

基于微尺度下 DEM 的黄土坡耕地地表坑洼特征研究*

赵龙山 张青峰 宋向阳 吴发启[†]

(西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100)

STUDY OF CHARACTERISTICS OF SURFACE DEPRESSIONS IN FARMLAND ON
LOESS SLOPE BASED ON MICRO-DEMZhao Longshan Zhang Qingfeng Song Xiangyang Wu Faqi[†]

(College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

关键词 填注量; 地表糙度; 耕作措施; DEM; 黄土

中图分类号 S157 文献标识码 A

坑洼特征是坡耕地地表微形态的主要特征之一, 这一特征可以明显地增加土壤入渗量, 延缓地表径流产生时间^[1-2], 从而有效地减少坡面侵蚀量。在水力学上, 将这种坑洼的蓄水量称为填注量^[3]。吴发启等^[4]研究表明, 填注量具有强化土壤入渗, 提高雨水转化为土壤水的比率的作用。Darboux 等^[5-6]研究表明, 在降雨过程中, 地表填注量可以影响降雨径流的产生, 改变径流方向, 是一个重要的径流特征参数。Liu 等^[7]研究表明, 地表坑洼产生的水流阻力对坡面径流及泥沙输移有一定的影响, 而影响的大小与地表起伏有关。因此, 研究坡耕地填注量对于深入理解坡面水沙变化特征具有重要意义。但是, 对于坡面而言, 坑洼密度, 深度及表面积等空间分布特征都会对地表填注量产生影响。现有的研究只涉及填注量与土壤侵蚀方面的研究^[4-9], 缺乏对坑洼自身特征的研究, 从而影响人们深入理解地表填注量在坡面水沙变化过程中的作用。

鉴于此, 本研究以黄土区坡耕地常用的人工锄耕和人工掏挖等农业耕作措施为研究对象, 在利用

激光扫描与 GIS 技术模拟其微地形模型的基础上, 定量研究了耕作后坡面坑洼大小, 坑洼密度, 深度及表面积等特征, 以期为深入理解黄土坡耕地地表坑洼的空间特征及其在坡面水沙变化过程中的作用奠定基础。

1 试验与方法

1.1 试验设计

试验在中国科学院黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室降雨大厅进行。供试土壤为陕西杨凌坡耕地耕层土(0~20 cm), 土壤机械组成见表 1。

试验小区为 2m × 1m × 0.5 m 的侵蚀槽; 坡度设置为 5°、10°、15°、20°、25°; 模拟的耕作措施为人工锄耕和人工掏挖^[10]; 人工降雨雨强为 60、90 和 120mm h⁻¹, 降雨历时 90min。试验时间为 2009 年 5~9 月, 用 ArcGIS 软件(ESRI 公司, 9.3 版本)进行数据分析。

表 1 试验土壤颗粒组成特征

粒径 (mm)	<0.001	0.005~0.001	0.01~0.005	0.05~0.01	0.25~0.05	>0.25	物理性黏粒
机械组成 (%)	36.28	12.89	6.88	41.13	2.70	0.12	56.05

* 国家自然科学基金项目(40871133)、国家重点基础研究发展计划项目(2007CB407201)资助

† 通讯作者, E-mail: wufaqi@263.net

作者简介: 赵龙山(1985—), 男, 甘肃古浪人, 博士研究生, 主要从事土壤侵蚀与生态环境建设研究。E-mail: zls7759989@163.com

收稿日期: 2010-05-28; 收到修改稿日期: 2010-12-29

1.2 研究方法

1.2.1 地表微地形模型 用激光扫描仪(徕卡,垂直精度 ± 3 mm)测定坡面相对高程,每个坡面获得 3 480 个高程值。用 ArcGIS 软件建立不同耕作措施下坡面微地形空间分布的 DEM 图^[10],栅格大小为 0.002 m,每幅图投影面积为 1.34 m²。

1.2.2 坑洼特征测算 用 ArcGIS 软件计算坡面坑洼大小,单位为 m³。基本步骤为:(1)对初始数字高程模型(Digital Elevation Model,简称 DEM)进行洼地填充。(2)将初始 DEM 与填充后 DEM 叠加,计算坑洼大小。(3)填注量测算,具体过程见图 1。

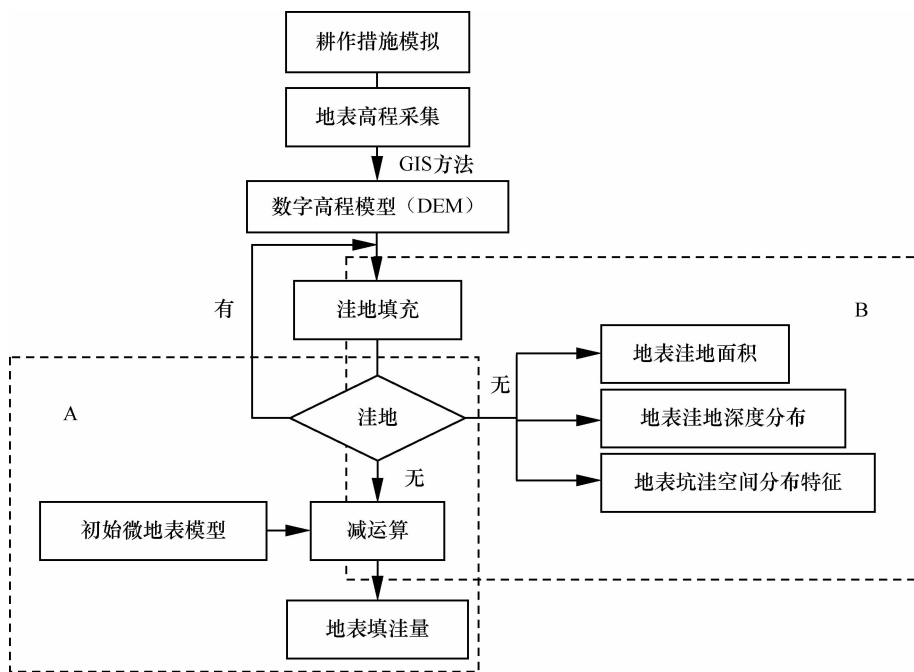


图 1 技术路线图(A:表示填注量的测算;B:表示地表坑洼特征的测算)

2 结果与分析

2.1 坡耕地地表坑洼大小分布规律

图 2 表示两种耕作措施下坡耕地地表坑洼大小分布规律。可以看出,坑洼大小主要分布在 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-4}$ m³ 之间。而对于人工锄耕和人工掏挖措施下地表坑洼大小的分布又有明显的区别,虽然人工锄耕措施下地表坑洼密度较人工掏挖坡面的大(见表 2),但是人工锄耕措施下地表坑洼总大小(总填注量)较人工掏挖措施的小;另一方面,人工掏挖坡面坑洼地大于 1×10^{-3} m³ 的坑洼个数较人工锄耕的多。

为了使研究结果更好地反映耕作后坡面坑洼特征,利用 ArcGIS 计算填注量时只选择体积大于或等于 1×10^{-6} m³ 的坑洼地进行研究。其他坑洼特征也利用 ArcGIS 软件来计算。径流强度是在小区出水口采集坡面径流量,推求径流强度^[11]。

另外,本研究中还利用覆膜法^[12]测定填注量,即将厚度为 0.005 mm 的农用地膜覆在地表,在小区顶部注水,同时记录注水量和小区出口出水量,二者差值除以水的密度(1×10^3 kg m⁻³)即为坡面总填注量。

2.2 不同耕作措施下坡耕地地表坑洼空间分布特征

由表 2 可以看出,不同耕作措施下坡耕地地表坑洼特征具有明显的差异。在 1.34 m² 的面积上,人工锄耕措施下地表坑洼密度为 356 个 m⁻²,而人工掏挖为 297 个 m⁻²,这样平均每 cm² 上人工锄耕较人工掏挖多 2.5 个坑洼地。

图 3 用深度值表示坑洼深度,值越小表示坑洼地深度越大。可以看出,人工锄耕和人工掏挖措施下地表坑洼地最大深度分别为 0.030 m 和 0.041 m,人工掏挖措施下地表坑洼地最深处较人工锄耕措施下的大 0.011 m。单就某一措施而言,随着坡度的增大,坑洼深度逐渐减小。从图 3a 至图 3e 中可以看出,当坡度为 5° 时,人工锄耕坡面的坑洼深

度最大,为 0.030 m,至 25°时其值增大为 0.021 m,人工掏挖坡面也表现为相似的趋势。同时还可以看出,坡度越大,图中斑点越小,即坑洼面积也随坡

度的增大在减小。这进一步说明了坡度越大、填洼量越小的原因。

表 2 不同耕作措施下坡耕地地表坑洼特征统计

耕作措施	小区面积 (m^2)	坑洼密度 (个 m^{-2})	坑洼深度 (m)	坑洼面积 (cm^2 小区 $^{-1}$)
人工锄耕	1.34	356	0~0.03	10.10
人工掏挖	1.34	297	0~0.04	7.60

注:表中数据为研究中生成 10 幅图计算的均值

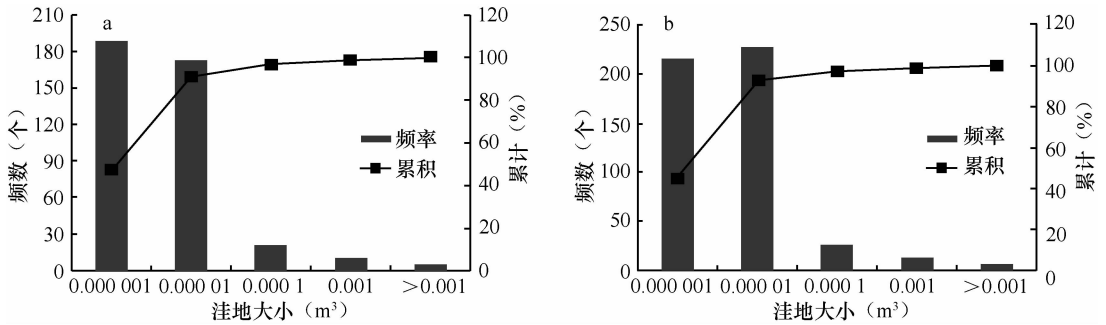


图 2 地表坑洼大小分布规律(a. 人工锄耕, b. 人工掏挖)

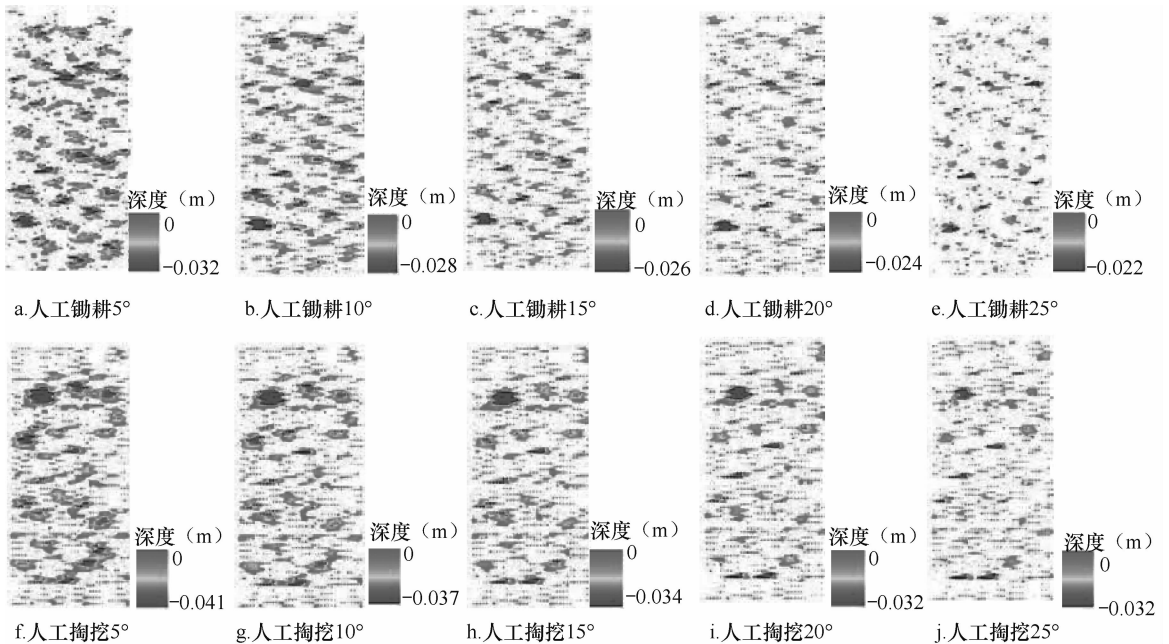
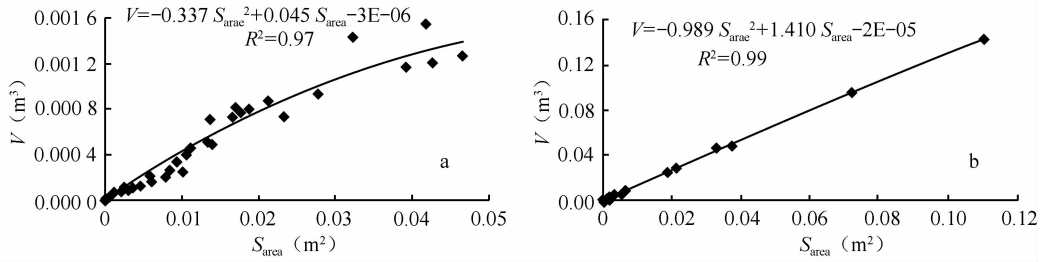


图 3 坡耕地地表坑洼空间分布特征

从图中还可以看出,地表坑洼空间分布比较随机,且平面投影形状基本形似“椭圆”。这可能与耕作时使用的农具有关,对于人工锄耕地而言,主要是模拟田间管理,而人工掏挖地主要是模拟夏闲地翻耕晾晒,故人工锄挖力度较人工锄耕的大,所以图中斑点较突出。

2.3 填洼量与坑洼表面积的关系

图 4 为坡面坑洼表面积与填洼量之间的关系。可以看出,坡面填洼量与坑洼表面积呈现一定正变函数关系,随坑洼表面积的增加,填洼量明显增大。二者之间的关系可以用二次函数描述。

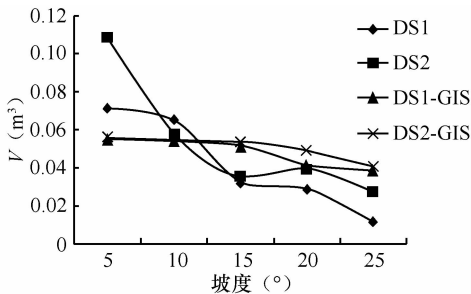


注: V 表示填注量, S_{area} 表示坑洼表面积

图4 填注量与坑洼表面积的关系(a. 人工锄耕, b. 人工掏挖)

2.4 填注量与坡度的关系

图5表示坡面总填注量随坡度的变化特征。可以看出,随着坡度的增大,人工锄耕和人工掏挖措施下坡面总填注量明显减小。这是由于随着坡度的增大,坡面坑洼深度和表面积等特征发生变化,从而使坡面蓄水能力减小。从图中还可以看出,利用覆膜法和 ArcGIS 软件测算的填注量随坡度的变化具有一定的差异。



注: DS1 和 DS2 表示人工锄耕和人工掏挖措施下坡面填注量,其值是通过覆膜法测得; DS1-GIS 和 DS2-GIS 表示通过 ArcGIS 软件计算的填注量

图5 总填注量随坡度的变化特征

表3是不同坡度下地表填注量变化特征。可以看出,随着坡度的增大,坡面总填注量的值逐渐变小。在人工锄耕措施下,5°坡面最大填注量为197.0 cm³,至25°坡面填注量减小为52.00 cm³,相对于5°坡面减小了73.60%;同样人工掏挖措施下也是5°坡面的填注量最大,25°时最小,较5°坡面减小了28.12%。由于研究中只考虑填注量大于1.00 cm³的坑洼地,故表2中除人工锄耕措施下5°坡面外的其他措施下填注量的最小值均为1.00 cm³;而最大值和均值都表现为随坡度的增大逐渐减小的趋势。此外,在各个坡度条件下,人工锄耕坡面填注量的均值和变异系数较人工掏挖下大,这说明人工锄耕措施下坡面坑洼特征差异较大。

表3 不同坡度下地表填注量变化特征

耕作措施	统计量	5°	10°	15°	20°	25°
人工锄耕	最大值(cm ³)	4 300	4 001	3 924	3 580	3 505
	最小值(cm ³)	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	均值(cm ³)	197.0	132.0	79.00	65.00	52.00
	变异系数(%)	27.05	24.23	40.00	24.29	25.75
人工掏挖	最大值(cm ³)	7 892	4 364	3 527	3 434	3 280
	最小值(cm ³)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	均值(cm ³)	64.00	60.00	59.00	54.00	46.00
	变异系数(%)	15.87	20.38	22.18	23.17	23.11

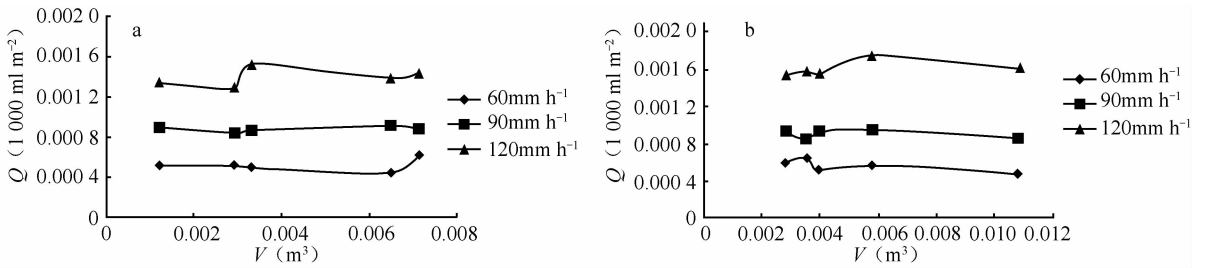
2.5 填注量对地表径流的影响

图6为不同雨强条件下,人工锄耕和人工掏挖措施下坡面填注量与径流强度的关系。可以看出,在降雨强度分别为60、90和120 mm h⁻¹的条件下,人工锄耕和人工掏挖措施下坡面径流强度具有相似的趋势,即雨强越大,坡面径流强度也越大;坡面填注量大小对径流强度的影响不明显。

3 结论

在人工锄耕和人工掏挖措施下,坑洼地空间分布比较随机,且平面投影形状基本形似椭圆,坑洼大小主要分布在1.00 × 10⁻⁵ ~ 1.00 × 10⁻⁴ m³之间。坡面最小坑洼为4.30 × 10⁻² m³,最大不足1.00 × 10⁻¹ m³,均值分布在5.20 × 10⁻⁴ ~ 1.97 × 10⁻³ m³之间。

随着坡度的增大,坡面坑洼体积的大小明显减小。这是由于随着坡度的增大,地表相对高程在不同比例的变化,进而使地表坑洼面积与坑洼深度均在减小。利用覆膜法和 ArcGIS 软件测算的填注量随坡度的变化具有一定的差异。



注: Q 表示径流强度, V 表示填注量

图6 填注量与坡面径流强度之间的关系(a. 人工锄耕, b. 人工掏挖)

填注量与坑洼深度和坑洼表面积密切相关,随坑洼深度,坑洼表面积的增大,坡面填注量也增大,呈抛物线关系。

王健等^[11]研究表明在 30、60 和 90 mm h^{-1} 的降雨强度下,随着坡度的增大,径流强度逐渐减小,但是在本研究中并未得出相似的结论。研究表明,在雨强分别为 60、90 和 120 mm h^{-1} 的条件下,径流强度大小依次为 $Q_{60} < Q_{90} < Q_{120}$,而其随填注量大小的变化不明显。

参考文献

- [1] 王健,吴发启,孟秦倩. 农业耕作措施蓄水保土效益试验研究. 水土保持通报, 2004, 24(5):39—41
- [2] 王健,吴发启,孟秦倩. 农业耕作措施蓄水保土机理分析. 中国水土保持, 2005, 2:10—12
- [3] 芮孝芳. 水文学原理. 北京:中国水利水电出版社,2005
- [4] 吴发启,赵西宁,崔卫芳. 坡耕地耕作管理措施对降雨入渗的影响. 水土保持学报, 2003, 17(3):115—117
- [5] Darboux F, Davy P, Gascuel-Odoux C. Effect of depression stor-

age capacity on overland flow generation for rough horizontal surfaces: Water transfer distance and scaling. Earth Surface Processes and Landforms, 2002, 27:177—191

- [6] Darboux F, Gascuel-Odoux C, Davy P. Effects of surface water storage by soil roughness on overland-flow generation. Earth Surface Processes and Landforms, 2002, 27:223—233
- [7] Liu Q, Singh V P. Effect of microtopography, slope length and gradient, and vegetative cover on overland flow through simulation. Journal of Hydrologic Engineering, 2004, 9: 375—382
- [8] Martin Y, Valeo C, Tait M. Centimetre-scale digital representations of terrain and impacts on depression storage and runoff. Catena, 2008, 75:223—233
- [9] Kamphorst E C, Jetten V, Guerif J, et al. Predicting depression storage from soil surface roughness. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1 749—1 758
- [10] 赵龙山,张青峰,吴发启,等. 基于 GIS 的坡耕地数字高程模型的建立与应用. 农业工程学报, 2010, 26(11):317—322
- [11] 王健,孟秦倩,庄需印,等. 黄土高原人工锄耕地坡面填注量特征. 节水灌溉, 2008, 8:23—25
- [12] 郭建华,吴发启,梁心蓝,等. 坡耕地地表糙度对降雨分配的试验研究. 水土保持研究, 2008, 15(3): 11—15