

不同雨强条件下黄土性土壤 养分流失规律研究*

康玲玲 朱小勇 王云璋 吴卿

(黄河水利委员会黄河水利科学研究院, 郑州 450003)

魏义长

(河南农业大学, 郑州 450002)

摘要 本文利用室内人工降雨模拟装置,通过坡面小区试验,初步分析了不同雨强条件下黄土性土壤养分流失的规律。结果表明:土壤养分主要是以不溶态的形式随泥沙迁移,随径流迁移的可溶态养分很少;不同形态的养分在泥沙中有富集现象;养分流失量与雨强成正比;同一雨强条件下,土壤流失量与养分流失量呈显著的正相关关系。

关键词 室内人工降雨,雨强,黄土性土壤,养分流失

中图分类号 S157.6

黄土高原的水土流失不仅是水分和泥沙的流失,同时还伴随着严重的土壤养分流失。它一方面导致土壤退化、土地瘠薄、生产力低下,另一方面污染下游河道,恶化生态环境,危害性很大。雨强,特别是较大暴雨的强度,是影响黄土高原黄土性土壤侵蚀和养分流失的一个最关键因子,因此本课题采用室内人工降雨模拟装置,将不同雨强对黄土性土壤养分流失的影响作为研究对象,深入探讨土壤养分流失问题,以引起对此问题的重视,为研究此类土壤的承载能力和生产潜力、加强侵蚀防治、提高土地生产力提供科学依据。

1 试验方案设计

1.1 试验条件与方法

本试验在坡面小区上进行。试验由人工降雨模拟装置系统、试验土槽系统、径流量测系统、径流泥沙取样系统、养分量测系统等五个子系统组成。

试验采用中科院、水利部水土保持研究所土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室的双向对喷式降雨装置,降雨过程由计算机系统自动控制。设计雨强有0.650、0.917、1.417、1.867、2.333、2.667mm/min六种,降雨量控制在60mm,降雨历时分别为92.3、65.4、42.3、32.1、25.7、22.5min两次重复。

* 中科院、水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金资助项目10501-34

收稿日期:1998-01-16;收到修改稿日期:1998-08-05

所用土槽长 2.0m、宽 1.5m、深 0.5m、坡度 20°, 槽内填土 0.4m。在槽的径流出口处设置径流桶(直径 56cm、深 70cm), 用 1000mL 烧杯进行径流泥沙取样。

供试土壤为武功塬土, 质地为粉砂粘壤土。采用耕层(0~20cm)土壤, 其土壤理化性状见表 1。

表1 供试土壤理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of soil studied

项 目	含 量	项 目	含 量
Item	Content	Item	Content
全氮 (g/kg)	0.84	铁 (g/kg)	34.4
全磷 (g/kg)	0.84	铜 (mg/kg)	23.13
全钾 (g/kg)	24.3	含水量 (g/kg)	175
有机质 (g/kg)	11.53	容重 ($\times 10^6 \text{g/m}^3$)	1.2

装槽前土壤过 10mm 筛。装槽时土壤容重控制为 $1.2 \times 10^6 \text{g/m}^3$, 含水量为 175g/kg。观测养分流失过程时每次降雨分 10 个时段在径流出口处取样; 不观测过程的土样, 待降雨结束后在径流桶内用 1000mL 烧杯收集浑水样, 采用烘干法测定浑水含沙量并计算全部产沙量, 同时, 过滤定量径流, 收集水样和泥沙样供分析用。每次降雨结束后立即取坡面土样, 进行雨后坡面土壤养分含量的测定。本试验以所取耕层土壤作为泥沙对照, 雨水为径流对照。

1.2 测试项目和分析方法

泥沙(土壤)主要测定全氮、全磷、全钾、有机质、微量元素铁和铜; 径流主要测定钾、铁、铜, 侧重微量元素的变化。测定方法见《土壤理化分析》^[1]。

2 结果与讨论

2.1 径流中的养分变化

降雨条件下, 土壤养分随径流的迁移主要有两个含义: 一是指土壤内部的可溶性物质随入渗的水分沿垂直方向迁移; 另一方面是指土壤入渗能力小于雨强时, 产生地表径流, 可溶性物质随地表径流迁移^[2]。次暴雨条件下, 由于以入渗方式迁移的养分量一般较小, 且迁移造成的危害也相对不大, 故本试验以测定随地表径流迁移的养分流失为主。

本试验观测了雨强为 0.650mm/min、1.417mm/min、2.333mm/min 的径流变化过程, 测定了不同雨强条件下径流过程中不同时段钾(K)、铁(Fe)、铜(Cu)的浓度。由于三种雨强下径流中的养分变化过程基本一致, 下面仅以 1.417mm/min 雨强为例(图 1)加以分析说明。由图不难看出, 同一雨强条件下, 径流中主要养分浓度随时间和径流量而变化。产流初期, 径流挟带表层疏松肥沃土壤, 养分浓度较高。钾为 $6 \times 10^{-5} \text{g/kg}$, 铁为 $3 \times 10^{-5} \text{g/kg}$ 。随着产流量的增加, 浓度稍有降低, 当径流出现瞬时峰值时, 养分浓度也随之出现峰值, 分别为 $8 \times 10^{-5} \text{g/kg}$ 、 $4 \times 10^{-5} \text{g/kg}$ 。当产流量瞬时谷值时, 养分浓度也随之降低。其它雨强情况下也呈现出同样的趋势。由此可见, 径流中养分浓度的变化与坡面产流过程相一致。

与泥沙中养分含量相比, 径流中养分浓度(扣除雨水中的养分含量)就显得很低, 因此, 随径流流失的养分数量相对较少。图 2 绘出了不同雨强下养分流失量随径流迁移的情

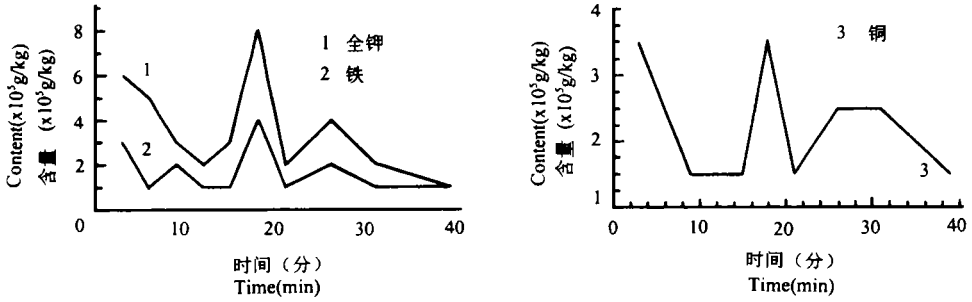


图1 径流中养分浓度的变化曲线 (R=1.417mm/min)

Fig.1 Variation in nutrient concentration in runoff

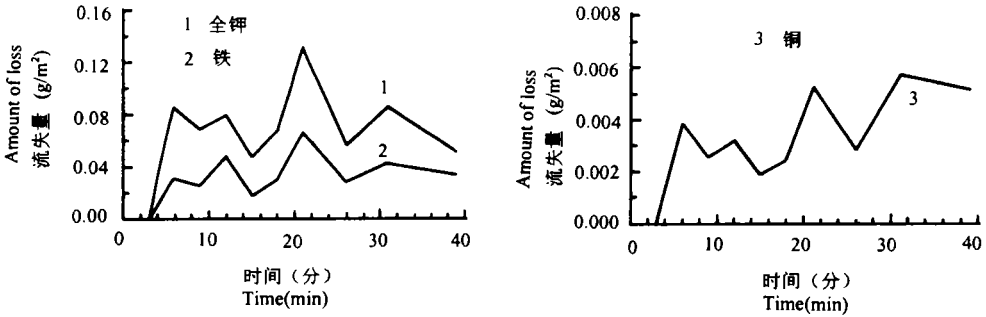


图2 径流养分流失量的变化曲线 (R=1.417mm/min)

Fig.2 Variation in amount of nutrient loss in runoff

况。显而易见,可溶性养分随径流的迁移量集中在各次降雨的中间时段。

2.2 流失泥沙中的养分变化

2.2.1 同一雨强条件下养分含量随时间的变化 图3反映出雨强为0.65mm/min时流失泥沙中养分含量随时间的变化情况。由图可以看出,在产流开始时各种养分含量都较高,随着时间的推移,逐渐趋于相对平稳。在整个降雨过程中,泥沙中有机质、钾、铁的变化较稳定,氮、磷的变化比较大。

分析上述现象的原因,作者认为主要是由于降雨起初径流中土壤粘粒含量较高所致。

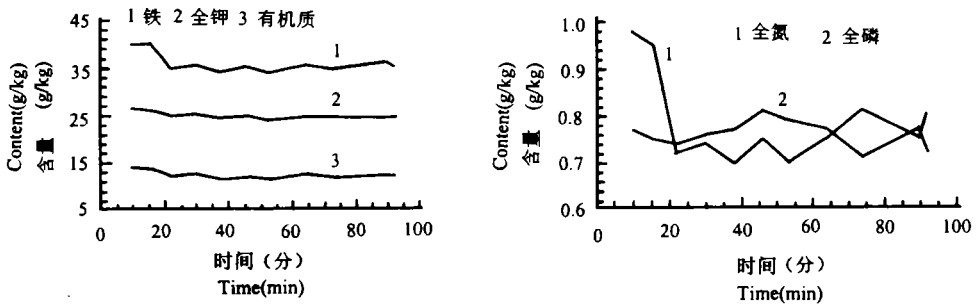


图3 流失泥沙养分含量随时间的变化过程 (R=0.65mm/min)

Fig.3 Variation of nutrient content in lost sand with time

因为粘粒含量较高时,不仅粘粒本身成分中含有某些营养性元素,而且增大了土壤的比表面积,对营养元素有较强的吸附作用。在整个降雨过程中,全氮含量由 0.98g/kg 降到 0.80g/kg,全磷由 0.77g/kg 降到 0.72g/kg,全钾由 26.6g/kg 降到 24.4g/kg,分别降低 18.4%、6.5%、8.3%;铁由 40.0g/kg 降到 35.0g/kg,降低了 12.5%;有机质由 14.03g/kg 降到 11.89g/kg,降低了 15.3%,平均每分钟降低 0.16%。同样,其它雨强条件下养分含量的变化也是如此。

2.2.2 不同雨强条件下流失泥沙中养分含量的变化 从试验过程和资料分析中发现,当雨强为 2.333mm/min,径流形成 2 分钟左右时,其养分含量比较高,而当雨强为 1.417mm/min 和 0.650mm/min 时,其含量也有一较高的峰值,只是出现的时间相应推后一些,峰值出现的时间分别为 3min 和 10min。从图 4 可以看出,雨强对流失泥沙中各种养分含量的影响并不大。

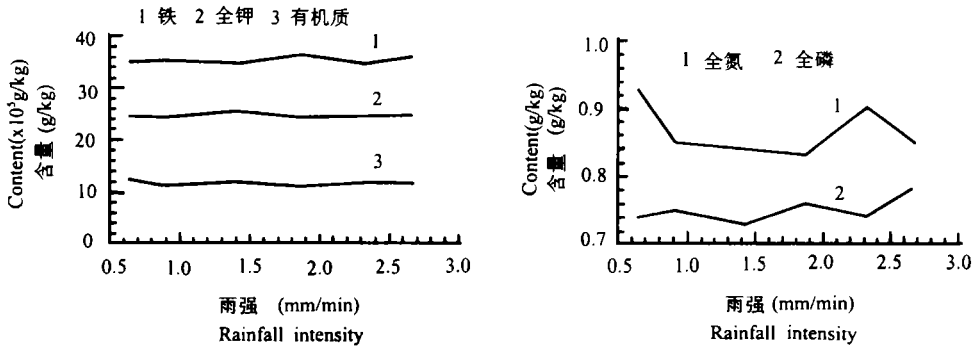


图4 不同雨强条件下流失泥沙中养分含量的变化曲线

Fig.4 Variation in nutrient content in lost sand in various rainfall intensity

2.2.3 养分在流失泥沙中的富集 流失泥沙中养分含量除以被侵蚀土壤养分含量,即得养分富集率(Enrichment ratio, 缩写为 ER)。富集率可表征养分在泥沙中的富集状况^[3]。测定结果表明,养分在流失泥沙中存在着一定的富集现象(见表 2)。

本研究在分析泥沙养分的同时,也测定了不同雨强条件下流失泥沙的颗粒组成(表

表2 流失泥沙的养分富集率

Table 2 Rate of nutrient enrichment in lost sediment

雨强 Rainfall intensity (mm/min)	全氮 Total N		全钾 Total K		铁 Fe		铜 Cu		有机质 O. M.	
	(g/kg)	$ER^{(1)}$	(g/kg)	$ER^{(1)}$	(g/kg)	$ER^{(1)}$	(mg/kg)	$ER^{(1)}$	(g/kg)	$ER^{(1)}$
0.650	0.93	1.11	24.6	1.01	35.1	1.02	25.47	1.10	12.48	1.08
0.917	0.85	1.01	24.3	1.00	35.3	1.03	23.64	1.01	11.24	0.97
1.417	0.84	1.00	25.4	1.04	34.6	1.00	26.62	1.15	11.90	1.03
1.867	0.83	0.99	24.2	1.00	36.4	1.06	22.56	0.98	11.09	0.96
2.333	0.90	1.07	24.3	1.00	34.5	1.00	28.96	1.25	11.78	1.02
2.667	0.85	1.01	24.4	1.00	35.9	1.04	26.46	1.14	11.68	1.01
对照土样	0.84		24.3		34.4		23.13		11.53	

1) 指养分密集率

3)。由表 3 看出,随着雨强的增大,流失泥沙的大颗粒增多,细小粘粒相应减少,导致流失泥沙中各养分含量降低。

表3 流失泥沙的颗粒分析

Table 3 Particle analysis of lost sediment

雨强 Rainfall intensity (mm/min)	1~0.05mm (%)	0.05~0.02mm (%)	0.02~0.005mm (%)	0.005~0.002mm (%)	<0.002mm (%)
0.650	0.90	26.57	26.34	11.67	34.52
0.917	1.14	27.67	27.93	10.86	32.40
1.417	3.45	30.87	28.91	9.32	27.45
1.867	4.34	31.18	30.34	8.40	25.74
2.333	4.02	31.14	29.56	8.59	26.69
2.667	3.72	29.61	28.38	9.65	28.64
对照土样	7.52	26.64	29.71	10.24	25.89

同时,我们还作了不同雨强条件下流失泥沙中各种养分含量与流失泥沙颗粒组成的相关计算,结果显示,全氮和<0.002mm的粘粒含量呈较显著的正相关,说明全氮富集于该级土粒中。同理,有机质富集于<0.005mm的细粉粒中。全钾与0.05~0.02mm的粗粉粒含量有一定的相关关系,说明全钾富集于该级土粒中。同样,铁富集于0.02~0.005mm的中粉粒中,铜富集于0.05~0.02mm的粗粉粒中。关于流失泥沙养分富集的现象可解释为,是由于土壤颗粒组成发生了变化。

2.3 流失泥沙中养分流失量的变化

2.3.1 雨强对养分流失量的影响 试验结果表明,尽管雨强对流失泥沙中养分含量的影响不大,但对土壤流失量和养分流失量却有显著的影响(如表 4)。

表4 不同雨强条件下的养分流失量和土壤流失量

Table 4 Amounts of nutrient and soil lost under different rainfall intensities

雨 强 Rainfall intensity (mm/min)	全氮 Total N (g/m ²)	全磷 Total P (g/m ²)	全钾 Total K (g/m ²)	铁 Fe (g/m ²)	铜 Cu (g/m ²)	有机质 O.M. (g/m ²)	土壤流失量 Amount of soil lost (g/m ²)
0.650	0.254	0.202	6.716	9.582	0.007	3.407	273.003
0.917	0.293	0.258	8.363	12.148	0.008	3.868	344.143
1.417	0.687	0.597	20.779	28.305	0.022	9.735	818.070
1.867	1.434	1.313	41.798	62.870	0.039	19.155	1727.203
2.333	1.568	1.289	42.326	60.092	0.050	20.518	1741.803
2.667	1.639	1.504	47.044	69.216	0.051	22.519	1928.023

由表 4 可知,当雨强由 0.650mm/min 增加到 1.417mm/min 时,土壤流失量增加 3 倍,全氮、全磷、全钾、铁、铜、有机质等养分流失量分别增加 2.70、2.96、3.09、2.95、3.14、2.86 倍;再增加到 1.867mm/min 时,产沙量增加 6.33 倍,各养分流失量分别增加 5.64、6.50、6.22、6.56、5.57、5.62 倍,最后雨强达到 2.667mm/min 时,产沙量增加 7.06 倍, 各养分流失

量也分别增加 6.54、7.44、7.00、7.22、7.28、6.61 倍。不同雨强与各养分流失量均呈正相关关系。建立的回归关系式如表 5 所列。这充分说明,高强度暴雨是黄土性土壤侵蚀和养分流失的重要原因之一。

表5 养分流失量(y)与不同雨强(x)的回归关系式

Table 5 Regression formula of the amounts of nutrient loss (y) and different rainfall intensities (x)

回归关系式 Regression formula	相关系数 Correlation coefficient	回归关系式 Regression formula	相关系数 Correlation coefficient
$y_{\text{氮}}=0.7862x-0.3119$	0.968	$y_{\text{铁}}=32.4858x-12.967$	0.957
$y_{\text{磷}}=0.7029x-0.2936$	0.964	$y_{\text{铜}}=0.02493x-0.0114$	0.984
$y_{\text{钾}}=22.140x-8.513$	0.966	$y_{\text{有机质}}=10.5793x-4.169$	0.973

2.3.2 泥沙流失量与养分流失量的关系 同一雨强条件下,随时间的变化各养分流失量逐渐增加,通过对土壤流失量(S)与养分流失量(E)的回归分析可以发现,它们之间存在着显著的相关,其回归方程如表 6 所列。

表6 土壤流失量与养分流失量的回归方程

Table 6 Regression equation of the amounts of soil and nutrient loss

雨强 Rainfall intensity (mm/min)	回归方程 Regression equation	相关系数 Correlation coefficient
0.650	$E_{\text{氮}}=0.00066S+0.00327$	0.916
	$E_{\text{磷}}=0.00077S-0.0003$	0.991
	$E_{\text{钾}}=0.02303S+0.05142$	0.994
	$E_{\text{铁}}=0.0328S+0.08406$	0.981
	$E_{\text{有机质}}=0.01099S+0.03686$	0.977
1.417	$E_{\text{氮}}=0.00085S-0.0055$	0.990
	$E_{\text{磷}}=0.00075S+0.00082$	0.999
	$E_{\text{钾}}=0.02443S+0.03171$	0.998
	$E_{\text{铁}}=0.0321S+0.06165$	0.997
	$E_{\text{有机质}}=0.01285S-0.0273$	0.994
2.333	$E_{\text{氮}}=0.00087S+0.00019$	0.999
	$E_{\text{磷}}=0.00069S+0.01127$	0.998
	$E_{\text{钾}}=0.02457S-0.0332$	0.999
	$E_{\text{铁}}=0.03589S-0.3634$	0.999
	$E_{\text{有机质}}=0.0121S-0.0399$	0.999

2.4 土壤表层与流失泥沙中养分含量和径流中养分浓度的比较

水土流失的泥沙多来自土壤耕层,且多细粒和复粒^[4]。因此,全氮、全钾、铁、铜、有机质在流失泥沙中含量均高于耕层土壤(如前所述),又远远高于径流中的养分浓度(表 7)。

由此可见,水土流失降低土壤肥力的关键是土壤流失,它使耕作层变薄,土壤结构恶化,还挟带大量营养元素付诸东流。

表7 不同雨强条件下径流中养分浓度(E_R)与泥沙中养分含量(E_S)及其比值统计表

Table 7 Statistical form of nutrient concentration (E_R) in runoff and nutrient content (E_S) in sediment and their specific value

雨强 Rainfall intensity (mm/min)	项目 Item	钾 K ($\times 10^{-3}$ g/kg)	铁 Fe ($\times 10^{-3}$ g/kg)	铜 Cu (mg/kg)
0.650	E_R	0.04	0.03	0.003
	E_S	24600	35100	25.47
	E_S/E_R	61500	1170000	8490
0.917	E_R	0.03	0.03	0.003
	E_S	24300	35300	23.64
	E_S/E_R	810000	1176667	7880
1.417	E_R	0.02	0.02	0.001
	E_S	25400	34600	26.62
	E_S/E_R	1270000	1730000	26620
1.867	E_R	0.03	0.03	0.001
	E_S	24200	36400	22.56
	E_S/E_R	806667	1213333	22560
2.333	E_R	0.02	0.03	0.001
	E_S	24300	34500	28.96
	E_S/E_R	1715000	1150000	28960
2.667	E_R	0.01	0.02	0.001
	E_S	24400	35900	26.46
	E_S/E_R	2440000	1795000	26460

3 结语

1. 室内人工降雨条件下,水土流失引起黄土性土壤养分衰减是通过径流和泥沙迁移实现的。塋土的泥沙流失是其养分衰减的主要途径。流失泥沙的养分含量高于径流中养分浓度,与土壤表层相比,还存在有全氮、全钾、铁、铜、有机质的富集现象。因此,防止塋土泥沙流失是防治黄土性土壤养分衰减的关键。

2. 不同雨强条件下,黄土性土壤径流与泥沙的养分流失规律基本相同。径流中养分浓度主要取决于挟沙量的大小;泥沙养分含量取决于土壤肥力的高低。

3. 雨强与塋土的养分流失量呈显著的正相关关系,但对流失泥沙养分含量的影响不明显。

致谢 本文经中科院南京土壤研究所史德明教授、黄委会水科院曾茂林教授审阅,并提出宝贵意见,谨此致谢。

参 考 文 献

1. 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析.上海:上海科学技术出版社,1978
2. 王全九,沈晋,王文焰等.降雨条件下黄土坡面溶质随地表径流迁移实验研究.水土保持学报,1993,7(1):11~17
3. 吕喜玺,史德明.第四纪红粘土侵蚀劣地土壤养分随径流和泥沙的迁移规律.中国水土保持,1994,5:12~14
4. 刘秉正,李光录,吴发启等.黄土高原南部土壤养分流失规律.水土保持学报,1995,9(2):77~86

**RESEARCH ON NUTRIENT LOSS FROM A LOESSIAL SOIL
UNDER DIFFERENT RAINFALL INTENSITIES**

Kang Ling-ling Zhu Xiao-yong Wang Yun-zhang Wu Qing

(Academy of Hydraulic Science, Conservancy Committee of Yellow River, Zhengzhou 450003)

Wei Yi-chang

(Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Summary

With a simulated rainfall equipment, the pattern of soil nutrient loss from a loessial soil under different rainfall intensities was preliminarily studied by plot test on a sloping surface. Results showed that soil nutrients mainly migrated with sediment in unsoluble forms, while the amounts of soluble nutrients removed with runoff were very little. The different forms of nutrients were enriched in sediment. The amounts of nutrient loss were in direct proportion to rainfall intensity. There was significant positive correlation between the amounts of soil loss and nutrient loss.

Key words Simulated rainfall, Rainfall intensity, Loessial soil, Nutrient loss