

# 红壤坡耕地不同植物篱配置模式减流减沙效益对比<sup>①</sup>

袁久芹<sup>1,2</sup>, 梁音<sup>1\*</sup>, 曹龙熹<sup>1</sup>, 卢慧中<sup>1,2</sup>, 祝亚云<sup>1,2</sup>, 陈玲<sup>1</sup>

(1 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 植物篱作为坡耕地一种有效的水土保持生物措施, 已有大量的研究。但对植物篱带内降雨产生的径流泥沙过程细化研究较少, 有必要从微区尺度研究篱带范围内多种植物篱的减流减沙效益, 并进行植物篱品种以及搭配模式的筛选。在模拟降雨条件下, 本试验选取 3 种单一植物模式(黄花菜, 香根草, 百喜草), 每种植物各设置 3 种篱带宽(1 行, 2 行, 3 行), 以及 4 种组合植物模式(1 行黄花菜+2 行百喜草, 1 行香根草+2 行百喜草, 1 行香根草+2 行黄花菜, 1 行百喜草+1 行香根草)、1 组对照, 进行产流产沙过程比较, 试验结果表明, 各植物篱模式均不同程度地改善了土壤理化性质, 减少了水土流失量; 同类植物中, 2 行植物篱即可达到较好的水保效果; 组合植物篱模式的减流减沙效益优于单一植物篱模式。

**关键词:** 植物篱; 坡耕地; 模拟降雨; 水保效益

**中图分类号:** S157.2

我国现有 18.2 亿亩耕地中, 坡耕地面积 3.6 亿亩, 占总耕地面积的 20%, 其中南方红壤区坡耕地占旱地面积的 70% 以上。大面积的坡耕地成为水土流失的泥沙策源地, 据统计, 全国坡耕地面积占水土流失总面积的 6.7%, 而产生的土壤流失量却占全国总量的 28.3%<sup>[1]</sup>。坡耕地严重的水土流失, 成为发展“高产优质高效”农业的瓶颈, 制约了当地“强农惠农富农”目标的实现。因此, 探索、研究和实施有效的控制坡耕地水土流失技术, 对实现我国资源、环境和人口的协调发展意义重大。

植物篱作为坡耕地上一种有效的水土保持生物措施, 在水土保持领域备受关注。等高植物篱是在坡耕地沿等高线每隔一定距离, 布设密植生长速度快、萌生力强的灌木或灌化乔木以及灌草结合的植物篱带, 带间布置农作物和经济作物<sup>[2]</sup>。植物篱种植模式是指植物篱的物种组成、植物篱的空间结构(包括篱间距离、篱带宽、带内植株间位置等)以及植物篱与其他水土保持措施搭配使用方式等, 植物篱种植模式是植物篱水土保持效益研究的重要方面<sup>[3]</sup>。由于气候、地形等因素的不同, 不同地区的植物篱配置模式各异, 目前, 国内有关植物篱种植模式的研究主要集中在南方红壤丘陵区, 长江中上游干旱河谷区以及三峡

库区。张沛<sup>[4]</sup>采用径流小区法和稀土元素示踪法, 研究了麦冬和黄花菜组合 5 种不同植物篱模式的水土保持效益, 认为双行麦冬植物篱是当地效益较好植物篱种植方式。李新平等<sup>[5]</sup>选取黄花菜和百喜草 2 种植物篱在红壤坡耕地上进行效益对比, 研究表明, 两种植物篱模式都可以显著减小径流量和侵蚀量。廖晓勇等<sup>[6]</sup>在三峡库区经过 4 年定位试验, 发现饲草玉米生物篱可以有效改善陡坡地土壤性状, 从而固持土壤、拦截径流, 减少养分流失。姚桂枝等<sup>[7]</sup>在丹江口库区坡耕地上对紫穗槐等 4 种植物篱的水土保持效益进行对比分析, 并筛选了最佳建篱物种。王幸<sup>[8]</sup>也在三峡库区开展了类似研究, 分别从生态、经济和社会三方面对比 6 种植物篱模式的效益, 提出了相应的最优模式。

虽然学者们已经对植物篱配置模式作了不少研究, 但大多仍集中于建篱物种的选择, 而对植物篱行数以及混合物种的效益研究较少。另一方面, 现有研究主要采用径流小区监测研究坡面尺度上的总体减流减沙效益, 而植物篱对坡面产流产沙的影响主要包括植物篱带范围内的减流减沙和拦截上坡来水来沙两部分, 两种影响过程具有不同的作用机理, 对植物篱带水土保持功能的要求也不相同, 前者需要篱带具

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2011BAD31B04-2)、青年科学基金项目(41101253)和水利部长江委重点项目资助。

\* 通讯作者(yliang@issas.ac.cn)

作者简介: 袁久芹(1989—), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与水土保持研究。E-mail: jqyuan@issas.ac.cn

有一定的覆盖面积和根系导水能力,而后者更偏重于植物杆茎的密集程度和机械拦挡作用<sup>[9]</sup>。目前对植物篱带径流泥沙过程的细化研究较少,制约了人们对植物篱水土保持机理的深入认识。本文作者曾通过人工模拟降雨试验分别对比了香根草篱带杆茎和根系对产流产沙过程的影响<sup>[10]</sup>,但试验只研究了一种植物篱,迫切需要增加植物篱带模式类型,从而辅助坡耕地植物篱布设模式的优化与筛选。

为此,本文以植物篱带范围内的降雨拦截和增加入渗过程为研究对象,通过不同植物组合配置,在微区尺度模拟降雨条件下,比较各植物篱模式的减流减沙效益和产流产沙过程,以期筛选出最佳的植物篱模式。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

植物篱野外人工降雨试验研究区位于中国科学院红壤生态实验站西侧(116°55'E, 28°12'N),属亚热带季风气候,平均气温为 17.6℃,年均降雨量约为 1 766 mm,50% 左右的年降雨分布在 4—6 月间。该研究区为低丘缓坡地形,坡度在 3°~15°,海拔为 35~60 m。成土母质为红砂岩,土壤类型为红壤,富

含铁氧化物,黏土矿物以高岭石为主。土壤有机质、有效磷和钾的含量都较低,尤其以有效磷的缺乏最为严重,土地生产力相当低,高强度的开发和干扰导致该研究区的土壤侵蚀较为严重<sup>[11]</sup>。该地临近水塘,为人工降雨试验提供了充足的水源。

试验区种植 3 种植物篱,即香根草、黄花菜、百喜草。香根草作为多年生植物,当年即可迅速形成浓密而持久的绿篱,没有根茎和匍匐茎,不会成为杂草,其分蘖节埋在地下,即使牲畜过度啃食或者偶遇火灾,也不致死亡,生命力极强,一次栽种多年收益,且只需极少的维护。黄花菜具有抗干旱、耐贫瘠的特点,地下有着肥大的根系,细微根须系统拓展范围可达 50 cm,此外还具有重要的经济价值,其花可以食用、入药。百喜草根系发达,种植当年根深可达 1.3 m 以上,并且具有强劲的单枝匍匐茎,生性粗放,对土壤选择性不强,分蘖旺盛。3 种植物均于 2012 年 4 月布设在大田中,坡度 6°,采取移植的方式,香根草株距 15 cm,黄花菜株距 30 cm,百喜草株距 20 cm,按照许峰等<sup>[12]</sup>的研究结果,带间距离应小于坡面细沟侵蚀发生的临界坡长 5.9 m,本试验篱间距设置为 5 m。每种植物篱各布设 3 种行数,以及 4 种组合模式,具体模式见表 1。一年后各植物篱的生长状况见表 1。

表 1 不同植物篱模式下的植物生长状况  
Table 1 Growth conditions of different hedgerows

植物篱模式	株高(cm)	株宽(cm)			盖度(%)
		上部	中部	根部	
1 行黄花菜	30	20	15	5	20
2 行黄花菜	25	20	15	6	45
3 行黄花菜	75	30	15	6	80
1 行香根草	160	60	30	12	65
2 行香根草	160	60	40	12	90
3 行香根草	170	70	40	10	100
1 行百喜草	35	—	—	12	35
2 行百喜草	50	—	—	15	70
3 行百喜草	50	—	—	12	90
1 行黄花菜 + 2 行百喜草	—	—	—	—	60
1 行香根草 + 2 行百喜草	—	—	—	—	70
1 行百喜草 + 1 行香根草	—	—	—	—	50
1 行香根草 + 2 行黄花菜	—	—	—	—	70

注:盖度是以篱带中心线为参照,1 m<sup>2</sup> 范围内的微区中,叶面垂直投影面积占微区面积的百分比。百喜草由于植株细长,植株宽度上下差异不大,测量时只量取其地上部分靠根部的宽度。组合模式由于各类植株长势不一,无法统一测量株高、株宽。

### 1.2 试验设计

模拟降雨试验于 2013 年 6 月进行,根据植物篱种植一年后的长势状况,试验选取 3 种单一植物模式(黄花菜,香根草,百喜草),每种植物各设置 3 种篱

带宽(1 行,2 行,3 行),以及 4 种组合植物模式(1 行黄花菜+2 行百喜草,1 行香根草+2 行百喜草,1 行香根草+2 行黄花菜,1 行百喜草+1 行香根草)进行人工模拟降雨,另选取裸地作为对照,每种模式重复

降雨 2 次, 设定雨强一致, 试验共计模拟降雨 28 场。选择裸地时, 尽量选择裸露的地块, 如有少量杂草, 用剪刀小心地剪去地上部分, 不造成土壤扰动。

在每种模式的植物篱上顺坡向设置 1 m×1 m 的微区, 草篱位于微区正中。微区边界由 3 块 25 cm 宽的镀锌铁皮和集沙槽围起, 铁皮有 10 cm 插入土中防止侧渗, 形成的边界高 15 cm, 集沙槽高 15 cm, 宽 1 m, 长 50 cm。在出口处挖取样池, 直径 30 cm, 为了防止排水不畅, 在出口处下方挖引流沟方便排水。

试验使用的便携式人工模拟降雨机按照 Covert 和 Jordan<sup>[13]</sup>提供的方案设计, 主要包括汽油发电机、水泵、水管、压力表、喷头, 由 4 根 6 m 长的可拆卸的钢管支撑起来, 压力表和喷头被固定在由 4 根 50 cm 长的钢管连接成的正方形框架上, 降雨机中间挂一铅垂, 以便调节喷头高度到 3 m, 具体结构参数见图 1。采用美国 Spraying system 公司的 Fulljet 系列实心锥形喷头, 型号 Fulljet 1/2HH-50WSQ。率定结果表明, 当喷头高度达到 3 m、水压为 40 kPa 时, 该型喷头产生的雨滴降落速度和动能大小与自然降雨接近<sup>[14]</sup>, 在喷头正下方 1 m<sup>2</sup> 范围内降雨均匀系数大于 80%。整个装置为组合式结构, 方便安装、拆卸和运输。

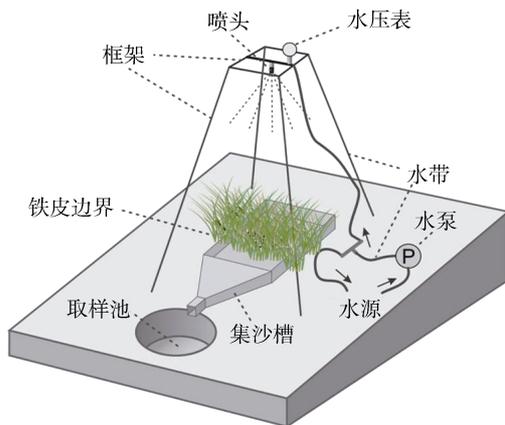


图 1 微区人工模拟降雨试验设计图  
Fig. 1 Design scheme of artificial rainfall in micro-plot

### 1.3 采样与测定

试验开始前在各模式植物篱微区内空白处取土样, 各类型植物篱下设 2 个采样点, 分别位于植物篱带上(冠层投影带上±20 cm 范围内)、植物篱带下(冠层投影带下±20 cm 范围内), 采集 0~20 cm 表层土样。对照则为植物篱带间坡耕地上。每个采样点用环刀取原状土测定土壤体积质量, 每个采样点 0~30 cm 范围内平行设置 2 个重复, 然后将平行土样进行混合, 每个混合土样取 500 g 左右带回实验室测定

土壤有机质、机械组成、含水量。测定方法根据中国科学院南京土壤研究所<sup>[15]</sup>编写的《土壤理化分析》中的常规方法。

土壤体积质量采用 100 ml 环刀取样测定(g/cm<sup>3</sup>); 土壤有机质含量采用重铬酸钾容量法测定(g/kg); 土壤机械组成采用吸管法测定(g/kg); 土壤含水量采用烘干法测定(g/kg)。

试验微区布设好以后, 将降雨机架在微区正中间, 调节脚架到设定高度。每场降雨之前需进行降雨强度校订, 先用一块防水布将试验微区盖住, 调节阀门直到压力表达达到 40 kPa, 这时迅速撤掉防水布, 开始试验并计时。试验开始后记录产流时间, 每隔 1 min 取径流泥沙样, 直到 500 ml 取样瓶接满为止, 并记下取样的起止时间, 降雨过程持续 30 min, 平均每场降雨的雨量为 43.5 L。试验结束后用烘干法测定泥沙并计算侵蚀量。试验过程中在小区的四个角各放一个雨量筒, 以统计每场降雨的实际降雨强度。

## 2 结果与讨论

### 2.1 理化性质分析

土壤体积质量、含水量、机械组成以及有机质含量是土壤理化性质的重要指标, 反映了土壤结构、水分状况、肥力等。对各模式植物篱下的土壤理化性质进行测定(表 2), 各植物篱模式下的土壤体积质量与裸地相比均有不同程度的减小, 土壤含水量、有机质含量均比裸地高, 说明植物篱枯枝落叶的不断积累和分解、根系的穿插, 在不同程度上改善了土壤结构和水分状况, 从而改善了土壤的理化性质。

经过植物篱处理后的坡耕地表层含水量均能够有效增加, 这是因为植物篱改善了土壤结构, 在降雨发生时, 有利于土壤的渗透, 使得坡面地表径流流入下层土壤中, 而没有经过植物篱处理的坡面, 地表径流主要沿坡面向下流, 很难渗透到下层, 因而含水量较低; 对于单一植物篱模式, 土壤含水量为香根草>黄花菜>百喜草, 这是由于香根草根系发达, 增加了土壤孔隙度, 增加了地表径流入渗, 从而增加了土壤含水量; 对于同类植物篱, 土壤含水量 3 行>2 行>1 行, 说明土壤的渗透性和植物篱带的宽度密切相关, 但植物篱本身也不宜太宽, 这样会造成农作物面积减小, 降低农民参与的积极性。

对比各模式下土壤的体积质量, 组合模式下的土壤体积质量较小, 相比对照减小了 16%, 其次为香根草, 减小 14%, 这可能是由于组合植物地下根系相互作用, 优势互补, 改善了土壤物理性状。

表 2 不同植物篱模式下土壤理化性质  
Table 2 Physical and chemical properties of different hedgerows

植物篱模式	含水量 (g/kg)	有机质 (g/kg)	体积质量 (g/cm <sup>3</sup> )	机械组成(g/kg)		
				砂粒	粉粒	黏粒
1 行黄花菜	195.40	18.65	1.42	391.60	320.80	287.60
2 行黄花菜	199.20	17.68	1.37	358.40	346.40	295.20
3 行黄花菜	213.50	18.40	1.34	316.20	360.00	323.80
1 行香根草	211.90	17.42	1.39	375.60	342.80	281.60
2 行香根草	254.60	16.50	1.32	370.20	341.40	288.40
3 行香根草	288.60	17.78	1.16	385.00	303.60	311.40
1 行百喜草	195.90	12.35	1.41	387.60	343.20	269.20
2 行百喜草	217.10	15.88	1.41	400.90	316.80	282.30
3 行百喜草	207.10	16.18	1.20	341.00	321.20	337.80
1 行黄花菜 + 2 行百喜草	212.20	12.00	1.25	385.60	316.80	297.60
1 行香根草 + 2 行百喜草	214.60	11.27	1.28	272.40	417.60	310.00
1 行香根草 + 1 行百喜草	196.90	15.68	1.31	364.80	340.00	295.20
1 行香根草 + 2 行黄花菜	297.20	14.45	1.18	325.60	347.20	327.20
对照	195.10	11.18	1.50	291.40	399.80	308.80

由机械组成可以发现，相比对照，植物篱下土壤的砂粒含量增加，黏粒含量降低。一般来说，土壤颗粒迁移的顺序为黏粒、粉粒、砂粒，由于地表植物篱的作用，径流流速变缓，较大的土壤颗粒难以被剥离、搬运，到达植物篱前经过阻挡沉积下来，径流携带走的泥沙以黏粒为主。植物篱带具有泥沙的富集作用，致使砂粒富集增加。

### 2.2 产流过程分析

2.2.1 初始产流时间 由相关性分析(表 3)可知，土壤前期含水量对初始产流时间影响不大，所以在同一降雨条件下分析不同模式植物篱的初始产流时间有一定意义。

表 3 初始产流时间的相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of initial runoff-yielding time

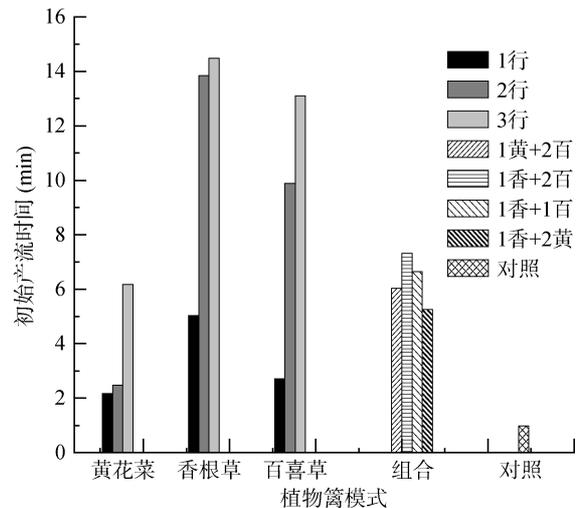
	土壤前期含水量	地表径流量	土壤流失量
初始产流时间	0.017	-0.545*	-0.604*

注：\*表示相关性达到  $P < 0.05$  显著水平。

各植物篱模式的初始产流时间与地表径流量和土壤流失量呈显著负相关关系，初始产流时间越晚，其产生的水土流失量就越少，因此，初始产流时间在一定程度上表征了土壤的固土保水能力。

对 13 种模式的植物篱以及一组对照进行初始产流时间比较(图 2)，就 3 类植物而言，香根草的平均产流时间滞后于黄花菜和百喜草，这是由植物本身所决定的，香根草地上庞大的生物量拦截部分降雨，地下部分交错的根系增加入渗，而黄花菜的地下根系没有香根草丰富，百喜草的地上生物量没有香根草庞

大；对于各类植物的 3 种行数比较，3 行模式的产流时间滞后于 1 行和 2 行的，植物篱带越宽，对径流的阻挡作用越明显，从而产生地表径流的时间就延迟；此外，4 种组合模式的产流时间相差不大，裸地的产流时间最早。纵观 13 种模式，2 行和 3 行香根草，以及 3 行百喜草的产流时间都比较滞后。



(1 黄+2 百：1 行黄花菜+2 行百喜草；1 香+2 百：1 行香根草+2 行百喜草；1 香+1 百：1 行香根草+1 行百喜草；1 香+2 黄：1 行香根草+2 行黄花菜。下同)

图 2 不同模式植物篱的初始产流时间分析  
Fig. 2 Runoff-yielding time of different hedgerows

2.2.2 总产流量 双因素方差分析显示，行数的  $P = 0.013$ ，按 0.05 检验水准，认为行数之间存在显著差异，各行数之间进一步比较，得出 2、3 行之间的产流量差异不显著，说明 2 行植物篱就可以达到减

流效果；而模式因子的  $P = 0.747$ ，对于同一行数，各模式之间差异不大。

由表 4 还可以发现，组合模式的产流量明显低于纯植物模式，比如 1 行香根草单独作用，其产流量为 42.48 L，2 行黄花菜单独作用时产流量 26.23 L，两者组合时，产流量降低到 2.39 L。可见，植物篱组合

配置时，可以优势互补，各自发挥地上或地下部分的优势，从而达到减少地表径流的效果。

**2.2.3 产流过程** 选择其中一场降雨的径流取样起止时间为序列，其他模式的降雨时段产流强度值按时间线性插值到该序列上，这样就得到 13 种不同模式植物篱的时段产流强度过程线(图 3)。

表 4 不同模式植物篱的总产流量(L)  
Table 4 Total runoffs of different hedgerows

行数	植物篱模式						
	黄花菜	香根草	百喜草	1黄+2百	1香+2百	1香+1百	1香+2黄
1	37.88	42.48	30.78	-	-	-	-
2	26.23	5.80	9.30	-	-	9.75	-
3	9.79	3.27	7.29	4.24	6.14	-	2.39

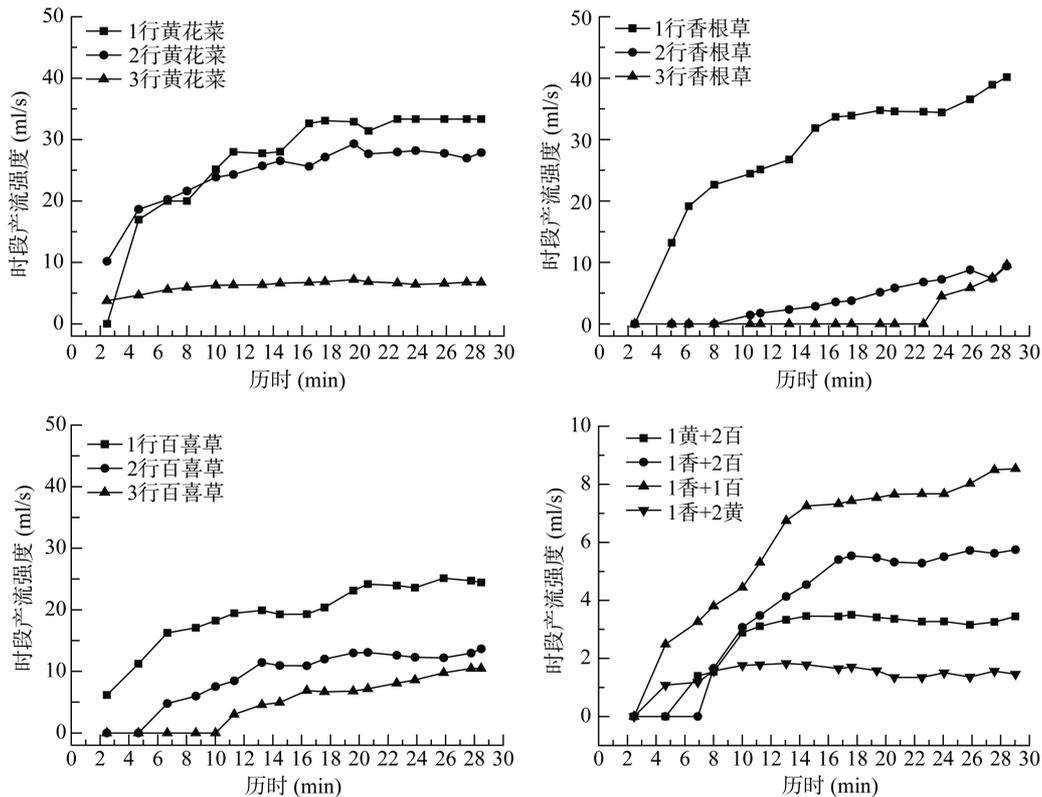


图 3 不同模式植物篱的时段产流强度过程线  
Fig. 3 Curves of flow rates of different hedgerows

从图 3 可以看出，不同行数黄花菜的产流过程曲线斜率均较小，说明黄花菜植物篱的产流过程平稳，并且在降雨初期就可达到产流稳定。3 行黄花菜的产流强度明显低于 1、2 行，说明黄花菜植物篱要想达到减流效果，至少要栽植 3 行；对于香根草，2 行和 3 行模式的产流强度接近，且明显低于 1 行的，考虑到农田的经济效益，植物篱要尽量少占用农田土地，2 行香根草即可达到显著效果；百喜草 3 种行数的产流过程线接近平行，斜率较小，说明百喜草植物篱由于

秆径贴地生长，其对降雨产生的径流量比较稳定，其中 3 行模式的产流强度最低。

组合模式的产流强度均比纯植物篱模式小，体现了植物的杆茎和根系可以优势互补，其中 1 行香根草+2 行黄花菜的减流效果最好。组合模式降雨前半程，产流过程线斜率较陡，后期产流趋于稳定。

### 2.3 产沙过程分析

**2.3.1 总侵蚀量** 侵蚀量的规律同产流量，双因素方差分析显示，行数的  $P = 0.017$ ，按 0.05 检验水准，

认为行数之间存在显著差异，各行数之间进一步比较，得出 2、3 行之间的产沙量差异不显著；而模式因子的  $P = 0.842$ ，各模式之间差异不大，各模式的总产沙量取决于植物行数。此外，组合模式的效果好

于单一植物篱模式(表 5)。

2.3.2 产沙过程 时段产沙强度过程的数据处理类似于产流过程，也是基于时间的线性插值。图 4 为 13 种植物篱模式的土壤产沙强度过程线。

表 5 不同模式植物篱的总侵蚀量(g)  
Table 5 Sediment yields of different hedgerows

行数	植物篱模式						
	黄花菜	香根草	百喜草	1黄+2百	1香+2百	1香+1百	1香+2黄
1	83.39	71.48	128.18	-	-	-	-
2	40.76	1.88	8.74	-	-	4.87	-
3	25.15	5.43	3.68	6.11	5.15	-	0.75

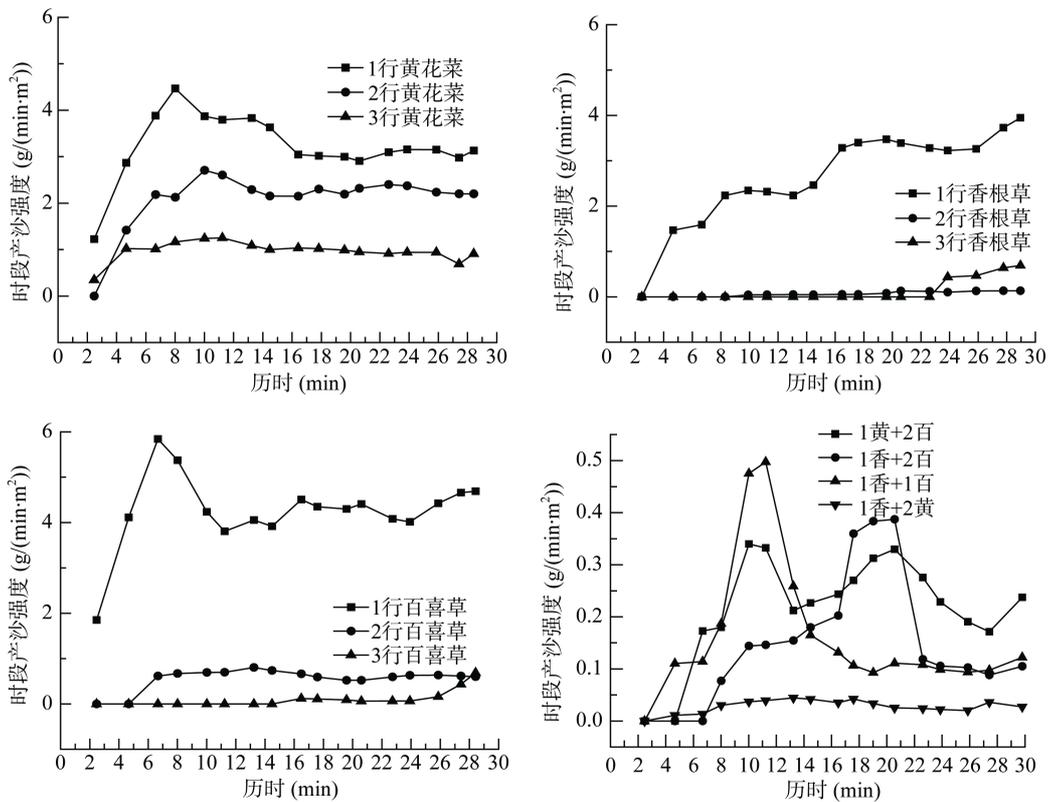


图 4 不同模式植物篱的时段土壤产沙强度过程线  
Fig. 4 Curves of sediment rates of different hedgerows

由泥沙过程趋势线可以看出，随着黄花菜行数的增加产沙强度逐渐降低，尽管不同行数的黄花菜产沙量不同，但产沙过程趋势线一致，降雨前半程，产沙强度逐渐增加，8~10 min 形成一峰值，而后侵蚀量达到稳定；香根草植物篱 2 行和 3 行产沙强度接近，且明显低于 1 行香根草，仅从植物拦截降雨、减弱细沟间侵蚀角度来说，2 行香根草植物篱即可达到减沙的效果，与黄花菜的产沙规律不同，香根草的侵蚀强度是稳步逐渐增加的；百喜草 3 种行数的减沙规律类似于香根草，2 行模式就可以达到减沙效果，综合前面的产流过程，并方便下一步进行优选模式比较，仍

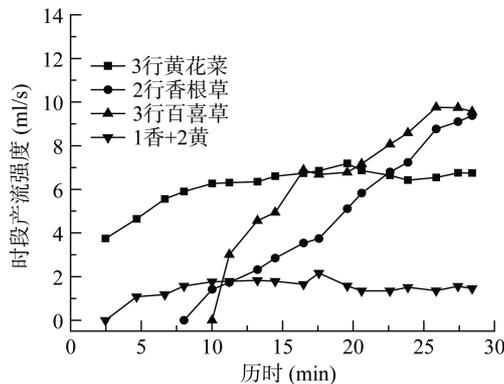
将 3 行百喜草作为较佳模式。纯植物模式中，3 行黄花菜，2 行香根草，3 行百喜草即可满足控制土壤侵蚀的要求。

组合模式的产沙强度明显低于纯植物模式，其中 1 行香根草+2 行黄花菜的植物篱模式产沙强度最低，其他 3 种组合模式在前半程 8~14 min，以及后半程 18~22 min 时形成产沙高值，其原因主要是降雨初期雨滴击溅在坡面上产生大量分散的土粒，这些土粒在坡面刚刚形成的薄层水流的搬运下，形成了产沙的高峰，随着降雨过程的继续，表层疏松的土粒冲刷后产沙强度减小，后期再次形成不同的小高峰是由植

物篱根系固土能力差异造成的。

## 2.4 优选植物篱模式对比

将同类型植物以及组合模式中筛选出来的较好



模式,即 3 行黄花菜、2 行香根草、3 行百喜草、1 行香根草+2 行黄花菜,作进一步的产流产沙过程比较(图 5)。

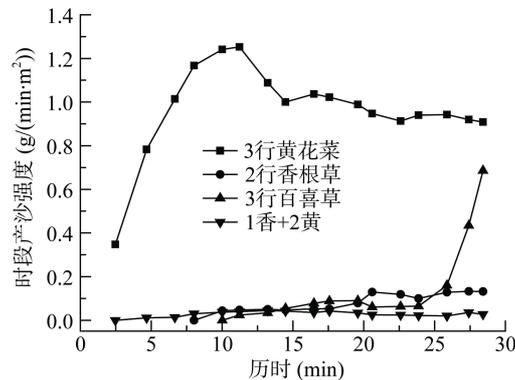


图 5 优选植物篱模式产流产沙比较

Fig. 5 Comparison of runoffs and sediment rates between preference modes

从产流过程上看,组合模式 1 行香根草+2 行黄花菜的产流强度始终保持低而平稳的趋势,3 行黄花菜的初始产流强度最高,2 行香根草和 3 行百喜草的产流强度随着时间的推移逐渐增加,到后期超过了 3 行黄花菜的产流强度。

在产沙过程上,试验初期 1 行香根草+2 行黄花菜、2 行香根草以及 3 行百喜草的产沙强度都很低,随着降雨过程的继续,百喜草由于根系不太发达,地上生物量也不大,其产沙强度迅速增加。3 行黄花菜的产沙强度始终都最高。

黄花菜由于贴地部分的生物量不大,相比贴地生长的百喜草和生物量庞大的香根草,要想达到很好的水土保持效果,需要和其他植物模式一起搭配,各自发挥优势。百喜草生长高度有限,其减弱降雨打击力和截流降雨的能力有限,并且其匍匐生长的习性,在农田里农民易把它作为杂草清除掉,所以不适宜作为田间植物篱。香根草地上部分庞大的生物量,对降雨雨滴具有很大的消能作用,削弱了雨滴对土壤颗粒的破坏;秆茎拦截部分降雨,可有效地防止土壤表层形成结皮,使之保持疏松状态,保持有较高的水流入渗率;地表枯落物的存在使得粗糙度增加,避免雨水直接打击地表破坏土壤,坡面水流流速降低,加大了水流入渗的可能性;发达的地下根系,给水流的入渗创造了良好的条件;然而,相比黄花菜,其没有较高的经济效益,成为它推广的一个限制因素。综合其上,1 行香根草 + 2 行黄花菜由于其产流产沙强度都最低,且黄花菜具有一定的经济效益,在田地整齐生长,易于管理,是最佳的植物篱配置模式。

## 4 结论与展望

1) 各植物篱模式下的土壤体积质量与裸地相比均有不同程度的减小,土壤含水量、有机质含量均比裸地高,在不同程度上改善了土壤结构和水分状况,从而改善了土壤的理化性质。植物篱带还具有泥沙的富集作用。

2) 相同种类的多行植物篱模式的径流泥沙显著低于单行模式,表现出较好的减流减沙效益,而其中 2 行植物篱与 3 行植物篱差异不大,说明单从植物拦截降雨、减弱细沟间侵蚀角度来说,2 行植物篱即可达到较好的水土保持效益。尽管百喜草的减流减沙效益也较好,但由于在田间易被当作杂草清除掉,不适宜作为田间植物篱。

3) 组合植物篱模式的减流减沙效益优于单一植物篱模式,说明不同植物之间通过根系和秆茎优势互补,可以达到更高的水土保持效益。

作为农田植物篱水土保持系统研究的一部分,本研究对南方红壤区农田植物篱优化布设具有重要意义,建篱时可以选择多种植物搭配,优势互补,产生的效果更好。

本文只探讨了植物篱条带对其覆盖区域的产流产沙过程比较,减流减沙效益可能与实际生产过程存在差异,而在坡耕地上筛选植物篱模式,更要研究坡面尺度上植物篱的减流减沙效果,以及后期的推广和农民接受程度。下一步研究将考虑传统种植模式下各植物篱的减流减沙效益。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 2007 年全国水土保持公告[N].

- 水利部公报, 2009. [http://www.cnscm.org/jcgg/qgstbcjcg/jcgg\\_2007.aspx](http://www.cnscm.org/jcgg/qgstbcjcg/jcgg_2007.aspx)
- [2] 王燕, 宋凤斌, 刘阳. 等高植物篱种植模式及其应用中存在的问题[J]. 广西农业生物科学, 2006, 25(4): 369-374
- [3] 俞国松, 刘超群, 王敬贵, 蔡先立. 植物篱水保功能与种植模式的研究进展[J]. 人民珠江, 2013(6): 84-87
- [4] 张沛. 南方红壤丘陵区植物篱控制水土流失效应研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2011
- [5] 李新平, 陈欣, 王兆骞, 马琨, 张如良. 等高植物篱笆条件下红壤坡耕地水土流失的发生特征[J]. 浙江大学学报, 2003, 29(4): 368-374
- [6] 廖晓勇, 罗承德, 陈义相, 田道平. 陡坡地饲草玉米生物篱的生态效益研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(3): 633-638
- [7] 姚桂枝, 刘章勇. 丹江口库区坡耕地不同植物篱对径流及养分流失的影响初探[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(6): 3 015-3 016, 3 047
- [8] 王幸. 三峡库区几种植物篱效益研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011
- [9] 卜崇峰, 蔡强国, 袁再健. 三峡库区等高植物篱的控蚀效益及其机制[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(4): 14-18
- [10] 袁久芹, 梁音, 曹龙熹. 红壤坡地香根草植物篱产流产沙过程模拟研究[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(4): 14-20
- [11] 唐翔宇, 杨浩, 赵其国, 李仁英. 红砂岩母质红壤侵蚀作用的  $^{137}\text{Cs}$  法初步研究[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 121-125
- [12] 许峰, 蔡强国, 吴淑安, 张光远. 坡地等高植物篱带间距对表土养分流失影响[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(2): 23-29
- [13] Covert A, Jordan P. A portable rainfall simulator: Techniques for understanding the effects of rainfall on soil erodibility[J]. Watershed Management Bulletin, 2009, 13: 5-9
- [14] Meyer LD, Harmon WC. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes[J]. Transactions of the ASAE, 1979, 22: 100-103
- [15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化性质分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978

## Comparison of Benefits of Runoff and Sediment Reduction of Different Hedgerow Configuration Modes in Red-soil Hilly Area

YUAN Jiu-qin<sup>1,2</sup>, LIANG Yin<sup>1\*</sup>, CAO Long-xi<sup>1</sup>, LU Hui-zhong<sup>1,2</sup>, ZHU Ya-yun<sup>1,2</sup>, CHEN Ling<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** As one of the biological measures for soil and water conservation, hedgerows have been studied widely, but little information is available on their runoff and sediment process, thus it is necessary to study the benefits of runoff and sediment reduction in multiple hedgerows and to compare the benefits of different hedgerows configuration modes. The simulated rainfall experiment was conducted on three kinds of single plant modes, i.e., *Hemerocallis citrine*, *Vetiveria zizanioides* L., *Paspalum natatum*, and four kinds of combined modes, and a control plot, to compare the process of runoff and sediment-yield. three kinds of width of the single plant modes were set, respectively, which were 1, 2 and 3 lines, and the combination modes were 1 line of *H. citrine* and 2 lines of *P. natatum*, 1 line of *V. zizanioides* and 2 lines of *P. natatum*, 1 line of *V. zizanioides* and 2 lines of *H. citrine*, 1 line of *P. natatum* and 1 line of *V. zizanioides*. The results showed that all the different hedgerow modes improved soil physical and chemical properties and reduced water loss and soil erosion in different degrees. As for the same plant, the 2 line hedges achieved the better benefits of soil and water conservation. On the other hand, the benefits of runoff and sediment reduction of the combined modes were better than the single plant modes.

**Key words:** Hedgerows; Slope land; Artificial rainfall; Soil and water conservation benefits