

黄土丘陵沟壑第三副区 水土流失原型观测及规律研究

黄河水利委员会天水水土保持科学试验站 编

HUANGTU QIULING GOUHE

DISANFUQU

SHUITU LIUSHI YUANXING

GUANCE JI GUILÜ YANJIU



黄河水利出版社

S157

2

黄土丘陵沟壑第三副区 水土流失原型观测及规律研究

黄河水利委员会天水水土保持科学试验站 编

黄河水利出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄土丘陵沟壑第三副区水土流失原型观测及规律研究/
黄河水利委员会天水水土保持科学试验站编. — 郑州:
黄河水利出版社, 2004. 10

ISBN 7 - 80621 - 847 - 5

I. 黄… II. 黄… III. 黄土高原 - 水土保持 - 研究
IV. S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 109166 号

出版社: 黄河水利出版社

地址: 河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码: 450003

发行单位: 黄河水利出版社

发行部电话及传真: 0371 - 6022620

E-mail: yrcp@public.zz.ha.cn

承印单位: 黄委会设计院印刷厂

开本: 787 mm × 1 092 mm 1/16

印张: 13

字数: 300 千字

印数: 1—1 500

版次: 2004 年 10 月第 1 版

印次: 2004 年 10 月第 1 次印刷

书号: ISBN 7 - 80621 - 847 - 5/S·61

定价: 38.00 元

前 言

水土流失及其导致的土地退化、河流湖泊和水库泥沙淤积、水质污染等问题,是全球最严重的自然灾害,已对人类的生存和发展构成很大的威胁。中国是世界上的人口大国和农业大国,也是世界上水土流失最为严重的国家之一,仅在我国黄土高原地区,水土流失面积即达 45 万 km^2 ,年输入黄河的泥沙约 16 亿 t,由此造成上游地区沟头延伸、沟床下切、沟岸扩张、土地生产力下降,下游水库淤积、河床抬高、洪水泛滥、区域生态环境恶化。为了弄清楚什么是水土流失,探索水土流失发生发展的成因和机理,认识水土流失的类型及其危害,从 20 世纪 40 年代初,作为我国最早从事水土保持科学研究的机构之一,黄河水利委员会天水水土保持科学试验站就已在黄土高原丘陵沟壑第三副区开展了坡面水土流失观测、典型小流域土壤侵蚀规律和流域治理的试验研究,积累了许多宝贵资料,取得了一系列具有实用价值的科研成果。

1943 年,我国第一代水土保持工作者在美国罗德民博士的帮助指导下布设了我国黄土高原第一个具有代表性的坡面径流小区——梁家坪坡面径流场,并开始观测和试验研究,从此拉开了我国水土流失原型观测及其规律研究的序幕,成为我国系统研究坡面水土流失规律开展最早、规模最大、持续时间最长的径流泥沙观测试验,它的开展填补了我国水土流失规律研究领域的空白。通过 60 余年对黄土高原丘陵沟壑第三副区水土流失规律的试验研究,先后涌现出一批著名的水土流失规律及水土保持研究专家,发表学术论文 1 000 余篇,出版专著 10 多部,诸多科研成果已被广泛应用于城建、交通、防汛及教学等各个领域,取得了辉煌的成就,形成了具有一定实力的科研队伍,为治黄事业的发展做出了重大贡献。

本书整理汇编了几十年来在黄土高原丘陵沟壑第三副区有代表性的科研成果及学术论文 30 余篇,其中包括水土流失原型观测及规律研究、水沙变化及效益分析、小流域典型暴雨对土壤侵蚀调查等方面的内容,以期对今后同类型区的水土流失规律研究提供指导。

水土流失因其影响因子繁多、产生机理复杂,其形成的内在规律仍是今后相当长一段时期需要主攻的研究方向。随着“维持黄河健康生命”治黄新理念的提出,水土流失原型观测及规律研究工作作为其重要内容,得到了高度重视。做好这项工作,需要上下齐心协力,不断进取,继续拼搏。本书的编辑工作得到了黄河水利委员会天水水土保持科学试验站领导的关怀和参加这项工作人员的大力支持,王建军、刘启鸣、徐峰、崔亚忠等参加了部分资料的收集整理工作,在此深表感谢。

编委会
2004 年 9 月

目 录

罗玉沟流域土壤抗蚀性分析·····	(1)
罗玉沟流域坡面土壤侵蚀与土壤理化性质·····	(5)
罗玉沟流域坡面土壤侵蚀的研究·····	(13)
罗玉沟典型小流域土壤侵蚀特征研究·····	(19)
罗玉沟流域沟道土壤侵蚀特征研究·····	(24)
罗玉沟流域坡面土壤侵蚀量的测算·····	(28)
罗玉沟流域重力侵蚀特征研究初报·····	(32)
天水地区坡地小区径流泥沙初步分析·····	(38)
罗玉沟流域 2001 年 6 月 15 日特大暴雨泥沙来源分析·····	(53)
土壤侵蚀分类及对比沟选择·····	(58)
藉河示范区旱作土壤评价及侵蚀特征分析·····	(64)
重力侵蚀观测方法试验研究·····	(68)
吕二沟泥石流的形成及特性·····	(77)
黄土高原泻溜侵蚀的分布特征·····	(83)
小流域滑坡发育与水土保持·····	(86)
渭河流域降雨产流产沙经验公式初探·····	(91)
渭河中上游流域水沙变化分析及预测·····	(96)
人类活动对天水市河流泥沙影响的研究·····	(102)
渭河流域水沙变化的水文分析与计算·····	(106)
大柳树沟径流泥沙测验及水土保持对水土流失影响初探·····	(109)
渭河中上游河道冲淤变化分析·····	(117)
吕二沟流域水土流失特征及水土保持效益分析·····	(120)
坡面措施对小流域治理的减水减沙效益分析·····	(125)
渭河中上游水土保持治理减沙效益分析·····	(129)
吕二沟流域水土保持措施对径流泥沙影响的初步分析·····	(136)
吕二沟流域 1954 ~ 1960 年水文特征及综合治理效益分析·····	(141)
渭河流域水土保持措施减水减沙作用分析·····	(150)
田家庄大沟流域 1959 年 7 月 14 日暴雨洪水及水土保持效益调查·····	(156)
桥子沟流域 1987 年 4 月 19 日暴雨洪水及土壤侵蚀调查分析·····	(161)
罗玉沟流域 1988 年 8 月 7 日暴雨径流侵蚀调查·····	(166)
桥子东沟、西沟流域 1988 年 8 月 7 日暴雨土壤侵蚀现状调查·····	(169)

罗玉沟流域 1999 年 8 月 17 日特大暴雨调查报告	(173)
罗玉沟流域 2001 年 6 月 15 日暴雨洪水调查	(178)
天水站水土流失原型观测历程及科技贡献	(182)
天水站水土流失观测研究工作的主要问题与对策	(185)
黄土高原丘陵沟壑第三副区典型小流域原型观测实施方案	(189)

罗玉沟流域土壤抗蚀性分析

李建牢^① 刘世德

摘 要 本文采用野外观测和室内模拟试验相结合的方法对罗玉沟流域土壤抗蚀性指标进行确定,并应用模糊贴近度方法进行了抗蚀性聚类分析。结果表明,罗玉沟流域不同土壤的抗蚀性有明显的差别:山地褐色土土壤抗蚀性表现为强或较强,山地灰褐土土壤抗蚀性为弱或较弱。

土壤抗蚀性,是指土壤抵抗雨滴击溅和水流分散、悬移的能力。当侵蚀外营力一定时,土壤侵蚀状况与地面物质抗蚀能力的强弱有关。应用通用土壤流失方程(USLE)虽可反求出土壤可蚀性因子 K 值,但由于这种方法需要有大量较长系列标准小区的观测资料作为计算依据,而实际开展土壤侵蚀调查研究的区域内很少具备这一条件,因此在土壤侵蚀调查研究工作中,通常采用野外观测和室内模拟试验相结合的方法来确定土壤抗蚀性指标。

1986 年,在《罗玉沟典型小流域土壤侵蚀特征研究》课题中,采用上述方法对该流域不同土壤的抗蚀性进行了试验研究,并应用模糊贴近度方法进行了抗蚀性聚类分析。

1 试验条件与研究方法

罗玉沟流域位于甘肃省天水市北郊,流域呈狭长形,沟系分布为羽状,面积 72.79km^2 ,多年平均侵蚀模数 $7\,500\text{t}/\text{km}^2$,是黄土丘陵沟壑区第三副区具有一定代表性的流域。

试验土样为该流域的山地褐色土和山地灰褐土 2 个土类 6 个土属的 9 个土种,其分布面积占流域面积的 97%。冲积土类土壤因母质组成比较复杂,且多分布在河谷、河滩和低阶地上,土壤侵蚀作用较弱,分布面积仅占流域面积的 3%,故试验中未予考虑,试验土壤的主要性质见表 1。

降雨是土壤侵蚀的直接动力。在缺少植被保护的地面上,雨滴破坏土壤的团粒结构并使之板结,其结果导致土壤的渗透性大大减弱,并使分散的土粒在地表径流的作用下沿坡向下运动。由此可见,土壤抗蚀性的强弱,主要表现在土壤对水的击溅、分散和悬移的抵抗能力上,因此把一定粒径的土壤自然颗粒抵抗均匀水滴击溅而被分散的性能,作为土壤抗蚀性指标。具体研究方法是:结合土壤侵蚀量定位观测点,采不同土种土样各 500g,风干后用土壤筛分选 $0.7\sim 1.0\text{cm}$ 粒径的土粒若干,将土粒置于直径为 10cm 的金属网络圆盘上,用注入自来水的酸式滴定管击溅土粒(滴落高度 15cm,滴水速度 50 滴/min),记录分散土粒所需的水滴数,为使滴落水头的水压稳定,在滴定管上加装马利奥(特)瓶供水。

^①李建牢,男,陕西渭南人,教授级高级工程师,现任天水水土保持科学试验站站长。

表 1 试验土壤主要性质

代号	土类	土属	土种	有机质 (%)	平均粒径 (mm)	<0.005mm 黏粒含量 (%)	分布面积 占流域面积 (%)
I A	山地褐色土	发育于花岗岩、变质岩上的褐色土	黑色土	3.855 2	0.022 0	21.20	0.8
I B	山地褐色土	发育于黄土上的褐色土	黑砂土	2.755 0	0.012 9	29.40	3.3
I C	山地褐色土	发育于坡积物上的褐色土	粗骨土	3.434 7	0.022 0	27.80	1.2
II A ₁	山地灰褐土	发育于黄土上的灰褐土	耕作黑土	0.901 8	0.010 8	31.50	0.9
II A ₂	山地灰褐土	发育于黄土上的灰褐土	耕作黑鸡粪土	1.023 4	0.018 2	23.60	47.3
II A ₃	山地灰褐土	发育于黄土上的灰褐土	耕作黄坂土	1.032 0	0.016 8	22.80	13.7
II B ₁	山地灰褐土	发育于红黏土上的褐色土	耕作黑红土	1.062 6	0.015 3	24.80	15.7
II B ₂	山地灰褐土	发育于红黏土上的褐色土	杂色土	0.726 7	0.012 5	28.50	6.0
II C	山地灰褐土	发育于黄土坡积物上的灰褐土	粗骨土	2.200 0	0.030 4	19.30	8.1

2 试验结果与数据处理

2.1 试验结果

各种土壤试验结果见表 2。

表 2 各种土壤试验结果

土壤代号	I A	I B	I C	II A ₁	II A ₂	II A ₃	II B ₁	II B ₂	II C
击散土粒水滴数平均值 a	172.9	276.7	644.6	12.8	20.4	22.6	77.1	28.8	336.3
标准差 b	192.5	207.2	491.7	5.6	10.7	11.7	81.3	23.0	750.0
重复次数	10	10	20	20	30	40	40	50	10

2.2 土壤样品间抗蚀性贴近度计算

根据模糊数学理论,对同一种土壤样品作 N 次重复试验。试验结果可以看做是一个服从正态分布的模糊集。其中任何一次的试验结果 x 值,对于该模糊集的从属度函数为:

$$U A(x) = e^{-\left(\frac{x-a}{b}\right)^2} \tag{1}$$

式中, a 为试验结果期望值; b 为试验结果标准差。

不同样品的任何两个模糊集之间的贴近度为:

$$R(\underline{A}i, \underline{A}j) = \frac{1}{2} [\underline{A}i \cdot \underline{A}j + (1 - \underline{A}i \odot \underline{A}j)] = \frac{1}{2} [e^{-\left(\frac{a_i - a_j}{b_i + b_j}\right)^2} + 1] \tag{2}$$

式中, $A_i \cdot A_j = \max[\min(A_i, A_j)]$ 为 A_i 与 A_j 的内积; $A_i \odot A_j = \min[\max(A_i, A_j)]$ 为 A_i 与 A_j 的外积。

根据式(2), 可求得不同土壤样品间贴适度模糊矩阵(为了书写方便, 数据均扩大 100 倍)为:

$$R(A_i, A_j) = \begin{bmatrix} \text{I A} & \text{I B} & \text{I C} & \text{II A}_1 & \text{II A}_2 & \text{II A}_3 & \text{II B}_1 & \text{II B}_2 & \text{II C} \\ 1 & 96.74 & 81.09 & 76.02 & 78.47 & 79.07 & 94.24 & 81.98 & 80.47 \\ 96.74 & 1 & 87.90 & 60.74 & 62.53 & 62.98 & 80.98 & 65.68 & 85.53 \\ 81.09 & 87.90 & 1 & 59.95 & 60.68 & 60.86 & 68.75 & 61.95 & 98.82 \\ 76.02 & 60.74 & 59.95 & 1 & 90.23 & 86.51 & 78.92 & 86.56 & 65.24 \\ 78.47 & 62.53 & 60.68 & 90.23 & 1 & 99.56 & 84.20 & 96.79 & 65.83 \\ 79.07 & 62.98 & 60.86 & 86.51 & 99.56 & 1 & 85.42 & 98.38 & 65.98 \\ 94.24 & 80.98 & 68.75 & 78.92 & 84.20 & 85.40 & 1 & 90.35 & 71.71 \\ 81.98 & 65.68 & 61.95 & 86.56 & 96.99 & 98.38 & 90.35 & 1 & 66.79 \\ 80.47 & 85.53 & 98.82 & 65.24 & 65.83 & 65.98 & 71.71 & 66.79 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I A} \\ \text{I B} \\ \text{I C} \\ \text{II A}_1 \\ \text{II A}_2 \\ \text{II A}_3 \\ \text{II B}_1 \\ \text{II B}_2 \\ \text{II C} \end{matrix}$$

2.3 土壤抗蚀性聚类分析

进行聚类分析, 分类单元之间必须具有模糊等价关系, 即满足以下三个条件:

自返性: $r_{ji} = 1$ 对称性: $r_{ij} = r_{ji}$ 传递性: $R_n = R_{n+1}$

从上面矩阵看出, R 具自返性和对称性, 但不具传递性。因此, 必须通过模糊矩阵合成, 将其转化为模糊关系, 才能进行分类。由计算知 $R^{16} = R^8$ 为模糊等价关系。据此可以进行聚类分析(根据模糊矩阵的对称性, 只写出左下部的一半), 分析结果(数据均扩大 100 倍)如下矩阵:

$$R^8(A_i, A_j) = \begin{bmatrix} \text{I A} & \text{I B} & \text{I C} & \text{II A}_1 & \text{II A}_2 & \text{II A}_3 & \text{II B}_1 & \text{II B}_2 & \text{II C} \\ 1 & & & & & & & & \\ 96.74 & 1 & & & & & & & \\ 81.09 & 87.90 & 1 & & & & & & \\ 76.02 & 60.74 & 59.95 & 1 & & & & & \\ 78.47 & 62.53 & 60.68 & 90.23 & 1 & & & & \\ 79.07 & 62.98 & 60.86 & 86.51 & 99.56 & 1 & & & \\ 94.24 & 80.98 & 68.75 & 78.92 & 84.20 & 85.40 & 1 & & \\ 81.98 & 65.68 & 61.95 & 86.56 & 96.99 & 98.38 & 90.35 & 1 & \\ 80.47 & 85.53 & 98.82 & 65.24 & 65.83 & 65.98 & 71.71 & 66.79 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{I A} \\ \text{I B} \\ \text{I C} \\ \text{II A}_1 \\ \text{II A}_2 \\ \text{II A}_3 \\ \text{II B}_1 \\ \text{II B}_2 \\ \text{II C} \end{matrix}$$

取不同水平 λ 值, 得出不同土壤抗蚀性分类结果:

取 $\lambda_1 = 0.89$, 分(II A₁, II A₂, II A₃, II B₂, II B₁)、(I A, I B, I C, II C)两类;

取 $\lambda_2 = 0.92$, 分(II A₁)、(II A₂, II A₃, II B₂)、(II B₁, I A, I B)、(I C, II C)四类;

取 $\lambda_3 = 0.95$, 分(II A₁)、(II A₂, II A₃, II B₂)、(II B₁)、(I A, I B)、(I C, II C)五类;

取 $\lambda_4 = 0.97$, 分(II A₁)、(II A₂, II A₃, II B₂)、(II B₁)、(I A)、(I B)、(I C, II C)六类。

根据实践经验, 选择结合次数出现飞跃前后的中值, 选 $\lambda = 0.95$, 将罗玉沟流域土壤

抗蚀性分为 5 类(见表 3)。

表 3 罗玉沟流域土壤抗蚀性分类

抗蚀性等级	抗蚀性评语	土种代号	分散土 粒平均 水滴数	分布面 积占流 域面积(%)	备注
I	强	I C, II C	708.5	9.3	均为粗骨土,分布于梁坡、坡麓、多为荒坡
II	较强	I A, I B	224.8	4.1	分布于海拔 1 700m 以上的梁顶、梁坡,多为林草地
III	中	II B ₁	77.1	15.7	分布于各支沟深凹地、农地,侵蚀严重
IV	较弱	II A ₂ II A ₃ , II B ₂	24.6	67.0	II B ₂ 分布于各支沟两岸,其余分布在梁顶、梁坡或陡坡、农地
V	弱	II A ₁	12.8	0.9	分布于黄土浅凹地,平坦、水分条件好的农地

3 结果与讨论

(1)罗玉沟流域不同土壤的抗蚀性有明显的差别。山地褐色土多分布在海拔 1 700m 以上的北山梁顶、梁坡,此处气候温暖湿润,植被条件较好,土壤有机质含量高,因此土壤抗蚀性表现为强或较强;山地灰褐土为本流域主要农耕地土壤,受人类活动影响,有机质含量低,结构差,侵蚀严重,故土壤抗蚀性为弱或较弱。

(2)同一类型不同土属的土壤,因成土母质不同,其抗蚀性亦有差别,一般是 C 属 > B 属 > A 属。C 属土壤多发育于坡积物上,均为粗骨土,因此抗蚀性较强。A 属土壤多发育在黄土母质上,多为粉壤质土,黏粒含量仅 20% 左右,抗蚀性最差。B 属土壤多发育在红黏土上,黏粒含量达 25% ~ 40%,故蚀性介于 A 属与 C 属之间。

(3)本文所得罗玉沟流域土壤抗蚀性分类结果,基本可满足土壤侵蚀调查与分类,但要对土壤侵蚀作出预测预报,还需把径流小区测得的土壤可蚀性因子 K 值,与此法所得结果进行对比分析,建立相关关系后才能完成。这项工作尚有待于进一步深入研究。

(本文发表于《中国水土保持》1987 年第 11 期)

罗玉沟流域坡面土壤侵蚀与土壤理化性质

刘世德^① 李建牢

摘 要 本文结合坡面土壤侵蚀的研究,在罗玉沟流域的上、中、下游选择 3 个断面,共设立 16 个点。在观测面蚀的同时,对该流域的 2 个土类 6 个土属的 9 个土种,分别测定和分析了影响坡面侵蚀的抗蚀性、抗冲性、透水性、有机质和养分含量等有关的土壤主要理化性质。初步阐述了坡面土壤侵蚀与土壤理化性质的关系和相互影响;耕种侵蚀土壤性质的恶化成为该流域坡面泥沙流失的主要源地,从而使其土壤肥力和生产力下降,又进一步加速了土壤侵蚀的发展。研究结果启示人们,必须重视对土壤侵蚀的综合防治。

土壤侵蚀,是指土壤及其母质在外营力的作用下,遭受破坏、搬运和堆积的过程;从广义上讲,凡是引起土壤恶化的现象都划为侵蚀的范围。其本质是引起土壤理化性质变化、肥力下降和土地利用效率降低。同时,由于土壤属性的不良,又会加剧土壤侵蚀的发展,危害甚大。黄土高原丘陵沟壑区,地形起伏,沟壑纵横,夏秋之际,暴雨频繁,加之黄土疏松深厚,土壤侵蚀十分严重,给黄河输送了大量泥沙。研究土壤侵蚀与土壤理化性质的关系和相互影响,对了解本地区土壤侵蚀程度和土壤肥力现状以及加强侵蚀防治,提高土地生产力均有重要的意义。

1986~1987 年结合坡面土壤侵蚀的研究,在流域的上、中、下游选择了桥子沟、刘家河、烟铺等 3 个断面,按利用状况、土壤类型和地形部位设立 16 个点,在观测面蚀的同时,分别测定和分析了不同土壤类型的有关理化性质。

1 流域概况与侵蚀土壤的演变规律

罗玉沟流域位于甘肃省天水市北郊。流域呈狭长形,沟系分布为羽状,面积 72.79km²,其中现代侵蚀沟沿线以上的坡面面积占流域面积的 48.4%,沟壑面积占 51.6%,属黄土梁状丘陵地貌。地形从西北向东南倾斜,最高凤凰山顶海拔 1 895.6m,最低左家场测流断面沟底为 1 165.1m,平均海拔 1 537.6m。主沟全长 21.81km,平均比降 3.35%。地面物质有第四纪黄土和第三纪红土,洪积冲积物和部分风化变质岩,其中黄土覆盖面积占 3/4 左右。流域坡度比较平缓,小于 15°的坡面占总面积的 48.4%,大于 25°的坡面占 23.6%,平均坡度为 19°08′。该流域属大陆性季风气候,冬春干旱少雨,夏秋降水集中,多年平均降水量 531.1mm,平均无霜期 184 天,平均风速 1.3m/s,年最多风向静风,出现频率 40%。本流域是黄土丘陵沟壑区第三副区具有一定代表性的流域。

罗玉沟流域的土壤类型较为复杂,且坡面土壤侵蚀也较严重。这是由于自然因素和

^①刘世德,男,甘肃天水人,高级工程师。

历史条件的综合影响,发生了强烈的土壤侵蚀过程形成的。根据成土过程、发育阶段和侵蚀程度将流域内的土壤分类见表 1。

表 1 罗玉沟流域土壤分类

土类	土属	土种	土名	占流域 面积 (%)	代号
山地 褐色 土 (I)	A—发育于变质岩花岗岩山地褐色土	肥力高,侵蚀微度,山地褐色土	黑色土	0.8	IA
	B—发育于黄土地褐色土	肥力较高,侵蚀轻度,山地褐色土	黑砂土	3.3	IB
	C—发育于黄土碎屑坡积物褐色土	肥力低,侵蚀中度,褐色土型粗骨土	粗骨土	1.2	IC
山地 灰褐 土 (II)	A—发育于黄土地灰褐土	肥力较高,侵蚀轻度	耕作黑土	0.9	II A ₁
		肥力中度,侵蚀中度,耕作灰褐土	耕作黑鸡粪土	47.3	II A ₂
		肥力较低,侵蚀强度,灰褐土	耕作黄坂土	13.7	II A ₃
	B—发育于红黏土山地灰褐土	肥力较低,侵蚀强度,灰褐土型粗骨土	耕作黑红土	15.7	II B ₁
		肥力极低,侵蚀剧烈,灰褐土型粗骨土	杂色土	6.0	II B ₂
	C—发育于黄土碎屑坡积物灰褐土	肥力低,侵蚀强度,灰褐土型粗骨土	粗砂土	8.1	II C
冲积 土 (III)	A—发育于阶地冲积土		沙绵土	2.1	III A
	B—发育于河漫滩冲积洪积土型粗骨土		砂土	0.9	III B

罗玉沟流域的山地褐色土,分布在凤凰山—麦地湾一带的北山梁顶、梁坡,海拔在 1 700m 以上,气候温暖湿润,林草覆盖较好,侵蚀轻微。但因地势较高,冬季气温较低,仅属灰褐土向褐色土过渡性质,面积仅占流域面积的 5.3%。冲积土多分布在河谷、河滩和低阶地上,土壤侵蚀作用较弱,面积仅占流域面积的 3%。

山地灰褐土为本流域典型的地带性土壤,分布面积达 91.7%,又是主要的农耕地。该土类的分布演变规律用现代加速侵蚀作用的观点来看,垂直分异比较明显,即由梁顶—沟谷,土壤的变化趋势是黑鸡粪土(部分为黑土)→黄坂土→黑红土→红胶土。黑土位于平坦的梁坡台地,谷坡下部凹地,均处于强度侵蚀带;红胶土位于谷坡下部或沟坡,处于最强烈侵蚀带;山地灰褐土经过长期的侵蚀冲刷,土壤表层因侵蚀变为黑鸡粪土;如果侵蚀作用加剧,表土的淋溶层全被剥蚀,结核层外露,则形成黄坂土;若黄坂土继续受到侵蚀,红土出露,即进入另一个质变阶段,由红黏土母质发育的灰褐土阶段。这种土还处于幼年发育时期,没有完整的层次,经过耕作熟化变为黑红土和红胶土。

土壤是历史的自然体。罗玉沟流域侵蚀土壤的现状,是在一定的生物气候带和母质基础上,以水力侵蚀为主,并经受长期人为农业生产活动影响的结果。因此,土壤的理化性质从属于上述的演变规律而变化,特别是耕种侵蚀土壤,受其人为影响很大,土壤属性复杂多变。

2 影响侵蚀的土壤主要理化性质分析

当侵蚀外营力一定时,在土地经营类型和经营管理水平大致相同的情况下,土壤侵蚀的状况在很大程度上与土壤抵抗降雨冲刷能量的强弱有关,而土壤抵抗降雨冲刷能量的强弱与土壤类型及其主要理化性质有关。

2.1 土壤物理性质

土壤的物理性质如下:

(1)抗蚀性。土壤抗蚀性的强弱,主要表现在土壤对水的击溅、分散和悬移的抵抗能力上。因此,可以把一定粒径的土壤自然颗粒抵抗均匀水滴击溅而被分散的性能,作为土壤抗蚀性指标。对山地褐色土和山地灰褐土 2 个土类 6 个土属的 9 个土种,采用野外观测和人工室内模拟相结合的方法来确定土壤抗蚀性指标。冲积土类分布面积仅占流域面积的 3%,土壤侵蚀作用较弱,故未予考虑。

具体做法是结合土壤侵蚀量定位观测点,采不同土种土样各 500g,风干后用土壤筛分选 0.7~1.0cm 粒径的土粒若干,置于直径 0.5cm 的金属网络圆盘上,用注入自来水的酸式滴管击溅土粒(滴落高度 15cm,滴水速度 50 滴/min),记录分散土粒所需的水滴数。为使滴落水头的水压稳定,在滴定管上加装马利奥(特)瓶供水。各种土壤试验结果见表 2。

表 2 各种土壤击溅分散试验结果

土壤代号	I A	I B	I C	II A ₁	II A ₂	III A ₃	II B ₁	II B ₂	II C
击散土粒水滴数平均值 <i>a</i>	172.9	276.7	644.6	12.8	20.4	22.6	77.1	28.8	336.3
标准差 <i>b</i>	192.5	207.2	491.7	5.6	10.7	11.7	81.3	23.0	750.0
重复次数	10	10	20	20	30	40	40	50	10

根据上述试验结果,应用模糊贴近度方法进行抗蚀性聚类分析,将该流域的土壤抗蚀性分类见表 3。

由表 3 可以看出,罗玉沟流域不同土壤的抗蚀性有明显的差别:山地褐色土多分布在海拔 1 700m 以上的北山梁顶、梁坡,气候温暖、湿润,植被条件较好,土壤有机质含量高,土壤抗蚀性表现为强或较强;山地灰褐土为本流域主要农耕地土壤,受人类活动影响,有机质含量低,土壤结构差,侵蚀严重,故土壤抗蚀性为弱或较弱,是该流域坡面产沙的主要源地。不同土属的土壤,因成土母质不同,其抗蚀性亦有差别,一般是 C 属 > B 属 > A 属。C 属土壤多发育于坡积物上,均为粗骨土,因此抗蚀性较强;A 属土壤多发育在黄土母质上,多为粉壤质土,黏粒含量仅占 20%左右,抗蚀性最差;B 属土壤多发育在红黏土上,黏粒含量达 25%~40%,故抗蚀性介于 A 属与 C 属之间。

表 3

罗玉沟流域土壤抗蚀性分类

抗蚀性等级	抗蚀性评语	土种代号	分散土粒平均水滴数	占流域面积 (%)	备 注
I	强	Ⅱ C I C	708.5	9.3	均为粗骨土,分布于梁坡、坡麓,多为荒坡
Ⅱ	较强	I B I A	224.8	4.1	分布于海拔 1 700m 以上的梁顶、梁坡,多为林草地
Ⅲ	中	Ⅱ B ₁	77.1	15.7	分布于各支沟浅凹地、农地,侵蚀严重
Ⅳ	较弱	Ⅱ B ₂ Ⅱ A ₂ Ⅱ A ₃	24.6	67.0	Ⅱ B ₂ 分布于各支沟两岸,其余在梁顶、梁坡或陡坡,农地
V	弱	Ⅱ A ₁	12.8	0.9	分布于黄土浅凹地和平坦水分条件好的农地

(2)抗冲性。土壤的抗冲性是土壤对抗流水和风等侵蚀营力的机械破坏作用的能力。土体在静水中的崩解情况,可作为土壤抗冲性的指标之一。具体做法是采用分割成两个半圆的容重环刀取样(呈圆柱体),然后放在静水中,观察土体崩解成锥体所需的时间。现将不同土壤抗冲测定结果列表于后(见表 4)。

表 4

不同土壤类型抗冲性测定结果

项目	采样深度	I A	I B	I C	Ⅱ A ₁	Ⅱ A ₂	Ⅱ A ₃	Ⅱ B ₁	Ⅱ B ₂	Ⅱ C
崩解速度 (min)	0~20cm	127.00	174.00	37.90	6.10	2.90	0.30	1.30	1.00	88.70
	20~40cm	145.00	162.00	16.10	17.30	8.60	8.70	5.00	2.40	55.90
硬度 (kg/cm ²)	0~20cm	17.48	17.96	8.65	6.80	8.34	9.99	16.28	18.13	14.72
	20~40cm	17.06	24.61	10.62	13.44	12.88	18.25	31.42	38.99	13.81
根量 (kg/cm ²)	0~20cm	3.75	3.16	4.24	—	—	—	—	—	2.24
	20~40cm	2.06	3.79	4.02	—	—	—	—	—	1.72
土壤利用		林地	林地	荒坡	梯田小麦	农地小麦	农地小麦	农地小麦	农地小麦	荒坡
年侵蚀量(t/km ²)		3 685	3 845	5 693	—	7 011	11 990	9 882	14 260	3 299

由表 4 看出,罗玉沟流域内不同土壤的抗冲性和抗蚀性的强弱,基本上是一致的,惟有耕作黑土(Ⅱ A₁)抗冲性在农耕地中表现最强,而抗蚀性表现则弱。土壤利用情况不同,抗冲性有着明显的差别。其中林地抗冲性最强,草地次之,农地最弱。这是因为林地和草

地土壤中有大量的根系,将土壤缠绕、固结,可使抗冲性增强,而农地土壤中很少见到残存根系,在静水中很易崩解碎裂成很小的颗粒,容易被流水冲刷。

此外,土壤的崩解速率与土壤的紧实度相关性较为密切,特别是在农耕地中表现尤为明显。一般农耕地的表层土壤的崩解速率比底层要小 $1/2 \sim 1/3$,而表层土壤的紧实度比底层亦小 $1/2$ 左右(黄坂土 II A₃ 表层例外,因其机械组成为粉土,粉粒占 83.5%,其他土种均为重粉质壤土)。这种情况亦说明了农耕地受人为耕作频繁,经常造成上虚下实的土体构型,加之罗玉沟流域内耕作层普遍偏浅(均在 15cm 以下)和土壤抗冲性很弱,遇到高强度的暴雨时,极易造成严重的水土流失,成为该流域泥沙来源的主要基地。同时还可看出,土壤侵蚀量的大小和土壤抗冲性的强弱显著相关(褐色土型粗骨土 I C,观测点坡度为 41°,故侵蚀量偏大)。

(3)透水性。土壤水分的渗透能力,是影响水土流失的主要性状之一。土壤渗透速度是估测地表径流和径流系数的重要参数。具体做法是在布设的定点上,分层用单层渗透管法测定,保持恒定水头 10cm,求得 3h 的平均入渗速度。并结合坡面土壤侵蚀量推算的需要,采用快(7.25 ~ 9.25mm/min)、较快(5.50 ~ 7.25mm/min)、中(4.25 ~ 5.50mm/min)、较慢(3.00 ~ 4.25mm/min)、慢(2.00 ~ 3.00mm/min)、特慢(< 2.00mm/min)6 个等级划分土壤透水性的相对强弱(见表 5)。

表 5 不同土壤类型透水性测定结果

土壤代号	I A	I B	I C	II A ₁	II A ₂	II A ₃	II B ₁	II B ₂	II C
渗透速度(mm/min)	9.10	5.00	3.50	4.60	4.03	3.33	3.95	2.88	4.60
透水性评语	快	中	较慢	中	较慢	较慢	较慢	慢	中
砂粒%(0.5 ~ 0.05mm)	30.45	21.65	36.90	0	16.33	17.90	17.05	12.73	30.20
> 0.25mm 团粒%	82.88	89.99	81.44	72.70	48.57	35.55	45.84	31.89	86.18

注:表中数字均系 0 ~ 40cm 土层平均数。

由表 5 可知,山地褐色土多系林草荒地,质地较粗,机械组成中砂粒含量在 20% 以上,结构良好,> 0.25mm 的团粒总数平均在 80% 以上;土壤透水性为中—快,在相同的暴雨条件下,不易产生地表径流和土壤流失,坡面土壤侵蚀微弱(粗骨土 I C 例外)。而山地灰褐土除了粗砂土 II C(系荒坡)外,均为农耕地,绝大部分为重粉质壤土,机械组成中砂粒含量在 13% ~ 18% 之间;> 0.25mm 的团粒总数平均在 32% ~ 49% 之间,均为无结构的土壤;因此,土壤透水性不良,表现为慢—较慢,一遇暴雨极易产生地表径流和土壤流失,坡面土壤侵蚀极为严重(耕作黑土 II A₁ 面积占 0.9%,分布于黄土浅凹地,地势平坦,结构良好,侵蚀微弱)。

此外,还可以看出在同一土属内,土壤含沙量和土壤团粒结构含量愈高,则渗透率愈大。如发育于红黏土母质上的黑红土(II B₁)和红胶土(II B₂)的含沙量分别为 17.05% 和 12.73%,> 0.25mm 的团粒总数为 45.84% 和 31.89%,渗透速度则为 3.95mm/min 和

2.88mm/min。

测定各土壤的密度、容重和孔隙度的结果表明:山地褐色土的密度在 2.63 ~ 2.66 g/cm³之间,容重在 1.10 ~ 1.15g/cm³ 之间,孔隙度在 47.97% ~ 54.43%之间;各种土壤间变化不太明显,故难以比较侵蚀程度的强弱。上述情况,也可能由于黄土面积覆盖较大、黄土层较厚的缘故所致。

2.2 土壤化学性质

土壤化学性质主要指影响侵蚀土壤肥力的养分要素,至于用以判断土壤的侵蚀程度仍是尚待深入研究的问题之一。表 6 是根据在 1985 年进行的土壤资源调查,对 81 个土样分析化验所得的结果。

表 6 罗玉沟流域土壤养分含量

土壤代号	土壤养分含量(%)				CaCO ₃ (%)	0 ~ 20cm 土层内有机质 含量的下降(%)	备 注
	有机质	全氮	全磷	全钾			
I A	2.713 1	0.126 4	0.220 3	2.330 3	0.19	0	CaCO ₃ 含量系 本次试验中测 定
I B	1.573 6	0.077 5	0.175 7	1.971 3	0.07	42.00	
I C	1.406 4	0.053 3	0.138 5	2.265 8	0.23	48.16	
II A ₁	0.901 8	0.046 3	0.148 3	2.004 4		66.76	
II A ₂	1.016 5	0.046 3	0.163 6	2.146 8	14.06	62.53	
II A ₃	1.005 6	0.044 7	0.173 0	2.147 9	14.17	62.94	
II B ₁	1.048 5	0.052 8	0.159 9	2.094 8	12.90	61.35	
II B ₂	0.657 2	0.022 8	0.118 3	2.037 1	12.81	75.78	
II C	—	—	—	—	12.24	—	
III A	0.960 0	0.049 0	0.180 9	2.100 8	—	64.62	
III B	0.422 5	0.015 1	0.150 9	2.126 1	—	84.43	

土壤有机质和氮素的含量,是土壤肥力的重要标志之一。资料分析表明,土壤类型不同,土壤有机质和氮素的含量也不同。山地褐色土剖面土壤有机质变动于 1.41% ~ 2.71%,氮素变动于 0.053% ~ 0.126%;山地灰褐土系侵蚀土壤,由于强烈的冲蚀,使土壤肥力退化,土壤有机质变动于 0.66% ~ 1.049%,氮素变动于 0.023% ~ 0.053%;阶地冲积土有机质为 0.96%,氮素为 0.049%;砂土分布于河漫滩,肥力极低,有机质为 0.423%,氮素为 0.015%。

若将黑土(I A)看做是非侵蚀土,纵观全流域各土种表层内有机质储量的变化与它相比,按照表 7 的标准来确定土壤的侵蚀程度,可以看出,山地褐色土中的 I B、I C 属于中度侵蚀,山地灰褐土中的 II A₁、II A₂、II A₃、II B₁ 等均属于强度侵蚀,II B₂ 属剧烈侵蚀。土壤侵蚀度越高,土壤中有有机质含量下降越明显,土壤中的含量就越低,是导致土壤侵蚀稳定性减弱和被侵蚀土壤肥力下降的重要原因之一。

表 7

土壤按侵蚀程度分类

侵蚀程度等级	在 0 ~ 20cm 土层内有机质含量的下降率(以百分数计,与非侵蚀土相比)
轻度侵蚀	10 ~ 20
中度侵蚀	20 ~ 50
强度侵蚀	50 以上

分析资料还表明,流域内各种土壤的含钾量均在 2% 左右,且较丰富。因此,影响流域生产力的因素主要是土壤中的氮磷元素,二者的容量因素和强度因素,在一定程度上可以反映土壤生产力及生产潜力的高低。根据西北水土保持研究对杏子河流域土壤中氮磷元素储量分级(见表 8),结合罗玉沟流域土壤资料分析对比(见表 9)可以看出,该流域中的主要农耕地(Ⅱ、Ⅲ)中土壤氮素储量严重不足,磷素储量处于低一中水平,土壤生产力低。据调查,1978 ~ 1983 年,该流域 6 年的平均产量 $1\,425\text{kg}/\text{hm}^2$,其中最低的 1981 年平均 $817.5\text{kg}/\text{hm}^2$,最高的 1978 年为 $1\,935\text{kg}/\text{hm}^2$ 。水土流失引起土壤性质恶化,肥力下降,是造成土壤瘠薄、产量低下的主要原因之一。

表 8

土壤氮磷元素储量分级

级 别	0 ~ 20cm 土层内氮素储量(kg/hm^2)	0 ~ 20cm 土层内磷素储量(kg/hm^2)
高	$> 1\,875$	4 500 ~ 6 375
中	1 500 ~ 1 875	3 375 ~ 4 500
低	1 125 ~ 1 500	2 250 ~ 3 375
极低	1 125	2 250

表 9

罗玉沟流域土壤氮磷元素储量分级

土壤代号	0 ~ 20cm 土层内氮素储量 (kg/hm^2)	级别	0 ~ 20cm 土层内磷素储量 (kg/hm^2)	级别
Ⅰ A	2 856.0	高	4 978.5	高
Ⅰ B	1 752.0	中	3 970.5	中
Ⅰ C	1 204.5	低	3 130.5	低
Ⅱ A ₁	1 047.0	极低	3 351.0	低
Ⅱ A ₂	1 047.0	极低	3 697.5	中
Ⅱ A ₃	1 009.5	极低	3 909.0	中
Ⅱ B ₁	1 194.0	低	3 613.5	中
Ⅱ B ₂	516.0	极低	2 673.0	低
Ⅱ C				
Ⅲ A	1 107.0	极低	4 089.0	中
Ⅲ B	342.0	极低	3 411.0	中

3 结语

土壤侵蚀普遍存在,在黄土地区还相当严重,带来了一系列严重恶果。在小流域内,