

渭北旱塬垃圾堆积降雨侵蚀试验研究

陈见影¹, 来凤兵², 常占怀³

(1. 黔南民族师范学院, 贵州 都匀 588000; 2. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 3. 陕西省水土保持勘测规划研究所, 陕西 西安 710199)

摘要: [目的] 研究渭北旱塬垃圾堆积降雨侵蚀过程及机理, 为渭北旱塬垃圾堆积降雨侵蚀防治提供科学依据。[方法] 基于人工模拟降雨试验, 设计了 2 个降雨强度(1.2 和 2.0 mm/min)以及 2 个垃圾堆积类型(即垃圾堆积成斜坡, 无侵蚀发生地表上的垃圾堆), 进行 2 个垃圾堆积类型和裸露的撂荒坡降雨侵蚀过程的对比研究。[结果] 当降雨强度 $I=1.2$ mm/min, 垃圾堆积成斜坡的侵蚀产沙总量为 117.94 kg, 撂荒坡的侵蚀产沙量为 10.86 kg, 垃圾堆积成斜坡比撂荒坡的侵蚀产沙总量为 107.08 kg; 当降雨强度 $I=2.0$ mm/min, 垃圾堆积成斜坡比撂荒坡的侵蚀产沙总量多出 225.72 kg, 而倾倒在无侵蚀发生地表上的垃圾堆积侵蚀产沙量相对较少; 对垃圾堆积坡面径流的侵蚀能量(E)及侵蚀能量消耗($E_{启动泥沙}$ 、 $E_{搬运泥沙}$)、含沙水流作用于底床上的拖曳力(F)分析得出, 垃圾堆积与下垫面形成了缝隙或软弱面, 从而导致坡面径流, 降低了启动松散垃圾堆积泥沙颗粒所消耗的能量, 坡面径流的侵蚀能量(E)主要消耗在搬运输移垃圾堆积颗粒。[结论] 含有垃圾颗粒物质水流将维持较高流速, 含有垃圾颗粒物质水流因其产生较强的拖曳力加剧了细沟侵蚀。

关键词: 垃圾堆积; 产沙量; 降雨侵蚀试验; 渭北旱塬

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)04-0216-04

中图分类号: F301

文献参数: 陈见影, 来凤兵, 常占怀. 渭北旱塬垃圾堆积降雨侵蚀试验研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(4): 216-219. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.04.038

Rainfall-simulated Erosion and Sediment Yield of Rubbish-dump in Dry Upland of Northern Weihe River

CHEN Jianying¹, LAI Fengbing², CHANG Zhanhuai³

(1. Qiannan Normal College for Nationalities, Duyun, Guizhou 588000, China;

2. College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062,

China; 3. Shaanxi Provincial Institute of Soil and Water Conservation Exploration, Xi'an, Shaanxi 710199, China)

Abstract: [Objective] The process and mechanism of erosion and sediment yield of rubbish-dump in dry upland of Northern Weihe river were illustrated to provide scientific bases for the prevention and control of rainfall erosion on rubbish-dump. [Methods] Experiments of erosion and sediment yield were conducted on rubbish dumps with two slope gradients (steep slope and tiled dump) and rainfall simulation intensities (1.2 and 2.0 mm/m). [Results] When rainfall intensity I was at 1.2 mm/min, the sediment yield on the steep slope dump was 117.94 kg, an increment of 107.08 kg was observed in comparison with the one on tiled dump of 10.86 kg. When rainfall intensity was at 2.0 mm/m, the sediment yield on steep slope dump got an increment of 225.72 kg in comparison with the one on tiled dump. The energy of erosion (E), including the consume energy ($E_{startup\ sediment}$, $E_{move\ sediment}$), and the dragging resistance at bottom plate (F) were elucidated: The existed space and soft layer between rubbish-dump and the original landform below it can reduce the E start up sediment, the energy of erosion (E) was mainly consumed by moving sediment. [Conclusion] The current with the sediment yield will keep a high speed and a strong dragging force from bottom plate (F). As a result, rill erosion was strengthened.

收稿日期: 2015-07-05

修回日期: 2015-09-16

资助项目: “贵州省科技厅联合基金项目“农民贫困分析及劳动力转移研究”(黔科合 LH 字[2014]7444)

第一作者: 陈见影(1969—), 女(汉族), 陕西省西安市人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持方面的研究工作。E-mail: xjsfdxcjy123@163.com。

Keywords: rubbish-dumped; the sediment yield; an experiment by field simulated rainfall; dry upland to Northern Weihe river

渭北旱塬黄土高原沟壑区在原已十分严重的水蚀风蚀基础上,又叠加了人类活动影响,使生态环境更加脆弱。根据实地调查发现,渭北旱塬黄土高原沟壑区无垃圾集中收集清运设施,人们已形成随意倾倒垃圾习惯。然而随意倾倒的垃圾大多堆积在坡麓地带或直接倾倒在谷坡、河漫滩上,增加了侵蚀产沙固体物源,成为新的侵蚀产沙源地,在强降雨条件下,势必导致严重的水土流失。随着社会经济的发展,生活水平的提高,产生的生活、生产垃圾日益增加,垃圾随意堆积在沟谷中不仅影响环境景观,污染水环境,更重要的是加剧了水土流失。在渭北旱塬黄土高原沟壑区小流域制定科学的垃圾处置方案并在建设过程中同步实施,是衡量规划建设水平的重要指标。在渭北旱塬黄土高原沟壑区垃圾堆积降雨侵蚀已是侵蚀产沙的主要来源之一。目前关于垃圾堆积降雨侵蚀产沙的研究很少^[1-5]。本研究选择渭北旱塬秦庄沟小流域为例,在野外人工模拟降雨的基础上,对垃圾堆积降雨侵蚀产沙进行分析,以期对垃圾堆积降雨侵蚀过程有所认识,在渭北旱塬黄土高原沟壑区,人们应摒弃随意倾倒垃圾习惯,减少由垃圾堆积而形成的侵蚀产沙固体物源。

1 垃圾堆积的类型

根据在不同的原始地貌上随意倾倒垃圾所形成垃圾堆积形态,在野外调查的基础上,将垃圾堆积分为4种类型:(1)新生斜坡堆积型。垃圾倾倒在无侵蚀发生的平缓地表上堆积形成了侵蚀地貌形态,为垆岗低丘垃圾堆积形态。该类型主要是分布在原始地貌为高阶地、洪积平原、河漫滩上的垃圾堆积。(2)新生陡坡堆积型。垃圾倾倒在斜坡上,垃圾顺坡自然泻溜,垃圾堆积使原始斜坡坡度增加到 $24\sim 38^\circ$ 之间,坡度变陡,与岩石的休止角大体相等。该类型主要发生在河岸两侧、山坡及坡麓地带以及堆积在坡腰的片状垃圾堆积。(3)新生台地堆积型。在削平顶部的塬、梁、峁,将松散垃圾长期堆积在四周以扩大塬、梁、峁整平地面面积而形成台状垃圾堆积地貌。(4)低洼地叠加堆积型。垃圾倾倒在一些冲沟或地形较低洼处,由于长期堆积填平一些凹形地表。冲沟、切沟及凹形斜坡均是汇水、排水的通道,在原始下垫面与垃圾形成的松散堆积物之间形成软弱层面,该软弱层面成为降雨冲刷侵蚀的对象。这4种垃圾堆积地貌,是由于渭北旱塬黄土高原沟壑区当地村民随意倾倒生产生活垃圾形成的不稳定地表形态。随着

人口不断增加,生活水平不断提高,生产垃圾量也日益增加,当地村民随意倾倒而不加治理的垃圾堆积对人民健康危害性极大。同时,松散的垃圾堆积物极易受降雨、大风的影响,从而造成剧烈的人为水土流失。

2 人工模拟垃圾堆积降雨侵蚀试验

2.1 试验地点

通过以上分析,垃圾堆积形成的地貌形态都具有较陡的松散边坡,根据边坡最易遭受降雨侵蚀的实际情况,选定降雨侵蚀试验主要是测试垃圾堆积斜坡。试验地点选在陕西省淳化县秦庄沟流域,该小流域属于渭北旱塬黄土高原沟壑区,位于陕西省淳化县县城东南15 km处,地理位置界于北纬 $34^\circ 47' 30''\sim 34^\circ 52' 0''$,东经 $108^\circ 39' 0''\sim 108^\circ 43' 30''$,总面积 48.28 km^2 。当地气候为暖温带半干旱气候,年平均气温为 $10.4\text{ }^\circ\text{C}$,多年平均降水量为 610 mm ,降雨多集中在7,8,9这3个月份且多以暴雨形式出现。农业土壤主要是以黄土为母质的黄土性土壤,主要包括褐土、黄绵土和黑垆土等,水土流失较严重,沟壑密度在 $5.55\sim 5.81\text{ km/km}^2$,侵蚀模数达 $3\ 000\sim 6\ 000\text{ t/km}^2$ 。该小流域涉及方里、秦庄2个乡,共有16个行政村33个自然村,总人口13 131人,人口密度 366 人/km^2 。据卫生部调查统计,以农村每天每人生活垃圾量为 0.86 kg 计算,秦庄沟流域日均生产垃圾总量为 11.29 t ,每年垃圾总量为 $4\ 121.82\text{ t}$ 。秦庄沟流域目前无垃圾集中清运处理措施,垃圾随意倾倒在原本水土流失较严重的区域,每年有 $4\ 121.82\text{ t}$ 垃圾堆积更加剧了水土流失。

2.2 试验降雨装置设计

模拟降雨装置设计。模拟降雨装置:采用2个侧喷式单喷头。喷头孔板规格分别为9和13 mm,降雨量为50 mm,试验小区为喷头孔板叠加雨区。模拟降雨装置设计雨滴喷高 $h=1.5\text{ m}$,雨滴动能约等于天然降雨的雨滴动能,95%雨滴达到水样天然降雨的终点速度^[3-5]。模拟降雨观测垃圾堆积坡面侵蚀发育情况,降雨产流后每隔3 min收集坡面径流样品进行分析。

2.3 垃圾堆积降雨侵蚀试验

经过分析研究,垃圾堆积降雨侵蚀试验选择以下类型:顺坡倾倒形成的垃圾堆积,倾倒在无侵蚀发生的地表上的垃圾堆积,对比试验。3组试验小区均按 $1.5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 布置。

(1) 顺坡倾倒形成的垃圾堆积。顺坡倾倒使松散的垃圾顺坡自然泻溜,实测表面坡度 $32^{\circ}\sim 33^{\circ}$ 。其表面坡度同沙质黄土的休止角相近。垃圾堆积厚度 $40\sim 60$ cm。(2) 倾倒在无侵蚀发生的地表上的垃圾堆积。垃圾堆积成锥形,锥体底面积直径为 $90\sim 130$ cm,高度为 $50\sim 60$ cm,锥体基底坡度为 $5^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 。

(3) 对比试验。将裸露的撂荒坡选作试验对比坡。

试验用垃圾堆积物取自秦庄乡周边当地村民随意倾倒在坡面和阶地上的垃圾堆积。采集时充分破坏原始地层的土层结构,剔除树木杂草的腐根、结块等杂物,将垃圾堆积物与下垫面土搅拌均匀。试验用垃圾堆积物的粒径组成详见表 1。

表 1 垃圾堆积物粒度组成

垃圾堆积物 获取地点	垃圾土容重/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	垃圾土 含水量/%	各粒径颗粒含量/%				
			1~0.25 mm	0.25~0.05 mm	0.05~0.025 mm	0.025~0.005 mm	<0.005 mm
秦庄乡黄土坡	1.24	8.43	6.28	51.76	11.74	13.48	16.74
秦庄沟一级阶地	1.05	10.05	1.84	41.42	20.84	15.92	19.98

3 试验结果分析

3.1 降雨侵蚀分析

通过试验证明,在大雨或暴雨条件下,下垫面不同的侵蚀产沙量不同,且随着降雨强度增大,垃圾堆积成斜坡、垃圾堆积成锥形、撂荒坡的侵蚀产沙量也随之增加(表 2)。降雨强度 I 由 1.2 增至 2.0 mm/min 时,垃圾堆积成斜坡、垃圾堆积成锥形、撂荒坡的侵蚀产沙量分别增加了 127.9, 2.87, 9.26 kg。其中,当降雨强度为 1.2 mm/min,垃圾堆积成斜坡的侵蚀产沙总量为 117.94 kg,撂荒坡的侵蚀产沙量为 10.86 kg,垃圾堆积成斜坡比撂荒坡的侵蚀产沙总量多出

107.08 kg;当降雨强度为 2.0 mm/min,垃圾堆积成斜坡比撂荒坡的侵蚀产沙总量多出 225.72 kg。由此可知,降雨强度愈大,垃圾堆积成斜坡造成的水土流失就愈严重。

在上述 2 种雨强下,倾倒在无侵蚀发生的地表上的垃圾堆积成锥形的侵蚀产沙量分别为 7.48 和 10.35 kg,比垃圾堆积成斜坡的侵蚀产沙少。这是由于垃圾堆积成锥形与地表坡度小,侵蚀发生方式以雨滴溅蚀和片蚀为主,侵蚀较轻,况且侵蚀下来的泥沙在短距离输移过程中同时发生沉积或输移滞后。所以倾倒在无侵蚀发生的地表上的垃圾堆积成锥形侵蚀产沙较少。

表 2 试验地侵蚀产沙量统计

垃圾堆积类型	坡度及基底 坡度/ $(^{\circ})$	降雨强度/ ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)	降雨量/mm	径流平均含沙量/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	侵蚀产沙量/ kg
垃圾堆积成斜坡	32~33	1.2	50.2	552.08	117.94
垃圾堆积成锥形	5~6	1.2	50.2	50.86	7.48
撂荒坡	30	1.2	50.2	89.48	10.86
垃圾堆积成斜坡	32~33	2.0	50.0	869.96	245.84
垃圾堆积成锥形	5~6	2.0	50.0	56.92	10.35
撂荒坡	30	2.0	50.0	118.76	20.12

3.2 侵蚀产沙过程分析

降雨强度不同,侵蚀产沙过程也有差异。由图 1—2 所示,垃圾堆积成斜坡与撂荒坡的侵蚀产沙过程线都是波动型,且垃圾堆积成斜坡比撂荒坡提前发生产流。

当降雨强度为 1.2 mm/min,降雨历时为 16.5 min 时,垃圾堆积成斜坡坡面侵蚀产沙量达到峰值,该降雨时段坡面径流含沙量达 $896.86\text{ kg}/\text{m}^3$;而撂荒坡降雨历时为 20.5 min 时,坡面侵蚀产沙量达到峰值,该降雨时段坡面径流含沙量达 $103.03\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

撂荒坡坡面侵蚀产沙量达到峰值比垃圾堆积成斜坡所需降雨历时推后 4 min 左右。在此之后,降雨历时为 31.5 min 时,垃圾堆积成斜坡坡面侵蚀产沙量出现次峰值,在 35 min 时裸荒坡地的侵蚀产沙量出现次峰值。当降雨强度为 2.0 mm/min,垃圾堆积成斜坡与撂荒坡的侵蚀产沙呈现持续增大的趋势。在整个侵蚀产沙试验中虽然出现坡面径流含沙量降低过程,然而由于表层土层逐渐趋于湿润饱和,阻滞降雨入渗,水分下渗减弱,水分转而形成坡面径流,从而坡面径流量增大,导致坡面产沙量仍持续增加。

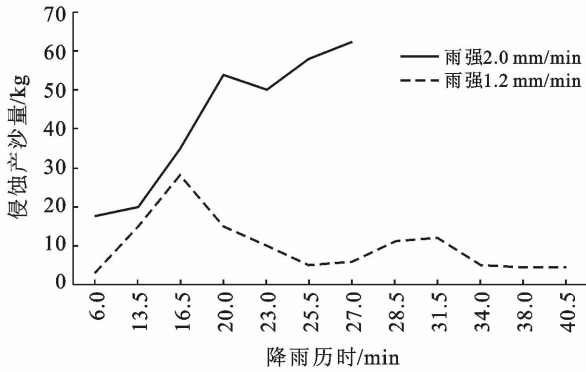


图 1 垃圾堆积成斜坡侵蚀产沙过程

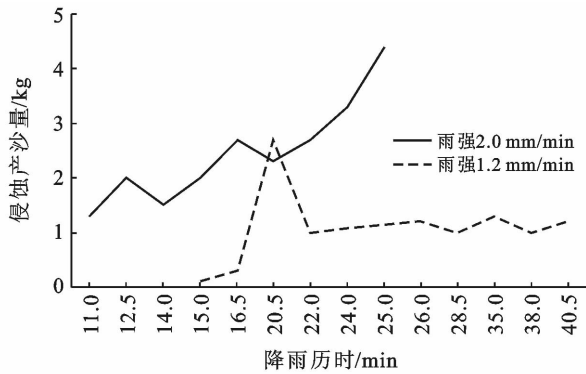


图 2 裸荒坡地侵蚀产沙过程

3.3 坡面侵蚀方式分析

坡面侵蚀过程:降雨—雨滴侵蚀—产流—片流—片蚀;坡面片流汇集—散流—细沟和浅沟侵蚀—重力侵蚀和潜蚀—谷底散流—沟道水流—沟道侵蚀。在每小时降雨量 16 mm 以上、或连续 12 h 降雨量 30 mm 以上,24 h 降水量为 50 mm 或以上,且降雨历时不长的暴雨情况下,黄土区坡面侵蚀仍以片蚀和面蚀为主,沟蚀量较小。通过试验过程的观测,降水均匀下渗,坡面无径流汇聚,形成少量纹沟和细沟。基于上述情况,坡面径流的侵蚀能量(E)公式为^[6]:

$$E = \frac{1}{2} \rho g t \varphi I L \sin 2\theta$$

式中: ρ ——水体密度; g ——重力加速度; t ——径流作用时间; φ ——径流系数; I ——降雨强度; L ——流线长度; θ ——地面坡度。

坡面径流的侵蚀能量(E)消耗公式为:

$$E = E_{\text{启动泥沙}} + E_{\text{搬运泥沙}}$$

垃圾堆积形成的斜坡,其松散堆积颗粒处于极不平衡状态。垃圾堆积破坏了土层结构,与团聚状的土体之间形成缝隙或软弱面,经降雨发生坡面片流汇集—散流—细沟侵蚀。根据坡面径流的侵蚀能量(E)消耗公式,因为垃圾堆积与下垫面形成了缝隙或软弱面,从而导致坡面径流降低了启动松散垃圾堆积

泥沙颗粒所消耗的能量,从而坡面径流的侵蚀能量(E)主要消耗在搬运输移垃圾堆积颗粒。

当降雨强度为 1.2 mm/min 时,垃圾堆积成斜坡的坡面径流平均含沙量为 552.08 kg/m³;当降雨强度 $I=2.0$ mm/min,垃圾堆积成斜坡的坡面径流平均含沙量 869.96 kg/m³,已属高含沙水流的范畴。

含沙水流作用于底床上的拖曳力 F 公式为^[7]:

$$F = r_m H J$$

式中: F ——含沙水流作用于底床上的拖曳力; r_m ——水沙混合体容重; H ——水深; J ——坡降。

由于降水在垃圾堆积斜坡形成的坡面径流含有大量垃圾颗粒物质,其容重远远大于在撂荒坡面径流的容重。因此,当黄土区降雨发生时,在垃圾堆积斜坡形成坡面径流产生的拖曳力远大于撂荒坡形成坡面径流产生的拖曳力。进而,在斜坡上垃圾堆积,因其逐层松散堆积致使斜坡比降较大,导致阻力较小或损失,故含有垃圾颗粒物质水流将维持较高流速。因此,在细沟发育过程中,含有垃圾颗粒物质水流因其产生较强的拖曳力加剧了细沟侵蚀。在垃圾堆积斜坡上发育的侵蚀形态是下垫面对降雨和坡面径流作用的响应,由于垃圾堆积破坏了原始土层结构,下垫面的稳定性降低和抗蚀性减弱,在垃圾堆积斜坡上发育的侵蚀形态由溅蚀和片蚀迅速转化为以沟蚀为主导过程。根据在秦庄沟实地探踏发现,秦庄沟流域日均生产垃圾总量为 11.29 t,其中,80% 的人们随意倾倒垃圾在沟沿线上方区域,垃圾顺坡自然泻溜,堆积形成斜坡的坡角接近休止角,垃圾松散物颗粒堆积形成不稳定地表形态,强降雨条件下,发生强烈细沟侵蚀,进而将引发溯源侵蚀发生。

4 结论

生活在黄土高原沟壑区的人们已形成随意倾倒垃圾习惯。随着生活水平的提高,生产和生活垃圾总量增加,随意倾倒垃圾日渐形成垃圾堆积地貌。垃圾堆积降雨侵蚀已是侵蚀产沙的主要来源之一。土层结构由于垃圾堆积遭受破坏,垃圾逐年松散堆积坡面的坡度增加,地表坡度变陡,稳定性差,易发生侵蚀。通过试验,在短历时、高强度暴雨暴雨侵蚀下,垃圾堆积陡坡的侵蚀产沙量是裸荒坡地侵蚀量的 10.86~12.22 倍。由于随意倾倒垃圾形成垃圾堆积地貌易发生降雨侵蚀,这将对黄土高原沟壑区生态环境及人们健康构成威胁。因此,在防治方面应采取个人分类、村收集、县清运有效治理措施。同时,在渭北旱塬黄土高原沟壑区小流域制定科学的垃圾处置方案并在建设过程中同步实施,是衡量规划建设水平的重要指标。

(下转第 226 页)

1994—1999年,山东省耕地压力指数 K 出现了比较明显的下降;2000—2004年,该阶段耕地压力指数 K 呈现出逐年上升趋势;2005—2009年 K 进入了一个新的平稳下降周期;2010—2014年,耕地压力指数 K 又进入新一轮的周期性上升,且引起每一阶段变化的因素各不相同。

(3) 未来 10 a 山东省粮食产量、年末人口总数呈增加的态势,而耕地面积、人均耕地面积 S_a 、最小人均耕地面积 S_{\min} 和耕地压力指数 K 均呈现出降低趋势,且除 2015、2016 年外,其他年份的实际人均耕地面积 S_a 均大于最小人均耕地面积 S_{\min} ,表明耕地生产力的供给水平高于粮食消费水平,粮食生产与供给都处于安全状态。

[参 考 文 献]

- [1] 刘彦随,翟荣新. 中国粮食生产时空格局及其优化策略探析[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(1): 1-16.
- [2] 殷培红,方修琦,马玉玲,等. 21 世纪初我国粮食供需的新空间格局[J]. 自然资源学报, 2006, 21(4): 625-631.
- [3] FAO. 世界粮食不安全状况(2014)[R]. FAO, 2015.
- [4] 世界粮食规划署. 2013 年全球粮食安全指数报告[R]. 世界粮食规划署, 2014.
- [5] 李福夺,杨兴洪. 山东省农业旱灾恢复力评估研究: 基于

社会受灾体的脆弱性与恢复力的关系[J]. 华中师范大学学报:自然科学版, 2015, 49(1): 153-159.

- [6] 王兆华,褚庆全. “十连增”背景下的我国区域粮食生产状况分析:以山东省为例[J]. 农业经济, 2015(9): 12-14.
- [7] 李福夺. 山东省自然灾害时空分布规律与防灾减灾对策[J]. 湖北农业科学, 2016(3): 796-80.
- [8] 蔡运龙,傅泽强,戴尔阜. 区域最小人均耕地面积与耕地资源调控[J]. 地理学报, 2002, 57(2): 127-134.
- [9] 陈百明,周小萍. 全国及区域性人均耕地阈值的探讨[J]. 自然资源学报, 2002, 17(5): 622-628.
- [10] 李小燕,任志远,郝惠梅. 区域粮食安全与耕地总量动态平衡测算研究:以陕西省为例[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(5): 213-216.
- [11] 傅泽强,蔡运龙. 基于灰色系统的中国粮食安全预测研究[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 313-319.
- [12] 葛颜祥. 山东省粮食生产现状及其发展战略探讨[J]. 山东农业大学学报:社会科学版, 2001, 3(1): 63-63.
- [13] 朱峰,孙兆明,李树超. 山东省玉米生产现状与发展对策分析[J]. 农业科技通讯, 2015(3): 6-9.
- [14] 李凤国,宋戈. 黑龙江省宝泉岭垦区粮食生产动态分析[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 223-227.
- [15] 刘开田,李化武. 关于山东省粮食安全问题的几点思考[J]. 齐鲁粮食, 2008(12): 9-12.
- [16] 王步祥. 基于灰色系统理论的我国粮食产量预测研究[D]. 江苏 镇江: 江苏大学, 2009.

(上接第 219 页)

[参 考 文 献]

- [1] 赵本淑,宋媛媛. 人工土壤微量元素降雨侵蚀试验研究[J]. 中国水土保持, 2014(5): 44-47.
- [2] 孙虎,唐克丽. 城镇建设中人为弃土降雨侵蚀试验研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 29-35.
- [3] 雷阿林,唐克丽. 土壤侵蚀模型试验中的降雨相似其实现[J]. 科学通报, 1995, 40(21): 2004-2006.
- [4] 陈文亮. 组合侧喷式野外人工模拟降雨装置[J]. 水土保持通报, 1995, 15(2): 43-48.
- [5] 李书钦,高建恩,赵春红,等. 坡面水力侵蚀比尺模拟试验设计与验证[J]. 中国水土保持科学, 2010, 8(1): 6-12.
- [6] 王治国,佟泽昂. 黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术的研究[J]. 水土保持学报, 1994, 8(2): 10-17.
- [7] 钱宁,万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

- [8] 李文训. 山东省小流域综合治理模式研究[D]. 山东 济南: 山东师范大学, 2008.
- [9] 黄河水利委员会水土保持局. 黄河流域水土保持研究[M]. 河南 郑州: 黄河水利出版社, 1997.
- [10] 张汉雄,邵明安. 黄土高原生态环境建设[M]. 陕西 西安: 陕西科学技术出版社, 2001.
- [11] 王海英,刘桂环,董锁成. 黄土高原丘陵沟壑区小流域生态环境综合治理开发模式研究[J]. 自然资源学报, 2004, 2(19): 207-216.
- [12] 陈见影,孙虎,常占怀. 基于 IPA 方法的村民对小流域综合治理感知度研究:以渭北旱塬淳化县秦庄沟流域为例[J]. 水土保持通报, 2013, 33(5): 250-254.
- [13] 陈见影,孙虎,常占怀. 渭北旱塬小流域土地利用空间分布与地形因子关系研究:以渭北旱塬淳化县秦庄沟流域为例[J]. 水土保持通报, 2014, 34(2): 163-167.