

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.03.009

红壤坡耕地不同耕作方式径流及养分流失研究

张展羽¹,吴云聪¹,杨洁²,邢栋¹,王凌云²

(1.河海大学水利水电学院,江苏南京 210098;
2.江西省水土保持科学研究院土壤侵蚀与防治重点实验室,江西南昌 330000)

摘要:为揭示红壤区不同的耕作方式对坡耕地径流及养分流失影响的差异,通过野外径流小区试验,分析对比在3种典型降雨下,南方红壤丘陵区的纵坡间作(措施1)、纵坡种植(措施2)和横坡种植(措施3)等3种耕作方式坡耕地的产流、产沙及氮、磷流失特征。研究结果表明:随着降雨强度的增大,措施3截流减沙优势明显。中雨型下,措施3径流量分别为措施1、措施2的21.5%,20.3%,产沙量分别为措施1、措施2的6.03%,2.28%;大雨型下,措施3径流量分别为措施1、措施2的8.11%,7.6%,产沙量分别为措施1、措施2的4.33%,3.31%。不同措施产流、产沙过程基本一致;措施3在控制土壤养分流失方面优于其他两种耕作方式,各措施氮、磷流失主要集中在产流初期,先增大后逐渐减小,后期趋于稳定。

关键词:坡耕地;典型降雨条件;截流减沙;氮、磷流失;南方红壤丘陵区

中图分类号:S157.1 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2013)03-0241-06

Runoff generation and nutrient loss under different modes of cultivation in red-soil sloping land

ZHANG Zhanyu¹, WU Yuncong¹, YANG Jie², XING Dong¹, WANG Lingyun²

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Key Laboratory of Soil Erosion and Conservation of Jiangxi Province, Jiangxi Provincial Research Institute for Soil and Water Conservation, Nanchang 330000, China)

Abstract: To determine the influence of different cultivation modes on runoff generation and nutrient loss in red-soil sloping land, field plot runoff tests were conducted to investigate and compare the characteristics of runoff generation, sediment yield, and N and P losses under three typical rainfall conditions, using three different cultivation modes: longitudinal-slope intercropping (measure 1), longitudinal-slope planting (measure 2), and cross-slope planting (measure 3), in a red-soil hilly area in southern China. The results show that with an increase in rainfall intensity, cross-slope planting has an obvious advantage in flow interception and sediment reduction. With moderate rain, the runoff generation with measure 3 was 21.5% and 20.3% of that with measure 1 and measure 2, respectively, and the sediment yield with measure 3 was 6.03% and 2.28% of that with measure 1 and measure 2, respectively. With heavy rain, the runoff generation with measure 3 was 8.11% and 7.6% of that with measure 1 and measure 2, respectively, and the sediment yield with measure 3 was 4.33% and 3.31% of that with measure 1 and measure 2, respectively. The runoff-generating and sediment-yielding processes were basically consistent with different cultivation measures. Cross-slope planting was superior to the other two cultivation modes in controlling nutrient loss in soil. N and P losses were mainly concentrated in the initial stage of runoff generation, increasing at first and then decreasing, and tended to be stable in the late stage.

Key words: sloping cultivation land; typical rainfall condition; flow interception and sediment reduction; N and P

losses; red-soil hilly area in southern China

坡耕地是我国耕地资源的重要组成部分。在中国坡耕地约有 24 万 km²,仅南方地区就有 13.3 万 km²,约占坡耕地总量的 56%。随着人口的迅速增长,加上坡耕地长期不合理利用,江西省成为我国南方水土流失较严重的省份之一^[1-2],4—6 月坡耕地水土流失量占全年的 80%^[3]。众多学者对坡耕地养分流失问题进行了相关研究:Alberts 等^[4]认为缓坡或陡坡农田的氮、磷转移和随径流流失的泥沙部分相联系;Rony^[5]研究表明,在次降雨过程中,养分随径流流失只发生在土壤表层一定厚度内;王健等^[6]在室内人工降雨试验的基础上,分析了坡面耕作措施的蓄水保土效益;马琨等^[7]通过研究发现,当雨强较大时,养分流失以泥沙携带为主,雨强较小时,以径流携带为主;张展羽等^[8-11]对红壤坡地水土流失及养分流失问题进行了研究,取得了很有经验的成果。总体来说,我国南方红壤丘陵区旱地农业以坡耕地居多^[12],目前国内相关研究多数仍限于人工降雨条件、不同水土保持措施下的小区对比试验及径流养分流失总量分析,而对于自然降雨条件下,尤其是不同耕作方式坡耕地径流养分流失过程的对比研究却较为少见。本文以红壤土坡耕地径流小区为研究对象,探讨不同耕作方式下坡耕地的养分流失过程规律,以期对南方红壤丘陵区坡耕地养分流失控制及农业生产起指导作用。

1 试验区和研究方法

1.1 试验区概况

试验区布设在德安县博阳河西岸的江西水土保持生态科技园。该园地处江西省北部鄱阳湖水系的德安县城郊燕沟小流域,位于东经 115°42'38"~115°43'06",北纬 29°16'37"~29°17'40"之间,全园占地面积为 80 hm²,地貌类型为浅丘岗地,海拔为 30~100 m,坡度小于 25°,地形条件在南方红壤丘陵区具有代表性。土壤为侵蚀性红壤,成土母质主要为第四纪红黏土,泥质岩类风化物。试验区属亚热带季风气候区,四季分明,有明显的干季和湿季,气候温和,雨量充沛,多年平均降雨量为 1 350.9 mm,多年平均气温为 16.7℃。现状植被主要是天然次生林、半次生林、人工林木及其伴生的灌木和地被物,主要植物群种有马尾松、湿地松、杉木及经济型果林。

1.2 试验设计

试验径流小区修建于 2011 年,在坡度为 10°的同一坡面施工,小区剖面如图 1 所示,共布设 5 m×20 m 的标准小区 12 个,水平投影面积为 100 m²,各小区布置如图 2 所示。每 3 个小区实施 1 种耕作措施。措施 1:纵坡种植花生,横坡间种黄花菜;措施 2:纵坡种植花生;措施 3:横坡种植花生;全园裸露(CK)。花生于 2012 年 4 月 17 日种植,采用一垄双行,行距 30~40 cm,间距 20~30 cm;施肥采用底肥,其中磷肥 20~30 g/m²,复合肥 15~20 g/m²。各措施表层土壤理化性质见表 1。小区周边设置

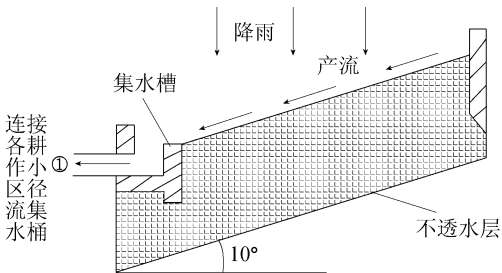


图 1 试验小区剖面图
Fig. 1 Profile of field plots

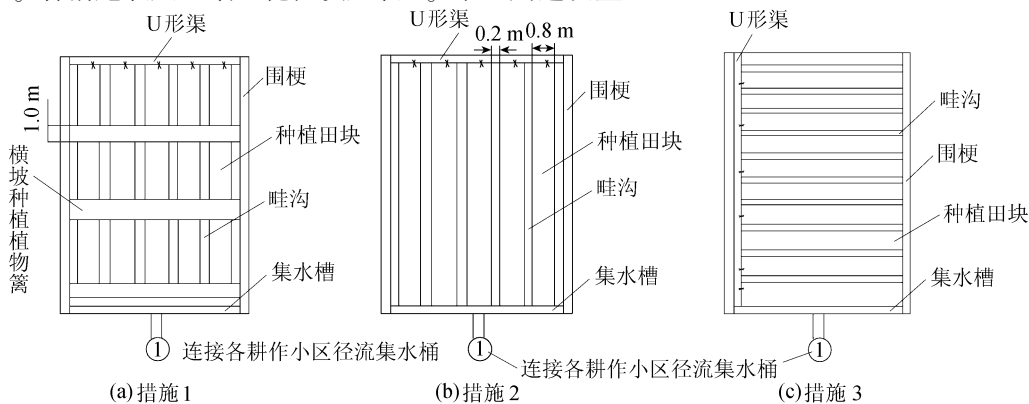


图 2 不同处理布置示意图
Fig. 2 Layout of different cultivation modes

围埂,围埂埋深 0.3 m,高出地表 0.2 m,均用混凝土砖块砌成。小区下面筑有矩形集水槽,承接坡耕地径流及泥沙,并将其引入集水桶。另外,小区内建有 1 座标准气象观测站,用于气象数据观测。降雨等级^[13]按气象学标准划分。(a) 小雨、阵雨:24 h 和 12 h 降雨总量分别为 0.1~9.9 mm,≤4.9 mm;(b) 中雨:24 h 和 12 h 降雨总量分别为 10.0~24.9 mm,5.0~14.9 mm;(c) 大雨:24h 和 12 h 降雨总量分别为 25.0~49.9 mm,15.0~29.9 mm;(d) 暴雨:24 h 和 12 h 降雨总量分别为 50.0~99.9 mm,30.0~69.9 mm。

表 1 不同措施小区表层土壤理化性质指标

Table 1 Physical and chemical properties of surface soil in field plots in different cultivation modes							
措施	pH	密度/ (g·cm ⁻³)	w(有机质)/ (g·kg ⁻¹)	w(总氮)/ (g·kg ⁻¹)	w(总磷)/ (g·kg ⁻¹)	w(碱解氮)/ (mg·kg ⁻¹)	w(速效磷)/ (mg·kg ⁻¹)
CK	7.00	1.40	9.70	1.10	0.33	67.55	3.13
1	7.54	1.36	10.38	1.00	0.55	89.37	4.19
2	7.38	1.30	10.08	0.80	0.39	98.62	3.81
3	7.74	1.38	10.49	0.98	0.58	87.38	4.23

1.3 取样方法

- a. 水样。从降雨产流开始,每隔一段时间将集水桶内的水充分搅匀,分 3 层取样,每一层在具有代表性的 5 个部位取样,共取样 1000 mL 于水样瓶中,24 h 内带回实验室分析。
- b. 土样。每个小区按 S 形分上坡、中坡、下坡 3 个坡位取具有代表性的 5 个点,每一点用 4 cm 土钻在每一部位随机取 20 个土样,每个点分别采集 0~10 cm 土壤样品均匀混合,用四分法取足够土样,于室内自然风干。风干后用保鲜袋装样,带回实验室分析。

1.4 测定方法

- a. 降雨量。在试验小区旁安装虹吸式自计雨量计,可以获得每次降雨的降雨历时、降雨量。
- b. 养分含量测定。主要测定径流中总氮、总磷的质量浓度变化情况,其中总氮根据 HJ 636—2012^[14]测定,总磷根据 GB/T 11893—1989^[15]测定。

2 结果分析

2.1 不同耕作措施的截流减沙效应

选取试验期内几场具有代表性的降雨类型,比较分析各小区在不同降雨条件下的截流减沙效应。

从图 3 及表 2 可以看出,不同小区在不同降雨类型下其蓄水减流效应是不同的,总体趋势是措施 3 优于措施 1 和措施 2,而措施 1 略优于措施 2。大雨条件下措施 3 的蓄水减流效应明显优于措施 1 和措施 2。不同小区在不同降雨类型条件下的保土减沙效应不同,但总体趋势与减流效应基本一致,按减沙量从小到大依次为措施 3、措施 1、措施 2。以上结果表明:随着降雨强度的增大,横坡种植方式截流减沙的优势越发突出,其主要原因可能是横坡耕作方式增加了地表覆盖,水流方向由沿坡面向下改为沿坡地横向流动,相对减缓了水流流速,增加了土壤入渗几率,同时,径流汇流方式也发生了变化,从而使其产流、产沙量减小。这也从另一方面证实了纵坡种植是河流泥沙的主要来源之一。

表 2 不同耕作措施下径流、泥沙减产率

Table 2 Reduction rates of runoff and sediment in different cultivation modes								
日期	平均雨强/ (mm·h ⁻¹)	降雨类型	径流量减产率/%			泥沙量减产率/%		
			措施 1	措施 2	措施 3	措施 1	措施 2	措施 3
2012-07-14	6.59	中雨	86.51	81.75	96.30	97.72	93.97	99.90
2012-07-17	15.82	大雨	50.60	47.29	95.99	90.76	87.89	99.60
2012-08-04	3.06	中雨	79.26	76.96	94.93	97.16	96.85	99.83
2012-08-08	2.61	中雨	84.21	76.32	92.11	99.23	99.05	99.83
2012-08-21	1.22	小雨	71.43	66.67	80.95	90.25	92.17	95.21

2.2 不同降雨类型水土流失过程分析

2.2.1 大、中雨型下产流产沙过程

由图 4 可以看出:不同降雨类型下,不同措施产流、产沙的时间均滞后于降雨开始时间,但滞后时间不同。大雨型下,CK、措施 1、措施 2、措施 3 的滞后时间分别为 6 min,17 min,12 min,27 min;中雨型下,CK、

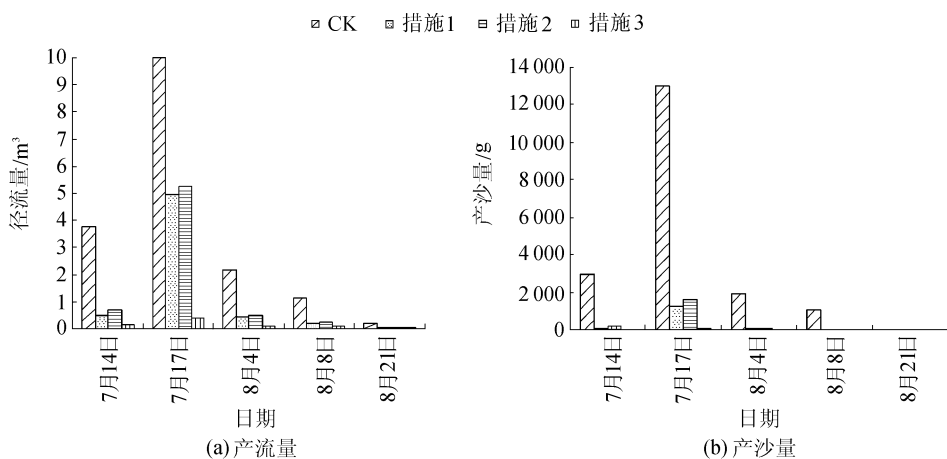


图3 降雨产流量、产沙量对比

Fig. 3 Comparisons of runoff generation and sediment yield under different intensities of rainfall

措施1、措施2、措施3的滞后时间分别为11 min,23 min,17 min,36 min。中雨型下各耕作措施小区产流、产沙滞后时间大于大雨型,且措施3的滞后时间大于措施1和措施2。比较中雨型和大雨型条件下,各措施产流、产沙随时间变化趋势基本一致,大雨型条件下不同耕作措施小区产流、产沙过程有明显的差异。措施3的产流量、产沙量均小于其他2种措施。中雨型下,措施3的产流量分别为措施1、措施2的21.5%和20.3%,产沙量分别为措施1、措施2的6.03%和2.28%;大雨型下,措施3的产流量分别为措施1、措施2的8.11%和7.6%,产沙量分别为措施1、措施2的4.33%和3.31%。随着降雨强度的增大,措施3截流减沙效应明显。

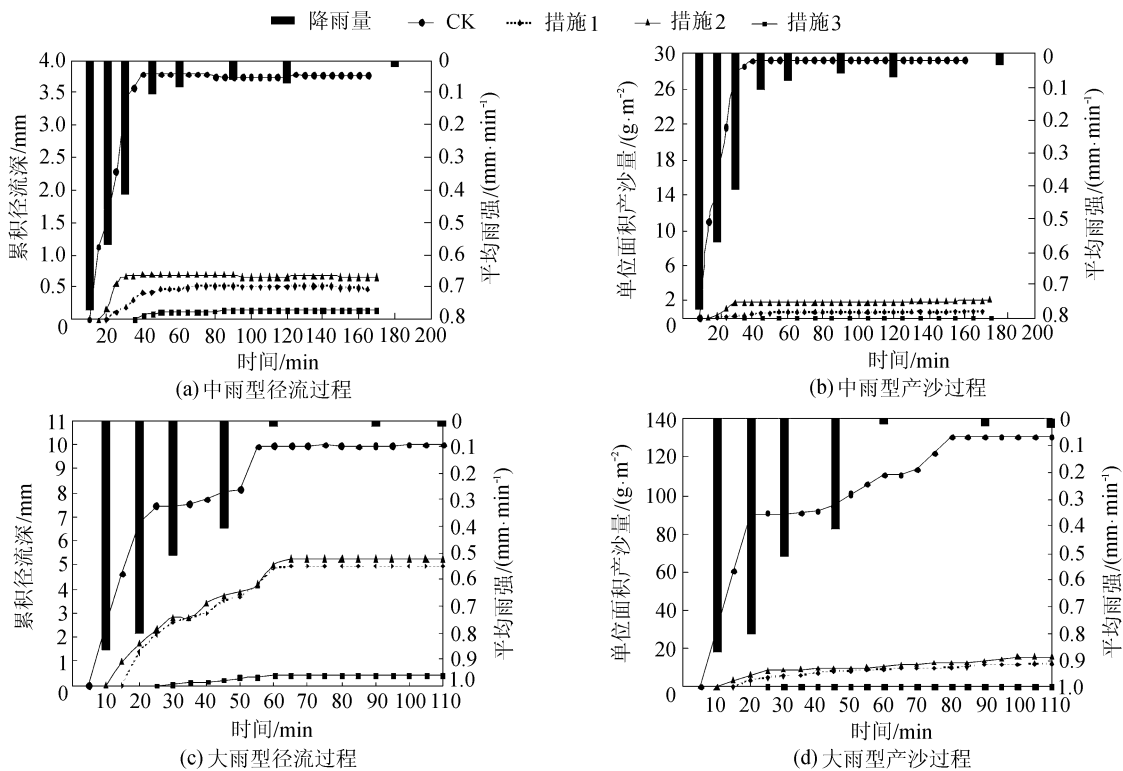


图4 大雨型、中雨型下小区径流及产沙过程

Fig. 4 Runoff generation and sediment yield processes with moderate and heavy rains

2.2.2 大、中雨型下养分流失过程

图5是大、中雨型条件下总氮、总磷的流失过程。从图5可以看出,大雨型条件下,不同耕作措施总氮流失过程均为先增大后逐渐减小最后趋于稳定。在径流和泥沙运移的共同作用下,径流中总氮质量浓度随径

流量和时间的变化而变化。产流初期,径流携带大量表层肥沃、疏松的土壤颗粒,导致径流中流失的总氮质量浓度升高,各措施流失总氮峰值质量浓度如下:CK 为 6.5 mg/L,措施 1 为 3.42 mg/L,措施 2 为 4.2 mg/L,措施 3 为 1.35 mg/L。产流初期径流中,措施 1、措施 2、措施 3 总氮的质量浓度分别是 CK 的 52.6%, 64.6%, 20.8%,表明这 3 种耕作措施均能有效地控制全氮的流失;后期 CK、措施 1、措施 2、措施 3 总氮的质量浓度各自稳定在 2.98 mg/L,1.86 mg/L,2.1 mg/L,1.1 mg/L。

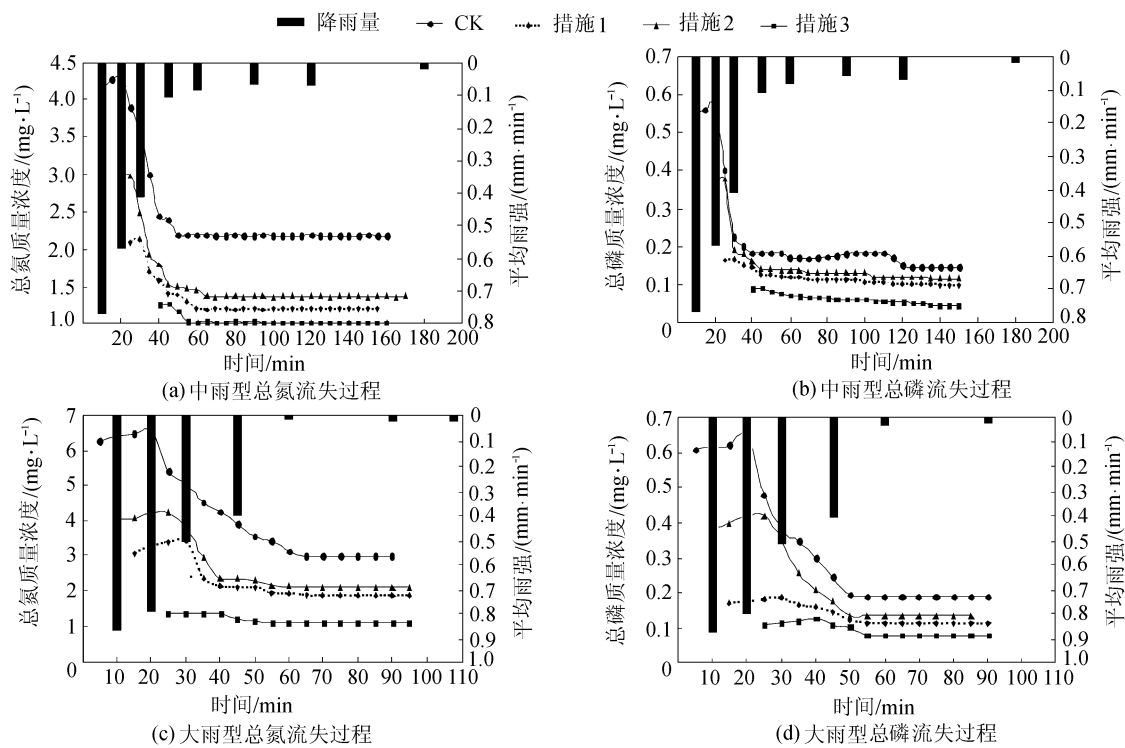


图 5 大雨型、中雨型下总氮及总磷流失过程

Fig. 5 Processes of total nitrogen and total phosphorus losses with moderate and heavy rains

各耕作小区总磷质量浓度的变化规律基本与总氮相同,但是流失的总磷质量浓度远小于总氮,这可能是由于表层土壤中总磷含量低于总氮含量。CK、措施 1、措施 2、措施 3 总磷流失峰值质量浓度分别为 0.65 mg/L,0.186 mg/L,0.42 mg/L,0.125 mg/L;后期分别稳定在 0.19 mg/L,0.112 mg/L,0.135 mg/L,0.08 mg/L。

中雨型条件下,不同耕作措施小区径流中总氮、总磷质量浓度变化过程与大雨型基本一致,都是在产流初期较高,随着产流量的增加而增大,后期趋于稳定。

2.2.3 长历时小雨型下水土流失规律

虽然小雨型不会引起严重的水土流失,但是小雨却是试验区出现频率最高的降雨类型,对于坡耕地种植来说,同样需要做好水土保持工作。由于该地区降雨强度和降雨量均很小,地表产流过程极其缓慢,难以测到准确的产流过程,因此主要从总量上研究小雨型下的水土流失规律。

选取 2012 年 8 月 21 日(小雨型)降雨。CK、措施 1、措施 2、措施 3 的产流量分别为 2.1 mm,0.6 mm,0.7 mm,0.4 mm;产沙量分别为 17.12 g,1.67 g,1.34 g,0.82 g;总氮流失量(质量浓度)分别为 1.572 mg/L,0.755 mg/L,0.930 mg/L,0.229 mg/L。由此可以看出,小雨型下不同耕作措施产流、产沙及养分流失量均很小。

3 结 论

a. 从减流角度来看,采取不同的耕作方式均能有效降低坡地径流量。试验结果表明,红壤区坡耕地不同耕作方式下,措施 3(径流量平均减产率为 92.06%)优于措施 1(径流量平均减产率为 74.40%)优于措施 2(径流量平均减产率为 69.80%),并且随着雨强的增大,措施 3 的减流效应优势越明显。

b. 从减沙角度来看,不同耕作方式均能减少坡地泥沙量,其减沙能力优劣次序为:措施 3(泥沙量平均

减产率为 98.87%)、措施 1(泥沙量平均减产率为 95.02%)、措施 2(泥沙量平均减产率为 93.96%)。

c. 不同耕作方式对径流中总氮、总磷的质量浓度起明显的控制作用,其中以措施 3 效果最好。径流中总磷的质量浓度明显低于总氮浓度,这可能与第四纪红壤黏土富氮缺磷的性质有关。不同耕作措施下总氮、总磷流失强度表现为措施 3<措施 1<措施 2。

d. 不同降雨类型下,比较同一耕作小区径流中养分流失质量浓度大小,得出质量浓度从大到小的顺序为:大雨型、中雨型、小雨型。措施 1 流失总氮、总磷质量浓度均小于措施 2,表明植物篱能有效控制坡耕地径流养分流失。

参考文献:

[1] 左长清,杨洁,李相玺. 江西省鄱阳湖湖滨沙地蔓荆的固沙效益[J]. 中国水土保持科学,2003,1(2):38-41. (ZUO Changqing,YANG Jie,LI Xiangxi. Jiangxi Poyang Lake lakeside sand tendrils of schizonepeta not benefit[J]. China Soil and Water Conservation Science,2003,1(2):38-41. (in Chinese))

[2] 左长清. 关于建设江西生态经济区的思考[J]. 中国水土保持,2000(11):13-14. (ZUO Changqing. About the construction of ecological economic zone in Jiangxi thinking [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2000(11):13-14. (in Chinese))

[3] 左长清. 江西省河湖泥沙的主要来源及防治对策[J]. 中国水土保持科学,2004,2(3):61-63. (ZUO Changqing. The main source of sediment in Jiangxi province and prevention countermeasures[J]. Journal of Soil and Water Conservation Science,2004,2(3):61-63. (in Chinese))

[4] ALBERTS E E,MOLDENHAUER W C. Nitrogen and phosphorus by eroded soil aggregates[J]. Soil Science Society of America Journal,1981,45:391-395.

[5] RONY W. The concept of convective mass transfer for predicting of surface runoff pollution by soil surface applied chemicals[J]. Transaction of the ASAE,1989,32(3):906-912.

[6] 王健,吴发启,孟秦倩. 农业耕作措施蓄水保土效益试验研究[J]. 水土保持通报,2004,24(5):39-41. (WANG Jian,WU Faqi,MENG Qinqian. Agricultural cultivation measures and water conservation benefits test[J]. Water and Soil Conservation Bulletin,2004,24(5):39-41. (in Chinese))

[7] 马琨,王兆骞,陈欣,等. 不同雨强条件下红壤坡地养分流失特征研究[J]. 水土保持学报,2002,16(3):16-19. (MA Kun,WANG Zhaoqian,CHEN Xin,et al. Different rainfall intensity conditions red soil slope characteristics of nutrient loss[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2002,16(3):16-19. (in Chinese))

[8] 张展羽,左长青,刘玉含,等. 水土保持综合措施对红壤坡地养分流失作用过程研究[J]. 农业工程学报,2008,24(11):41-45. (ZHANG Zhanyu,ZUO Changqing,LIU Yuhuan,et al. The soil and water conservation comprehensive measures of red soil slope nutrient loss process[J]. Journal of Agricultural Engineering,2008,24(11):41-45. (in Chinese))

[9] 张展羽,王超,杨洁,等. 不同植被条件下红壤坡地果园氮磷流失特征分析[J]. 河海大学学报:自然科学版,2010,38(5):479-482. (ZHANG Zhanyu,WANG Chao,YANG Jie,et al. Characteristics of nitrogen and phosphorus losses in garden of red soil slope land under different vegetation measures[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2010,38(5):479-482. (in Chinese))

[10] LI Xinhui,ZHANG Zhanyu,YANG Jie,et al. Effects of Bahia grass cover and Mulch on runoff and sediment yield of sloping red soil in Southern China[J]. Pedosphere,2011,21(2):238-243.

[11] 杨洁,郭晓敏,宋月君,等. 江西红壤坡地柑橘园生态水文特征及水土保持效益[J]. 应用生态学报,2012,23(2):468-474. (YANG Jie,GUO Xiaomin,SONG Yuejun,et al. Eco-hydrological characteristics and soil and water conservation effect of citrus plantation on slope red soil of Jiangxi Province, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2012,23(2):468-474. (in Chinese))

[12] 谢颂华,曾建玲,杨洁,等. 南方红壤坡地不同耕作措施的水土保持效应[J]. 农业工程学报,2010,26(9):81-86. (XIE Songhua,ZENG Jianling,YANG Jie,et al. The southern red soil slope different cultivation measures of soil and water conservation effect[J]. Journal of Agricultural Engineering,2010,26(9):81-86. (in Chinese))

[13] 科迪. 降雨强度划分[J]. 北京水务,1995(4):49. (KE Di. Rainfall intensity division[J]. Beijing Water,1995(4):49. (in Chinese))

[14] HJ 636—2012 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法[S].

[15] GB/T 11893—1989 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法[S].