

玉米茎秆汁液对黄土坡面产沙速率的影响及原因分析

王涛, 魏霞, 苏辉东, 叶永铸, 彭海鑫, 黄青能, 何志文

(兰州大学 资源环境学院, 兰州 730000)

摘要: 利用人工模拟降雨试验研究了玉米茎秆汁液对黄土坡面产沙速率的影响及其原因。试验设计了4种不同的土样处理方式(control、添加25%浓度的汁液、添加50%浓度的汁液、添加25%浓度汁液经过一个冬季的冻融降解)在4种不同雨强(25, 50, 75, 100 mm/h)下对产沙速率的影响, 分析了4种不同处理后土样的土壤团聚体、有机质跟产沙速率的关系。结果表明: (1) 添加玉米茎秆汁液对产沙速率是有明显的抑制作用的, 玉米茎秆汁液通过增加土壤中 >0.25 mm的团聚体和有机质实现减沙作用的。(2) 4种处理后的土样中 >5 mm的土壤团聚体和有机质是显著线性相关的, 通过了0.01的显著性水平。在各种试验雨强(25, 50, 75, 100 mm/h)下的产沙速率与 >0.25 mm的土壤团聚体、有机质都具有显著线性负相关关系, 通过了0.01的显著性检验。

关键词: 模拟降雨; 玉米茎秆汁液; 土壤团聚体; 有机质; 土壤改良剂; 产沙速率

中图分类号: S278; S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0043-04

Influence and Cause of Corn Stalk Juice on Sediment Yield Rate on the Loess Slope

WANG Tao, WEI Xia, SU Huidong, YE Yongzhu, PENG Haixin, HUANG Qingneng, HE Zhiwen

(College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Using simulated rainfall, we investigate how the corn stalk juice impacts the sediment yield rate on loess slope. Four treatments of corn-stalk-juice-treated soil and four rainfall intensities are designed to study the sediment yield rate. The soil treatments include a control group, corn-stalk-juice-treated groups with 25% concentration and 50% concentration, and a group treated by corn juice with 25% concentration and freeze thaw control. The rainfall intensities are set as 25 mm/h, 50 mm/h, 75 mm/h, 100 mm/h. The relationship among soil aggregates, organic matter and sediment yield rate was analyzed for the four soil treatments. The results indicated that: (1) the corn stalk juice could remarkably reduce the sediment yield rate via increasing the >0.25 mm aggregates and organic matter; (2) there is a significantly linear correlation between the >0.5 mm aggregates and organic matter in the four soil treatments; there is a significantly negative linear correlation between sediment yield rate and >0.25 mm soil aggregates as well as organic matter.

Keywords: simulated rainfall; corn stalk juice; soil aggregates; organic matter; soil conditioner; sediment yield rate

在产汇流等水文过程中, 水土流失经常发生。水土流失会导致土地资源退化, 给经济社会带来严重的危害^[1-2]。对农业土壤的治理, 以工程措施(如灌排制度)、土壤改良措施(如化学改良剂、有机改良剂、生物改良剂等)和耕作措施为主。土壤改良剂能改变土壤的理化性质, 改变其水保能力, 具有投入少、周期短或见效快等优点, 成为较热门的课题^[3-6]。Ekwue^[7]和Celik^[8]等指出施用不同的化学性质的有机质会导致

不同的土壤抗剪切强度。而且Ekwue^[9]发现施用源于某些草类的有机质增强了土壤抗剪切强度。已有研究表明: 聚丙烯酰胺(Polyacrylamide 以下简称PAM)不但能有效地维护土壤团聚体的结构, 而且能形成新的团聚体, PAM与水相互作用形成的粘聚作用力能有效地缓解雨滴对土壤表面打击并抑制结皮的形成, 从而可以增加土壤的入渗能力, 减少地表径流, 防止水土流失^[10-14]。但是其合成过程和降解

过程都会产生额外的化学有害物质,对环境和人造成一定的负面影响^[15-16]。魏霞等^[17]通过研究发现:纯天然的玉米茎秆汁液也具有显著减流、减沙作用,其生产提取过程以及降解过程都无有害物质产生,对环境和人不会造成负面影响,而且其获取便捷,成本低廉。但是其研究尚未揭示玉米茎秆汁液作为土壤改良剂具有显著减流、减沙作用的原因。鉴于此,本文分析添加玉米茎秆汁液对土壤理化性质和坡面产沙速率的影响,研究其内在相关性,并对玉米茎秆汁液减沙作用的原因进行分析与探讨。

1 试验材料与方法

1.1 试验土选取

供试验的土壤取自甘肃省水土保持科学研究所试验园区窦家山上,地理位置为 103°56′40″E, 36°01′37″N, 海拔 1 544.5~1 847.5 m。属于黄土丘陵沟壑区第五副区,地貌特征以梁状黄土丘陵为主,该土壤在当地分布广泛,是容易发生侵蚀的典型性土壤,能基本反映黄土丘陵沟壑区第五副区的土壤侵蚀状况。

表 1 供试土壤理化性质

团聚体各粒径含量/%							有机质/	容重/	含水率/
>5.0 mm	5.0~2.0 mm	2.0~1.0 mm	1.0~0.5 mm	0.5~0.25 mm	合计	<0.25 mm	(g·kg ⁻¹)	(g·cm ⁻³)	%
4.6	6.0	6.0	6.0	8.6	31.2	68.8	5.72	1.34	5.14

1.3 供试验用的玉米茎秆汁液的获取

供试验用的玉米茎秆汁液来自于当地的玉米秸秆中的汁液的榨取。选取生长成熟的青玉米秸秆,去掉叶子和根,榨取茎秆中的汁液获得玉米茎秆汁液(表 2),玉米茎秆汁液的有机质含量为 32 g/kg。

表 2 供试玉米茎秆汁液的主要成分组成

mg/kg							
P	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Mn	Zn
213.6	327.9	324.7	766.4	259.9	324.7	257.6	213.8

1.4 人工模拟降雨试验

本试验在甘肃省水土保持科学研究所实验室内进行,试验所选用土槽尺寸为长 1.2 m,宽 0.8 m,高 0.4 m。为了尽可能减小边壁效应,填土时,槽子边缘土壤的装填要十分仔细,压的更为密实,土面略低于槽车的边壁高,保证溅蚀时的水滴不会溢出槽车。槽车上层 0.2 m 是试验有效土壤层,下层 0.2 m 是为了保证试验土的透水状况接近天然坡面。槽车底部均匀布设小孔,保证底层水分可以下渗。本次试验的设计坡度为 15°固定不变。试验用的降雨器为美国 Norton 人工模拟降雨器,喷头型号为 Veejet 80100。该系统由美国农业部(USDA)和美国土壤侵蚀研究所共同开发,使用先进的振荡式原理人工模拟

土壤为黄土母质上发育而成的灰钙土,质地疏松、多孔,湿陷性强,pH 值约 7.5~8.5。

1.2 试验土样处理

试验土样的处理:选取该地区天然的表层土壤(0—10 cm)为试验土,试验土壤经过 1 cm 的筛子,去除植物根系及其他杂质,风干后的土壤叫做风干试验土,其具体的理化性质见表 1。将风干试验土装填满 3 个槽车,然后再在各槽车土壤表面均匀撒上 2 000 ml 的蒸馏水、25%玉米茎秆汁液和 50%玉米茎秆汁液,自然静置 24 h 后,用于试验。将风干试验土装填满第 4 个槽车,撒上 25%玉米茎秆汁液,经过一个冬季的冻融降解后,用于试验。形成的 4 种试验处理土样分别记为 control,25%,50%,25%冻后。经过一个冬季的冻融降解后,玉米汁液的冻融降解、挥发、下渗等因素导致土样中的玉米茎秆汁液浓度降低,所以 25%冻后处理的土样玉米茎秆汁液浓度应该介于对照和 25%之间,所以玉米茎秆汁液浓度应该是 control<25%冻后<25%<50%。土壤含水率的测量采用烘干法,土壤团聚体采用湿筛法。各种试验土的理化性质见表 1。

自然条件下的降雨情况来研究土壤在降雨条件下发生的侵蚀。

降雨试验采用的雨强分别为 50, 25, 75, 100 mm/h 的连续降雨方式进行模拟降雨。相应的降雨历时为 60, 20, 10, 10 min(共 100 min),泥沙的收集间隔时间分别为 5 min(11 个样),10 min(2 个样),3 min(3 个样),3 min(3 个样)。收集到的泥沙处理方式是先静置 1 周,倒掉上层清液,然后自然风干,称取剩余泥沙的质量^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同处理土样的产沙的特征分析

图 1 为不同玉米茎秆汁液处理土样的产沙的特征变化图。产沙速率随着降雨强度的增大而增大,当降雨强度为 25 ml/h 时,产沙速率最小,只有约 0.7 g/min,当降雨强度为 100 ml/h 时,产沙速率最大可以达到 16 g/min。从中可以很直观地看到从上到下的 4 条产沙速率—降雨历时曲线(雨强曲线除外),依次为 control 曲线、25%冻后曲线、25%曲线、50%曲线,所以产沙速率也是 control>25%冻后>25%>50%。因为 control>25%冻后>25%,所以 25%玉米茎秆汁液在经过一个冬季的冻融降解后,其减沙作

用有所减小,可能是由于玉米汁液的冻融降解、挥发、下渗等因素导致土样中的玉米茎秆汁液浓度降低。因为 $\text{control}>25\%$ 冻后 $>25\%>50\%$,所以添加玉米茎秆汁液对产沙速率是有明显的抑制作用的,而且随着土壤中添加的汁液浓度的增加抑制作用越强。

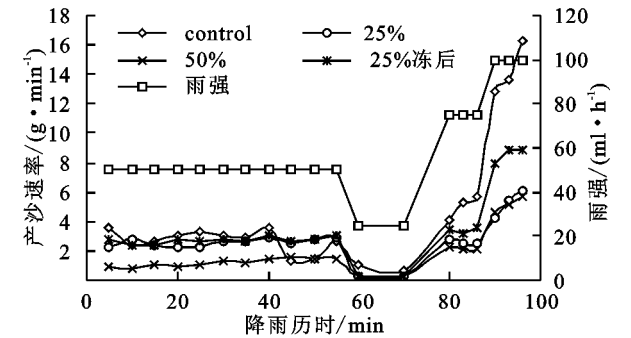


图 1 不同玉米茎秆汁液处理土样的产沙的特征变化

为了量化减沙作用的效果,引入减沙百分比(各种试验土下的产沙速率与 control 的产沙速率的差值占 control 的产沙速率的百分比^[17])。结果如表 3 所示。

表 3 各试验土下的减沙百分比 %			
雨强	25%浓度 汁液冻后	25% 浓度汁液	50% 浓度汁液
25 ml/h	68.7	71.1	72.0
50 ml/h	12.3	25.6	64.4
75 ml/h	39.3	47.0	55.9
100 ml/h	39.9	63.3	63.7
平均	39.9	51.7	64.0

从表 3 可以看出,添加玉米茎秆汁液后减沙效果都是明显的,当雨强为 25,50,75,100 mm/h 时,25% 冻后土样减沙百分比分别为 68.7%,12.3%,39.3%,39.9%;25% 汁液处理土样减沙百分比分别为 71.1%,25.6%,47.0%,63.3%;50% 汁液处理土样减沙百分比分别为 72.0%,64.4%,55.9%,63.7%。在各种相同雨强(50,25,75,100 mm/h)下,减沙百分比均有 $50\%>25\%>25\%$ 冻后,这说明随着土壤中玉米秸秆汁液浓度的增加,减沙百分比越大。其中当施加 50% 浓度的玉米茎秆汁液、雨强为 25 ml/h 时,减沙百分比最大为 72.0%。当雨强相同时,减沙百分比 $50\%>25\%$;当同一种浓度玉米汁液的时候,减沙百分比最大的是 25 mm/h,接近 70% 的减沙效果,虽然在 25 ml/h 的降雨强度下,产沙速率较小,但是减沙百分比是最大的,达到 70% 以上,其次是大雨强 100 ml/h 的减沙百分比也较大,产沙速率也较大。

2.2 汁液浓度—土壤有机质—土壤团聚体—产沙速率的相关关系分析

2.2.1 产沙速率与土壤团聚体的关系分析 根据以往研究结果,团聚体的粒径分布和稳定性,是预测土

壤抗侵蚀能力的良好指标。有机质对团聚体水稳性具有显著的影响。所以本研究重点分析土壤团聚体和有机质对产沙速率的影响,通过研究发现 >0.25 mm 团聚体含量与产沙速率具有显著的线性相关性,其结果如图 2 所示。

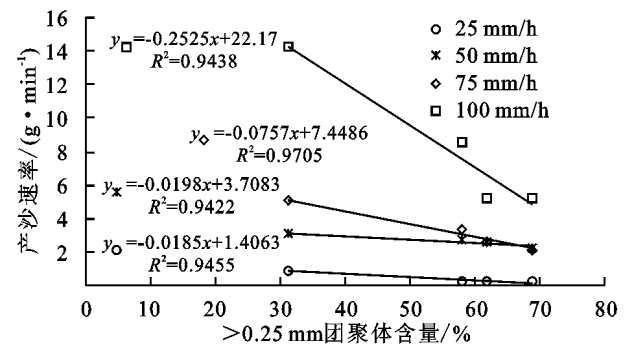


图 2 产沙速率与土壤团聚体含量百分比的关系

从图 2 可以看出,在 4 种设定的雨强(25,50,75,100 ml/h)下, >0.25 mm 土壤团聚体含量都与产沙速率具有显著的线性相关性,其线性拟合方程分别为 $y = -0.0815x + 1.4063$, $y = -0.0198x + 3.7083$, $y = -0.0757x + 7.4486$, $y = -0.02525x + 22.17$ 。其可决系数 R^2 分别为 0.945 5,0.942 2,0.970 5,0.943 8,都通过了 0.01 的显著性检验。所以随着 >0.25 mm 土壤团聚体增加,坡面产沙速率是呈显著的线性减少趋势。产沙速率随着雨强的增加而增加,随着 >0.25 mm 土壤团聚体含量的增加而减小。所以 >0.25 mm 土壤团聚体起到了减沙的作用。

2.2.2 土壤团聚体和有机质的关系分析 从图 3A 可以看出 >0.25 mm 团聚体的含量是与土壤中的有机质含量显著线性相关的。其线性拟合方程为 $y = 0.9772x + 4.6957$,其决定系数 R^2 为 0.977 2,通过了 0.01 的显著性检验。所以 >0.25 mm 土壤团聚体总含量与有机质是呈线性正相关的,即 >0.25 mm 土壤团聚体总百分比越高,土壤有机质含量也会相应增加,这说明玉米茎秆汁液同步改变了土壤的有机质含量与 >0.25 mm 土壤团聚体总百分比。4 种试验土样的处理(control,25% 冻后,25%,50%),土壤中的玉米茎秆汁液是一个增加的过程,而也正是土壤团聚体和有机质增加的过程,所以玉米茎秆汁液的添加,同步改变了土壤中的有机质和 >0.25 mm 土壤团聚体,从而起到了减沙作用。

图 3B 是土壤 >0.25 mm 土壤团聚体的各粒径团聚体的分布与有机质的变化关系图,从图 3B 可以看出添加玉米茎秆汁液以后变化最显著的是 >5 mm 的土壤团聚体的含量变化,由施加前的 5% 左右增加到 30% 左右,变化幅度最大。其中 >0.25 mm 和 2.0~1.0 mm 团聚

体的变化与有机质的变化趋势较为一致。1.0~0.5 mm 和 0.5~0.25 mm 的 50% 土样有所减少,不大一致。

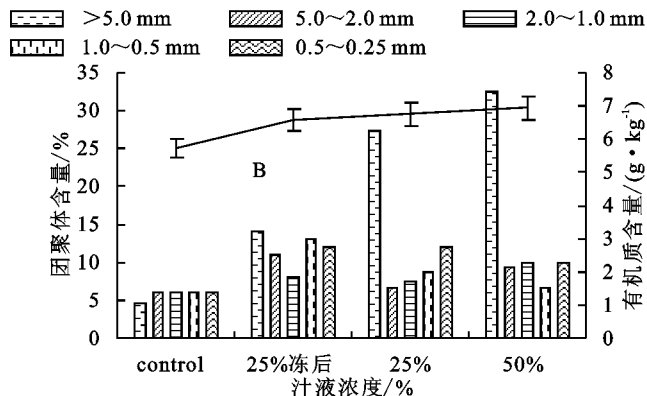
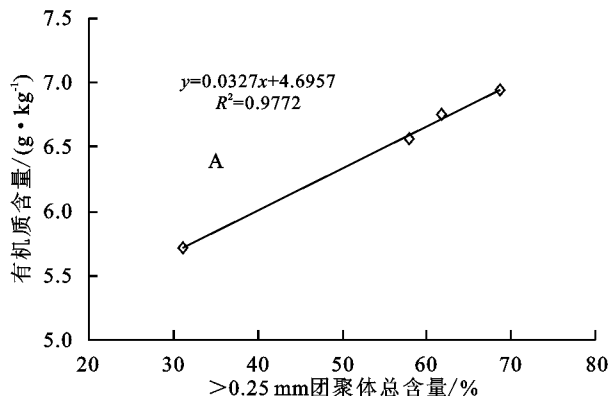


图 3 汁液浓度、土壤团聚体、土壤有机质变化

2.3 讨论

已有研究表明团聚体的粒径分布和稳定性极大地影响着土壤的物理性质和土壤中发生的各种过程^[18-19]。团聚体稳定性影响着土壤入渗、结皮、产沙等土壤侵蚀的各个过程,是预测土壤抗侵蚀能力的良好指标^[20-22]。有机质对团聚体水稳性的影响已经被广为认识^[7-8, 23-24]。而本试验通过对各种理化性质的变化研究发现,施加玉米茎秆汁液明显改变了土壤有机质含量与土壤水稳性团聚体的含量,跟土壤产沙速率相关关系显著,增加了>0.25 mm 土壤团聚体的含量和有机质含量,是玉米茎秆汁液作为添加剂的减沙作用的内因,与以往研究一致。魏霞等^[17]通过研究发现:纯天然的玉米茎秆汁液具有显著减流、减沙作用。本文进一步证实了玉米茎秆汁液是通过增加土壤有机质和>0.25 mm 的团聚体实现减沙作用的。以往研究表明,茎秆汁液中有有机物(特别是可溶性糖)和钙离子含量等也可能对团聚体稳定性起很大作用。对此应有进一步试验(如水配溶液,改变溶液组成),确定汁液各组分对减沙的影响,从而进一步揭示玉米茎秆汁液对黄土坡面产沙速率影响及其机理。

3 结论

(1) 添加玉米茎秆汁液对产沙速率是有明显的抑制作用的,玉米茎秆汁液通过增加土壤中>0.25 mm 的团聚体和有机质实现减沙作用的。

(2) 4 种处理后的土样中>5 mm 的土壤团聚体和有机质是显著线性相关的,通过了 0.01 的显著性水平。在各种试验雨强下的产沙速率与>0.25 mm 的土壤团聚体、有机质都具有显著线性负相关关系,通过了 0.01 的显著性检验。

参考文献:

[1] Li Xungui, Wei Xia. An analysis of the relationship between

但是综合而言,>0.25 mm 团聚体的含量与土壤中的有机质含量是具有显著线性相关性的。

soil erosion risk and surplus floodwater during floodseason[J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2014, 19 (7):1294-1311.

- [2] 刘宝元,张科利,焦菊英.土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J].自然资源学报,1999,14(4):345-350.
- [3] 董英,郭绍辉,詹亚力.聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J].高分子通报,2005(5):83-87.
- [4] 曹丽花,刘合满,赵世伟.不同改良剂对黄绵土水稳性团聚体的改良效果及其机制[J].中国水土保持科学,2011,9(5):37-41.
- [5] 庄文化,吴普特,冯浩,等.土壤中施用聚丙烯酸钠保水剂对冬小麦生长及产量影响[J].农业工程学报,2008,24(5):37-41.
- [6] 刘莉萍,刘兆普,隆小华.2 种盐土改良剂对苏北滨海盐碱土壤盐分及植物生长的影响[J].水土保持学报,2014,28(2):127-131.
- [7] Ekwue E I, Stone R J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils[J]. American Society of Agricultural Engineers, 1995, 38 (2):357-365.
- [8] Celik I, Gunal H, Budak M, et al. Effects of long-term organic and mineral fertilizers on bulk density and penetration resistance in semi-arid Mediterranean soil conditions[J]. Geoderma,2010,160(2):236-243.
- [9] Ekwue E I. Organic-matter effects on soil strength properties[J]. Soil & Tillage Research,1990,16(3):289-297.
- [10] Benhur M, Faris J, Malik M, et al. Polymers as soil conditioners under consecutive irrigations and rainfall [J]. Soil Science Society of America Journal,2015,53 (4):1173-1177.
- [11] Nadler A, Perfect E, Kay B D. Effect of polyacrylamide application on the stability of dry and wet aggregates[J]. Soil Science Society of America Journal, 1996,60(2):555-561.

(下转第 53 页)

参考文献:

- [1] 齐清,王天明,寇晓军,等. 基于 GIS 的黄土高原小流域土壤侵蚀定量评价[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 1-5.
- [2] 李智广,曹伟,刘秉正,等. 我国水土流失状况与发展趋势研究[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(1): 57-62.
- [3] 张勇. 陕西省水土流失现状、存在问题与防治对策[J]. 水利发展研究, 2004, 4(11): 47-49.
- [4] Li P, Mu X, Holden J, et al. Comparison of soil erosion models used to study the Chinese Loess Plateau[J]. *Earth-Science Reviews*, 2017, 170: 17-30.
- [5] 孟庆香,刘国彬,杨勤科,等. 黄土高原土壤侵蚀时空动态分析[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 20-22.
- [6] 刘康,康艳,曹明明,等. 基于 GIS 的陕西省水土流失敏感性评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5): 168-170.
- [7] 李雄飞. 陕西省土壤侵蚀模数计算与空间分布特征[J]. 陕西水利, 2014(4): 122-123.
- [8] 程琳,杨勤科,谢红霞,等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 61-66.
- [9] 刘闻,曹明明,宋进喜,等. 陕西年降水量变化特征及周期分析[J]. 干旱区地理, 2013, 36(5): 865-874.
- [10] 李团胜. 陕西省土地利用动态变化分析[J]. 地理研究, 2004, 23(2): 157-164.
- [11] Liu B, Zhang K, Xie Y. An Empirical Soil Loss Equation[C]// Yuren J. Proceedings of the 12 th international soil conservation organization conference. Beijing: Tsinghua University Press, 2002.
- [12] 国务院第一次全国水利普查领导小组办公室. 水土保持情况普查[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2010.
- [13] 陈晓安,蔡强国,张利超,等. 黄土丘陵沟壑区坡面土壤侵蚀的临界坡度[J]. 山地学报, 2010, 28(4): 415-421.
- [14] 陈学兄. 基于遥感与 GIS 的中国水土流失定量评价[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2013.
- [15] 孔亚平,张科利,曹龙熹. 土壤侵蚀研究中的坡长因子评价问题[J]. 水土保持研究, 2008, 15(4): 43-47.
- [16] 聂树人. 陕西自然地理[M]. 西安:陕西人民出版社, 1981.
- [17] 赵文武,傅伯杰,吕一河,等. 多尺度土地利用与土壤侵蚀[J]. 地理科学进展, 2006, 25(1): 24-33.

~~~~~

(上接第 46 页)

- [12] 冯浩,吴普特,黄占斌. 聚丙烯酰胺(PAM)对黄土地坡地降雨产流产沙过程的影响[J]. 农业工程学报, 2001, 17(5): 48-51.
- [14] 夏海江,杜尧东,孟维忠. 聚丙烯酰胺防治坡地土壤侵蚀的室内模拟试验[J]. 水土保持学报, 2000, 4(3): 14-17.
- [15] 韩昌福,李大平,王晓梅. 聚丙烯酰胺生物降解研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2005, 11(5): 648-650.
- [16] 张学佳,纪巍,康志军,等. 聚丙烯酰胺降解的研究进展[J]. 油气田环境保护, 2008, 18(2): 41-45.
- [17] 魏霞,李勋贵, Huang Chihua. 玉米茎秆汁液防治坡面土壤侵蚀的室内模拟试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(11): 173-178.
- [18] 王辉,王全九,邵明安. 人工降雨条件下黄土坡面养分随径流迁移试验[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 39-44.
- [19] 毛艳玲,杨玉盛,崔纪超. 土壤团聚体颗粒有机碳对土地利用变化的响应[J]. 水土保持学报, 2011, 25(4): 188-191.
- [20] Arvidsson J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory compression experiments[J]. *Soil & Tillage Research*, 1998, 49(1/2): 159-170.
- [21] Abu Hamdeh N H, Abo Qudais S A, Othman A M. Effect of soil aggregate size on infiltration and erosion characteristics[J]. *European Journal of Soil Science*, 2006, 57(6): 609-616.
- [22] Alvarez R, Steinbach H S. A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas[J]. *Soil & Tillage Research*, 2009, 104(1): 1-15.
- [23] Milne R M, Haynes R J. Soil organic matter, microbial properties, and aggregate stability under annual and perennial pastures[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2004, 39(3): 172-178.
- [24] Yousefi M, Hajabbasi M, Shariatmadari H. Cropping system effects on carbohydrate content and water-stable aggregates in a calcareous soil of Central Iran[J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 101(1): 57-61.