

草类根系对土壤抗冲性的强化效应*

李勇 徐晓琴

(中国科学院地球化学研究所, 550002)

朱显谟 田积莹

(中国科学院水利部 西北水土保持研究所)

摘要

本文以研究草本植物根系密度、根量及土壤抗冲性的剖面特征为基础,首次对不同土层深度根系的减沙效应及提高土壤抗冲性的有效范围进行了定量分析。结果表明,草类根系提高土壤抗冲性的作用与其在剖面中的分布状况的关系极为密切;20cm土层内,根系的减沙效应不受坡度及雨强的影响,减沙效应系数平均在0.82以上。20cm以下土层根系的减沙效应明显降低。根据对不同坡度及雨强下根系提高土壤抗冲性的效应曲线及减沙效应的综合分析,确定出在坡度 $\leq 30^\circ$ 、雨强 $\leq 4.0\text{mm}/\text{min}$ 条件下,草类根系密度超过166根/100cm²时对增进土壤抵抗径流冲刷有极其明显的作用,其根系的有效深度下限值为30cm。

关键词 草类根系,土壤抗冲性,抗冲性强化值,减沙效应

一、引言

在占黄土高原总面积70%的丘陵沟坡上建造以草类为主的人工植被,适应该区干旱缺水的特殊生态环境,对固土保水培肥土壤地尽其力有巨大作用,国内外有关草类的选育利用及地上部分的水土保持等方面的研究颇多,但很少注意其地下部分根系的固土作用,尤其缺乏对草类根系影响土壤抗冲刷作用方面的定量研究。文献^[1]首次证明就草本植物整体而论,其根系在维持表层土壤的稳定性,抵抗径流对土壤冲刷起决定作用。本文试图以研究根系密度、根量及土壤抗冲性的剖面特征为基础,对不同土层根系强化土壤抗冲性的作用及范围进行探讨。

二、材料与方 法

(一) 研究材料

本研究选择黄土高原、广泛分布有天然草本植物白草 (*Borhriochloa ischaemum* L. Keng)、黄菅草

* 国家自然科学基金资助项目。

表 1 测样区的土壤及草被状况
Table 1 Conditions of soil and grass cover in the test area

土类 Soil type	草地群丛 Grass association	地被物重量 Weight of grass cover (g/m ²)	坡度 Slope
黄绵土	黄菅草-羊胡子草群丛, 黄菅草占 45%, 高 35cm 左右, 羊胡子草高 15cm 左右, 占 40%, 此外有白草, 占 15% 左右, 总盖度为 75—95%	760.2	18°—20°
黄土母质	无	无	18°—20°

(*Themeda triandra* var. *jasponica*) 和羊胡子草 (*Carex filipes ohuri*) 群落的宜川县铁龙湾黄土丘陵沟壑区, 海拔 970—1020m, 坡向北偏西 60°, 并测定此区的土壤及草被状况(表 1)。

(二) 研究方法

1. 根密度的测定: 用挖掘剖面壁法^[1]。在选取的标准地内共挖 2m (长)×1.5m (宽)×1.5m (深) 的剖面 8 个, 对根系密度进行调查, 根密度的单位为(根/100cm³)。

2. 根量测定: 与抗冲入渗实验同步进行。用 100cm³×10cm 的大型环刀及 20×10×10(cm³) 的取样器沿土壤剖面每隔 10cm 分层取样, 当完成渗透及抗冲实验后, 将含根系的土样置于直径为 0.5mm 的铜筛中, 在流水中仔细冲洗, 将冲洗好的根系置 105℃ 烘箱中, 烘 16 小时左右, 然后在 1/1000 的电子天平上称重, 以每 100cm³ 土中所含烘干根的重量 (g) 表征根量的多少。

3. 土壤抗冲性的确定: 用作者改进的原状土冲刷水槽法^[2]。取样程序为, 在已做过根系密度测定的土壤剖面上进行随机采样, 首先将草本植物地上部分的茎叶清除, 在 0—50cm 的土层内每隔 10cm 取样, 在 50—150cm 土层内每隔 20cm 取样。实验中, 选取黄土高原一般耕种坡度, 梁峁平均坡度及平均沟坡坡度(15°、20°、30°)作为冲刷坡度, 以该区暴雨标准的上、中、下限 (0.5、2.0、4.0mm/min) 的雨强在标准小区 (20×5m²) 内产生的最大产流量计算单宽流量作为冲刷流量, 取暴雨频率最大的降雨时间 (15min) 作为冲刷历时, 以冲刷 1g 土所需的时间表征土壤抗冲性 AS (Anti-scourability) 的强弱, 单位是 S/g, AS 愈大, 土壤的抗冲性愈强。

三、结果与讨论

(一) 草类根系密度和根量的分布特征

1. 根系密度的分布特点: 草本植物根系均为直径小于 1mm 的须根。根系密度随土壤剖面深度增加表现出三个显著特点, 即在 0—30cm 土层急剧减少, 在 30—70cm 土层逐渐减少及在 70—150cm 土层保持最低水平的特点, 总根数的 90% 集中分布在 0—30cm 的土层内, 30—70cm 土层内根数约占总根数的 8%, 70cm 以下土层仅占总根数的 2% 左右(图 1)。

若对根系密度在剖面中的分布进行回归分析, 发现其遵从幂函数分布, 函数表达式为:

$$Rd = 1161099.67Z^{-2.69146}$$

$$r = -0.99970, p < 0.001, n = 42$$

式中: Rd 为根系密度 (根/100cm³);

Z 为土层深度 (cm)。

2. 根量的分布特点: 根量随剖面的变化如图 2 所示。根量随土层深度增加的变化曲线与根密度随土层深度的变化特征曲线极其相似, 总根量的 86% 分布在 0—30cm 土层内, 在 30—70cm 土层内数量约占总根量的 8%, 70—150cm 土层内仅占总根量 6%, 表明根量与土层深度呈幂函数关系, 其表达式为:

$$R_w = 107.7537 Z^{-2.0913}$$

$$r = -0.99660, p < 0.001, n = 45$$

式中: R_w 为根量 ($g/100cm^3$); Z 为土层深度 (cm)。

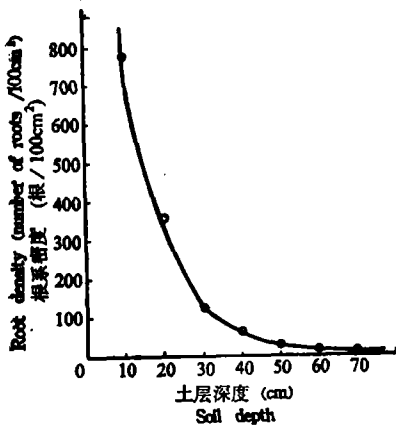


图 1 根系密度随土壤剖面变化的特征曲线

Fig. 1 Variation of root density in soil profile

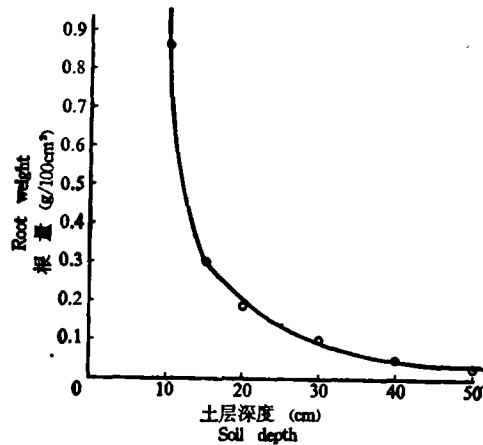


图 2 根量随土壤剖面变化的特征曲线

Fig. 2 Variation of root weight in soil profile

(二) 根系对土壤抗冲性的强化作用

1. 草地土壤抗冲性的变异特征: 对天然草地土壤本身的抗冲性, 前人已作过研究^[4]。但关于冲刷流量未考虑到黄土高原常见的暴雨强度及降雨时间, 而且取样层次较少。为进一步了解草地不同层次土壤抗冲性的变异特征, 本文选取黄土区常见暴雨强度及降雨时间, 对不同雨强及坡度下草地土壤抗冲性随土层深度的变化规律进行了研究, 其结果见图 3 和图 4。天然草地的土壤抗冲性的变化与根系集中分布的层次有密切的关系, 在 0—30cm 土层内根系密布, 无论降雨强度及冲刷坡度如何, 曲线陡直, 土壤抗冲性急剧减弱, 在 30—70cm 土层内, 曲线较缓, 土壤抗冲性明显低于上层, 在 70cm 以下土层, 土壤抗冲性基本保持在最低状态的同一水平。由图 4 可见, 在 0—30cm 土层内的相同间隔层次中, 土壤抗冲性受坡度影响不大, 而在 30cm 以下的相同间隔层次中, 土壤抗冲性随坡度的增大而减弱, 这些变化进一步说明草地上部根系稠密, 固持土体作用巨大, 下部根系稀疏, 固持土体的作用减弱。

2. 根系对土壤抗冲性的强化值: 表 2 列举草本植物根系对土壤抗冲性的强化值。表 2 说明, 土层深度增加, 根系对土壤抗冲性的强化作用减弱。在同一坡度下, 抗冲性强化值随雨强增大而减小, 这些与 1990 年研究结果一致^[2,3]。在同一雨强下, 当坡度 $\leq 20^\circ$ 时, 在 0—30cm 的相同间隔层次中, 根系对土壤抗冲性强化值不受坡度的影响; 在同一雨强下, 当坡度 $\geq 20^\circ$ 时, 在 0—20cm 土层内相同间隔层次中, 根系对土壤抗冲性的强化值受坡度变化的影响较小, 而在 20cm 以下相同深度土层中, 根系对土壤抗冲性的强化值随

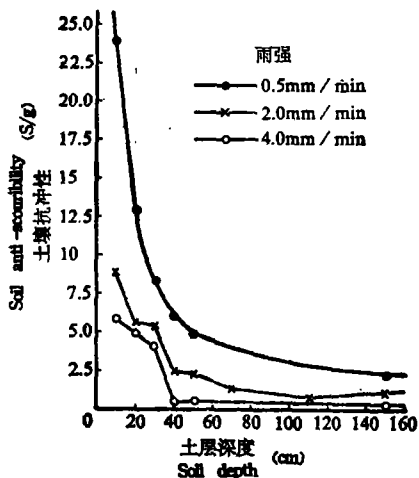


图 3 不同雨强下草地土壤抗冲性随土层变化的特征曲线

Fig. 3 Characteristic curves of soil anti-scourability in profile at different rainfall intensities and the slope of 20°

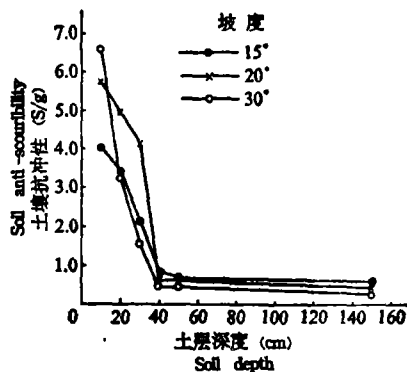


图 4 不同坡度下草地土壤抗冲性随土层变化的特征曲线

Fig. 4 Characteristic curves of soil anti-scourability in profile at different slopes and the rainfall intensity of 4.0 mm/min

表 2 草本植物根系对土壤抗冲性的强化值

Table 2 Value of intensified soil anti-scourability by herb roots

土层深度 Soil Depth (cm)	强化值 (S/g) Intensified value								
	坡度 Slope								
	15°			20°			30°		
	雨强 (mm/min) Raifall intensity								
	0.5	2.0	4.0	0.5	2.0	4.0	0.5	2.0	4.0
0—10	12.891	5.09	3.427	20.807	7.877	5.221	17.325	11.371	6.266
10—20	7.796	4.297	2.809	10.496	4.609	4.397	6.556	3.372	2.964
20—30	4.137	1.779	1.513	5.987	4.508	3.638	1.825	0.971	1.253
30—40	—	0.425	0.233	3.894	1.539	0.074	1.803	0.177	0.153
40—50	1.147	—	0.042	2.716	1.331	—	0.925	0.195	0.063
50—70	—	—	—	—	0.402	—	—	—	—
70—90	—	—	—	—	0.283	—	—	—	—
90—110	—	—	—	—	0.164	—	—	—	—
110—130	—	—	—	—	0.079	—	—	—	—

坡度增大而明显减小。

3. 根系的减沙效应: 根系对土壤抗冲性的强化作用, 最终应以根系的减沙效应为指标。定量描述不同坡度及雨强下不同土层根系的减沙效应, 对进行根系提高土壤抗冲性作用的宏观定量评价有重要意义。根系减沙效应的强弱可用减沙效应系数 ϕ 来表征, 其数值决定于根系土壤冲刷量的减少值与无根系土壤冲刷量之比:

$$\phi = \frac{\text{含根系土壤冲刷量减少值 (g)}}{\text{无根系土壤冲刷量 (g)}}$$

表 3 不同雨强 (0.5, 2.0, 4.0 mm/min) 及坡度 (15°, 20°, 30°) 下根系减沙效应系数的特征值¹⁾

Table 3 Characteristic values of sediment reduction effect coefficients of herb roots under conditions of different rainfall intensities (0.5, 2.0 and 4.0 mm/min) and slopes (15°, 20° and 30°)

土层 Soil depth (cm)	平均值 Average	最大值 Maximum	最小值 Minimum	标准差 S. D.	变异系数 (%) C. V.	样本数 No. of samples
0—10	0.88	0.95	0.80	0.0505	5.710	18
10—20	0.82	0.90	0.71	0.0570	6.95	18
20—30	0.69	0.89	0.51	0.1239	17.95	18
30—40	0.34	0.63	0.16	0.1910	56.79	14
40—50	0.27	0.58	0.04	0.1781	65.61	18

1) 表中所列数值均是在雨强为 0.5, 2.0, 4.0 mm/min; 冲刷坡度为 15°, 20° 和 30° 条件下根系减沙效应系数的统计值。

表 4 0—20cm 土层根系减沙效应系数的差异性分析

Table 4 Difference analysis of sediment reduction effect coefficient by herb roots in the 0—20cm soil layer

变异原因 Variance	自由度 Freedom	平方和 Sum of squares	均方 Mean square	F 值 F-value	显著度 Significance
坡度及雨强	8	177.50	22.19	2.84	$P > 0.05$
土层	1	466.88	466.88	59.86	$P < 0.01$
误差	8	62.36	7.80		
总和	17	706.74			

ϕ 愈大, 根系的减沙效应愈强, $\phi = 1$ 时, 表明根系的减沙效应最大, $\phi < 1$ 时, 根系有减沙效应, $\phi = 0$ 时, 根系无减沙效应。

已有研究^[2]揭示, 确定植物根系对土壤抗冲性的强化值时, 无论是以无根系的黄土母质, 还是以耕种土壤(黄绵土)的抗冲性为基准进行计算, 其结果无显著差异。因此, 本研究选用无根系的黄土母质代表无根系土壤作为计算根系减沙效应系数的基准。草本植物根系在不同坡度及雨强条件下的减沙效应系数的特征值如表 3 所示。表 3 中, 减沙效应系数的平均值标志着根系减沙效应的平均水平, 变异系数标志根系减沙效应受坡度及雨强影响的程度大小, 平均值愈大, 根系减沙效应的能力愈强, 变异系数愈小, 根系减沙效应受坡度和雨强的影响程度也愈小。结果还表明, 土层深度增加, 根系的减沙效应减小, 受坡度和雨强影响的程度变大, 在 0—30cm 的土层内, 各间隔 (10cm) 土层中根系减沙效应系数的平均值均在 0.50 以上, 变异系数差异较小, 30cm 以下的各间隔土层, 根系减沙效应系数的平均值均小于 0.50, 变异系数明显增大。值得注意的是, 在 0—20cm 土层内, 不仅各间隔土层根系减沙效应系数的平均值的差异很小, 而且变异系数也非常接近。若对 0—20cm 土层内, 不同坡度及雨强下根系的减沙效应系数进行差异显著性分析(表 4), 结果表明, 在同一间隔土层内, 冲刷坡度及雨强对根系减沙效应系数影响不显著 ($F = 2.84 < F_{0.05} = 3.44$), 据此可确定根系减沙效应不受坡度及雨强影响的临界土层深度, 进而对根系提高土壤抗冲性的作用作出宏观定量评价, 不同间隔土层根系的减沙效应系数

间有非常显著的差异性 ($F = 59.86 > F_{0.01} = 11.26$), 这完全是由根系密度分布的不同所致。

(三) 根系密度及根量与抗冲性强化值的关系及根系抗冲有效范围的确定

1. 根系密度及根量与土壤抗冲性强化值的关系: 将根系密度及根量与土壤抗冲性强化值分别进行回归分析(表 5 和表 6), 结果表明, 根系密度、根量均与抗冲性强化值呈极显著的正相关关系。分析表 5 和表 6 的结果可以看出, 根系密度与抗冲性强化值的函数关系同根系密度沿土层深度分布的函数关系极为一致, 均呈幂函数关系, 说明用不同土层中根系密度的分布状况估算土壤抗冲性强化值的大小更能揭示根系的作用实质。

2. 根系提高土壤抗冲性有效范围的确定:

表 5 根密度 (Rd) 与土壤抗冲性强化值 (ΔAS) 的关系

Table 5 Relation ship between root density (Rd) and the intensified value of soil anti-scouribility (ΔAS)

坡度 Slope	雨强 Rainfall intensity (mm/min)	项目 Item			
		函数关系式 Correlation equation of Rd and ΔAS	相关系数 Correlation coefficient	显著度 Significance	样本数 No. of samples
15°	0.5	$\Delta AS = 0.09616Rd^{0.7207}$	0.99927	$P < 0.001$	6
	2.0	$\Delta AS = 9.7727Rd^{0.9996}$	0.98174	$P < 0.001$	8
	4.0	$\Delta AS = 8.0423Rd^{1.3114}$	0.96013	$P < 0.001$	10
20°	0.5	$\Delta AS = 0.28078Rd^{0.6189}$	0.99203	$P < 0.001$	10
	2.0	$\Delta AS = 0.17301Rd^{0.8663}$	0.95610	$P < 0.001$	10
	4.0	$\Delta AS = 1.18496Rd^{0.2192}$	0.99992	$P < 0.001$	8
30°	0.5	$\Delta AS = 0.0436Rd^{0.8856}$	0.97321	$P < 0.001$	10
	2.0	$\Delta AS = 2.29848Rd^{1.3098}$	0.98929	$P < 0.001$	8
	4.0	$\Delta AS = 4.1736Rd^{1.9240}$	0.97217	$P < 0.001$	10

表 6 根量 (Rw) 与土壤抗冲性强化值 (ΔAS) 的关系

Table 6 Relation ship between root weight (Rw) and the intensified value of soil anti-scouribility (ΔAS)

坡度 Slope	雨强 Rainfall intensity (mm/min)	项目 Item			
		函数关系式 Correlation equation of Rw and ΔAS	相关系数 Correlation coefficient	显著度 Significance	样本数 No. of samples
15°	0.5	$\Delta AS = 13.3690 \exp(3.3811Rw)$	0.98997	$P < 0.001$	6
	2.0	$\Delta AS = 5.9768 \exp(1.6914Rw)$	0.91775	$P < 0.01$	8
	4.0	$\Delta AS = 3.9513 \exp(1.0623Rw)$	0.94386	$P < 0.001$	10
20°	0.5	$\Delta AS = 19.9014 + 5.5413 \ln Rw$	0.9511	$P < 0.001$	10
	2.0	$\Delta AS = 8.2275 + 2.1199 \ln Rw$	0.99594	$P < 0.001$	10
	4.0	$\Delta AS = 6.2866 + 1.7759 \ln Rw$	0.90518	$P < 0.01$	8
30°	0.5	$\Delta AS = 1.26724 + 17.2909Rw$	0.98745	$P < 0.001$	10
	2.0	$\Delta AS = 0.14635 + 12.0147Rw$	0.99436	$P < 0.001$	8
	4.0	$\Delta AS = 0.53051 + 6.2961Rw$	0.95539	$P < 0.001$	10

在坡度为 20° , 不同雨强条件下根系提高土壤抗冲性的效应曲线(图 5)说明, 草类根系强化土壤抵抗径流冲刷的作用具有非常明显的根密度范围, 当根密度为 $34-72$ 根/ 100cm^2 时, 根系对土壤抵抗 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 的暴雨产生的径流冲刷有明显增强作用, 当根密度为 $72-120$ 根/ 100cm^2 时, 根系对土壤抵抗 $2.0\text{mm}/\text{min}$ 的暴雨下的径流冲刷呈显著强化作用, 当根密度超过 166 根/ 100cm^2 时, 根系强化土壤抗冲性的效应达到极其显著的水平, 即根系对黄土区特大暴雨产生的径流冲刷具有巨大的抑制作用。这些在表 3 的实验结果中可以得到充分证明。

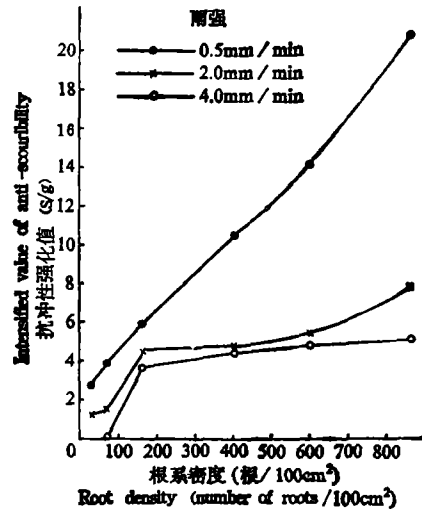


图 5 不同雨强下根系提高土壤抗冲性的效应曲线

Fig. 5 Effect curves of herb roots to increase soil anti-scourability under conditions of different rainfall intensify

参 考 文 献

- [1] 吴钦孝、李勇, 1990: 草本植物根系提高表层土壤抗冲刷力的实验研究, 水土保持学报, 第 4 卷 1 期, 11—16 页。
- [2] 李勇、吴钦孝等, 1990: 油松人工林根系对土壤抗冲性的增强效应, 水土保持学报, 第 4 卷 1 期, 1—5 页。
- [3] 李勇, 1990: 沙棘林根系强化土壤抗冲性的功能, 水土保持学报, 第 4 卷第 3 期, 15—20 页。
- [4] 蒋定生, 1979: 黄土区不同利用类型土壤抗冲能力的研究, 土壤通报, 第 4 期。
- [5] W. Bohm., 1979: Methods of studying root systems, Springer-verlag Berlin Heidelberg New York.

INTENSIFYING EFFECT OF HERB ROOTS ON SOIL ANTI-SCOURIBILITY

Li Yong, Xu Xiaoqin

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica, 550002)

Zhu Xianmo Tian Jiying

(Northwest Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Conservancy)

Summary

Based on the studies on the profile characteristics of root density, root weight and soil anti-scouribility, the sediment reduction effect of herb roots and the range of soil anti-scouribility increased by herb roots distributed in different soil layers are first quantitatively analyzed. The results obtained show that the intensified value of soil anti-scouribility by the roots was more closely correlated with the root density than with the root weight. Within top 20 cm soil layer, the effect of sediment reduction was not influenced by slope and rainfall intensity. This effect, however, was evidently weakened with the increase in profile depth. According to the comprehensive analyses of the effect curves of herb roots to increase soil antiscouribility and sediment reduction effects under conditions of different slopes (15°, 20° and 30°) and rainfall intensities (0.5, 2.0 and 4.0 mm/min), the density range and lower depth limit of herb roots to obviously increase soil anti-scouribility are proposed.

Key words Herb roots, Soil anti-scouribility, Intensified value of soil anti-scouribility, Sediment reduction effect