

几种水土保持措施对强化降水入渗 和减沙的影响试验研究 *

石生新 蒋定生

(中国科学院水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要 采用人工降雨方法,较系统地研究了耕作措施、生物措施、田间工程措施、工程整地造林措施对强化降水入渗和减少径流泥沙的影响。

关键词 水土保持措施 强化降水入渗 径流 泥沙

Impacts of Several Soil and Water Conservation Measures on Strengthening Rainfall Infiltration and Reducing Sediment Yield

Shi Shengxin Jiang Dingsheng

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica
and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract using simulated rainfall the effects of soil and water conservation measures, such as cultivated measures, bio-measures, engineering measures and afforestation with engineering preparation on strengthening rainfall infiltration and reducing runoff and sediment yield were studied systematically.

Key words soil and water conservation measures strengthening rainfall infiltration runoff sediment

1 导 言

黄土结构疏松,稳定入渗速率高达 $0.5\sim 12\text{mm}/\text{min}$ ^[1]。鉴此,一些学者提议^[2,3],应充分利用黄土利于降水入渗的有利条件,把“拦蓄降水,就地入渗”作为整治黄土高原的方略。一些流域(如无定河)和黄土高原区域综合治理试验区(如安塞县纸坊沟,长武县王东沟,固原县上黄村,西吉县黄家二岔,定西县高泉沟等)也从这一指导思想出发^[4],在治理措施配置设计和资金投向上相应采取倾斜政策,大力提倡兴修基本农田和水路网整治工程,以及整地造林种草,节节拦蓄降水,收到较好效益。但是,有关水土保持措施强化降水入渗和减少坡面产沙的数量变化规律还缺少系统的试验研究。因此弄清这种变化规律,对水土保持措施的优化设计和合理配置,以及黄土高原的国土整治将有重要意义。

国外关于入渗问题的研究虽早^[5,6],但多偏重入渗机理方面^[7,8,9],涉及水土保持措施影响的研究

收稿日期 1990—10—10

* 蒋定生根据石生新硕士论文《水土保持措施对强化降水入渗的试验研究》节写,石生新现在山西省水利科学研究所工作。

较少,所提出的一些入渗模型,前提多属地面水平,一维半无限均质土壤、初始含水率分布一的情况;将其用于千沟万壑,地面陡峭的黄土高原,仍有很大差距。国内关于黄土入渗速率的研究,因受水源、交通以及试验设备的限制,多采用双环法^[9]进行,涉及水土保持措施者亦很少,所得结果,离生产实践应用还有一段距离。

本试验采用人工降雨方法,土壤为黄绵土,试验地点选择在安塞县纸坊沟和方塌沟,属黄土高原丘陵沟壑区第Ⅰ副区。现将部分试验结果整理于后。

2 试验布设简介

2.1 试验设施

喷洒器为单向折射式,出水口为不同直径活动孔板,可更换。用4马力柴配喷灌机组取水加压,通过闸阀和更换出水孔板控制雨强。试验小区面积为 $1\text{m} \times 3\text{m}$,边墙用白铁皮围护,小区下端安放径流集水器,定时观测径流水位,并取样观测泥沙。整个降雨区内架设风障,防止雨滴飘拂。喷洒器降雨特性如表1。

表1 喷洒器降雨特性

孔板直径(mm)	7			9			11			7×7*
工作压力(KPa)	98.0	73.5	49.0	98.0	73.5	49.0	98.0	73.5	49.0	49.0
降雨强度(mm/min)	1.07	0.93	0.70	1.29	1.26	1.03	1.41	1.55	1.61	1.30
雨滴中数直径D50(mm)	1.36	1.22	1.50	1.26	1.40	2.00	1.21	1.40	1.52	2.50
均匀系数	0.78	0.71	0.89	0.81	0.83	0.82	0.91	0.88	0.70	0.89

*表示孔板直径均为7mm的双喷头喷洒。

2.2 试验设计

试验可归结为三种类型:

(1)研究坡耕地上水土保持耕作措施,工程措施和生物措施对强化降水入渗和减沙的影响。该类试验布置有绝对休闲地(对照)、传统播种谷子、水平沟种植谷子、水平沟草粮等高带状间作、水平沟种草、隔坡梯田(平坡比为1:2,平段条播谷子,坡段水平沟种植沙打旺牧草)和水平梯田等7种小区。各水平沟小区每区挖水平沟9个,水平沟呈倒置三角形,沟宽25cm,中心深15cm。水平沟草粮等高带状小区内,草带宽1m,布设在小区中央。各小区内,谷子密度2900株/亩,试验时株高1.2m,覆盖度约为70%。草(沙打旺)株高55cm,覆盖度约及80%。

(2)研究人工营造的洋槐、沙棘和牧荒坡对强化降水入渗和减沙的影响。布设有阴坡洋槐幼林、阴坡柠条和沙棘林、及洋槐林中旷地裸露小区等4种。

小区地面坡度为25°。洋槐林试验小区内生有1.5m高萌蘖小洋槐。林子枝叶覆盖度为70%~80%。林下生长有长芒草、甘青针茅、铁杆蒿等草被。小区内枯枝落叶层厚度1~1.5cm,不均匀,约覆盖小区面积的50%。各小区内均有反坡水平阶一条,宽50~60cm,反坡坡度约及2°~3°。

(3)研究陡坡荒地整地造林措施对强化降水入渗和产沙的影响。

小区地面坡度为36°,布设水平阶和鱼鳞坑两种整地工程造林小区和一个裸露地对照小区。水平阶小区内布置有水平阶两个,阶宽50cm,反坡坡度为3°,两水平阶相距1.2m。鱼鳞坑直径80cm,深30cm,两鱼鳞坑相距1.3m。小区内树高1.5m,覆盖度约30%。

3 试验结果分析

3.1 坡耕地水土保持措施对强化降水入渗和减少泥沙的影响

坡耕地水土保持措施在影响降水入渗和产流产沙的作用方面主要有二。第一、增加地表糙率,

削弱径流流速,从而增大降水入渗;第二,减小地面坡度,截短径流流线,增加地面对降水的拦蓄,诸如隔坡梯田、水平梯田即属此项措施。因而坡耕地水土保持措施对强化降水入渗和径流泥沙的影响方面,主要表现在延缓径流发生时间和减少坡面产流产沙两个方面。

图1是在不同降雨强度下,坡耕地上不同水土保持措施处理小区起始产流时间直方图。可以看出:(1)随着降雨强度的增加,地表起始产流时间明显提前;(2)在同一降雨强度下,各种水土保持措施延缓地面产流时间的作用十分显著,且差异亦很明显,(3)在同一降雨强度下(0.7mm/min),与传统种谷子(平播)法相比,水平沟谷子地推迟发生径流39min,水平沟草粮等高带状间作地推迟径流发生时间为50min,而水平沟草地(沙打旺)推迟径流发生时间长达65min,足见耕作措施强化降水入渗之功效;(4)隔坡梯田和水平梯田等工程措施强化降水入渗能力最大,当降雨强度为1.03mm/min时,60min 仍不发生径流,而水平梯田当降雨量达100mm 时也无径流发生。因此,在坡耕地上,在狠抓基本农田(水平梯田或隔坡梯田)建设的前提下,配置适当比例的耕作措施(水平沟种植)和生物措施(人工草地),将会收到良好的水土保持效益和生态效益。

坡耕地上,由于水土保持措施的拦蓄和强化入渗作用,与对照休闲地相比,各时段的累积产流量显著减少(表2)。这不仅减轻了水土流失危害,也提高了土壤水分含量,寓抗旱于水土保持之中。

表2 坡耕地上不同水土保持措施对坡面产流量的影响

雨强 1.03mm/min						雨强 0.7mm/min					
休闲地		传统种谷子		水平沟谷子		休闲地		传统种谷子		水平沟种草	
时段 (min)	产流量 (mm)	产流量 (mm)	减流比 例(%)	产流量 (mm)	减流比 例(%)	产流量 (mm)	产流量 (mm)	减流比 例(%)	产流量 (mm)	减流比 例(%)	
30	12.9	6.8	47	0.0	100	6.4	5.3	17.0	0.0	100	
60	37.3	28.9	22	9.4	75	23.7	21.9	7.4	0.0	100	
90	62.8	53.7	14	26.3	58	42.0	39.8	5.2	2.9	93	

随着降水入渗量的增加和产流量的减小,径流对土壤的冲刷力也随之减弱,从而导致降雨对土壤的侵蚀量减少。试验表明(参见表3),与休闲地相比,有作物或牧草茎叶覆盖的地面,或者是耕作措施与生物构成的防止水土流失的复合体面,都具有程度不等的减蚀效应。

坡耕地上采取水平沟种植法,一方面由于水平沟的蓄水聚肥作用,作物长势和群体结构好于农家传统种植法,作物枝叶层层交错,拦截降雨保护地面免受雨点的直接冲击破坏,有利雨水入渗,减少土壤流失;另一方面则由于水平沟本身的拦泥作用。可以粗略地认为:水平沟种植谷子(或草)的拦泥量 S_1 等于休闲地上的降雨侵蚀 C 减去水平沟种植谷子(或牧草)地的产沙量 W ,亦即

$$S_1 = C - W \tag{1}$$

表3结果表明,水平沟种植法拦泥减沙效益相当显著。在降雨强度为1.03mm/min 的情况下,降雨历时89min,与休闲地相比,传统种植法谷子地的拦泥效益最后稳定在38%,水平沟谷子地稳定在93%左右,而水平沟种草拦泥减沙效益稳定在97.5%上下。

图2是根据表3结果经计算点绘而成,可以看出,在相应时段内,休闲地产沙量最大,传统种植谷

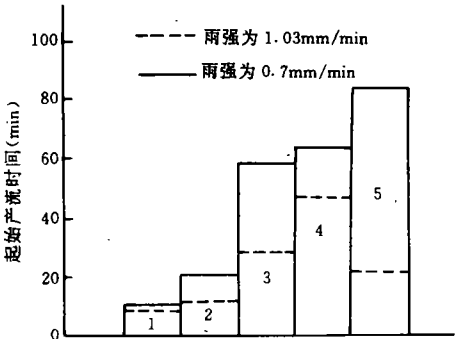


图1 坡耕地上水土保持措施延缓径流发生时间直方图

1. 休闲地 2. 传统种谷子地
3. 水平沟谷子地 4. 水平沟草粮等高带状间作地 5. 水平沟草地

子地产沙量次之,水平沟种植谷子地产沙量较小,而水平沟种草地各时段内的产沙量最小,其产沙强度介于3~4g/min,远小于休闲地的60~122g/min产沙强度。

3.2 人工建造植被对入渗和减沙的影响

在陡坡、荒地、坡脚土层较薄而石质含量较多的劣等土地上人工建造植被,亦具有良好的水土保持作用。

试验表明,劣等土地经生物措施改造以后,土壤物理性质开始变化,表层土壤容重减轻,>0.25mm 水稳性团粘含量增加,这些都为水向土中入渗创造了条件,结果是首30min 土壤平均入渗速率都在1.31mm/min 以上,高于陡地荒地和农地(谷子地),见表4。

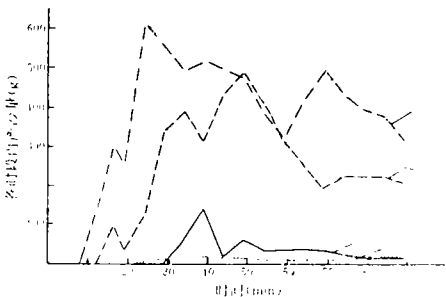


图2 水平沟种植法产沙强度与休闲地之比较

- 1 休闲地 2 传统方法种植谷子地
- 3 水平沟种谷子地 4 水平沟种草地

表3 水平沟减沙效益过程分析

降雨强度 $J = 1.03\text{mm/min}$														
传统种谷子地					水平平均谷子地					水平沟种草地				
产流历时 (min)	休闲地 产沙量 (g)	传统种 谷子地 产沙量 (g)	传统种 谷子地 减沙量 (g)	传统种 谷子的 减沙效益 (%)	产流历时 (min)	休闲地 产沙量 (g)	水平沟 谷子地 产沙量 (g)	水平沟 谷子地的 减沙量 (g)	水平的 减沙效益 (%)	产流历时 (min)	休闲地 产沙量 (g)	水平沟 种草 产沙量 (g)	水平沟 种草减沙 量(g)	水平沟 种的减沙 效益(%)
<12	不产流				<29	不产流				<22	不产流			
12	127.8	0.0	127.8	100	29	1839.1	0.0	1839.1	100	22	1046.7	0.0	1046.7	100
16	426.1	92.3	333.8	78	33	2232.9	44.7	2188.2	98.0	26	1509.6	8.4	1506.2	99.4
19	681.7	122.0	559.7	82	39	2843.2	186.5	2565.7	93.4	33	2232.9	22.1	2210.8	99.0
24	1290.0	244.7	1045.3	81	44	3337.2	201.4	3135.8	94.0	39	2843.2	40.7	2802.5	98.6
29	1839.1	578.9	1260.2	68	49	3817.3	256.9	3560.4	93.3	44	3337.2	58.1	3279.1	98.3
34	2331.3	969.1	1362.2	58	54	4207.5	288.8	3918.7	93.1	49	3817.3	70.3	3747.0	98.2
39	2843.2	1277.0	1566.2	55	59	4528.6	323.0	4205.6	92.9	54	4207.5	83.1	4124.2	98.0
44	3337.2	1717.2	1620.0	49	64	4945.4	357.7	4587.7	92.8	59	4228.6	98.8	4129.8	97.7
49	3817.3	2204.0	1613.3	52	69	5431.7	390.6	5041.1	92.8	64	4945.4	110.8	4834.6	97.8
54	4207.5	2612.3	1595.2	40	74	5864.5	412.1	5452.4	93.0	69	5431.7	121.9	5309.8	97.8
59	4528.6	2925.3	1603.3	35	79	6257.4	425.1	5832.3	93.2	74	5864.5	135.3	5729.2	97.7
64	4945.4	3177.0	1768.4	36	84	6629.6	438.1	6191.5	93.4	79	6257.4	146.0	6111.4	97.7
69	5431.7	3370.8	2060.9	38	89	6950.7	455.5	6495.2	93.4	84	6629.6	163.5	6466.1	97.5
74	5864.5	3597.8	2266.7	38						89	6950.7	180.8	6769.9	97.4
79	6257.4	3821.6	2435.8	38										
84	6629.6	4049.5	2580.1	38										
89	6950.7	4265.4	2685.3	38										

表4 人工建造植被后,劣质土地土壤物理性质的变化

土地利用类型	0~20cm 土壤容重 (g/cm ³)	0~20cm>0.25 mm 水稳性 团粒含量(%)	首30min 土壤 平均入渗速率 (双环法,mm/min)
农耕地(谷子)	1.34	5.38	1.17
陡坡荒地	1.33	9.45	1.22
柠条林地	1.30	26.15	1.31
沙棘林地	1.37	16.44	1.48
阴坡洋槐林	1.32	14.14	1.51
阳坡洋槐林	1.20	12.43	2.06
封育荒坡	1.20	62.90	3.00

由于植被对雨滴的拦截,枯枝败叶对地表的保护,以及植物根系对土壤的缠绕固结作用,提高

了土壤抗蚀性和抗冲刷能力,因而植被是抑制土壤侵蚀的主要自然因子。表5列举了几种人工植被在降雨强度为1.30mm/min,历时60min的降雨条件下,不同时段坡面累积产沙量的实测结果,从表中可以看出,封育荒坡由于没有放牧,牲畜践踏少,土壤结构良好,团粒含量较高(见表4),土壤入渗速率较大,加之根系发达,土壤被固结,因而在时段内的累积产沙量最小,减沙效益超过99%;洋槐林中无植被旷地,因其表面有一层厚约2cm的枯枝败叶层覆盖,富有弹性和吸水性,能保护土壤免受雨滴直接打击,防蚀作用好,其坡面累积产沙量也较小,与休闲地相比,减沙效益达98%;另外,洋槐、柠条、沙棘等乔灌木人工建造植被,减沙效益也十分显著,其值介于88%~98%之间;依传统农家方法种植的谷子农地,虽然其茎叶覆盖度在70%左右,但因其表土虚松,根系对土壤的固结作用小,土壤抗蚀抗冲性能较差,侵蚀仍较严重,各时段减沙效益平均仅及35%。

表5 人工营造植被对坡面产沙量的影响

单位:kg

时段 (min)	休闲地	传统方 法种植 谷子	洋槐林	柠条林	沙棘林	洋槐林 中无植 被旷地	封育 荒坡
20	1.819	1.531	0.048	0.062	0.217	0.020	0.013
40	6.661	3.073	0.113	0.614	0.479	0.050	0.028
60	10.440	6.763	0.195	0.457	0.885	0.174	0.076

坡面累积产沙量除了受植被类型影响外,受植被盖度的影响也很大。图3是降雨强度为1.30mm/min,历时60min的降雨条件下,对洋槐林中旷地上林下植被度不同的坡面产沙量实测结果。试验表明,坡面产沙量与植被覆盖度呈负相关关系,亦即植被覆盖度越大,坡面累积产沙量越小;当植被覆盖度大于60%时,减沙效益均在90%以上(与休闲地相比),届时土壤侵蚀模数小于260t/km²。图中曲线可用下式描述:

$$Q = 8.622e^{-3.42\alpha} \tag{2}$$

式中:Q——累积产沙量;α——植被覆盖度。

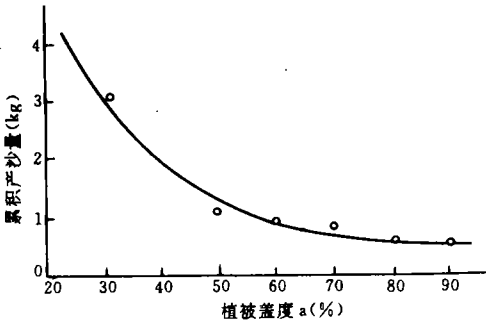


图3 坡面累积产沙量Q与植被覆盖度α之关系

3.3 整地造林措施对强化降水入渗和减少坡面产沙的影响

对25°以上的陡坡荒地上造林,为了提高造林成活率,常采取诸如开挖鱼鳞坑、水平阶等整地工程措施。这些措施能拦蓄降水,强化入渗。试验表明(表6),在降雨强度*i*=1.03mm/min,降雨量达92.7mm(降雨历时90min)的情况下,与无整地工程措施的陡坡荒地相比,水平阶整地造林产流量要少20%,鱼鳞坑整地造林地的产流量要少58%,减流效益后者优于前者。当降雨强度较小时,减流效益将随之增大。

表6 陡坡荒地上整地造林措施对坡面产流量的影响

降雨强度 (mm/min)	1.03						0.70					
	陡坡荒地 (对照)		水平阶整 地造林		鱼鳞坑整 地造林		陡坡荒地 (对照)		水平阶整 地造林		鱼鳞坑整 地造林	
时段 (min)	产流量 (mm)	减少比例 (%)	产流量 (mm)	减少比例 (%)	产流量 (mm)	减少比例 (%)	产流量 (mm)	减少比例 (%)	产流量 (mm)	减少比例 (%)	产流量 (mm)	减少比例 (%)
30	22.06	47	11.63	78	4.88	78	6.73	60	2.71	63	2.47	63
60	50.72	28	36.68	69	15.52	69	21.83	37	13.73	59	8.85	59
90	79.77	20	64.16	58	33.58	58	37.77	35	24.42	61	14.58	61

鱼鳞坑、水平阶等造林整地工程措施其拦泥减沙效益亦十分显著,今假定用下式来计算鱼鳞坑和水平阶等整地造林措施的减沙量,即:

$$S_2 = M - Z$$

(3)

式中: S_2 ——鱼鳞坑或水平阶整地造林措施的减沙量;

M ——陡坡荒地产生沙量;

Z ——鱼鳞坑或水平阶整地造林措施的产沙量。

表7为试验结果,可以看出,鱼鳞坑、水平阶整地造林措施的减沙效果显著。在降雨强度为1.03mm/min的情况下,鱼鳞坑在7min以前能将降水全部就地入渗和拦蓄,不发生径流,降水87min,平均减沙效益大于48%;水平阶10min以前降水能全部入渗,不发生径流,当降水历时达到90min时,其平均减沙效益大于60%。随着降雨历时的延续,鱼鳞坑和水平阶的减沙效益渐次减小,而且随着降雨强度的增大,其减沙效益减低。从表7亦可看出,当鱼鳞坑未被径流填满时,其减沙效益明显优于水平阶,譬如,当降雨历时为60min时,鱼鳞坑平均减沙效益为85%,而水平阶减沙效益只有66%;当径流将鱼鳞坑蓄满以后,径流溢出,冲毁土埂,致使坡面径流汇集,冲刷力加大,其减沙效益迅速降低,例如,当降雨历时从60min延续至90min,鱼鳞坑的平均效益由80%减少到48%,而水平阶破坏程度较轻,其减沙效益变化平缓,仅从66%降低至60%。

表7 造林整地工程措施对坡面产沙的影响

降雨强度 $i = 1.03\text{mm/min}$									
鱼鳞坑整地造林					水平阶整地造林				
降雨历时 (min)	陡坡荒地 产沙量 (g)	鱼鳞坑整 地造林 产沙量 (g)	鱼鳞坑 整地造 林减沙量 (g)	减沙效益 (%)	降雨历时 (min)	陡坡荒地 产沙量 (g)	水平阶整 地造林 产沙量 (g)	水平阶整 地造林 减沙量 (g)	减沙效益 (%)
<7		不产流			<10		不产流		
7	163.0	0.0	163.0	100	10	312.0	0.0	312.0	100
11	361.7	25.7	336.0	93	14	880.7	66.2	814.5	92
17	1399.6	104.9	1294.7	93	20	1936.8	139.1	1797.7	93
22	2295.0	134.4	2160.6	94	25	2696.8	446.5	2250.3	83
27	2964.6	156.0	2808.6	95	30	3279.3	707.5	2571.8	78
32	3489.1	202.7	3286.4	94	35	3634.2	817.1	2817.1	78
37	3731.0	239.7	3491.3	94	40	4011.0	1106.1	2904.9	72
42	4197.6	271.4	3926.2	94	45	4302.2	1232.8	3069.4	71
47	4372.0	374.1	3997.9	91	50	4516.7	1363.8	3152.9	70
52	4613.1	483.4	4129.7	90	55	4764.5	1592.6	3171.9	67
57	4865.4	630.3	4235.1	87	60	5010.5	1694.1	3316.4	66
62	5107.2	832.1	4275.1	84	65	5383.5	1880.2	3503.3	65
67	5567.7	1248.6	4319.1	78	70	5762.5	2062.7	3699.8	64
72	5892.4	1852.4	4040.0	69	75	6048.6	2205.8	3842.8	63
77	6152.7	2616.8	3535.9	57	80	6344.8	2431.2	3913.6	62
82	6472.8	3055.0	3417.8	53	85	6679.0	2643.5	4035.5	60
87	6816.4	3521.6	3294.8	48	90	7022.6	2838.1	4184.5	60

4 结 论

4.1 坡耕地上采取的保持水土耕作措施、工程措施,诸如水平沟种植,水平沟草粮等高带状间作,水平沟种草,修筑隔坡梯田和水平梯田等,都有明显的延迟径流发生时间,强化降水入渗减少径流量和减少坡面产沙量的功效。其强化降水入渗和削减坡面产沙量的强弱顺序是:水平梯田>隔坡梯田>水平沟种草>水平沟草粮等高带状间作>水平沟种植谷子>传统种植谷子>休闲地。因此,在坡耕地上,在狠抓基本农田(水平梯田、隔坡梯田)建设的前提下,应积极推广水平沟种植法,强化降水就地拦蓄入渗,减少水土流失。

4.2 人工建造植被具有良好的减流减沙作用。但营林应提高质量,使植被覆盖度超过60%,以

增强地面对降水的吸收,减少产沙量。

4.3 在陡坡荒地上造林应采取整地工程措施,拦蓄降水,减少坡面产沙,提高造林成活率。

参考文献

- 1 蒋定生等. 黄土高原土壤入渗速率的研究. 土壤学报, 1986年第4期
- 2 朱显谟. 黄土高原土地的整治问题. 水土保持通报, 1984年第4期
- 3 黄秉维. 谈黄河中游土壤保持问题. 中国水土保持, 1983年第1期
- 4 中国科学院资源环境科学局主编. 黄土高原小流域综合治理与发展. 技术文献出版社, 1992年3月
- 5 Bouer, H. Rapid field measasement of air — entry value and hydraulic conductivity of soil as significant paraneters in flow system analysis. Water Resour . Res . 2. 1966, PP, 729—738
- 6 Bouwer, H. Infiltration of water into nonuniform soil . J. Irrigation and Drainage Division ASCE 95 (IR4), PP. 451—462
- 7 Mein, R. G. and Larson. C. L. Modeling infiltration during a steady rain. Water Resour . Res . 9(2), 1973, PP. 384—394
- 8 Kostiakov , A. N(1932). On the dynamics of the coeffient of waterpercolation in soils and on the necessity of studying it froma dynamic point of view for purposes of amelioration . Trans . Com . Int . Soc. Soil Sci, 6th Moscow part A. 17—21
- 9 Horton, R. E(1940). An approach toward a physical interpretation of infiltration—capacity. Soil Sci. Soc. An. proc. 5, 399—417

(上接第67页)

象分辨率与解译对象大小之间的关系决定了局部方差, 区域景观特征表现为图象空间结构, 所有这些都是选定参数的依据。这实际上属于目前遥感应用的一个关键课题—如何实现地学与现代技术之间的“对话”。许多实例表明, 如果离开严格的地学分析, 就难以充分发挥遥感技术的潜力。

参考文献

- 1 Harrison. B. A. and Jupp. D. L. B. (1990), Introduction to Image Prooessing: Part TWO of the Mioro BRIAN Resouroes Manual. CSIRO, Melbourne, Australia.
- 2 Harrison. B. A. , Jupp. D. L. B. and Li. R(1991), Using Spatial Statistios with Remotely Sensed Images . Proc . Australian Remote Seneing, Conference Perth , Australia.
- 3 LI. R, Jupp D. L. B. Harrison. B. A. and Ahmad. W. (1986). Extraotion of Landform Information from Remolely Sensed Dala; An inilial study, Proc. RISRS'86. Reijing, China.
- 4 Li. R, Harrison. B. A. and Jupp. D. L. B. (1989), Using rcmotc sensing to map landform and cover in the Loess Plateau, China, Proc . Asian Conference on Remote Sensing, Kuala Lumpur . Malaysia
- 5 Woodcock. C. E. and Strahler . A. H. (1987). The factor of scale in remote sensing. Remote Sensing of Euvron-
met, 21: 311—322.
- 6 杨文治、余存祖主编. 黄土高原区域治理与评价. 科学出版社, 1992
- 7 李 锐等. 土地类型遥感分类系统与机助分类初步研究. 陕北黄土高原地区遥感应用研究, 科学出版社, 1991