

DOI: 10.16239/j.cnki.0468-155x.2018.05.009

## 黄土缓坡耕地粟株不同生育期土壤的抗冲性特征

谢欣利<sup>1</sup>, 王计磊<sup>1</sup>, 路培<sup>1</sup>, 吴发启<sup>2</sup>

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 采用典型黄土, 基于原状土冲刷法, 测定并分析了粟株不同生育期土壤抗冲性变化特征及其与根系生长的关系。研究表明: 粟株各生育期土壤含沙量随冲刷时间延长逐渐降低, 除苗期外均在 3 min 后趋于平稳, 苗期在 9 min 后保持稳定, 且前 3 min 内苗期的流失量最大(5.92 g/L)。随着粟株生育期推进, 土壤抗冲指数及其增强效应呈现出先增强后减弱的趋势, 苗期均最弱, 分别为 1.19 min/g 和 0.59。各土层土壤抗冲指数与除根系平均直径以外的其他根系特征参数显著相关, 相关系数介于 0.64~0.91 之间, 其中根长是影响土壤抗冲性的主要因素。通过线性拟合进一步分析, 发现土壤抗冲性与根长 < 0.5 mm 指标相关最紧密。因此, 在缓坡耕地上种植粟株有利于增强土壤抗冲能力, 保持水土。

**关键词:** 坡耕地; 抗冲性; 粟株

**中图分类号:** S157.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0468-155X(2018)05-0052-06

土壤抗冲性是指土壤抵抗径流冲刷对其机械破坏<sup>[1]</sup>、推动下移的能力<sup>[2]</sup>, 朱显谟院士<sup>[2]</sup>把土壤抵抗径流侵蚀能力区分为抗蚀性和抗冲性, 明确提出黄土高原地区土壤侵蚀冲刷、流失同时发生<sup>[3,4]</sup>, 但是冲刷程度非常强烈, 很大程度上掩盖了流失强度<sup>[5]</sup>, 因此, “土壤抗冲性”是揭示黄土高原土壤侵蚀规律的关键性质<sup>[6]</sup>, 也是认知和评价缓坡耕地抗侵蚀特征变化的重要科学依据。目前人们的研究主要基于大坡度耕地情况下土壤抗冲性与影响因子的关系, 研究表明土壤抗冲性对坡度变化最敏感, 坡度增加, 土壤抗冲性减弱<sup>[7,9]</sup>。不同土层, 土壤抗冲指数随着大粒径水稳性团聚体含量增加而增大<sup>[8,10,11]</sup>。容重与土壤抗冲性正相关, 容重越大, 土壤抗冲能力越强<sup>[8]</sup>。不同机械组成影响土壤抗冲能力, 黏粒与土壤抗冲性呈正相关, 砂粒与土壤抗冲性呈负相关<sup>[12]</sup>。土地利用方式的种类也与土壤抗冲性紧密关联<sup>[13]</sup>。雷俊山<sup>[14]</sup>等提出了适用于平整坡面土壤抗冲性评价的薄层水流产沙模型。根系也是影响土壤抗冲性的重要因子, 有学者通过分析根重密度、根系表面积等根系参数与土壤抗冲性的关系, 发现植物根系的增加能够显著增强土壤抗冲性<sup>[15]</sup>, 其影响主要集中在根系密度较大的 30 cm 表层土壤<sup>[16]</sup>, 且根径 < 1 mm 的须根是关键因子<sup>[17]</sup>。Gyssels 将 RUSLE 与 WEPP 模型应用于研究草根对表层土壤抗冲性的作用, 发现农田 WEPP 模型比牧场 WEPP 模型对土壤抗冲性的预报更准确<sup>[18]</sup>。尽管前人在根系对土壤抗冲性的影响方面做了大量研究<sup>[19-21]</sup>, 但是关于整个生育期发展过程中缓坡耕地作物根系与土壤抗冲性的关系认识仍然薄弱。根据近年来对野外小区资料的统计调查, 在黄土高原地区存在大量 3~8° 的缓坡耕地<sup>[22,23]</sup>。基于以上原因, 本文以最广泛黄土为研究对象, 选择 5° 试验坡度, 研究了不同冲刷强度条件下, 缓坡耕地不同生育期土壤抗冲性变化特征与粟株根系的关系, 以期对黄土区坡耕地作物保持水土和农业经济可持续发展提供理论基础, 对改善区域生态环境有重大意义。

收稿日期: 2017-08-01

基金项目: 国家“973”重点基础研究项目(2007CB407201-5); 国家自然科学基金项目(41271288)

作者简介: 谢欣利(1994-), 女, 广西全州人, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀方面研究。E-mail: 314245657@qq.com

通讯作者: 吴发启。E-mail: wufaqi@263.com

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

研究区位于陕西省咸阳市杨凌高新技术产业示范区, 该区属于渭河流域关中平原, 海拔高度为 468 m, 东经  $107^{\circ}59' - 108^{\circ}08'$ , 北纬  $34^{\circ}14' - 34^{\circ}20'$ 。地处黄土高原南部边缘地带, 主要气候为大陆性季风型半湿润气候, 年降雨量大致在 635 ~ 646 mm 间变化, 区内 60% 降雨集中在 7 - 10 月, 且大多到暴雨, 平均气温常年为 12.9 °C。土壤为关中地区典型的黄土, 土壤基本物理化学性质见表 1。

表 1 试验地土壤基本物理化学性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil in study area

有机质 /(mg/kg)	速效磷 /(mg/kg)	速效钾 /(mg/kg)	碱解氮 /(mg/kg)	土壤机械组成/%			pH
				砂粒 >0.05 mm	粉粒 0.05 ~ 0.002 mm	黏粒 <0.002 mm	
1.25	8.52	126.31	47.68	9.25	67.44	23.21	7.85

粟株种植于西北农林科技大学资源环境学院水土保持工程实验室种植园, 其品种为晋谷 29, 种植行距为 20 cm, 株距为 10 cm, 即 50 万株/hm<sup>2</sup>, 等高种植, 条播。选用有机肥(腐熟羊粪和鸡粪)和磷酸钙作为底肥, 用量分别为 25 000 kg/hm<sup>2</sup> 和 1 000 kg/hm<sup>2</sup>, 其他管理措施均按照当地农耕习惯进行。

### 1.2 样品采集

分别在粟株苗期(8月16日-8月18日)、拔节前期(8月29日-8月31日)、拔节中期(9月7日-9月9日)、抽穗初期(9月15日-9月17日)和成熟期(9月24日-9月26日)采集样品。试验设立裸地为对照组, 含有根系土样与裸地土样均设 3 个重复。各生育期样品采集时, 在小区内的上部、中部、下部三个位置选定 3 株作物, 按 0 ~ 5 cm, 5 ~ 10 cm, 10 ~ 20 cm 的深度分层取样, 采用矩形环刀在距离粟株茎秆 5 cm 位置采集体积为 20 cm × 4 cm × 4 cm (长 × 宽 × 高) 的原状土, 用于土壤抗冲性分析。

### 1.3 测定项目及方法

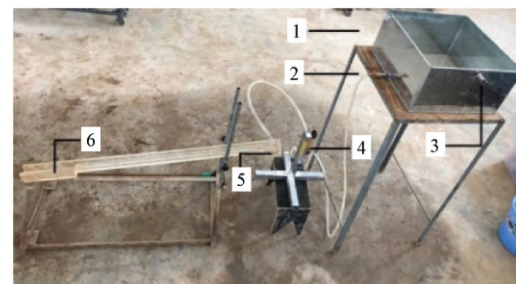
采用原状土冲刷法测定土壤抗冲性, 试验水槽(图 1)长 150 cm, 宽 4 cm。试验的冲刷坡度为 5°。冲刷流量是根据研究区在标准径流小区内, 暴雨雨强产生的最大径流量计算得出的单宽流量值, 即 1 L/min。在试验过程中通过外接水管向水箱连续供水, 使水箱水头高度保持不变; 通过转子流量计控制进入稳流室水流流量, 使径流量基本保持不变。在试验开始的前 3 min 内, 设计取样频率为每 1 min 一次, 之后频率为每 3 min 取一次样, 冲刷历时为 30 min。冲刷结束后, 加热干燥称量收集到的样品, 以记录不同时间段的土壤冲刷量。土壤抗冲能力用每冲刷掉 1 g 干土所需要的时间来表示, 即土壤抗冲指数(min/g)<sup>[8]</sup>。

在每轮冲刷试验结束以后, 重新收集样品, 反复冲洗得到粟株根系, 然后将其置于 WinRHIZO 根系系统分析仪进行分析, 来获得根系表面积、平均根径、根系体积等根系参数。最后晾干扫描后的根系, 放入 80 °C 干燥箱中烘 72 h, 用 1/10 000 电子天平称重。

本研究粟株根系对土壤抗冲性的增强效应用增强值(min/g)来表示, 计算公式为: 土壤抗冲性增强值 = 粟株地土壤抗冲指数 - 裸地对照土壤抗冲指数。

### 1.4 数据分析

三个重复试验数据以其平均值 ± 标准差的形式列于表中, 粟株不同生育期土壤抗冲性以及增强效应的差异显著性采用单因素方差分析和 LSD 法确定( $p < 0.05$ , 双尾), 粟株根系特征参数与土壤抗冲性



1 - 水箱; 2 - 调水开关; 3 - 供水开关; 4 - 流量计;  
5 - 稳流室; 6 - 放样室

图 1 土壤抗冲性试验装置示意

Fig. 1 Diagram of experimental facility for soil scour

的关系采用相关性与线性回归分析确定,参数显著水平为  $p < 0.05$  极显著水平为  $p < 0.01$ ,数据通过 IBM SPSS Statistics 21.0 统计软件分析。选用 Excel (2007) 进行图表制作与数据整理。

## 2 结果与分析

### 2.1 粟株不同生育期对产流产沙的变化

冲刷初期不同生育期土壤含沙量均较大且存在差异(图2),从高到低分别是苗期(5.92 g/L)、拔节前期(5.67 g/L)、拔节中期(3.94 g/L)、成熟期(3.89 g/L)、抽穗初期(1.91 g/L)。随着冲刷时间延长,不同生育期含沙量均呈现先急剧下降后趋于0的过程,拔节前期、拔节中期、抽穗初期和成熟期的含沙量均在3 min后急剧下降到较低水平,而苗期的含沙量在9 min后开始下降到较低平缓水平。

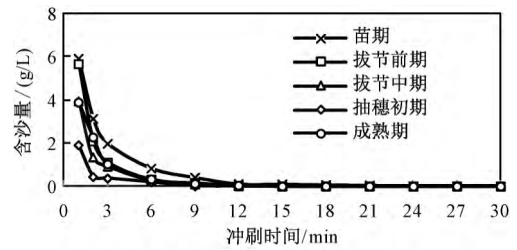


图2 粟株各生育期土壤冲刷过程中的含沙量变化过程

Fig.2 Processes of scour sediment concentration at growth stages of millet

### 2.2 粟株不同生育期土壤抗冲性特征

#### 2.2.1 抗冲性特征

如表2所示,对于同一土层,随着粟株的生长,土壤抗冲性逐渐强,于抽穗初期达到最大值。在0~5 cm土层和10~20 cm土层,土壤抗冲指数大小分别是苗期 < 拔节前期 < 拔节中期 < 抽穗初期,两土层后三个时期土壤抗冲指数的平均值是苗期平均值的5.88倍,抽穗初期-成熟期土壤抗冲性呈减弱趋势,但差异不显著。在5~10 cm土层,抽穗初期的土壤抗冲指数最大,分别是苗期、拔节前期、拔节中期和成熟期的6.49倍、1.81倍、1.13倍和1.09倍,且抽穗初期与其它生育期土壤抗冲性间差异达到显著水平。粟株苗期的土壤抗冲指数最小,其平均值为0.95 min/g,抽穗初期的土壤抗冲指数最大,其平均值为5.78 min/g,是苗期的6.15倍。拔节中期、抽穗初期和成熟期各土层的土壤抗冲指数均达到显著差异。

表2 粟株各生育期土壤抗冲性特征

Table 2 Characteristics of soil scouribility during growing stages of millet

土层/cm	苗期/(min/g)	拔节前期/(min/g)	拔节中期/(min/g)	抽穗初期/(min/g)	成熟期/(min/g)
0~5	1.19 ± 0.07aC	3.94 ± 0.36aB	6.72 ± 0.41aA	7.32 ± 0.24aA	7.17 ± 0.21aA
5~10	0.87 ± 0.11bD	3.12 ± 0.19abC	5.00 ± 0.39bB	5.65 ± 0.19bA	5.2 ± 0.20bB
10~20	0.78 ± 0.09bC	2.72 ± 0.59bB	3.93 ± 0.48cA	4.37 ± 0.27cA	4.03 ± 0.17cA

注:表中不同小写字母表示土层间在  $p < 0.05$  水平上差异显著,不同大写字母表示生育期间在  $p < 0.05$  水平上差异显著。

#### 2.2.2 粟株各生育期根系对土壤抗冲性的作用

在各生育期,粟株根系对土壤抗冲性的增强作用明显,但不同生育期对各土层的增强效益存在差异(图3),选择土壤中裸地作为对照,计算了粟株根系对土壤抗冲指数的增强值。其中,抽穗初期各土层粟株根系对土壤抗冲性的增强值最大,尤其是0~5 cm土层抽穗初期的粟株根系对土壤抗冲性增强效应最强,增强值达到了6.71,而10~20 cm土层苗期粟株根系的土壤抗冲性增强效应最弱,其增强值仅为0.16。在同一土层,苗期、拔节前期、拔节中期3个生育期之间根系对土壤抗冲性增强效应差异显著。0~5 cm和10~20 cm土层,拔节中期、抽穗初期、成熟期粟株根系对土壤抗冲性未达到显著差异水平,但均与其它生育期差异显著;5~10 cm土层,拔节中期、成熟期粟株根系对土壤抗冲性未达到显著差异水平,但与其它生育期均达到显著差异水平。

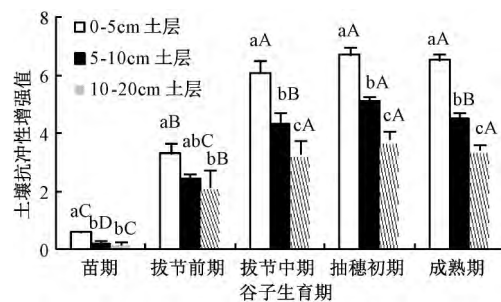


图3 各生育期粟株根系对土壤抗冲性的增强值

Fig.3 Enhancement rate of soil anti-scour ability by millet root system during growth stages

2.2.3 土壤抗冲性与根系特征参数的关系

由表 3 可知 在各个土层 粟株根系平均直径与土壤抗冲性未显著相关 而根重密度、根系体积和根系表面积与土壤抗冲性均极显著相关( $p < 0.01$ )。结果表明除 10 ~ 20 cm 土层外 各土层土壤抗冲性与各级根系长度间均极显著相关( $p < 0.01$ ) ; 在 10 ~ 20 cm 土层 土壤抗冲性仅与 <0.5 mm 直径级的根长极显著相关( $p < 0.01$ ) 而与大于 0.5 mm 以上的根系长度仅显著相关( $p < 0.05$ )。根径 <0.5 mm 的根长与土壤抗冲性的相关系数最大、相关性最强。土壤抗冲性与根长 <0.5 mm 呈极显著的线性关系(图 4) 其中根长 <0.5 mm 的  $R^2$  值为 0.952  $p < 0.0001$  ,进一步说明了 <0.5 mm 直径级的根长与土壤抗冲性相关性最强。

表 3 土壤抗冲性与粟株根系特征参数的相关性

Table 3 Relationship between soil scour ability and root parameters

土层 /cm	根重密度 $l(g/cm^3)$	根系平均直径 $l(cm/cm^3)$	根系体积 $l(cm^3/cm^3)$	根系表面积 $l(cm^2/cm^3)$	根长 $l(cm/cm^3)$			总根长
					<0.5 mm	0.5 ~ 1.0 mm	> 1.0 mm	
0 ~ 5	0.84 **	-0.37	0.64 **	0.81 **	0.88 **	0.87 **	0.70 **	0.90 **
5 ~ 10	0.86 **	-0.24	0.84 **	0.83 **	0.86 **	0.85 **	0.75 **	0.90 **
10 ~ 20	0.91 **	-0.48	0.70 **	0.87 **	0.83 **	0.63 *	0.54 *	0.85 **

注: \* 和 \*\* 分别表示显著相关和极显著相关。

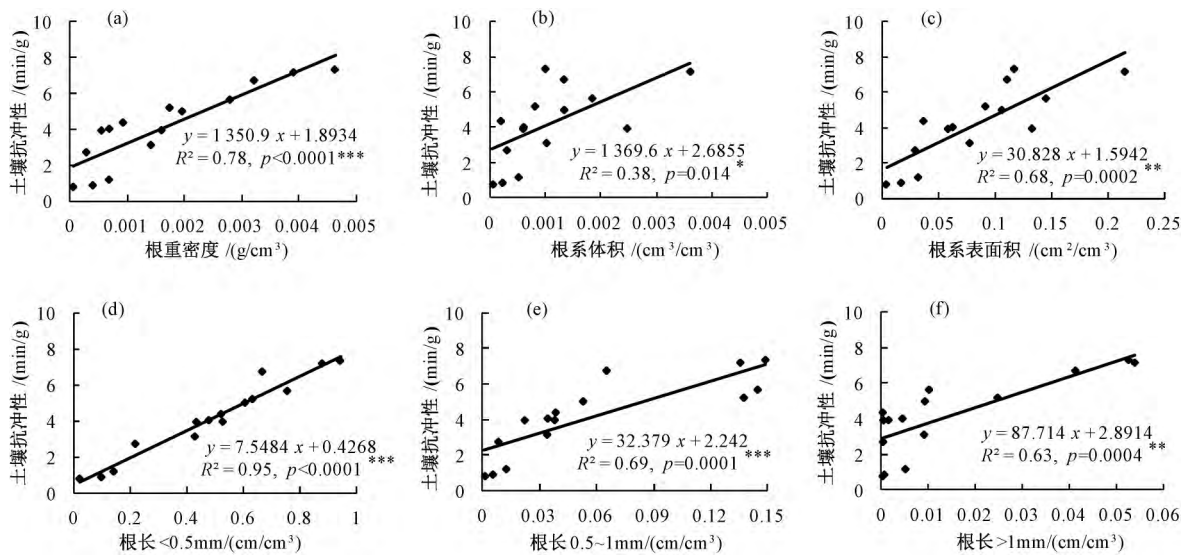


图 4 土壤抗冲性与根系特征参数的关系

Fig.4 Relationship between soil anti scour ability and root parameters

3 讨论

在 5° 坡度条件下 不同生育期含沙量随冲刷时间的变化趋势不同 苗期含沙量最大 且其它生育期含沙量趋于稳定的时间明显比苗期提前 这主要是由于随着粟株生长期的推进 根系含量增多 根系对土壤的胶结固定能力增强 土壤不易被冲刷搬运。

粟株季各生育期土壤在不同土层下苗期的土壤抗冲性最小 各土层土壤的平均抗冲指数为 0.95 min/g; 抽穗初期各土层土壤抗冲指数的均值增长至 5.78 min/g 高于王计磊等对大豆坡耕地土壤抗冲指数的研究成果(5.60 min/g) [24] 这可能是由于试验设置 如作物类型 坡耕地土壤、坡度等试验条件不同所致。从整体来看 土壤抗冲能力随着作物的生长发育 总体呈增强趋势 这与郑子成 [25]、刘国彬 [26] 等研究结果一致。这主要是因为苗期土壤结构尚未稳定 种子播种时会扰动土体; 而在作物生

长由灌浆抽穗转向成熟时,抽穗初期的抗冲能力最强,此时作物生长旺盛,土壤根系的有效密度<sup>[27]</sup>大,土壤已形成了良好稳定的土体结构。作物生长由盛转衰时,土壤抗冲能力略有减弱。

本研究中,土壤抗冲性与除了根系平均直径外的其它根系特征参数均极显著相关。通过函数拟合关系进一步分析,发现土壤抗冲性与 0~0.5 mm 根系成极显著相关,研究结果符合李勇等<sup>[28]</sup>的试验报道。这主要是因为根系在生长发育过程,小直径根系能够更好地穿过土壤间的孔隙,且小于 1 mm 根系纤维有一定的生物动力学功能,可以通过提高有机质和水稳性团聚体含量来增强土壤抗冲性,这与国内外关于植物根系在防止土壤抗冲性方面贡献显著的报道分析一致<sup>[29,30]</sup>。

#### 4 结论

黄土缓坡耕地粟株的种植有利于提高土壤抗冲能力,各生育期土壤抗冲性和增强效应均随生育期推进呈现逐渐增加的趋势,苗期最弱,在抽穗初期达到最大值。土壤抗冲指数与根重密度、根系体积和根系表面积均极显著相关( $p < 0.01$ ),与根系平均直径不相关。土壤抗冲性与根长关系密切,且随着根系长度分级的减小,各土层相关系数呈现逐渐增大的趋势,根径  $< 0.5$  mm 根长与土壤抗冲性关系最紧密。在黄土缓坡耕地上种植谷物,注重培育根系发达的粟株品种,对降低土壤侵蚀效应有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] De B S, Poesen J, Knapen A, et al. Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2010, 32(9): 1323-1345.
- [2] 唐克丽. 中国土壤侵蚀与水土保持学的特点及展望[J]. *水土保持研究*, 1999(2): 2-7.
- [3] 朱显谟, 雷文进, 刘朝端, 等. 甘肃中部土壤侵蚀调查报告[J]. *土壤专报*, 1958(32): 53-109.
- [4] 朱显谟. 我国十年来水土保持工作的成就[J]. *土壤*, 1959(10): 5-9.
- [5] 宋孝玉, 李永杰, 陈洪松, 等. 黄土沟壑区不同下垫面条件农田降雨入渗及产流规律野外试验研究[J]. *干旱地区农业研究*, 1998(4): 65-72.
- [6] 李强, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区冻融对土壤抗冲性及相关物理性质的影响[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(17): 105-112.
- [7] 杨玉梅. 不同土地利用方式下土壤抗蚀与抗冲性研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2010.
- [8] 史东梅, 陈晏. 紫色丘陵区农林混作模式的土壤抗冲性影响因素[J]. *中国农业科学*, 2008(5): 1400-1409.
- [9] 王丹丹, 张建军, 茹豪, 等. 晋西黄土高原不同地类土壤抗冲性研究[J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 28-32+38.
- [10] 李强, 刘国彬, 许明祥, 等. 黄土丘陵区撂荒地土壤抗冲性及相关理化性质[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(10): 153-159.
- [11] 郭明明, 王文龙, 史倩华, 等. 黄土高原沟壑区退耕地土壤抗冲性及其与影响因素的关系[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(10): 129-136.
- [12] 张素, 熊东红, 校亮, 等. 冲沟不同部位土壤机械组成及抗冲性差异[J]. *土壤*, 2016, 48(6): 1270-1276.
- [13] Xu M X, Zhao, et al. Identification of soil quality factors and indicators for the Loess Plateau of China [J]. *Soil Science*, 2006, 171(5): 400-413.
- [14] 雷俊山, 杨勤科. 坡面薄层水流侵蚀试验研究及土壤抗冲性评价[J]. *泥沙研究*, 2004(6): 22-26.
- [15] Shit P K, Maiti R. Effect of plant roots on soil anti-scourability of topsoil during concentrated flow [J]. *International Journal of Engineering*, 2012, 1: 1-7.
- [16] Wu W D, Zheng S Z, Lu Z H, et al. Effect of Plant Roots on Penetrability and Anti-Scourability of Red Soil Derived from Granite [J]. *Pedosphere*, 2000, 10(2): 183-188.
- [17] 杨玉梅, 郝子成, 李廷轩. 不同土地利用方式下土壤抗冲性动态变化特征及其影响因素[J]. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 64-68.
- [18] Baets S D, Poesen J, Gyssels G, et al. Effects of grass roots on the erodibility of topsoils during concentrated flow [J]. *Geomorphology*, 2006, 76(1-2): 54-67.
- [19] 李勇, 朱显谟, 田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. *科学通报*, 1991(12): 935-938.
- [20] Zhuang J, Zhang J C, Zhang B, et al. Relationship between plant system root and soil anti-scourability in the shangshe

- catchment , Dabie mountains of Anhui Province [J]. *Science of Soil & Water Conservation* ,2007 ,5( 6) :15 -20.
- [21] 宋坤 潘晓星 穆立蕾. 6 种草本植物根系土壤抗冲性[J]. *国土与自然资源研究* 2013( 3) :82 -83.
- [22] 吴发启 赵晓光 朱首军. 黄土高原南部侵蚀能量的产沙特征及其作用[J]. *水土保持学报* 2000( S1) :83 -86.
- [23] 吴发启 赵晓光 刘秉正. 缓坡耕地降雨、入渗对产流的影响分析[J]. *水土保持研究* 2000( 1) :12 -17 +37.
- [24] 王计磊 吴发启. 不同生长期大豆坡耕地土壤抗侵蚀能力特征[J]. *土壤学报* 2016 ,53( 6) :1389 -1398.
- [25] 郑子成 张锡洲 李廷轩 等. 玉米季土壤抗冲性变化特征及其影响因素分析[J]. *农业机械学报* 2014 ,45( 9) :180 -186.
- [26] 胡维银 刘国彬 许明祥. 黄土丘陵沟壑区小流域坡耕地土壤抗冲性试验研究[J]. *水土保持通报* 2000( 3) :26 -28.
- [27] 李勇 朱显谟 田积莹. 黄土高原植物根系提高土壤抗冲性的有效性[J]. *科学通报* ,1991( 12) :935 -938.
- [28] 李勇 徐晓琴 朱显谟 等. 植物根系与土壤抗冲性[J]. *水土保持学报* ,1993( 3) :11 -18.
- [29] 王库. 植物根系对土壤抗侵蚀能力的影响[J]. *土壤与环境* 2001( 3) :250 -252.
- [30] Gyssels G , Poesen J , Bochet E. Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: A review. *Progress in physical Geography* ,2005 ,29( 2) :189 -217.

## Soil anti-scourability of sloping farmland under millet cultivation relative to growth stages

XIE Xin-li<sup>1</sup> , WANG Ji-Lei<sup>1</sup> , LU Pei<sup>1</sup> , WU Fa-q<sup>2</sup>

(1. Institute of Soil and Water Conservation , Northwest A&F University , Yangling 712100 , China;

2. College of Resources and Environment , Northwest A&F University , Yangling 712100 , China)

**Abstract:** On the basis of washing experiment by undisturbed soil sample , soil anti-scourability variation characteristics and influencing factors were studied under millet cultivation. Characteristics of soil anti-scourability can be primely reflected by soil anti-scourability index , which was selected to evaluate soil anti-scourability. Soil anti-scourability index refers to runoff detach a gram of soil in a unit time ( g/min) . The effect of millet roots on enhancing soil erosion resistance was evaluated by measuring soil anti-scourability is improved by the root system at different growth stages of the crop. Results show that with the prolonging of scouring time , the sediment concentration at different growth stages of millet , decreased first and then gradually become a balanced developing state , the sediment concentration of seedling stage reaches the highest ( 5.92 g/L) in the first 3 minutes. Soil anti-scourability and its enhancement effect varied with the crop growing , showing a similar trend , soil anti-scourability index increased gradually from seedling stage to beginning heading stage , peaked at beginning heading stage , and then decreased to maturation stage , while seedling stage was the minimum. Soil anti-scourability positively correlated with root weight density , root volume , root surface area and total root length , also millet with <0.05 mm root system plays an important factor to affect the soil anti-scourability. Hence , planting millet on gentle slope land can enhance soil anti-scourability , and conserve water and soil.

**Key words:** slope farmland; soil anti-scourability; millet

( 责任编辑: 陈绪坚)