

# 人工降雨条件下秸秆覆盖减少水土流失的效应研究\*

唐 涛<sup>1</sup>, 郝明德<sup>2</sup>, 单凤霞<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘 要: 采用人工模拟降雨试验, 研究秸秆不同用量对径流、入渗和土壤侵蚀的影响。结果表明: 秸秆覆盖有增加入渗和减少水土流失的作用; 覆盖率大于 40% 条件下能有效地控制水土流失, 但当覆盖度低于 40% 时对控制水土流失的作用不明显。在土壤含水量 10%, 降雨强度 120 mm/h 的雨强条件下, 秸秆覆盖能推迟起流时间 1~15 min, 增加累积入渗量 37%~113%, 减少径流总量 3%~40%, 减少土壤侵蚀 10%~80%。

关键词: 人工降雨; 秸秆覆盖; 水土流失

中图分类号: S157

文献标识码: A

文章编号: 1002-3409(2008)01-0009-03

## Effects of Straw Mulch Application on Water Loss and Soil Erosion Under Simulated Rainfall

TANG Tao<sup>1</sup>, HAO Mingde<sup>2</sup>, SHAN Fengxia<sup>1</sup>

(1. College of Natural Resource and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: By the basis of experiments of simulated rainfall, the effects of different quantity straw mulch on runoff water infiltration and soil erosion are studied. The results show that straw mulch increase water infiltration, reduce runoff and soil erosion. The cover rate more than 40% control water and soil loss, otherwise the contrary result. Under water content 10% and 120 mm/h rainfall rate, straw mulch delay runoff 1~15 minutes, increase accumulative infiltration 37%~113%, reduce runoff 3%~40%, and soil erosion 10%~80%. Effects of straw mulch control soil and water loss increase as cover rate increases.

Key words: simulated rainfall; straw mulch; soil and water loss

黄土高原是我国传统旱作农业地区, 长期耕垦造成的水土流失已达到十分严重的程度, 成为制约区域农业发展乃至生态环境良性循环的主要因素。辛树帜等<sup>[1]</sup>认为水土流失包括土壤侵蚀及水的损失 2 个部分, 不能把水土流失与土壤侵蚀相等同。在一场降雨中通常会出现土壤侵蚀和雨水流失 2 个方面。植被对坡面流侵蚀产沙影响的研究, 已经颇多<sup>[2-8]</sup>, 但专门研究秸秆覆盖的水蚀效应报道不多<sup>[9-11]</sup>。在土壤侵蚀过程中, 秸秆覆盖起着十分重要的作用, 虽然秸秆覆盖影响土壤侵蚀的机理还不十分清楚, 但秸秆覆盖可以拦截部分降雨能量, 使土壤表面免于受雨滴的直接击溅, 起到减少土壤颗粒分离和扩散的作用, 秸秆覆盖还能增加地表糙率和下渗, 从而减少径流总量和降低地表径流的流速, 降低对土壤的冲刷作用, 同时秸秆可截留雨水形成低洼蓄水使泥沙沉积, 减少土壤侵蚀。

为了深入地理解秸秆覆盖增加土壤入渗量减少土壤侵蚀的机理, 通过人工降雨模拟试验, 寻求在一定的降雨条件、土壤状况、坡度条件下控制土壤侵蚀和雨水流失的最佳秸秆覆盖量, 获得土壤侵蚀量与不同的秸秆覆盖率之间的关系, 进行了利用秸秆覆盖增加降雨入渗、减少土壤侵蚀的人工模

拟降雨试验研究, 为西北半干旱地区开展利用秸秆覆盖防止水土流失提供依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 实验装置

模拟降雨试验于 2006 年 7-10 月在黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室模拟降雨大厅进行, 采用侧喷式自动模拟降雨系统, 喷头高度 16 m, 雨滴降落终速可达到自然雨滴降落速度的 98% 以上<sup>[12]</sup>。土槽为长 @ 宽 @ 高 = 2 m @ 0.5 m @ 0.3 m 的坡度可调式钢槽, 下端设集流装置, 用来收集径流、采集泥沙样品。

#### 1.2 试验材料

试验土样为红油土, 呈灰棕色, 土体较疏松, 有粒状或团块状结构, 取自于陕西省杨陵耕层土, 土壤颗粒以粉沙为主, 粉沙粒占总量的 70% 左右, 黏粒约占 25% 左右, 容重约为 1.25 g/cm<sup>3</sup>。试验前将土样过 1 cm @ 1 cm 的粗筛, 剔除土样中的植物根系等杂物。秸秆选用小麦秸秆, 采集收割后的小麦秸秆, 将秸秆按约 5 cm 长度用铡刀切割成段, 使秸秆能均匀覆盖在土壤表面。

\* 收稿日期: 2006-11-26

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX22YW242423); 国家科技支撑计划(2006BAD15B0202); 农业部保护性耕作创新项目; 陕西省保护性耕作项目资助

作者简介: 唐涛(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事保护性农业研究。

通信作者: 郝明德(1957-), 男, 研究员, 博士生导师, 从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。

### 1.3 试验方法

试验降雨强度设定为 120 mm/h, 降雨时间为 60 min, 坡度 10%。试验过程中, 土壤表面采用 6 个处理, 均匀覆盖秸秆, 覆盖量为 0, 1 000, 2 000, 3 000, 4 000, 5 000 kg/hm<sup>2</sup>。折合覆盖率为 0, 20%, 40%, 60%, 80% 和 100%。

试验程序如下: 装土时控制含水量 10% 左右, 容量约为 1.25 g/cm<sup>3</sup>, 保持与野外耕作土基本相同, 试验土层的结构也与耕作土上部土层结构大致相同。将试验土槽调整到选定的坡度, 依据不同的秸秆覆盖量, 依次均匀覆盖秸秆。

降雨试验前进行雨强标定, 标定后开始连续不断的降雨, 一旦开始产流, 立即按每隔 3 min 的时间间隔测定径流量, 60 min 后停止降雨, 完成一次试验。

降雨观测: 包括雨量、历时、起流时间、止流时间。

流量和泥沙含量测定: 起流后每 3 min 读一次水位, 取水样, 用烘干法测定泥沙含量。

土壤含水量测定: 烘干法。

## 2 结果与分析

### 2.1 秸秆覆盖对径流的影响

秸秆覆盖可以延缓径流的产生, 将对照的初始产流时间和秸秆覆盖处理的初始产流时间对比, 秸秆覆盖的产流初始时间滞后于对照, 秸秆覆盖率越高, 产流滞后的时间越长(表 1)。在雨强 120 mm/h、坡度 10% 的条件下, 覆盖率为 20% 的初始产流时间滞后于对照 16 s, 覆盖率为 40% 的初始产流时间则增加为滞后于对照 6 min 左右, 在 20% 秸秆覆盖率时, 对初始产流时间影响不大, 不能很好地起到延缓径流产生的作用。覆盖率为 100% 的初始产流时间滞后于对照 15 min 左右, 对产流的初始时间影响较大, 产流滞后的时间较长。在相同的雨强和坡度条件下, 秸秆覆盖率越大, 初始产流时间越长。秸秆覆盖产流滞后的原因是秸秆对水分的吸收以及雨水的阻挡, 并且延长了水土相互作用的时间而增加雨水的入渗而致。

表 1 不同秸秆覆盖度初始产流时间及滞后时间

| 时间/s   | CK | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% |
|--------|----|-----|-----|-----|-----|------|
| 初始产流时间 | 93 | 109 | 457 | 544 | 693 | 989  |
| 滞后时间   | 0  | 16  | 364 | 451 | 600 | 896  |

表 2 不同秸秆覆盖度下平均径流量的变化

|   | CK   | 20%  | 40%    | 60%   | 80%    | 100%  |
|---|------|------|--------|-------|--------|-------|
| 平均径流量/<br>(cm <sup>3</sup> #min <sup>-1</sup> ) | 1479 | 1432 | 1420.8 | 1319  | 1030.9 | 849.1 |
| 减少百分数/%   | 0    | 3.17 | 3.99   | 10.82 | 30.36  | 42.60 |

覆盖秸秆能减少径流量, 覆盖率越高, 径流量减少的效果就越明显(表 2)。覆盖率 20%~40%, 减少径流量 3%~4%, 径流减少不明显, 起不到有效减少径流的作用, 覆盖率 60%~80% 可减少 10%~30% 的径流量, 覆盖率 100% 可减少 40% 以上的径流量, 可以起到很好地径流减少的效果。用秸秆覆盖来减少雨水的流失, 覆盖度要大于 40%, 否则不能起到有效减少水土流失的效果。

覆盖秸秆能显著增加土壤的累积降水入渗量, 不同秸秆覆盖度下都能增加降水入渗量。在坡度 10%, 雨强 120 mm/h 条件下各种覆盖处理降雨试验中, 秸秆覆盖处理的累

积降水入渗量一直大于对照, 当累积降雨量在 20 mm 以下时, 不同秸秆覆盖率处理的累积降水入渗量差异不显著, 当累积降雨量超过 20 mm 时, 秸秆覆盖率为 100% 处理的累积降水入渗量显著大于对照和秸秆覆盖率 40% 处理的累积降水入渗量。秸秆覆盖率越高, 累积降水入渗量就越大, 40% 覆盖率下累积入渗量增加 37%, 100% 覆盖率下累积入渗量增加 113% (图 1)。

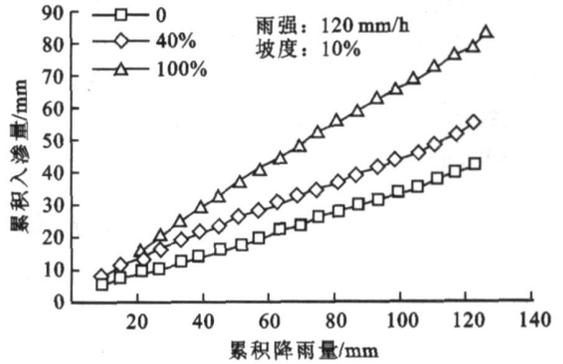


图 1 不同覆盖度累积入渗量对比

### 2.2 秸秆覆盖对土壤侵蚀的影响

由于秸秆覆盖可以明显增加地表糙率, 延缓产流时间, 分散径流, 减小径流量, 增加入渗, 不断消耗径流冲刷力, 从而使其对剥蚀土壤, 搬运泥沙的能力产生重大影响。产沙量可以衡量土壤侵蚀的强弱。产沙量随着覆盖度的增大呈递减趋势(图 2), 在雨强 120 mm/h、坡度 10% 的条件下, 秸秆覆盖率 40% 时可以减少产沙量 50% 左右, 覆盖率为 100% 可以减少产沙量 80% 左右。主要由于秸秆覆盖, 雨滴先打击到秸秆, 然后作用到地表, 消减了雨滴的动能, 使得雨滴打击到地表的能量减小, 引起的土壤溅蚀量减少, 减少了土壤的侵蚀。随着覆盖度增大, 地表糙率增加, 地表的径流量减少, 径流冲刷力减小, 降低了其剥蚀搬运泥沙的能力。当秸秆覆盖度小于 40% 时, 产沙量迅速增加, 这说明小覆盖度的秸秆处理不足以克服大雨强下的土壤侵蚀, 即秸秆覆盖度小于 40% 时, 控制侵蚀的作用不明显。

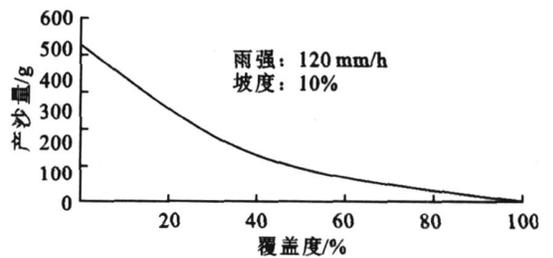


图 2 不同覆盖度产沙量变化

### 2.3 秸秆覆盖对径流过程的影响

径流量随时间变化的曲线可以清晰展示径流历时过程及形成特征, 将不同覆盖度处理的径流曲线进行对比, 能更直观地理解秸秆覆盖对径流形成的影响。在雨强 120 mm/h、坡度 10% 的条件下, 对比各处理的径流曲线可以看出对照的径流量比秸秆覆盖处理的径流量都要大。而秸秆覆盖处理的土壤中, 覆盖度越大, 其径流量就越小。这是由于裸露地表受到雨滴的直接打击, 表层土壤形成结皮, 降低了土壤的入渗。结皮是一层厚 2~3 mm 的薄层, 它比下部土壤具有更大的密度、更高的抗剪切力、更细的孔隙及更低的导

水性<sup>[132]5</sup>。同时溅散的土粒堵塞了土壤孔隙,降低雨水的入渗,增加了径流量。秸秆覆盖能有效地阻挡雨水对地表的直接打击,抑制土壤结皮的形成和减少土壤孔隙的堵塞,增加入渗,减少径流(图3)。

无覆盖处理开始产流时径流量较高,然后径流不断增大,达到最大值,并逐步趋于稳定,覆盖度20%的径流曲线变化趋势与无覆盖大致相同,说明20%覆盖度对减少径流作用不明显。40%覆盖下开始产流时,径流量比裸露低很多,然后径流量急剧增加,产流18min后达到最大值,出现较大的波动性,径流时大时小,说明40%覆盖条件下,能对减少径流起到一定的作用,但是由于覆盖度不高,秸秆阻挡的滞水会突然下泻,造成径流量的不稳定性。对比100%覆盖的径流曲线,径流量较低,一直平缓增加,由于100%覆盖可以避免雨滴直接打击,缓解了土壤表层的封闭,阻挡雨水,增加入渗,所以100%覆盖的径流曲线表现出不同于其它处理的曲线变化趋势,能很好地起到减少径流的作用。

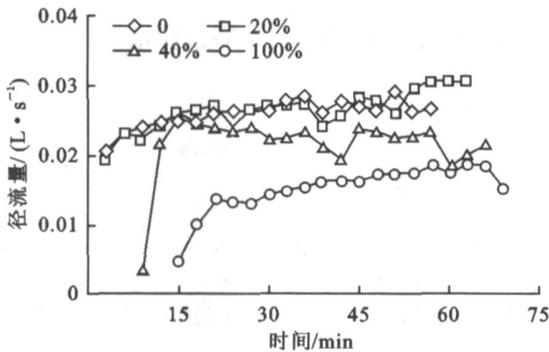


图3 径流量随时间变化趋势

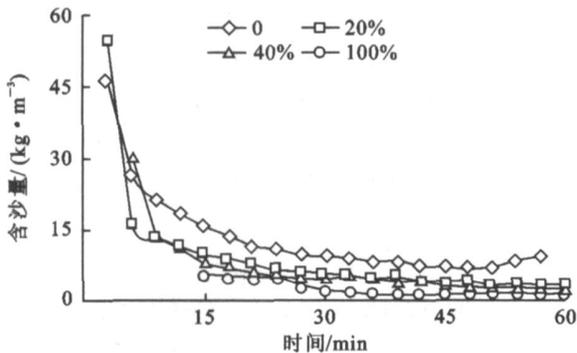


图4 含沙量随时间的变化过程

#### 2.4 秸秆覆盖对产沙过程的影响

含沙量的多少是衡量土壤侵蚀强弱的一个重要指标。裸露地表的产沙曲线,开始产沙时含沙量就很高,然后急剧降低,并逐步趋于稳定(图4)。这可能是在降雨初期地表含水量较低,雨滴较易溅起干燥的颗粒,侵蚀作用明显,随着雨滴的打击,地表形成一层比下部土壤具有更大的密度、更高的抗剪切力的结皮,抑止了土壤产沙,使侵蚀不断降低。20%、40%覆盖的含沙量曲线变化趋势与裸露处理的大致相同,说明低秸秆覆盖度处理不足以抑止大动力下的土壤侵蚀。100%处理的含沙量变化曲线走势则与其它处理不同,含沙量一直很低,比裸露减少产沙80%左右。由于100%覆盖下雨滴不能直接打击到地表,减蚀作用不明显,很少的散落颗粒随径流流失。100%处理下径流量很小,冲击地表的

动能很小,侵蚀强度较低。100%秸秆覆盖可以较好地控制土壤侵蚀。

### 3 结论

(1) 秸秆覆盖具有明显增加入渗,减少水土流失的作用。在土壤含水量10%,降雨强度120 mm/h的雨强条件下,秸秆覆盖能推迟起流时间1~15 min,增加累积入渗量37%~113%,减少径流总量3%~40%及土壤侵蚀10%~80%。

(2) 秸秆覆盖度与土壤的累积入渗量成正相关关系,秸秆覆盖度越大,土壤的累积入渗量越大。秸秆覆盖度为40%时增加37%的累积入渗量,覆盖度为100%能增加113%的累积入渗量。

(3) 秸秆覆盖度与径流量和土壤流失量呈负相关关系,秸秆覆盖度越大,径流量和土壤流失量越小。秸秆覆盖度为40%时减少4%的径流量和50%的产沙量,100%覆盖度可以减少40%以上的径流量和80%以上的土壤流失量。

模拟试验的方法对自然条件下秸秆的使用方法有着很好的借鉴和示范作用,根据秸秆覆盖度与入渗量、径流量和产沙量的关系可以看出,100%秸秆覆盖度可以起到很好增加入渗,减少水土流失,有较好的保水保土作用。而小于40%的秸秆覆盖则不足以克服大动力下的侵蚀,对控制水土流失的作用不大。

#### 参考文献:

- [1] 辛树帜,等. 中国水土保持概论[M]. 北京: 农业出版社, 1982.
- [2] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1982, 2(3): 40244.
- [3] 赵林祥. 暴雨洪水灾害与森林植被的关系[J]. 水土保持通报, 1982, 2(3): 45250.
- [4] 李寅生. 关于林草地减沙效益计算研究[J]. 中国水土保持, 1995(2): 210.
- [5] 台培东, 贾宏宇, 李培军, 等. 不同人工林在草原露天矿区排土场边坡的水土保持效益及其环境影响[J]. 水土保持学报, 2000, 14(3): 2230.
- [6] 吴钦孝, 赵鸿雁, 刘向东, 等. 森林枯枝落叶层涵养水源保持水土的作用评价[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, 4(2): 2328.
- [7] 侯喜禄, 曹清玉. 陕北黄土丘陵沟壑区植被减沙效益研究[J]. 水土保持通报, 1990, 10(2): 3340.
- [8] Morgan R P C. Soil Erosion and Conservation. Longman Science & Technical[M]. New York: John Wiley & Sons, 1995.
- [9] West J L. Cropping system effects on interrill soil loss in eprgia piedment[J]. SSSA, 1991, 54(1): 460.
- [10] Laflen J M. Effect of crop residue on soil loss from continuous row cropping[J]. Trans. ASAE, 1981, 24: 605609.
- [11] Smith et al. Cropping system effects on interrill soil loss and n2till cotton cropping system[J]. SSSA, 1991, 54(3): 23.

(下转第40页)

量达年内最高点(图 5)。在 5 月各龄级刺槐耗水量接近, 均在 25 mm 左右, 6- 8 月各龄级耗水量差额逐渐增大, 到 8 月差额达到最大; 8- 10 月其各龄级耗水量差额逐渐缩小。

### 4 结 论

(1) 采用桑斯维特法和彭曼法计算了主要造林树种潜在

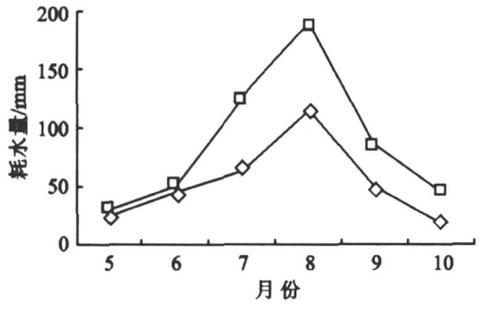


图 5 不同龄级苹果年内耗水变化

表 9 苹果年平均耗水估算值 mm

| 树种 | 林龄/a | 5月   | 6月   | 7月    | 8月    | 9月   | 10月  | 合计    |
|----|------|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 苹果 | 4    | 24.7 | 45.6 | 64.8  | 115.0 | 50.0 | 19.8 | 319.9 |
|    | 8    | 30.4 | 50.4 | 125.5 | 190.0 | 85.0 | 45.0 | 526.3 |

(3) 根据公式: 不同生长阶段耗水量 = 潜在蒸散量 (ET<sub>a</sub>) @植物系数 (K<sub>a</sub>) 算出了刺槐和苹果不同龄级的耗水量, 其中得出 2, 3, 5, 7, 13 a 生刺槐的年需水量, 分别为 390.65, 398.85, 411.4, 529.7, 633.95 mm, 4, 8 a 生苹果的年需水量分别为 319.9, 526.35 mm。同时利用试验推算方法得出了油松在 17~ 19, 19~ 20, 25~ 28 a 共 3 个龄级段油松的年耗水量, 分别为 653.5, 658.7, 655.6 mm。

#### 参考文献:

[1] 丰华丽, 王超, 等. 河流生态与环境用水研究进展[J]. 河海大学学报, 2002, 30(3): 19223.  
 [2] 左其亭. 干旱半干旱地区植被生态用水计算[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 1142117.  
 [3] 丰丽华, 王超, 等. 干旱区流域生态需水量估算原则分析[J]. 环境科学与技术. 2002, 25(1): 31233.  
 [4] 贾宝全, 张志强, 等. 生态环境用水研究现状、问题分析

蒸散量, 得出试验区 5- 10 月潜在蒸散量, 分别为 95, 120, 135, 125, 100, 45 mm, 这与试验区各月蒸散能力相吻合。

(2) 试验区主要造林树种刺槐 5 个龄级的植物耗水系数分别为 0.66, 0.67, 0.69, 0.88, 1.06, 主要经济树种苹果 2 个龄级的植物耗水系数分别为 0.50, 0.84。

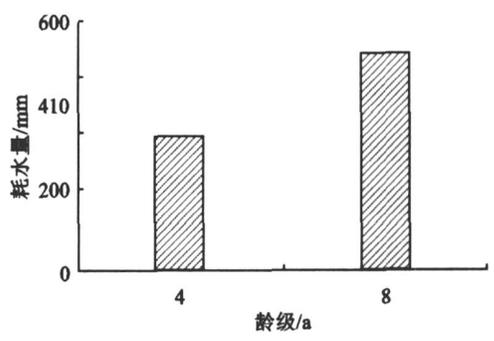


图 6 不同龄级苹果耗水量

与基本构架探索[J]. 生态学报, 2002, 22(10): 17342 1740.

[5] 贾宝全, 许英勤. 干旱区生态用水的概念和分类: 以新疆为例[J]. 干旱区地理, 1998, 21(2): 8212.  
 [6] 贾宝全, 慈龙骏. 新疆生态用水量的初步估算[J]. 生态学报, 2000, 20(2): 2432250.  
 [7] 王礼先. 植被生态建设与生态用水: 以西北地区为例[J]. 水土保持研究, 2000, 7(3): 57.  
 [8] 陈丽华, 王礼先. 北京市生态用水分类及森林植被生态用水定额的确定[J]. 水土保持研究, 2001, 8(4): 1612 164.  
 [9] 魏天兴, 余新晓, 朱金兆, 等. 黄土区防护林主要造林树种水分供需关系研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12(2): 1852189.  
 [10] 王斌瑞, 王百田. 黄土高原径流林业技术研究[J]. 林业科技通讯. 1996, 9: 13215.  
 [11] 彭世彰, 索丽生. 节水灌溉条件下作物系数和土壤水分修正系数实验研究[J]. 水利学报, 2004, 34(1): 172 21.

(上接第 11 页)

[12] 黄炎和, 卢程隆. 闽南次降雨量与土壤侵蚀量的关系研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(3): 7278.  
 [13] Gal M, Arcan L, Shainberg I, et al. Effect of exchangeable sodium and phosphogypsum on crust structure. Scanning electron microscope observations [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1984, 48: 872878.

[14] Levy G J, Levin J, Gal M, et al. Polymers. effects on infiltration and soil erosion during consecutive simulated sprinkler irrigations [J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 902907.  
 [15] McIntyre D S. Permeability measurements of soil crust formed by raindrop impact [J]. Soil Sci., 1958, 85: 8132817.