。
- [2] 卜兆宏、史久浩等, 1984: 用卫星磁带数据制水土流失图的实验研究。土壤学报, 第21卷3期, 299—308页。
- [3] 卜兆宏、史久浩, 1985: 卫星磁带图象分类制图中区域配置方法的成果简介。土壤, 第17卷2期, 97—98页。
- [4] 卜兆宏、杨太宏, 1988: 水土流失制图中仪器判读法的初步研究。农业遥感论文集, 北京科学技术出版社, 211—215页。
- [5] 李树楷, 1984: 卫星多谱段扫描图象MSS的定位问题。地理学报, 第39卷4期, 382—396页。
- [6] 华瑞林译编, 1981: 遥感技术译文集, 第一集。测绘出版社, 66—79页。
- [7] 夏夫川, 1983: 卫星图象目视解译在永定河上游水土流失调查中的应用。第三届遥感技术学术交流会论文集汇编, 下册, 131—135页。
- [8] 飯坂讓二, 吉村仁, 安田嘉純, 江森康文, 1979: ‘ランドサットによる森林の自動区分’。日本写真測量学会講演論文集, pp. 99—102。
- [9] Arredondo, G. S., J. A. Valds A., J. I. Miranada V., 1982: Computer-aided inventory of sugar cane in Mexico. 1982 Machine Processing Remotely Sensed Data Symposium, pp. 406—410。
- [10] IIS Inc., 1985: System 575 software user's manual. Digital Image Processing System Version 4.3—3。
- [11] Isawa, L. A., 1985: Application of remote sensing for resources assessment in eastern and sou-

1) 卜兆宏、李士鸿编著: 水土流失调查的遥感数据处理, 第六章(详述了随坡度调整的程序和方法)。东南大学出版社, 1989年。

thern Africa, Kenya.

- [12] Johannsen, C. J., and J. L. Sanders, 1982: Remote sensing for resource management. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.
- [13] Soetarto, F. B., 1985: Geographic information preparation using remote sensing techniques for development planning. Indonesia.
- [14] Wischmerier, W. H., 1976: Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 31(1), pp. 5-9.

A STUDY ON THE SOIL EROSION MAPPING USING ORDERING CHARACTERISTIC OF REMOTE SENSING DATA*

Pu Zhaohong

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Li Shihong

(Institute of the Hydrology of the Min. of Water Conservancy, Nanjing)

Summary

The ordering characteristics of soil erosion class, in particular those in 5 and 7 band of LANDSAT MSS CCT image, were introduced, and the principle and operational procedure for soil erosion mapping by it were presented in this paper. The soil erosion map and the area of each class in the experimental region obtained by using the method were in good agreement with the results by conventional investigation, The main measures to ensure high accuracy and the low cost for the method are discussed, and it is considered that this method will have great prospect in practice and research on soil erosion mapping.

* Projects Supported by the Natural Science Fund of the China.