



黄土高原土壤崩解速率变化规律 及影响因素研究

蒋定生 李新华 范兴科 张汉雄

(中国科学院 西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)
水利部

摘 要 研究表明,黄土高原土壤崩解速率存在明显的地域分异规律,且呈现出自西北向东南次第减慢的趋势。根据主要参数,将研究区内土壤崩解速率划分为极慢、很慢、一般、很快和极快 5 个区。影响土壤崩解速率的主要因素有:农业耕作、植(生)物生长和土壤成土过程三个方面。还发现,土壤崩解速率与土壤抗冲性之间存在密切的幂函数关系。

关键词 土壤崩解速率 分区 土壤抗冲性

Research on the Law of Soil Disintegration Rate Change and It's Effect Factors on the Loess Plateau

Jiang Dingsheng Li Xinhua Fan Xingke Zhang Hanziong

(Northwestern Institute of Soil and water Conservation, the Chinese Academy of Science
and the Ministry of water Resources, Yangling, Shaanxi, 712100)

Abstract The results show that soil disintegration rate on the loess plateau is faster in the northwestern region than in the southeastern region. It takes regional change law clearly. Based on the experiment data, we classify the soil disintegration rate of this area as 5 regions. That is the slowest region, very slow region, slow region, fast region and very fast region. The important factor that effect the soil disintegration rate are agriculture tillage, plant or biotic growth and soil-forming process. Besides, the relationship between soil disintegration rate with soil anti-scourability is power function.

Key words soil disintegration rate classify region soil anti-scourability

1 前 言

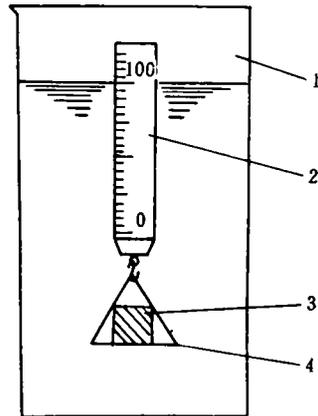
土壤崩解,土工上叫湿化,是指土壤在静水中发生碎裂解体塌落或强度减弱的现象。本世纪 50 年代,有人把它做为评价土壤可蚀性的一项相关指标来进行研究^[1],但是有关黄土高原土壤

崩解系统研究的专门文献还未见有报道。

本项研究内容是黄土高原土壤抗冲性研究的一个组成部分,其目的在于为水土保持措施的优化配置提供理论依据。其研究范围东起吕梁山,西至甘肃黄河,南界渭河,北抵长城沿线,辖106个县、旗(市),面积 $28 \times 10^4 \text{ km}^2$,包括黄土丘陵沟壑区及高原沟壑区的绝大部分,区内水土流失严重,地面年产沙量约 $20 \times 10^8 \text{ t}$,是入黄泥沙的主要源地。因此,研究本区土壤的崩解速率及其影响因素,对于黄土高原的国土整治,改善农业环境条件,保护土地资源,促进经济持续发展将具有重要意义。

2 试验方法

目前市面上未见有定型的土壤崩解测定仪出售,本试验的测定装置系自制,其结构如图1。浮筒直径5.7cm,高22cm,筒上有刻度,刻度的最小单位为1。当浮筒挂上网板浸入水中时,浮筒齐水面处刻度读数为0;当网板上放上试样(5cm×5cm×5cm土块)浸入水中时,试样未崩解前浮筒的刻度读数校准在100左右。农地表层,由于地面不平,结构较疏松,试样浸入水中时(未崩解前瞬间)刻度读数常低于100;而林地表层,由于枯枝落叶积累关系,结构松软,容重多在 $0.55 \sim 0.90 \text{ g/cm}^3$ 之间,非毛管孔隙大,当试样浸入水中时,空气被排出,水填充了非毛管孔隙,使试样重量增加,这时浮筒刻度读数常大于100。



1—玻璃缸;2—浮筒;
3—试样;4—网板

图1 土壤崩解测定装置

网板为金属织网,孔眼尺寸 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$,悬挂在浮筒下端。

为操作方便,玻璃缸直径不宜小于30cm,缸高40cm,内盛清水。

土样置备与试验操作步骤按中华人民共和国水利部土工试验操作规程^[2]中的《湿化试验》规定进行。试验最长观测时间定为30min。

依下式计算土壤崩解速率:

$$v = a \frac{l_0 - l_t}{t} \quad (1)$$

式中: v ——单位时间内所崩解的试样体积, cm^3/min ; l_0 ——试样浸入水中时浮筒的起始读数或稳定时的最大读数; l_t ——土样完全崩解时或第30min时的浮筒读数; t ——土样完全崩解时的时间或者是土样未崩解完的第30min时间; a ——体积换算系数,本测试装置 $a = 1.276$ 。

采样点多选在塬、梁、峁顶侵蚀比较轻微,土层深厚,土壤比较典型的农地、林地或草地。种植的农作物一般为小麦、谷子、糜子、玉米、大豆等,取土在作物行间进行。为便于和土壤抗冲性进行比较,两项试验的取土位置安排在同一地点同步进行。

3 试验结果及讨论

3.1 土壤崩解速率水平变化规律

表1列举了分布于陕西、山西、内蒙、宁夏和甘肃等省区近70个样点土壤(表层)在不同利用方式下的测试结果。可以看出,黄土高原土壤的崩解速率存在明显的地域分异规律。在长城沿线的黄绵土和沙化黄绵土地区,土壤崩解速率最快,有的高达 $73.84 \text{ cm}^3/\text{min}$,而披砂石更高达到

102.08cm³/min 的惊人速率,这也正是晋陕蒙接壤地区水土流失极为严重的主要因素之一。在丘陵沟壑区的东部黄河峡谷地带和丘陵沟壑区第Ⅰ副区,土壤多的为黄绵土,其崩解速率很快,大多在 15~80cm³/min 之间;而在宁夏南部和甘肃省中部的黄绵土,黑麻土和黄麻土丘陵区,土壤崩解速率相对要慢些,该值在 20cm³/min 左右。在高原沟壑区的黑垆土和塬土地区,土壤崩解速率很慢,多在 8cm³/min 以下。土壤崩解速率极小值区位于子午岭、黄龙山和崂山等梢林茂密的黄绵土和黑壮土地区,其值基本为 0,这也说明,生物措施在控制水土流失上的重要作用。

表 1 研究区内表层(0~5cm)土壤的崩解速率 单位:(cm³/min)

地 名	土地利用情况	土壤崩解速率	地 名	土地利用情况	土壤崩解速率
清水河	黄豆地	17.66	榆林	冰草与黄蒿密丛草地	0.00
准格尔旗	糜子地	20.21	子洲	糜子地	59.95
东胜市	荞麦地	34.03	靖边	糜子地	21.87
东胜市	披砂岩	102.08	定边	荞麦地	69.92
偏关	糜子地	14.5	米脂	糜子地	35.50
河曲	糜子地	15.3	定边	荒坡	0.21
岢岚	莜麦地	19.65	吴旗	谷子地	67.0
离石	糜子地	10.94	安塞	糜子地	20.73
临县	糜子地	16.15	安塞	人工刺槐林地	0.00
石楼	荞麦地	1.36	甘泉	糜子地	8.50
隰县	黄豆地	1.75	甘泉	梢林地	0.00
吉县	玉米地	6.64	洛川	玉米地	7.66
宜川	谷子地	1.49	黄龙	糜子地	1.60
神木	谷子地	14.25	黄龙山	梢林地	0.00
榆林	谷子地	73.84	韩城市	棉花地	1.74
榆林	盖沙黄绵土柠条林地	0.60	合阳	棉花地	0.94
蒲城	麦茬地	1.96	定西	小麦地	16.17
白水	玉米地	1.30	通渭	小麦地	26.8
宜君	黄豆地	0.68	通渭	紫花苜蓿	0.00
宜君	柠条林	0.00	华家岭	小麦地	1.28
耀县	玉米地	1.64	华家岭	人工山杨林	0.00
淳化	玉米地	1.53	秦安	小麦地	3.68
长武	小麦地	1.66	天水市	小麦地	1.28
彬县	小麦地	4.76	张家川	小麦地	1.30
永寿	小麦地	6.29	环县	小麦地	80.45
永寿	刺槐林地	0.00	庆阳	小麦地	36.97
乾县	小麦地	2.91	西峰市	小麦地	8.10
千阳	小麦地	11.48	合水县	小麦地	5.95
陇县	小麦地	26.68	子午岭	梢林地	0.00
固原	小麦地	26.16	子午岭	荒坡草地	0.00
海原	小麦地	7.59	宁县	小麦地	2.30
西吉	小麦地	31.0	关山	小麦地	4.15
隆德	小麦地	1.74	关山	梢林	0.00
靖远	小麦地	18.86	关山	荒坡	0.02
榆中	小麦地	25.61			

图 2 和图 3,绘制了自西北至东南和自北至南横穿黄土高原两个纵断面上土壤崩解速率的变化趋势。十分明显,黄土高原的土壤崩解速率呈西北至东南和自北至南次第减慢的趋势。在西北—东南方向上,定边黄绵土的土壤崩解速率高达 $69.92\text{cm}^3/\text{min}$,而合阳的塬土崩解速率仅为 $0.94\text{cm}^3/\text{min}$,减小了 73.4 倍。在由北到南方向上,东胜市和榆林市的沙化黄绵土地区,土壤崩解速率分别为 $34.03\text{cm}^3/\text{min}$ 和 $73.84\text{cm}^3/\text{min}$,比合阳的塬土大了 35.2 倍和 77.6 倍。在两个纵断面上,都存在一个土壤崩解速率特低值区,即子午岭和黄龙山梢林地区。这里梢林茂密,枯枝落叶层厚及 $2\sim 8\text{cm}$,结构松软,加之灌丛、草本植物根系在枯枝落叶层中穿插交织,生成一种类似海绵体的半腐烂物,有机质含量丰富。在 $0\sim 50\text{cm}$ 土层内, $>0.25\text{mm}$ 的水稳性团粒含量高达 $31.7\%\sim 79.9\%$,因而土壤在静水中基本上不发生碎裂崩解。

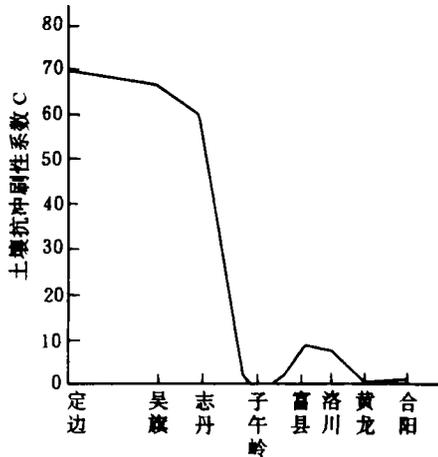


图 2 定边至合阳(西北—东南)
土壤崩解速率变化趋势

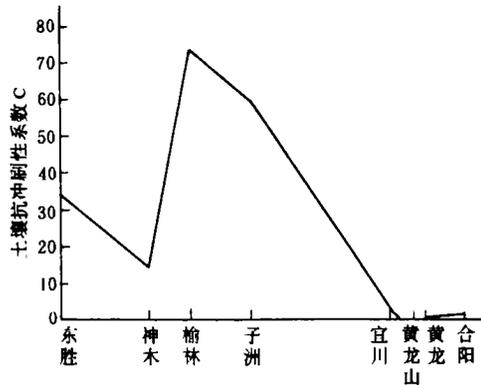


图 3 东胜市至合阳(北—南)
土壤崩解速率变化趋势

表 2 黄土高原土壤崩解速率(表层土壤)分区系统及主要参数

一级区	二级区	土壤崩解速率 (cm^3/min)	土壤抗冲刷系数 ($\text{l}\cdot\text{min}/\text{g}$)	$<0.01\text{mm}$ 物理性粘粒含量(%)	$>0.25\text{mm}$ 水稳性团粒含量(%)	植被状况
I. 子午岭、黄龙山、崆山黄绵土与黑状土崩解速率极慢区		≈ 0	>98.000	20~35	67.9~79.9	梢林茂密,植被覆盖度 >0.90
II. 陇东、渭北、晋西残塬区黑垆土与塬土崩解速率较慢区		0.68~11.48	0.262~1.412	30~45	8.4~61.4	无成片天然林,人工营造的四旁林覆盖度约 0.10
III. 陇中、宁南丘陵黄绵土、黄麻土、黑麻土崩解速率一般区		7.59~31.00	0.026~0.559	15~35	15.1~21.6	植被盖度 0.02~0.10
IV. 晋西、陕北黄土丘陵黄绵土崩解速率很快区	IV a. 环县—延安	8.50~	0.023~		8.5~	植被盖度 0.15 左右
	IV b. 晋陕黄河峡谷区	10.94~	0.025	20~25	27.8	植被盖度 <0.15
		59.95	~0.108	15~25	4.3~	植被盖度 <0.15
V. 宁、陕、蒙长城沿线黄土丘陵黄绵土与盖沙黄绵土崩解速率极快区		17.76~	0.010~		2.9~	为防护林,多大风,枯落物积累少,植被盖度 <0.20
		73.84	0.047	5~15	14.1	

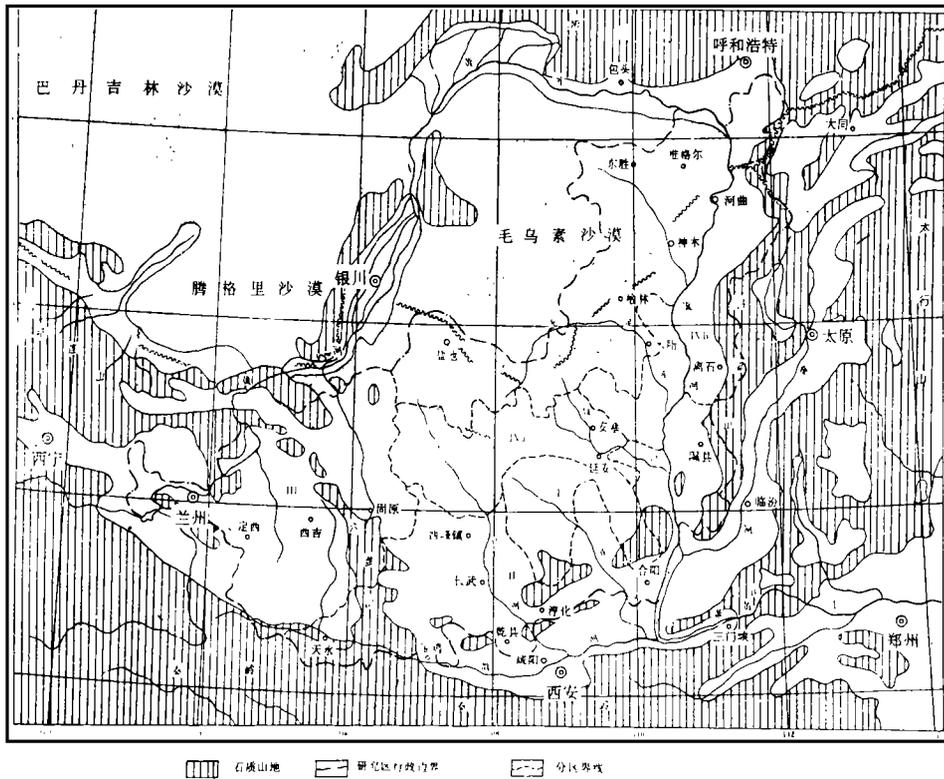


图 4 黄土高原土壤崩解速率分区略图

根据对土壤崩解速率的测试结果,参照有关土壤抗冲性,土壤中水稳性团粒含量^[3],土壤颗粒组成及分布^[4],森林分布^[5]等有关资料,结合一定的自然条件,暂将研究区内黄土覆盖(含部分石质山地梢林区)的地区划分为 5 个一级土壤崩解速率区。为了便于进一步研究,又将第 IV 区划分为两个二级区(参见表 2 及图 4)。为了开展水土保持工作方便,划区的边界除了第 I 区而外,大体保存了各县行政界线的完整性。

I. 子午岭、黄龙山、崂山黄绵土与黑壮土崩解速率极慢区。本区还包括六盘山和吕梁山南段以及兴隆山、关帝山、管岑山等梢林植被甚好的部分石质山区的土壤。区内次生梢林茂密,枯枝落叶积累深厚,林下灌丛、草本植物生长葱郁,根系交错盘结,团粒结构发达,土壤在静水中的崩解速率接近为 0。

II. 陇东、渭北、晋西残塬黑垆土与塬土崩解速率较慢区。该区土壤质地粘重,<0.01mm 土壤物理性粘粒含量为 30%~50%,土壤崩解速率较慢,其值在 0.68~11.48 花围内变化。

III. 陇中、宁南丘陵黄绵土与黄麻土、黑麻土崩解速率一般区。该区气候干旱,植被稀疏,土壤崩解速率为 7.59~31.00。

IV. 晋西、陕北黄土丘陵黄绵土崩解速率很快区。该区又划分为两个二级区,即Na. 环县—延安区:包括甘肃环县、庆阳、华池和陕西的吴旗、志丹、安塞、延安市和甘泉等县的大部或全部,土壤崩解速率在8.50~80.45之间。Nb. 晋陕黄河峡谷区:包括陕西的子长和山西的中阳、离石、方山、五寨、神池和岢岚等县。土壤崩解速率为10.94~59.95。

V. 宁、陕、蒙长城沿线黄土丘陵区黄绵土与盖沙黄绵土崩解速率极快区。该区位于毛乌素沙漠东南边缘,生态脆弱,环境恶劣,400mm等雨量线由东北至西南横贯本区,年平均 ≥ 8 级大风日数多达17.6~34.4天,俗云“一年一场风,从春刮到冬”。属水蚀、风蚀交错地带,水土流失最为严重,土壤崩解速率为17.76~73.84 cm^3/min 。在本区的准格尔旗、东胜、伊金霍洛和府谷等地,已出露或潜伏约 $2 \times 10^4 \text{km}^2$ 二迭纪到白垩纪的灰白色或紫色碎屑状沉积岩,亦称披砂石,岩层以碎屑结构的砂岩和粉砂岩为主,结构松散,遇水既软,日晒则龟裂掉落,其在静水中的崩解速率高达102.08 cm^3/min ,披砂石分布之处,地面支离破碎,满目疮痍。侵蚀模数高达 $4 \sim 6 \times 10^4 \text{t}/\text{km}^2$ 。该区地下资源(煤、天然气和石油)十分丰富,在进行能源基地建设时,必须特别重视对环境的保护。

3.2 影响土壤崩解速率的因素分析

试验表明:影响土壤崩解速率的主要因素有三,即:(1)农业耕作;(2)生物生长;(3)土壤成土过程。表3列举的测试结果可清楚说明这一问题。

表3 土壤崩解速率的重直变化(cm^3/min)

采土地点	土壤类型	土地利用	采样深度(cm)							
			0~5	10~15	20~25	40~45	60~65	80~85	100~105	120~125
离石	黄绵土	糜子地	10.94	4.25	3.71	4.17	100.69	67.16	116.97	48.12
安塞	黄绵土	糜子地	20.74	0.09	51.04	39.69		114.84		
偏关	黄绵土	糜子地	14.50	0.26	102.1	127.6		77.98		
子午岭	黑壮土	梢林	0.00	0.00	0.00	0.34		0.88		
崂山	黑壮土	梢林	0.00	0.00	0.00	0.00		2.42		
固原	黄绵土	长茅草荒坡	0.00	0.09	1.02	0.77		1.79		
天水	黄麻土	苜蓿地	0.23	0.77	2.55	2.92		8.93		
洛川	黑垆土	玉米地	7.66	1.06	31.90	24.46	0.00	22.79	57.85	63.32
吉县	黑垆土	玉米地	6.34	0.00	1.79	3.83	90.70	9.19	8.10	3.40
合阳鹅毛村	楼土	棉花地	0.94	3.40	4.00	4.25	3.62	12.76	0.00	0.26

3.2.1 农业耕作对土壤崩解速率的影响 由于耕耘等农事活动,农耕地在10~40cm深度内,有一犁底层和作物根系活动层,在该土层内,土体比较坚硬,根系穿插交织,因而土壤不易在静水中分散崩解,土壤崩解速率较慢。越过这一深度,根系锐减,土壤崩解速率急剧增大(参见图5)。这种类型多发生在质地比较均匀的黄绵土之中。

3.2.2 植(生)物生长对土壤崩解速率的影响 生长在各种土壤上的树木、牧草、或者是地衣和苔藓等低等生物,由于根系和枯枝落叶的作用,能显著降低土壤在静水中的崩解速率(参见图6、图7)其影响深度一般100cm左右。这也说明,在黄土高原建造植被对控制水土流失具有决定性的作用。

3.2.3 土壤成土过程对土壤崩解速率的影响 在黄土高原沟壑区的陇东、渭北和晋西等残塬上,分布有黑垆土、粘黑垆土和楼土等地带性土壤,因成土过程的关系,这些土壤一般在50~100cm范围内埋藏一质地比较粘重的粘化层,其物理性粘粒($< 0.01\text{mm}$)含量为20%~50%,粘

粒($<0.001\text{mm}$)含量为 10%~20%。土粒粘聚力强,土体不易在水中分散崩解,崩解速率很小。图 8 为洛川黑垆土农耕地测试结果,土壤崩解速率有两个低值区,一个位于根系活动层内,另一个则位于 65cm 左右的粘化层内。

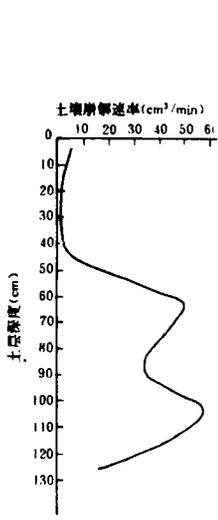


图 5 农业耕作对土壤崩解速率的影响(高石王家沟官道梁坡耕地糜子)

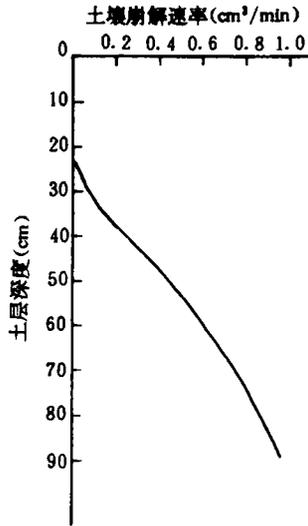


图 6 森林生长对土壤崩解速率的影响(子午岭三官桥梢林地)

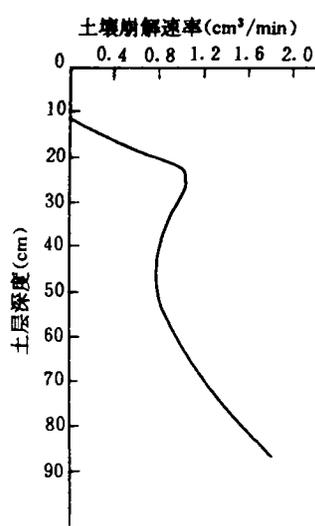


图 7 牧草生长对土壤崩解速率的影响(固原上黄长茅草与茭蒿放牧荒坡)

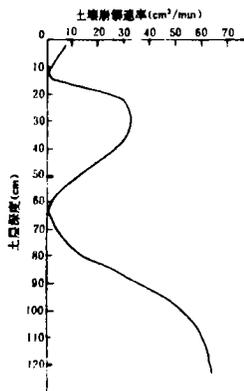


图 8 土壤成土过程对土壤崩解速率的影响(洛川东安宫玉米地,黑垆土)

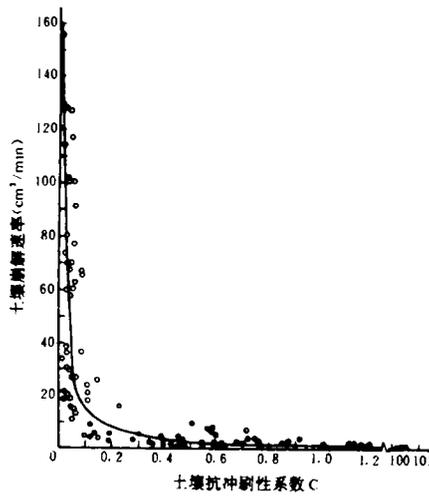


图 9 土壤崩解速率与土壤抗冲性之关系

4 土壤崩解速率与土壤抗冲性之关系

通过对土壤崩解速率和土壤抗冲性的对比研究表明,土壤崩解速率和土壤抗冲性之间存在较密切的相关关系。一般说来,土壤崩解速率快,则土壤抗冲性小;反之,若土壤崩解速率小,则土壤抗冲性就愈大(参见图 9)。经对 150 组数据的回归分析表明,土壤崩解速率与土壤抗冲性之间存在幂回归关系。描述这种关系的数学方程可表示为:

$$v = A \frac{1}{C^\alpha} = 0.348 \frac{1}{C^{1.486}} \quad (2)$$

$$r = -0.8635$$

式中: C ——土壤抗冲刷性系数; A 、 α 为参数。

5 结 论

(1) 黄土高原土壤崩解速率存在明显的地域分异规律, 自西北至东南和自北至南土壤崩解速率次第减慢。根据测试结果和有关资料, 将黄土高原土壤崩解速率划分为极慢、很慢、一般、很快和极快 5 个区。极慢区位于子午岭、黄龙山、崂山等梢林茂密的黄绵土和黑壮土地区; 极快区位于宁、陕、蒙长城沿线的黄土丘陵黄绵土和盖沙黄绵土区。

(2) 影响土壤崩解速率快慢的主要因素有农业耕作、生物生长和土壤成土过程三个方面。

(3) 土壤崩解速率和土壤抗冲性之间存在较密切的幂函数关系。即土壤崩解速率越快则土壤抗冲性越小; 反之, 土壤崩解速率越小, 则土壤抗冲性越大。

参加本项试验工作的还有王继军同志。

参 考 文 献

- [1] 朱显谟. 径河流域土壤侵蚀现象及其演变. 土壤学报, 1954 年
- [2] 中华人民共和国水利部. 土工试验操作规程. 北京: 水利出版社, 1956 年
- [3] 蒋定生等. 黄土高原土壤入渗速率的研究. 土壤学报, 1986 年
- [4] 王恒俊等. 黄土高原地区土壤资源及其合理利用. 北京: 中国科学技术出版社, 1991 年
- [5] 陕西省革命委员会民政局、测绘局. 陕西省地图集. 1976 年

(上接第 19 页)

2.10 蒸发力随海拔高度的变化

蒸发力大小决定于下垫面上的热状况, 因此蒸发力随高度的变化与气温随海拔高度的变化大体相符, 即随海拔高度的升高蒸发力减小。夏季秦岭南坡蒸发力的平均递减率为 $4.03\text{mm} \cdot (100\text{m})^{-1}$ 。从表 2 中可以看出, 7 月份宁陕县山下蒸发力为 175.6mm , 而海拔 2500m 处的蒸发力为 107.2mm , 后者比前者小 39% , 平均而言, 每上升 100m , 蒸发力减小 2.3% 。

3 结 语

影响山地气候的地形因子, 主要有大山脉的走向、总体高度和长度; 地方海拔高度; 坡地方位(坡向、坡度); 地貌形态(山谷、盆地、坡地、山顶等)。大山脉的走向、总体高度、地方海拔高度和大地貌方位都是比较固定, 属于宏观地形因子, 它们对气候的影响在空间上具有一定的规律而且比较稳定。其它地形因子, 属于微观影响因子, 它们对气候的影响是错综复杂的。本文主要研究分析地方海拔高度对气候要素垂直变化的影响, 为林场的林业生产和经营管理提供必要的理论依据和宏观气候条件。

参 考 文 献

- [1] 陈明荣. 秦岭的气候与农业. 西安: 陕西人民出版社, 1983 年
- [2] 傅抱璞. 山地气候. 北京: 科学出版社, 1983 年
- [3] 陕西省林业厅. 太白山自然保持综合考察论文集. 西安: 陕西师范大学出版社, 1989 年