

# 植物篱对石灰土坡耕地理化性质及磷素流失的影响

李波, 李晔, 赵绍林, 肖华锋, 李豪瑞

(武汉理工大学资源与环境工程学院, 武汉 430070)

**摘要:** 在三峡库区香溪河流域典型石灰土坡耕地通过修建标准径流小区, 设置栀子花(灌木)和黑麦草(草本)植物篱, 研究不同类型植物篱对石灰土坡耕地耕层土壤理化性质及磷素流失特征的影响。结果表明: 植物篱系统可有效的增加土壤耕层细颗粒含量和减小土壤容重, 从而改善土壤分形特征, 增强土壤疏通性及含水量, 达到增大石灰土坡耕地土壤抗蚀性指数和防治土壤养分流失的目的; 2 种类型植物篱在不同深度耕层、植物篱带内和带间对石灰土坡耕地理化性质及磷素流失的影响表现出一定的差异性, 但总体上差异不显著; 土壤耕层黏粒含量与土壤中  $\text{Ca}_8\text{-P}$ 、 $\text{Al-P}$ 、 $\text{Fe-P}$ 、 $\text{O-P}$  和  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  的含量均达到了极显著正相关 ( $r=0.772, 0.805, 0.603, 0.682, 0.738$ ), 土壤容重与土壤黏粒含量存在显著的负相关关系 ( $r=-0.648$ ), 表明植物篱系统是通过土壤黏粒的有效阻滞和富集, 从而减小石灰性土壤容重和磷素的流失, 实现改善石灰土坡耕地土壤理化性质和防治农业面源污染的效果。

**关键词:** 香溪河; 石灰土; 植物篱; 磷素流失; 土壤理化性质

**中图分类号:** S157.2      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1009-2242(2017)05-0014-05

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2017.05.003

## Effects of Hedgerows on Physical and Chemical Properties and Phosphorus Loss in the Lime Soil Slope Farmland

LI Bo, LI Ye, ZHAO Shaolin, XIAO Huafeng, LI Haorui

(Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070)

**Abstract:** The standard runoff plots with hedgerows of gardenia (shrubs) and ryegrass (herbaceous) were set up to study the effects of different hedgerows on soil physicochemical properties and on the characteristics of phosphorus loss in the typical lime soil slope farmland in Xiangxi River Basin of Three Gorges Reservoir area. Results showed that the hedgerows system could effectively increase the fine particles content in soil and reduce bulk density, so as to improve soil fractal characteristics. It could also enhance soil dredging and water content, and finally increase the soil corrosion resistance index Prevention and control soil nutrient loss. The effects of two hedgerows on soil physicochemical properties and phosphorus loss varied in different soil depths and different intercropping zones in the lime soil slope farmland, but the effects were not significant. The contents of  $\text{Ca}_8\text{-P}$ ,  $\text{Al-P}$ ,  $\text{Fe-P}$ ,  $\text{O-P}$  and  $\text{Ca}_{10}\text{-P}$  in soil were significantly correlated with soil clay contents ( $r = 0.772, 0.805, 0.683, 0.682, 0.738$ ). There was a significant negative correlation between soil bulk density and clay contents ( $r = -0.648$ ), indicating that the hedgerows system could reduce soil bulk density and phosphorus loss through effectively blocking and enriching soil clay particles, to achieve the improvement of soil physicochemical properties and controlling of agricultural non-point source pollution in lime soil slope farmland.

**Keywords:** Xiangxi River; lime soil; hedgerows; phosphorus loss; soil physical and chemical properties

土壤中磷素在农作物生长发育过程中是必不可少的营养元素, 对植物根茎叶等不同部位的生长有很大的影响<sup>[1]</sup>, 农民为了增产增收, 大量施用磷肥, 但由

于耕地的坡度结构加上施肥方法不科学, 导致坡耕地磷素大量流失而造成严重的污染<sup>[2]</sup>。相关研究表明, 在石灰性土壤中施用的化学磷肥会通过物理、化学反

应,将有大部分磷素转化为多种易被固定而不利于农作物吸收利用的难溶性磷酸盐,致使当季施用磷肥的利用率低于20%<sup>[3]</sup>。三峡库区香溪河流域坡耕地化肥利用率低导致大量氮磷流失是诱发香溪河库湾水华爆发的直接原因。近年来,植物篱技术作为一种对坡耕地水土及养分流失行之有效的控制措施已受到国内外广大学者的关注<sup>[4-7]</sup>。目前我国关于植物篱控制坡耕地磷素流失的研究主要集中在植物篱对径流及泥沙的拦截效果及改善土壤结构等方面,且研究的土壤类型多为红壤、紫色土及黄棕壤,而对石灰土坡耕地的研究较少,关于植物篱模式对石灰土区域坡耕地耕层土壤理化性质的改善效果还未见报道。本研究以香溪河流域石灰土坡耕地为研究对象,修建原位径流小区,设置灌木植物篱(栀子花)和草本植物篱(黑麦草),分析2种植物篱模式对土壤耕层理化性质及磷素赋存形态的影响,进而揭示植物篱控制石灰土坡耕地水土及磷素流失的机理,旨在为三峡库区石灰土坡耕地区域全面推广植物篱措施、防治水土流失和控制农业面源污染提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

香溪河是三峡库区湖北省境内及坝首最大支流,其流域主要位于鄂西巫山山脉和荆州山脉之间(东经110°15′—111°05′,北纬30°57′—31°36′),流域面积达2 971 km<sup>2</sup>,属于丘陵低山区,呈现岩多坡陡,河谷纵深的地形特点,坡耕地为该流域主要土地利用类型<sup>[8]</sup>。香溪河流域多年平均降雨量为1 067 mm,其中夏季多雨,降雨量约占全年总降雨量的41%,流域中耕地的土壤类型以石灰土为主,其面积占流域总面积的44.5%<sup>[9-10]</sup>。

本次研究地点在三峡库区香溪河流域兴山县峡口镇陈家湾前的坡耕地,试验区隶属于香溪河水系支流高岚河利方岩小流域,地处亚热带大陆性季风气候和湿润区,各季节天气状况差异较大,表现为春季冷暖多变,雨水多,但以小雨为主;夏季水热同季,雨水集中,以大雨和暴雨为主。年降水量为920~1 250 mm,年平均气温为17℃。试验区土壤类型为棕色石灰土,亚类为轻灰石渣土,植被类型多样,柑橘为当地农民主要的经济作物。试验区地理环境特征、气候特征等自然条件概况和农业生产与管理情况在整个流域均具有一定代表性。2015年10月在试验区顺坡修建原位径流小区,长10 m,宽2.4 m,坡度为20°,小区四周采用单砖浆砌抹面将小区四周封闭,防止雨水外渗及外来进水,空心砖地下埋深40 cm,地上20 cm,小区下方修集水沟和集水池,用于收集降雨过程中产生的地表径流和泥沙。

### 1.2 试验方法

2016年3月在径流小区内设置栀子花植物篱和黑麦草植物篱,沿坡底向坡顶每隔2.5 m种植一排植物篱,其中栀子花植物篱每排种植双行,株距20 cm,行距(植物篱宽度)20 cm,行与行之间呈“品”字形种植,植株高度30~40 cm;黑麦草植物篱为播撒草籽,每排植物篱宽度为20 cm,密集种植。2种植物篱在2016年4月中旬形成稳定的篱带,栀子花植物篱株高40~50 cm;黑麦草植物篱株高10~20 cm。历经一个雨季(5—9月)后,在2016年10月中旬,分别于植物篱带内(2行植物篱中心处)和植物篱带间(2排植物篱中心处)各布设1个土壤采样点<sup>[11]</sup>(图1),并且在相同坡度、坡位和相同耕作条件管理的无植物篱措施的坡耕地设置对照土壤采样点,每个采样点分别采集0—15 cm和15—30 cm不同深度耕层土壤样品,每个采样点重复3次取样,混合均匀,并采集一个副样备用。采集的土壤样品用密封袋保存,带回实验室自然风干后备测,在植物篱植物定植前采集相应土壤样品测定其背景值,分析植物篱系统种植前后石灰土坡耕地耕层土壤理化性质、土壤养分和不同形态磷素含量的变化特征。

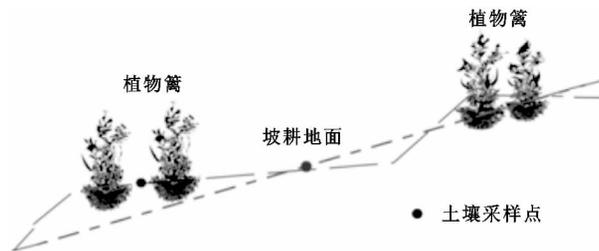


图1 土壤样品采样点示意

将土壤样品采集至实验室后放到通风干燥处自然风干,然后用玛瑙研钵研磨过筛,装入自封袋备测,测定在24 h内完成。土壤物理性质指标采用常规方法测定<sup>[12]</sup>,其中土壤含水率采用烘干法测定,土壤容重采用环刀法测定,土壤机械组成采用比重计法测定。土壤养分含量测定指标包括有机质、总氮、碱解氮和总磷、速效磷等,测定方法依据《土壤理化分析》测定<sup>[13-14]</sup>,土壤中不同形态无机磷含量参照丁怀香对土壤无机磷的分级方法测定<sup>[15]</sup>。

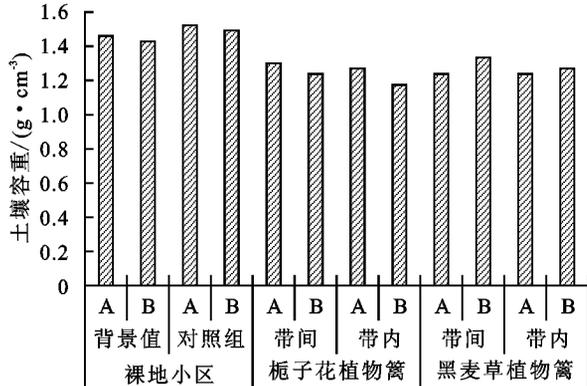
## 2 结果与分析

### 2.1 植物篱系统对土壤容重、孔隙度及含水率的影响

土壤容重、孔隙度及含水量是反映土壤内部结构变化的重要指标,可作为评估在植物篱应用条件下土壤抗蚀能力的重要参数<sup>[16]</sup>。由图2可知,相比于背景值,对照组(裸地小区)耕层土壤在经历一个雨季后容重略有增大,总孔隙度和含水量有减小的趋势。石灰土坡耕地土壤容重、总孔隙度和含水量在不同深度耕层虽有差异但并不明显。植物篱小区土壤容重均

有减小,在小区不同位置及不同深度土层存在一定的差异性,其中植物篱带内减小更明显。在 0—15 cm 耕层土壤中,黑麦草植物篱带间土壤容重减少量较大,为  $0.23 \text{ g/cm}^3$ ,减幅为 15%,总孔隙度和含水量表现为黑麦草植物篱 > 梔子花植物篱,分析原因可能是由于在该土层黑麦草植物篱根系较为密集,对土壤的疏松作用更加显著。在 15—30 cm 耕层土壤中,梔子花植物篱带内土壤容重减少量较大,为  $0.3 \text{ g/cm}^3$ ,减幅为 20%,这是因为梔子花属于灌木类植物,根系较深,而黑麦草属于草本类植物,根系较浅<sup>[17]</sup>,

在 15—30 cm 土层内根系较梔子花稀疏,从而导致在不同深度土层土壤容重出现差异。由于耕层土壤长时间受土壤根系的固结作用和雨水的冲刷效应,导致不同植物篱小区土壤容重、总孔隙度及含水量表现出差异性。此次研究表明植物篱系统有利于减小土壤容重,从而改善土壤结构,增强土壤疏通性及含水量,达到降低石灰土坡耕地土壤可蚀性和减少土壤养分流失的目的。总体上,草本类植物篱措施对耕层 0—15 cm 土壤理化性质具有很好的改善作用,灌木类植物篱系统对 15—30 cm 土壤的影响较为显著。



注:A表示耕层0—15 cm处土壤样品;B表示耕层15—30 cm处土壤样品。

图2 不同植物篱条件下土壤耕层容重、总孔隙率及含水量的分布特征

## 2.2 植物篱系统对土壤机械组成的影响

土壤颗粒分布 (Soil particle-size distribution, PSD),通常代表了黏粒、粉粒和砂粒在土壤中所占的百分比含量,是土壤最重要的物理特性之一,它与土壤侵蚀的难易及土壤中肥力状况等因素具有显著的相关关系<sup>[18-19]</sup>。参照美国土壤粒级制土粒分级标准,根据粒径大小划分为砂粒(0.05~2 mm)、粉粒(0.02~0.05 mm)和黏粒(<0.002 mm)。由图3可知,石灰土坡耕地耕层(0—30 cm)土壤颗粒以粉粒为主(约45%),其次是砂粒(约35%),黏粒含量最少(约20%)。在历经一个雨季后,相比于土壤背景值,对照组(裸地小区)内土壤粉粒和黏粒含量有所减小,砂粒含量明显增加;2种植物篱小区内土壤细颗粒(粉粒和黏粒)含量有增大的趋势,但2种植物篱小区内土壤颗粒分布无显著性差异。2种植物篱系统中不同位置土壤颗粒分布情况略有不同,植物篱带内细颗粒含量略高于植物篱带间,说明径流携带土壤颗粒下移的过程中主要以细颗粒为主,且部分细颗粒在篱带内发生富集效应。由于土壤细颗粒比表面积大,离子吸附力较强,所以土壤细颗粒被认为是氮磷钾等养分元素的主要载体<sup>[20]</sup>,而植物篱措施可以使土壤细颗粒在篱带内发生富集效应,必将导致土壤养分含量的提高和土壤保肥能力的增强。

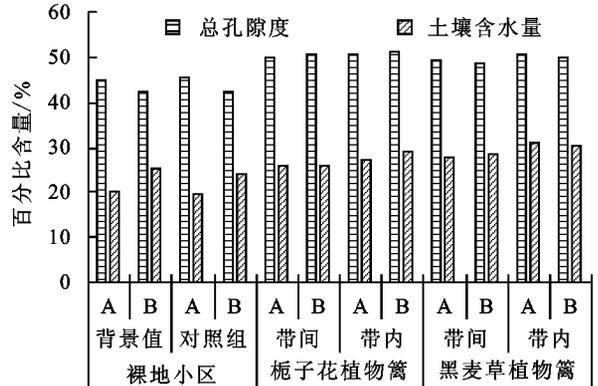


图3 不同植物篱小区土壤机械组成特征

## 2.3 植物篱系统对土壤养分含量的影响

坡耕地农作物的生长状态与土壤中养分的供给情况密切相关,土壤有机质、氮、磷等养分含量是影响坡耕地土壤理化性质和土地生产力的决定性因素。由表1可知,在历经一个雨季后,相比于背景值,对照小区内土壤有机质、氮素和磷素等养分含量均存在不同程度的流失效应;各小区土壤有机质平均含量的变化与土壤黏粒含量变化趋势相同,这与土壤有机质主要富集在细小颗粒中密不可分<sup>[21]</sup>。2种植物篱小区篱带内有机质、总氮和总磷的富集效应优于植物篱带间。相比于裸地小区,土壤有机质和总磷在梔子花植物篱带内增量最大,分别为  $2.52, 0.13 \text{ g/kg}$ ,增幅为 25.69%和 25.00%;黑麦草植物篱带内总氮增量

最大,为 0.19 g/kg,增幅为 14.96%。这表明植物篱措施可以促进土壤有机质、总氮和总磷在植物篱带内富集,从而减少氮素和磷素流失,提高植物篱小区土壤养分的含量。植物篱带间对速效磷和碱解氮的富集效应优于带内,黑麦草植物篱带间碱解氮和速效磷增量最大,分别为 10.4 mg/kg 和 5.1 mg/kg,增幅分

别为 8.93%和 11.70%,这不仅与栀子花和黑麦草 2 种植物对土壤中各种养分的吸收利用密切相关,还与其表层凋落物和发达根系的腐解对土壤团聚体的改善和耕层细颗粒拦截密不可分<sup>[22]</sup>。总体上,2 种植物篱系统对土壤养分均有不错的富集效应,但是两者之间差异不显著。

表 1 不同措施条件下耕层(0—30 cm)土壤养分变化

试验 小区	采样点 位置	有机质/ (g · kg <sup>-1</sup> )	总氮/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	总磷/ (g · kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
裸地小区	背景值	9.81	1.27	116.4	0.52	43.6
	对照组	-1.05	-0.21	-8.5	-0.13	-4.4
栀子花植物篱	带间	2.43	0.11	9.2	0.16	4.6
	带内	2.52	0.15	6.2	0.13	4.4
黑麦草植物篱	带间	2.31	0.08	10.4	0.06	5.1
	带内	2.49	0.19	7.9	0.10	4.8

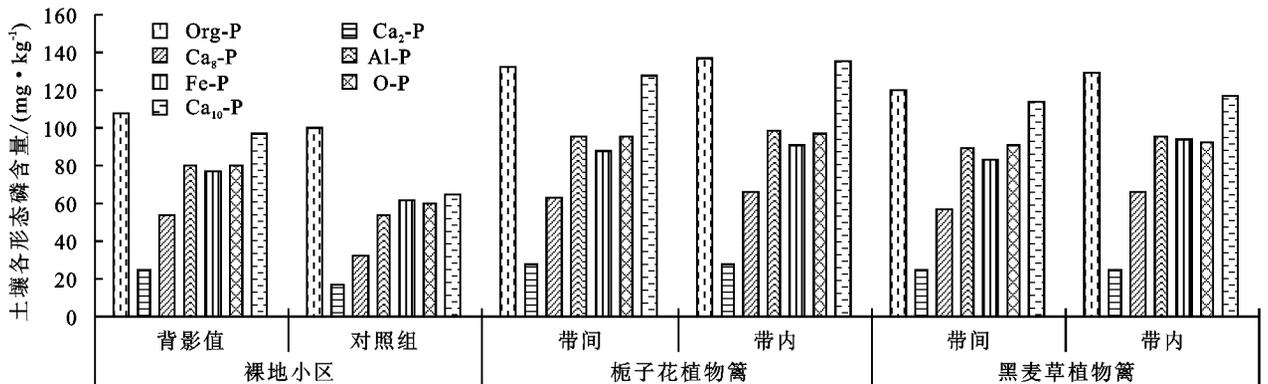
注:表中数据正值表示植物篱系统种植后土壤养分含量增加;负值表示植物篱系统种植后土壤养分含量减少。

## 2.4 植物篱系统对土壤中磷素赋存形态的影响

土壤中磷素赋存形态直接影响磷素的有效利用率和土地生产力,间接决定了坡耕地水土流失所带来的环境污染危害。由图 4 可知,试验区石灰土坡耕地中磷素主要以无机磷形态为主,占总磷的 75%~80%,无机磷主要以 Al-P、Fe-P、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的形式赋存,其中有利于被植物吸收利用的 Ca<sub>2</sub>-P 和 Ca<sub>8</sub>-P 的含量占无机磷总含量的 15%左右。在历经一个雨季后,相比于背景值,对照小区土壤中不同形态无机磷含量均有减少的趋势,而 2 种植物篱小

区各种形态磷含量增大趋势明显,且植物篱带内效果优于带间。这表明植物篱系统可以有效的拦截径流和泥沙中的细小颗粒。在径流的冲击下,大部分土壤细颗粒在篱带内富集,致使植物篱带内不同形态磷素含量均大于带间,但植物篱带内 Ca<sub>2</sub>-P 含量比带间小,这与不同植物对不同形态磷素的吸收利用所存在的差异性密不可分。

相比于对照组,2 种植物篱措施对土壤中 Fe-P、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的蓄积效应较为显著,且栀子花植物篱优于黑麦草植物篱。



注:Org-P 表示有机磷。

图 4 各小区土壤中不同形态磷含量

## 2.5 植物篱土壤理化性质与土壤磷素赋存形态的相关性分析

本研究在调查分析 2 种植物篱系统土壤的理化性质、机械组成和磷素赋存形态的基础上,采用 Pearson 相关系数法对土壤理化性质、机械组成及磷素赋存形态进行相关性分析。由表 2 可知,土壤容重与土壤孔隙度、土壤含水量和土壤黏粒之间均呈现极显著的负相关关系,相关系数分别为 -0.967, -0.708, -0.648, 而与土壤砂粒含量呈显著的正相关关系,相关系数为 0.713。土壤容重与粉粒和各形态的磷素含量在显著性水平为

$P < 0.05$  时,无显著相关关系,而与土壤 Ca<sub>2</sub>-P 含量显著相关,相关系数为 0.540。土壤黏粒含量与土壤中 Ca<sub>8</sub>-P、Al-P、Fe-P、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的含量均达到了极显著正相关,相关系数分别 0.772, 0.805, 0.603, 0.682, 0.738。土壤粉粒含量与土壤有机磷、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的含量均具有极显著的正相关关系,而土壤砂粒含量与土壤中 Ca<sub>8</sub>-P 和 Fe-P 含量的相关系数最大,分别为 -0.422 和 -0.643,均达到了极显著 ( $P < 0.01$ ) 的负相关,说明土壤的机械组成对磷素的赋存形态影响很大,这和土壤细颗粒比表面积大,

颗粒表面离子交换能力强密切相关。以上分析表明,植物篱系统可以通过有效的拦截和富集坡耕地土壤中的细颗粒,减小土壤容重,增强土壤疏松性及含

水量,从而发挥植物篱改善土壤理化性质、提高土壤养分含量、控制磷素和水土流失,防治农业面源污染的生态效益。

表 2 植物篱系统内土壤理化性质各指标与磷素赋存形态之间的相关系数

指标	BD	SP	WC	SAND	SILT	CLAY	Org-P	Ca <sub>2</sub> -P	Ca <sub>8</sub> -P	Al-P	Fe-P	O-P	Ca <sub>10</sub> -P
BD	1												
SP	-0.967**	1											
WC	-0.708**	0.890**	1										
SAND	0.713**	-0.658**	-0.874**	1									
SILT	-0.341	-0.117	0.242	-0.593**	1								
CLAY	-0.648**	0.897**	0.916**	-0.830**	0.042	1							
Org-P	0.058	-0.487*	-0.144	-0.078	0.763**	0.433*	1						
Ca <sub>2</sub> -P	0.540*	-0.892**	-0.795**	0.641**	-0.955**	0.230	0.679**	1					
Ca <sub>8</sub> -P	-0.206	-0.057	0.312	-0.422**	0.022	0.722**	0.865**	0.257	1				
Al-P	-0.105	-0.268	0.107	-0.298	-0.189	0.805**	0.965**	0.467*	0.963**	1			
Fe-P	-0.394	0.285	0.616**	-0.643**	0.380	0.603**	0.615**	-0.118	0.927**	0.799**	1		
O-P	0.231	-0.724**	-0.463*	0.177	0.692**	0.682**	0.912**	0.868**	0.584**	0.778**	-0.073	1	
Ca <sub>10</sub> -P	0.176	-0.682**	-0.402	0.099	0.634**	0.738**	0.922**	0.826**	0.613**	0.802**	0.737**	0.307	1

注: \*\*表示极显著相关( $P < 0.01$ ); \*表示显著相关( $P < 0.05$ ); BD表示容重; SP表示总孔隙度; WC表示含水量; SAND表示砂粒含量; SILT表示粉粒含量; CLAY表示黏粒含量; Org-P表示有机磷含量。

### 3 结论

(1)植物篱系统有助于改善土壤抗蚀性指数,减小土壤容重,增大土壤孔隙率和含水量,可以通过有效的拦截土壤细颗粒,促进土壤有机质、总氮和总磷在篱带内富集,从而减少氮素和磷素流失,提高土壤养分含量,保持水土; 椴子花植物篱系统对石灰性土壤改善能力略优于黑麦草植物篱,不同类型植物篱在不同深度耕层中表现出一定的差异。

(2)三峡库区香溪河流域石灰性坡耕地土壤中磷素主要以无机磷形式存在,含量占总磷的 80%左右,植物篱措施对磷素中 Fe-P、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的蓄积效应较为显著,且植物篱带内效果更加明显。

(3)石灰性土壤容重与土壤耕层砂粒含量达到了极显著的正相关,而与土壤孔隙度、含水量和黏粒含量呈显著负相关关系;土壤黏粒含量与土壤中 Ca<sub>8</sub>-P、Al-P、Fe-P、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的含量均达到了极显著正相关,土壤粉粒含量与土壤有机磷、O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 的含量均具有极显著的正相关关系,而土壤砂粒含量与土壤中粉粒、黏粒、Ca<sub>8</sub>-P 和 Fe-P 的含量均具有极显著的负相关关系。因此,减小土壤容重和增大土壤细颗粒含量是防治石灰土侵蚀和磷素流失的关键。

#### 参考文献:

[1] 宋春丽,樊剑波,何园球,等.不同母质发育的红壤性水稻土磷素吸附特性及其影响因素的研究[J].土壤学报,2012,49(3):607-611.

[2] 李波,李晔,韩惟怡,等.人工降雨条件下不同粒径泥沙中氮磷流失特征分析[J].水土保持学报,2016,30(3):39-43.

[3] 杜伟,赵秉强,林治安,等.有机复混磷肥对石灰性土壤无机磷形态组成及其变化的影响[J].植物营养与肥料

学报,2011(6):1388-1394.

[4] Donjatee S, Tingsanchali T. Reduction of runoff and soil loss over steep slopes by using vetiver hedgerow systems[J]. Paddy and Water Environment, 2013, 11(1/4):573-581.

[5] Salvador B S, Comu S, Couturier A, et al. Morphological and geochemical properties of soil accumulated in hedge induced terraces in the massif central, France[J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85(1):62-77.

[6] Cullum R F, Wilson G V, McGregor K C, et al. Runoff and soil loss from ultra-narrow cotton plots with and without stiff-grass hedges [J]. Soil and Tillage Research, 2007, 93(1):56-63.

[7] 申小波,陈传胜,张章,等.不同宽度模拟植被过滤带对农田径流、泥沙以及氮磷的拦截效果[J].农业环境科学学报,2014,33(4):721-729.

[8] 陈玲,刘德富,宋林旭,等.香溪河流域坡耕地人工降雨条件下土壤氮素流失特征[J].生态与农村环境学报,2012,28(6):616-621.

[9] 秦华,李晔,李波,等.人工模拟降雨条件下石灰土养分流失规律[J].水土保持学报,2016,30(1):1-4.

[10] 陈玲.香溪河流域典型坡耕地氮磷流失机理研究[D].湖北宜昌:三峡大学,2013.

[11] 黎建强,张洪江,陈奇伯,等.长江上游不同植物篱系统土壤抗冲、抗蚀特征[J].生态环境学报,2012,21(7):1223-1228.

[12] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[13] 李海燕.土壤侵蚀危害及其防治措施研究现状[J].宁夏农林科技,2011,52(1):71-72.

[14] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.