

# W-OH 固化剂对玉米生长及土壤养分淋失的影响

张冠华, 孙金伟, 牛俊, 朱秀迪, 谢浩, 孙宇婷

(1. 长江科学院水土保持研究所, 武汉 430010; 2. 水利部山洪地质灾害防治工程技术研究中心, 武汉 430010)

**摘要:** 采用盆栽试验, 研究了不同 W-OH 喷施浓度(1%, 3%, 5%)对玉米生长及土壤养分淋失的影响。结果表明: 与对照(不喷施 W-OH)相比, 喷施 W-OH 对玉米生长有促进作用, 且这种作用自玉米生长中期逐渐明显。试验条件下, 低、中浓度 W-OH(1%和 3%)更有利于玉米生长; 盆栽 3 个月后, 与对照相比, 低、中浓度处理下玉米株高分别增加 16%和 35%, 净光合速率分别增加 3%和 17%, 气孔导度分别增加 34%和 79%, 蒸腾速率分别为对照的 2 倍和 3 倍。降雨量对 W-OH 的保水作用影响不同, 小雨和中雨下, 3%浓度处理的渗流量最低, 保水效果最显著; 降雨量达到大雨及以上时, W-OH 的保水作用与其喷施浓度成正比。在玉米生长初期 W-OH 的保肥作用与其喷施浓度成正比, 随着后续降雨渗流反复淋溶, 其保肥作用趋于稳定; 3%和 5%浓度的 W-OH 均能有效减少观测期的土壤养分淋失量, 且以硝态氮降幅最大。研究结果为土壤固化剂在坡耕地中的应用提供理论指导。

**关键词:** 土壤固化剂 W-OH; 作物生长; 养分淋失; 壤中流; 紫色土

**中图分类号:** S157.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-2242(2017)05-0247-06

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbxb.2017.05.038

## Effects of W-OH Stabilizer on Maize Growth and Soil Nutrient Leaching

ZHANG Guanhua, SUN Jinwei, NIU Jun, ZHU Xiudi, XIE Hao, SUN Yuting

(1. Soil and Water Conservation Department, Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan, 430010;

2. Research Center on Mountain Torrent & Geologic Disaster Prevention of Ministry of Water Resources, Wuhan, 430010)

**Abstract:** A pot experiment was conducted to study the effects of different W-OH concentration (1%, 3% and 5%) on the maize growth and soil nutrient leaching. The results showed that W-OH could effectively promote maize growth and the effect became gradually obvious since the middle stage of maize growth. Under the current experimental conditions, the light and moderate W-OH concentrations (1% and 3%) were more beneficial to maize growth. After potting 3 months, compared with CK (without W-OH), under the light and moderate W-OH treatments, the maize height increased by 16% and 35%, the net photosynthetic rate increased by 3% and 17%, the stomatal conductance increased by 34% and 79%, and the transpiration rate increased 2 and 3 times, respectively. The precipitation had a different influence on water retention of W-OH. For light and moderate rainfall, 3% treatment had the lowest leakage, showing the most significant water retention effect. For heavy rainfall and rainstorm, the water retention effect of W-OH was positive related to its spraying concentration. The fertilizer retention effect of W-OH was positive related to its spraying concentration at the initial stage of maize growth and tended to be stable with subsequent rainfall leaching. During the observation period, both 3% and 5% treatments effectively reduced the total nutrients leaching loss, especially for nitrate nitrogen. The findings can provide scientific guidance for application of soil stabilizer in slope land.

**Keywords:** W-OH soil stabilizer; crop growth; nutrient leaching; interflow; purple soil

我国山丘区现有坡耕地 2 400 万  $\text{hm}^2$ , 占耕地总面积的 19.7%<sup>[1]</sup>。坡耕地既是山丘区群众赖以生存的土地资源, 又是水土流失的主要地类和江河泥沙的主要策源地<sup>[2]</sup>。随着坡耕地利用强度加大、化肥施用量增加, 由农业活动引起的水土流失和面源污染问题

备受关注<sup>[3]</sup>。坡耕地水土流失及其养分流失不仅造成土壤质量退化、土地生产力下降, 还会引起水体富营养化<sup>[4]</sup>, 在长江流域更是中上游粮食安全和下游水利设施安全的巨大隐患<sup>[5]</sup>。土壤养分流失一般有 2 个途径, 一是随地表径流泥沙横向迁移, 二是随下渗

径流泥沙形成纵向迁移<sup>[6]</sup>。紫色土是发育在紫色页岩上的土壤,土层较薄,具有质地疏松、孔隙度大的特点,因此土壤水分垂向运动显著<sup>[7-8]</sup>;加之底部页岩不透水层,形成一种“上覆土壤,下伏岩石”的“岩土二元结构”<sup>[9]</sup>,极易造成雨水的渗漏,进而形成壤中流<sup>[10]</sup>。目前紫色土坡耕地养分流失,特别是氮、磷养分流失受到国内外学者的广泛关注<sup>[11-12]</sup>。紫色土壤中流养分含量较高,一般为地表径流养分含量的 4.32~63 倍,因此,尽管壤中流总量在总径流量中的比例并不高,但由其携带而流失的养分仍不容忽视<sup>[13]</sup>。

近年来,生物措施、工程措施与水土保持材料相结合的多元治理模式成为一种新趋势,综合运用化学固结与生物防治方法成为防治水土流失的有效手段<sup>[14]</sup>。前人<sup>[15-20]</sup>在 EN-1 固化剂改良土壤、提高边坡土体稳定性、植被恢复等方面进行了卓有成效的研究,然而,该类固化剂是一种掺合材料,实际应用困难,大尺度防治水土流失效果较差<sup>[21]</sup>。针对砒砂岩区生态修复问题,研发了基于 W-OH 的抗蚀促生新技术和系列环保材料,并开展了相关的试验研究<sup>[22-24]</sup>,结果表明 W-OH 与水迅速反应形成网状弹性凝胶体,具有很好的固土(沙)、保水、保肥、促生作用,且不会对生态环境造成危害;采用 W-OH 处理后,砒砂岩坡面减沙比可达 99%<sup>[25]</sup>;与对照相比,W-OH 抗蚀促生小区径流量减少 70% 以上,产沙量减少 91% 以上<sup>[26]</sup>。此外,学者们就 W-OH 在荒漠化防治<sup>[27]</sup>、植被恢复<sup>[28]</sup>、生态护坡<sup>[29]</sup>、渠道防渗抗冻<sup>[30]</sup>等技术研究与工程应用方面进行了有益探索,但是尚未见到有关 W-OH 固化剂在坡耕地水土流失防治及其应用对作物生长影响方面的报道。据此,本研究通过盆栽试验结合天然降雨观测,开展了紫色土坡耕地不同 W-OH 喷施浓度下作物生长及土壤养分淋失特征的研究,以期阐明 W-OH 固化剂如何改变土壤结构、土壤水分、养分等物理化学性质,从而在提高土壤抗蚀性的前提下,达到保持抑或增加土壤肥力、促进作物生长的目的,为该固化材料在坡耕地中的应用及抗蚀增肥剂的研发提供理论和技术依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

1.1.1 供试玉米 供试玉米为武汉楚天康农业科技开发有限公司生产的“康农玉 272”品种。试验前对种子进行品质鉴定后发现,种子的发芽率为 95%,纯净度为 98%,千粒重为 292.6 g。

1.1.2 W-OH 固化剂 W-OH 由江苏杰成凯新材料科技有限公司提供,是一种改性亲水性聚氨酯复合材料<sup>[31]</sup>,呈淡黄色油状体,密度约 1.18 g/cm<sup>3</sup>,黏度 650~700 Pa·s(20℃),固含量约 85%,抱水量 40 倍以上。研究表明,其具有高度安全性,对动植物

无任何危害,对生态环境不造成二次污染,是一种环境友好型材料<sup>[22]</sup>。W-OH 可与水发生反应,生成具有良好力学性能的弹性固化体。低浓度的 W-OH 水溶液固化前黏度低,渗透性好,与沙、土黏结力强,形成多孔结构固结层<sup>[32]</sup>。该固结层具有良好的保水、保温、保肥性,可促进植物生长<sup>[33]</sup>。

1.1.3 供试土壤 供试土壤采自湖北省秭归县王家桥小流域紫色土坡耕地(0-40 cm 土层),土壤质地为砂质壤土,容重 1.35 g/cm<sup>3</sup>,有机质含量 5.60 g/kg,土壤颗粒直径>0.02 mm 的占 72.30%,0.002~0.02 mm 的占 14.00%,<0.002 mm 的占 13.70%。

### 1.2 试验设计

1.2.1 试验处理 盆栽试验在长江科学院进行,设计 W-OH 溶液喷施浓度 4 个处理,分别为 0(CK),1%,3%,5%,每个处理 3 次重复。

1.2.2 试验装置 盆栽容器:试验用容器为泡沫箱,高 32 cm,内长 55 cm、内宽 39 cm。将供试土壤风干后过 2 mm 筛,按盆的面积、田间土壤容重和土壤含水量计算所需土量,分层填装,边装边压实。用洒水壶给每盆均匀缓慢洒入等量水,放置养护,直至土壤湿润但表面不积水粘时进行播种。播种于 2016 年 4 月 11 日进行,采用穴播,每盆 2 穴(沿对角线),每穴 2 粒。播种后覆土洒水,每盆覆土高度基本一致。本研究按土壤孔隙率 35%、形成 1 cm 厚度 W-OH 固结层设计喷施量,根据试验处理配置各浓度 W-OH 溶液为每盆 500 mL。在玉米整个生育期,根据玉米生长情况与土壤墒情,不定期浇等量水。

集水装置:试验前在泡沫箱底部均匀布点开直径 1 cm 的渗漏孔,将箱子放在高 80 cm 的架子上,架子表面设计成漏斗形,以承接收集渗液。渗液通过漏斗流入集流桶里,集流桶设分流孔,通过乳胶管连接分流桶,取样时将桶里的渗液倒入取样瓶,带回实验室低温保存并测定。

### 1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 土样采集与指标测定 试验前取多个基础土样,测定土壤本底值;试验结束后,按照 5 点取样法采集各盆土样,各采样点在盆中的位置基本一致,风干土样用常规方法测定土壤基本理化性质。

1.3.2 水样收集与指标测定 每次降雨结束后,及时检查集流桶中的渗流情况并测定记录渗液总量,同时用取样瓶收集适量渗液送实验室低温保存并测定。水样分析指标包括全氮、硝态氮、铵态氮、全磷、正磷酸盐,均采用 SmartChem 140 全自动化学分析仪(意大利 AMS 公司)测定。

1.3.3 作物生长发育观测 玉米生长过程中,定期测定玉米株高、茎粗、叶面积,并采用 LI-6400 便携式光合作用测量系统(美国 LI-COR 公司)对植株叶片进行光合测定,测定时间在天气晴朗的上午 9:00-12:00 进行,

每株玉米选取生长健康的 3 片叶片,测定指标包括叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率等。玉米地上生物量和根系特征测定采用收获法:首先将每盆植株地上部分贴地面收获,称其鲜重,于 105 °C 下杀青 0.5 h,再在 75~80 °C 下烘干称重,分析地上生物量;最后将整盆根系取出冲洗,称取 5 g 鲜根进行扫描,其余根系烘干,测定根生物量。鲜根形态特征测定用扫描仪在 350dpi 像素下扫描成 TIF 图像文件,然后用 DT-SCAN 图像分析软件计算根表面积、根长、根径及根密度等指标,最后将扫描后的根样烘干称重。

1.3.4 气象要素观测 整个试验过程中,通过楼顶的 iMetos 气象站(北京易科泰生态技术有限公司)对降雨、温度、湿度等气象要素进行自动观测,定期采集数据。

#### 1.4 数据分析

采用 SPSS 18.0 软件对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并通过最小显著差异法(LSD)进行多重比较( $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 W-OH 固化剂对玉米生长的影响

盆栽玉米于 2016 年 4 月 11 日播种,4 月 14 日喷施

W-OH 溶液,4 月 18 日观测全部出苗,W-OH 固化剂对玉米生长的影响见表 1。由表 1 可知,在玉米不同生长阶段,W-OH 对玉米株高的影响存在差异。盆栽 2 周时(4 月 26 日)随 W-OH 喷施浓度增加,玉米株高先增加后降低,3% 浓度 W-OH 对玉米株高具有一定的促进作用,1% 和 5% 浓度则表现出抑制作用,但不同处理玉米株高无明显差异,说明玉米生长初期 W-OH 对株高的影响不显著。盆栽约 2 个月时(6 月 16 日),玉米株高随 W-OH 浓度增加表现出先增加后降低的规律,但 3% 和 1% 浓度与对照无显著差异,而 5% 浓度则表现出明显的抑制作用。盆栽约 3 个月时(7 月 18 日),W-OH 对玉米株高有显著影响,但株高与 W-OH 喷施浓度不成正比,中、低浓度(1% 和 3%)下的株高显著高于对照,而高浓度(5%)下的株高与对照差异不显著,说明土壤中加入一定量的固化剂对玉米生长有促进作用。盆栽 3 个月以上至玉米收获(8 月 31 日),各处理玉米株高的规律基本稳定,即随 W-OH 浓度的增加,玉米株高呈先增高后降低的趋势,且均高于对照,3% 浓度处理玉米株高最高,1% 和 5% 浓度处理株高较低,各处理间差异均显著( $p<0.05$ )。

表 1 W-OH 固化剂对玉米生长的影响

W-OH 浓度	株高 <sup>1</sup> / cm	株高 <sup>2</sup> / cm	株高 <sup>3</sup> / cm	株高 <sup>4</sup> / cm	单株叶 面积/cm <sup>2</sup>	净光合速率/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度/ ( $\text{molH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率/ ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ )	地上生 物量/g
0	3.09a	17.02a	35.53c	49.41c	1742.5a	15.34b	0.071c	0.935c	162.37b
1%	2.86a	16.75a	41.26b	54.90b	1630.8ab	15.77b	0.095b	1.784b	169.08b
3%	3.39a	18.67a	47.94a	61.85a	1587.0b	17.92a	0.127a	2.888a	195.39a
5%	2.83a	14.87b	38.16c	50.04c	497.8c	14.66c	0.100b	2.915a	165.08b

注:株高<sup>1</sup> 为 4 月 26 日测定值;株高<sup>2</sup> 和叶面积为 6 月 16 日测定值;株高<sup>3</sup>、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率为 7 月 18 日测定值;株高<sup>4</sup> 和地上生物量为 8 月 31 日测定值。同列不同小写字母表示不同 W-OH 浓度处理间差异显著( $p<0.05$ )。下同。

玉米植株叶面积随 W-OH 浓度增加呈减小趋势(表 1),且均低于对照,低浓度(1%)处理下的叶面积与对照无显著差异,中(3%)、低浓度间无明显差异,高浓度(5%)处理明显不利于玉米长叶( $p<0.05$ )。

通过分析 W-OH 固化剂对作物光合气体交换(净光合速率、气孔导度、蒸腾速率)的影响(表 1),发现 W-OH 固化剂促进了玉米光合水气交换作用。不同浓度处理下玉米的净光合速率和气孔导度均呈先升高后下降的趋势,且与对照差异显著( $p<0.05$ );低、中浓度(1% 和 3%)处理下玉米的净光合速率较对照分别增加了 3% 和 17%,气孔导度较对照分别增加 34% 和 79%;高浓度(5%)处理下玉米的净光合速率较对照降低了 4%,气孔导度较对照增加了 41%。玉米蒸腾速率随 W-OH 浓度增加呈上升趋势,且均显著高于对照,低、中、高浓度(1%, 3%, 5%)处理下玉米的蒸腾速率分别为对照的 2 倍、3 倍和 3 倍。

由表 1 还可以看到,随 W-OH 浓度增加,玉米地上生物量呈先增加后减小的趋势,且均高于对照,同样说明

W-OH 固化剂对玉米的生长有促进作用,与前文分析结果一致;3% 浓度处理玉米地上生物量最大,低、高浓度(1% 和 5%)处理间差异不显著,且与对照也无显著差异。

由上述研究结果可知,喷施 W-OH 固化剂可以促进玉米生长,且这种促生作用自玉米生长中期逐渐明显,但作物生长参数与固化剂浓度不成正比,在本试验条件下,中、低浓度更有利于玉米生长。综合分析,3% 的 W-OH 喷施浓度对玉米生长较适宜。

### 2.2 W-OH 固化剂对渗漏水量的影响

在试验观测期内,共发生 14 次降雨,收集到 10 次渗流,分别为 5 月 10 日、5 月 16 日、5 月 23 日、5 月 28 日、6 月 3 日、6 月 12 日、6 月 20 日、6 月 29 日、7 月 5 日和 7 月 7 日,其中 7 月 5 日和 7 月 7 日为特大暴雨,降雨量分别为 312.6 mm 和 269.0 mm,这 2 次降雨造成严重的城市内涝,所有盆栽渗漏水量均严重超出试验设计的集流桶和分流桶容量,因此这 2 次降雨的渗漏水量采用降雨量折算,分别为 139.6 mm 和 107.0 mm。

表 2 为不同处理下 10 次降雨渗流收集到的渗漏水量,从中可知,与对照相比,不同 W-OH 浓度均表现出不同程度的保水作用。在玉米不同生长阶段,降雨量对 W-OH 的保水作用影响不同;小雨(5 月 10 日)和中雨(5 月 16 日和 5 月 23 日)下,随 W-OH 浓度增加渗流量呈先降低后升高趋势,3% 浓度

处理的渗流量最低,保水效果显著,这与肖培青等<sup>[26]</sup>的结论相一致;大雨(5 月 28 日、6 月 3 日和 6 月 12 日)到暴雨(6 月 20 日和 6 月 29 日)条件下,各处理渗漏水量的变化规律基本稳定,即随 W-OH 浓度增加渗漏水量降低,说明降雨量达到大雨及以上时,W-OH 保水作用与其喷施浓度成正比。

表 2 W-OH 固化剂对渗流量的影响

单位:mm

W-OH 浓度	5 月 10 日	5 月 16 日	5 月 23 日	5 月 28 日	6 月 3 日	6 月 12 日	6 月 20 日	6 月 29 日	7 月 5 日	7 月 7 日
0	4.1a	11.6a	7.2a	15.2b	21.4a	7.4a	52.6a	53.6a	139.6	107.0
1%	3.6b	11.9a	6.2b	16.7a	18.6b	6.2b	45.4bc	54.2a	139.6	107.0
3%	2.7c	10.3c	5.6c	15.4b	17.8bc	3.7d	46.5b	47.8b	139.6	107.0
5%	3.6b	11.1b	6.0b	14.3c	17.0c	4.9c	44.1c	39.3c	139.6	107.0
降雨量	4.2	24.4	20.8	30.4	38.2	32.4	115.2	101.2	312.6	269.0

注:降雨通过楼顶的 iMetos 气象站系统观测;降雨量等级采用中国气象局划分标准。

表 3 显示了不同处理下渗流量与降雨量的拟合关系,分析可知,在本试验条件下,对照组和 1% 浓度处理组只要降雨即产生渗流;同一降雨量下,对照组渗流量为 1% 浓度处理的 3.5 倍,说明喷施 1% 浓度的 W-OH 就已经产生一定的保水作用。降雨量达到 3.0 mm 时 3% 浓度处理产生渗流,降雨量达到 4.7 mm 时 5% 浓度处理产生渗流。上述结果同样说明 W-OH 的保水作用与其喷施浓度成正比。剔除对照样本,拟合 3 个浓度处理下渗流量与降雨量的关系,发现玉米地喷施 W-OH 后,降雨量达到 2.0 mm 产生渗流。

表 3 不同处理下渗流量与降雨量之间的拟合关系

W-OH 浓度	拟合关系	R <sup>2</sup>
0	$y_1 = 0.4261x + 1.5597$	0.9860
1%	$y_2 = 0.4269x + 0.4487$	0.9839
3%	$y_3 = 0.4316x - 1.2947$	0.9882
5%	$y_4 = 0.4295x - 2.0437$	0.9900
喷施 W-OH	$y_5 = 0.4294x - 0.9632$	0.9869

注: $x$  为降雨量;喷施 W-OH 为剔除不喷施 W-OH(对照 0)处理的所有样本。

综上可知,W-OH 的保水作用除受其内在特性及喷施浓度影响外,还受外在环境因素影响,如本试验条件下的降雨因素。降雨是水土流失的外营力,而 W-OH 作为一种新型固化材料,其保水作用是其水土保持功能的重要体现,那么降雨、土壤(水分)、W-OH 保水三者如何相互影响以及作用机理有待进一步探索;降雨(降雨量、雨强、历时)对 W-OH 保水作用的影响是否存在临界条件以及临界条件下 W-OH 的最佳喷施浓度也有待试验研究。

## 2.3 W-OH 固化剂对土壤养分淋失的影响

2.3.1 W-OH 固化剂对土壤养分淋溶浓度的影响 由图 1 可以看出,渗流总氮、硝态氮浓度随玉米生育期变化呈下降趋势,6 月 12 日后趋于稳定。分析原因可能为一定土壤养分含量条件下,玉米生长初期渗流很容易淋溶土壤养分,致使渗流养分浓度较高,则后续渗

流可淋溶的土壤养分逐渐减少;经历多次降雨渗流后,淋溶作用稳定,渗流养分含量也趋于稳定。

W-OH 对玉米生长初期渗流总氮、硝态氮的淋溶浓度影响较大,不同浓度处理均表现出较好的保肥作用。分析 5 月 10 日和 5 月 16 日渗流总氮、硝态氮含量,发现二者随 W-OH 浓度增大均降低,不同处理间差异达极显著水平( $p < 0.01$ )。这说明在玉米生长初期 W-OH 的保肥作用与其喷施浓度成正比,而随着降雨渗流反复淋溶并趋于稳定,W-OH 的保肥作用也逐渐稳定,致使后期不同处理间差异不明显。

与渗流总氮和硝态氮变化趋势类似,渗流铵态氮含量总体呈下降趋势,但在 5 月 23 日和 6 月 29 日有增加;同样,喷施 W-OH 对玉米生长初期渗流铵态氮含量影响较大,分析 5 月 10 日和 5 月 16 日渗流铵态氮含量,发现其随 W-OH 浓度增大而降低,5% 浓度表现出较好的保肥作用。

对比分析各次降雨渗流液中氮的淋溶浓度,发现在整个观测期内,硝态氮含量均高于铵态氮两个数量级,与以往研究<sup>[8,34-35]</sup>得出紫色土地区土壤氮素主要通过淋溶损失,且以硝态氮为主的结论一致。

试验期内,渗流液中总磷、正磷酸盐的淋溶浓度呈降低升高再降低的过程(图 1),与氮素相反,W-OH 在玉米生长初期(5 月 10 日和 5 月 16 日)未表现出保肥作用,各处理磷的淋溶浓度均高于对照。进一步分析发现,W-OH 保肥作用在 5 月 23 日后的次降雨渗流中逐渐显现,且以中、低浓度喷施效果较好。

2.3.2 W-OH 固化剂对土壤养分淋失量的影响 土壤养分淋失量是养分淋溶浓度和渗流量的函数,而渗流量又受降雨量的影响,三者综合作用下,土壤养分淋失量呈现不规则的波动(图 2)。

试验观测期内,3% 和 5% 浓度处理均能减小次降雨总氮、硝态氮的淋失,5% 浓度处理可减少小到中雨铵态氮的淋失,1% 浓度处理可减少总磷、正磷酸盐

的淋失。此外,氮的淋失量以硝态氮为主,铵态氮只占微小部分(各处理平均约 0.9%)。

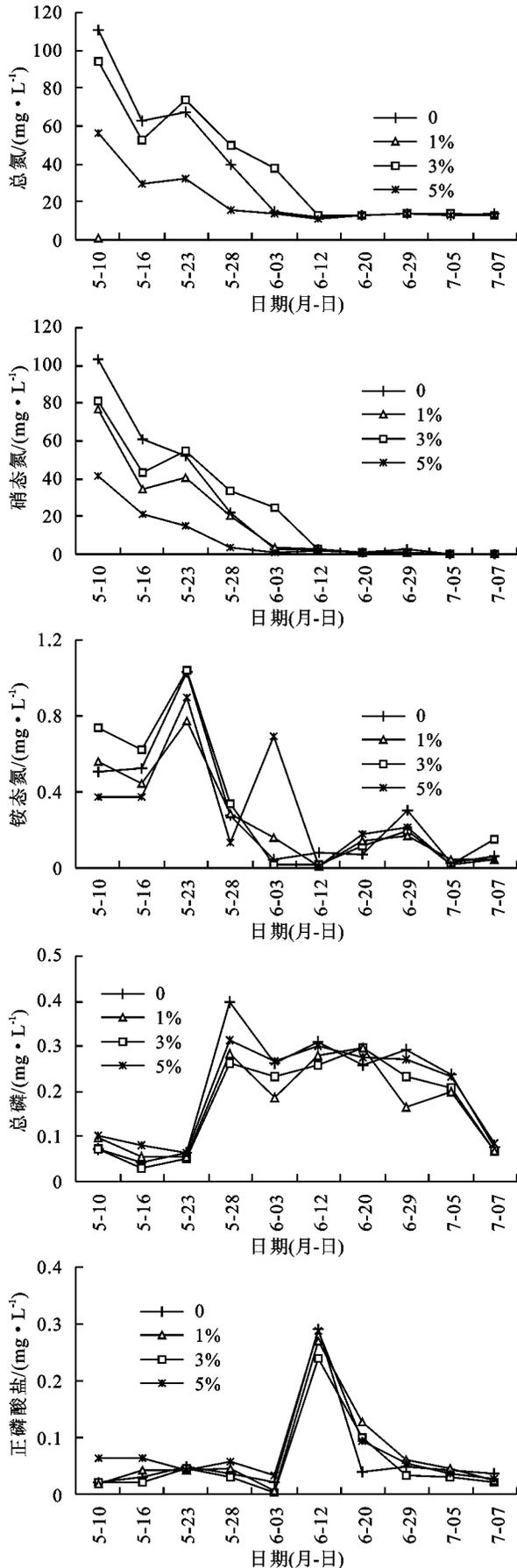


图 1 不同处理次降雨土壤养分淋溶浓度

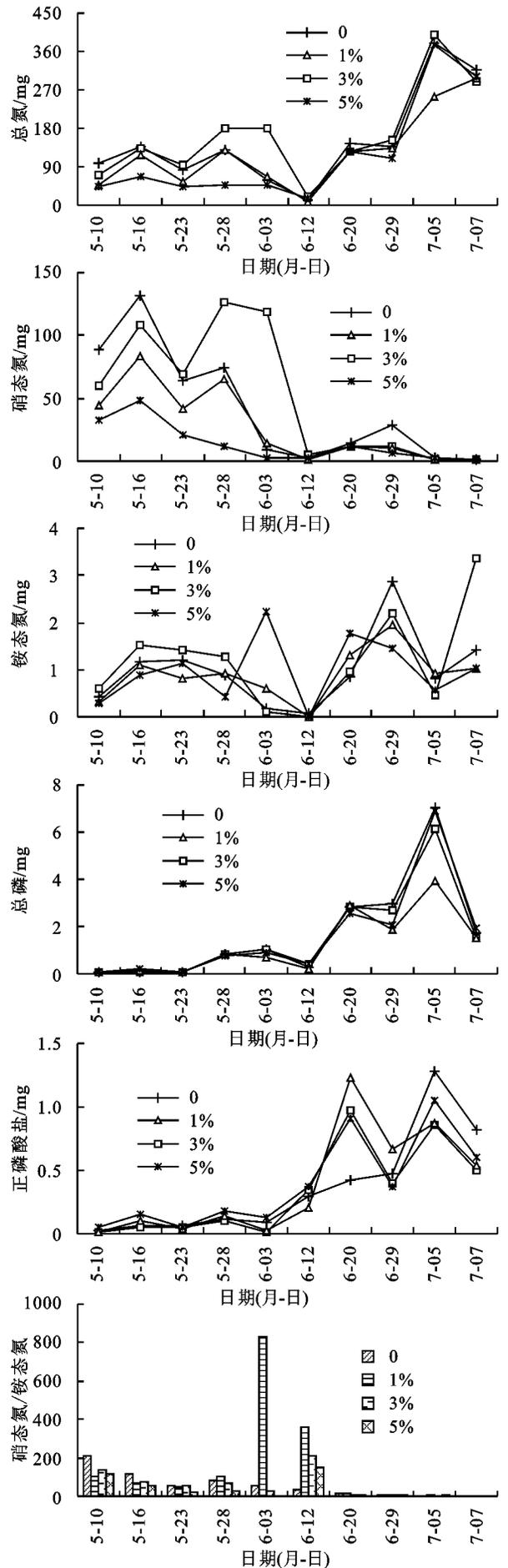


图 2 不同处理次降雨土壤养分淋失量

将各次降雨养分淋失量加和,作为整个观测期的土壤养分淋失总量。由表 4 可知,喷施 3%和 5%浓度的 W-OH 均能有效减少试验期土壤养分淋失总量。与对照相比,3%浓度处理各养分淋失总量降低幅度为 5.4%~33.2%,以硝态氮降幅最大,总磷、总氮次之,正磷酸盐最小;5%浓度处理各养分淋失总量降低幅度为 1.0%~66.5%,以硝态氮降幅最大,总氮、正磷酸盐次之,铵态氮最小。

紫色土的地质特征和风化特征决定了其壤中流普遍存在<sup>[8]</sup>,壤中流是硝态氮的主要流失途径<sup>[8, 34-35]</sup>。而紫色土区年降雨量约 1 100 mm,雨强大于 1.0 mm/min 的比例不足 10%,且多低于 0.5 mm/min<sup>[8]</sup>。这也就意味着,由于壤中流的存在,即使没有侵蚀现象,不发生地表径流,同样可能存在养分流失,特别是施肥管理习惯和大孔隙流产流模式的耦合将加重该地区的农业面源污染风险。本研究表明,3%和 5%浓度的 W-OH 均减少了观测期的土壤养分淋失量,且均以硝态氮降幅最大。此结果也引申出 W-OH 减轻农业面源污染的可能,有待进一步室内模拟、大田长期定位观测等试验验证。

表 4 不同处理土壤养分淋失总量 单位:mg

W-OH 浓度	总氮	硝态氮	铵态氮	总磷	正磷酸盐
0	1495.6	415.6	9.8	17.0	3.7
1%	1643.7	512.9	11.9	15.5	3.9
3%	1236.9	277.5	8.9	12.2	3.5
5%	1179.9	139.3	9.7	15.8	3.3

### 3 结论

(1)W-OH 固化剂可以促进玉米生长及其光合作用,且这种促生作用自玉米生长中期逐渐明显,试验条件下,低、中浓度(1%和 3%)更有利于玉米生长;盆栽 3 个月后,与对照相比,低、中浓度处理下玉米株高分别增加 16%和 35%,净光合速率分别增加了 3%和 17%,气孔导度分别增加 34%和 79%,蒸腾速率分别为对照的 2 倍和 3 倍。

(2)在玉米不同生长阶段,降雨量对 W-OH 的保水作用影响不同;小雨和中雨下,随 W-OH 浓度增加渗流量呈先降低后升高趋势,3%浓度处理的渗流量最低,保水效果显著;降雨量达到大雨及以上时,W-OH 对渗流量的影响规律基本稳定,随 W-OH 浓度增加渗漏水量降低,其保水作用与其喷施浓度成正比;渗流量与降雨量呈良好的直线关系。

(3)在玉米生长初期 W-OH 的保肥作用与其喷施浓度成正比,随着后续降雨渗流反复淋溶,W-OH 的保肥作用也逐渐稳定;3%和 5%浓度的 W-OH 均能有效减少观测期的土壤养分淋失量。

(4)在兼顾土壤抗蚀<sup>[14]</sup>、作物生长与保水保肥的情况下,W-OH 喷施浓度为 3%较适宜。

### 参考文献:

- [1] 谢俊齐,唐程杰,李宪文,等.中国坡耕地[M].北京:中国大地出版社,2005.
- [2] 胡玉法.长江流域坡耕地治理探讨[J].人民长江,2009,40(8):72-75.
- [3] 水利部,中国科学院,中国工程院.中国水土流失防治与生态安全:长江上游及西南诸河区卷[M].北京:科学出版社,2010:121-206.
- [4] 司友斌,王慎强,陈怀满,等.农田氮、磷的流失与水体富营养化[J].土壤,2000,32(4):188-193.
- [5] 冯勇.紫色土坡面侵蚀产沙及氮磷流失特征研究[D].武汉:长江科学院,2012.
- [6] 唐益群,张晓晖,周洁,等.喀斯特石漠化地区土壤地下漏失的机理研究:以贵州普定县陈旗小流域为例[J].中国岩溶,2010,29(2):121-127.
- [7] 刘刚才,高美荣,林三益,等.紫色土两种耕作制的产流产沙过程与水土流失观测准确性分析[J].水土保持学报,2002,16(4):108-111.
- [8] 贾海燕,雷阿林,雷俊山,等.紫色土地区水文特征对硝态氮流失的影响研究[J].环境科学学报,2006,26(10):1658-1664.
- [9] 曹建生,刘昌明,张万军,等.太行山区坡地水文地质特性与渗流集蓄技术研究[J].水科学进展,2005,16(2):216-221.
- [10] Naef F, Scherrer S, Weiler M. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change[J]. Journal of Hydrology, 2002, 267(10): 74-79.
- [11] 阎伍玖,鲍祥.巢湖流域农业活动与非点源污染的初步研究[J].水土保持学报,2001,15(4):129-132.
- [12] Heathwaite A L, Johnes P J, Fraser A, et al. The phosphorus indicators tool: A simple model of diffuse P loss from agricultural land to water[J]. Soil Use and Management, 2003, 19(3): 1-11.
- [13] 刘月娇.不同降雨强度和纱网覆盖下紫色土坡耕地水土流失与养分输出特征[D].重庆:西南大学,2016.
- [14] 梁止水,吴智仁,杨才千,等.基于 W-OH 的砒砂岩抗蚀促生机理研究[J].水利学报,2016,47(9):1160-1166.
- [15] 郭玉珊.EN-1 固化剂对土壤理化及生物学性质的影响[D].北京:北京林业大学,2015.
- [16] 丁小龙,张兴昌,王建玉.EN-1 固化剂对 4 种土壤抗剪强度的影响[J].水土保持通报,2015,35(1):159-162.
- [17] 单志杰.EN-1 离子固化剂加固黄土边坡机理研究[D].北京:中国科学院研究生院,2010.
- [18] 张丽萍,张兴昌,孙强.EN-1 固化剂加固黄土的工程特性及其影响因素[J].中国水土保持科学,2009,7(4):60-65.
- [19] 苏涛,张兴昌,王仁君.EN-1 对砒砂岩固化土抗剪强度特征的影响[J].农业机械学报,2013,44(9):86-90.