

# 不同治理措施对坡地芒果园水土流失的治理效果

胡斌<sup>1</sup>, 张瀚曰<sup>1,2</sup>, 李晓明<sup>1</sup>, 潘宏兵<sup>3</sup>, 包维楷<sup>1</sup>

(1.中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室, 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041; 2.中国科学院大学 北京 100049; 3.攀枝花市农林科学研究院 四川 攀枝花 617061)

**摘要:** [目的] 针对四川省攀枝花市坡地芒果园水土流失严重的现状, 筛选适宜坡地果园的水土流失治理措施。[方法] 通过工程措施(D<sub>1</sub> 和 D<sub>2</sub> 处理)和生物措施对坡地果园水土流失治理成效的野外试验比较研究, 评价不同治理措施对芒果园地表径流、产沙量、径流液中养分含量和果园地表土壤养分的影响。[结果] 两年试验期芒果园林下行间种植紫花苜蓿处理(生物措施)的总径流量为 22 515 ml, 比对照减少 45%, 工程措施 D<sub>2</sub> 处理比对照减少 16%。另外, 17 次径流量记录中有 8 次取样生物措施处理收集的径流量显著低于对照。生物措施处理两年总产沙量为 1.65 kg, 比对照减少 28.3%。各治理措施对径流液养分含量和 0—20 cm 土层土壤养分含量无显著影响。[结论] 在干旱河谷地区, 在坡地芒果园行间种植苜蓿的生物措施比工程措施能更有效地减少地表径流和产沙量, 达到更好的水土流失治理效果。

**关键词:** 坡地芒果园; 生物措施; 工程措施; 地表径流; 产沙量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2022)01-0130-07

中图分类号: S19, S157.2

**文献参数:** 胡斌, 张瀚曰, 李晓明, 等. 不同治理措施对坡地芒果园水土流失的治理效果[J]. 水土保持通报, 2022, 42(1): 130-136. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20211014.002; Hu Bin, Zhang Hanyue, Li Xiaoming, et al. Effects of different control practices on soil and water erosion in sloping mango orchard [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(1): 130-136.

## Effects of Different Control Practices on Soil and Water Erosion in Sloping Mango Orchard

Hu Bin<sup>1</sup>, Zhang Hanyue<sup>1,2</sup>, Li Xiaoming<sup>1</sup>, Pan Hongbing<sup>3</sup>, Bao Weikai<sup>1</sup>

(1. CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization & Ecological

Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology,

Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences

Beijing, 100049, China; 3. Panzhihua Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Panzhihua, Sichuan 617061, China)

**Abstract:** [Objective] The suitable measures for controlling serious soil erosion in sloping mango (*Mangifera indica*) orchards in Panzhihua City, Sichuan Province were determined. [Methods] The effects of two engineering practices (D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub> treatment) and one biological practice (A) were measured on surface runoff, sediment, nutrient content in runoff, and soil properties. [Results] Total runoff volume for the *Medicago sativa* planting treatment (A) in the two-year trial period was 22 515 ml. Total runoff volume in the A and D<sub>2</sub> treatments decreased by 45% and 16%, respectively, compared with the check treatment (CK). In addition, eight of the 17 runoff volumes measured in the A treatment were significantly lower than in CK. The total sediment of the A treatment in the two-year trial period was 1.65 kg, 28.3% lower than that of CK. There were no significant differences in nutrient contents in runoff or in soil properties due to the treatments. [Conclusion] In this arid valley area, the biological treatment of planting *M. sativa* between rows in sloping mango orchards can reduce surface runoff and sediment yield more effectively than the two engineering measures tested in this study, and achieve better soil erosion control.

**Keywords:** sloping mango orchards; biological measure; engineering measure; surface runoff; sediment

收稿日期: 2021-06-10

修回日期: 2021-08-09

资助项目: 国家重点研发计划项目子课题“金沙江干热河谷峡谷区生态综合治理及特色农业发展技术试验示范”(2017YFC0505103)

第一作者: 胡斌(1984—), 男(汉族), 内蒙古自治区呼和浩特市人, 博士, 助理研究员, 主要从事土壤改良及土壤养分循环等方面的研究。

Email: hubin@cib.ac.cn.

水土流失作为一个世界性的环境问题,它不但能直接导致土壤质量退化、降低土地生产力,还能通过地表径流引起的土壤养分物质流失造成面源污染,因而逐渐受到研究者的广泛关注<sup>[1-3]</sup>。一般而言,水土流失治理模式依据治理对象的不同可以大致分为 3 类技术体系:①以治理坡面土壤侵蚀为目的的生物措施体系,主要包括植树造林、植被自然恢复以及修建梯田;②以治理沟道土壤侵蚀为目的的工程措施体系,主要包括修建淤地坝以及最近开展的治沟造地工程;③以改变微地形以及改良土壤为目的的农业技术体系,主要包括等高耕作、间作套种以及免耕少耕等措施<sup>[4-5]</sup>。坡地水土流失治理采取的生物措施主要优点是简单易行、成本低、具有较好的实用价值;而工程措施主要针对坡度较高、治理难度较大的区域开展,常会结合生物措施形成综合治理技术体系,缺点是成本高、施工要求高,但治理效果显著;农业技术措施是综合治理坡耕地的重要措施之一,它的特点是投资少,省工,简便易行,效益好<sup>[4-5]</sup>。在实际水土流失治理过程中,要结合治理对象的立地条件、地形地貌、基质类型、治理成本等综合因素,选择合适的措施针对性的、更高效地进行水土流失治理。

金沙江干热河谷峡谷区气候干燥、降雨集中、植被覆盖率低和坡地面积大等自然因素使得该地区生态环境极其脆弱,再加上无序、过度开发等人类活动的影响,导致该区水土流失极其严重<sup>[6]</sup>。有研究报告<sup>[7]</sup>,1988—1999 年,攀枝花市水土流失面积由 2 682.7 km<sup>2</sup> 增加至 4 256.5 km<sup>2</sup>,其中中度和强度流失面积分别增加 298.4 km<sup>2</sup> 和 133.03 km<sup>2</sup>。贺奋琴<sup>[8]</sup>等 2003 年通过遥感和 GIS 技术提取攀枝花部分地区水土流失因子信息分析研究发现,研究区域水土流失总面积为 2 335.1 km<sup>2</sup>,占研究区域总面积的 50.6%。可以看出,位于金沙江干热河谷峡谷区核心区域的攀枝地区水土流失现状同样严峻,开展水土流失治理技术的研发工作迫在眉睫。攀枝花芒果 (*Mangifera indica*) 种植区是中国五大芒果优势产业带之一金沙江干热河谷晚熟芒果优势产业带的重要组成部分<sup>[9]</sup>。据报道,截至 2018 年年底,攀枝花市芒果种植面积已达 3.40 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,实际投产面积已达 1.40 × 10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,年产量 2.40 × 10<sup>5</sup> t,年产值达 2.50 × 10<sup>9</sup> 元<sup>[10]</sup>。实地调查发现,由于地形原因,该区芒果多栽培在较陡的坡地,且不合理的果园管理措施导致芒果园林下土壤大面积裸露,加剧了果园土壤的水土流失。但是,目前较多的研究是利用遥感解译等技术,在区域尺度上分析攀枝地区水土流失现

状<sup>[7-8]</sup>,未见针对该区坡地芒果园水土流失治理技术研发的相关研究。

因此,本研究主要针对攀枝花地区坡地芒果园不合理的种植及经营管理导致的水土流失严重的问题,对坡地芒果园实施工程和生物治理措施,通过比较不同治理措施对芒果园地表径流、产沙量、径流液养分含量以及果园地表土壤养分含量影响,评价治理成效,选择适合该区坡地芒果园的水土流失治理措施,为金沙江干热河谷峡谷区坡地芒果园水土流失治理提供科学依据。

## 1 研究区概况

研究区位于四川省攀枝花市盐边县金河乡 (101°48′48″E, 26°43′23″N) 锐华农业开发有限责任公司芒果园基地,海拔高度为 1 319 m。该区地貌属深切割侵蚀剥蚀中山类型,地势走向既有南北向也有东西向,以东西向为主,地势崎岖,山高坡陡,山地坡度多在 26°~40°之间。该区位于南亚热带干热河谷气候区,属典型的南亚热带半干旱季风气候,冬暖、春温高、夏秋凉,气温年较差较小、日差较大,冬季低层逆温效应显著。太阳辐射强,日照充沛,蒸发旺盛,干、雨季分明,降雨集中,多夜雨和雷阵雨。该区年均温 20℃左右,年均降雨量 800 mm 左右,降雨主要集中在 6—10 月,年无霜期 300 d 以上。试验样地平均坡度 30.9°,朝向西南,整地类型为鱼鳞坑型台地,土壤类型为山地燥红土<sup>[11-13]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置

试验样地种植芒果品种为凯特芒 (*Mangifera indica*),树龄 15 年,种植密度 3 m × 3 m。本研究于 2018 年 7 月开始野外试验布置,共设置如下 4 个处理:①对照 (CK);②每层台地安装水泥挡板 (D<sub>1</sub>);③隔一层台地安装水泥挡板 (D<sub>2</sub>);④每层台地林下行间种植紫花苜蓿 (*Medicago sativa*, A)。各处理示意图见图 1。每处理设置 3 个重复,共 12 个小区,小区完全随机排列。在每个试验小区内建一个小型径流小区,确保每一径流小区内都能完整包含实验处理,径流小区长为 5 m,宽为 3 m。

分别在开花前、开花期和果实膨大期完成 3 次灌溉,每次每株约 30 kg。采果后沟施 3~4 kg 有机肥,果实膨大期用水冲施一次大量元素肥,分别在坐果初期、果实膨大期和套袋前 21 d 内完成 3 次叶面肥的喷施,以中微量元素肥为主。套袋前完成疏果,根据芒果长势在套袋前或采果后进行修枝。

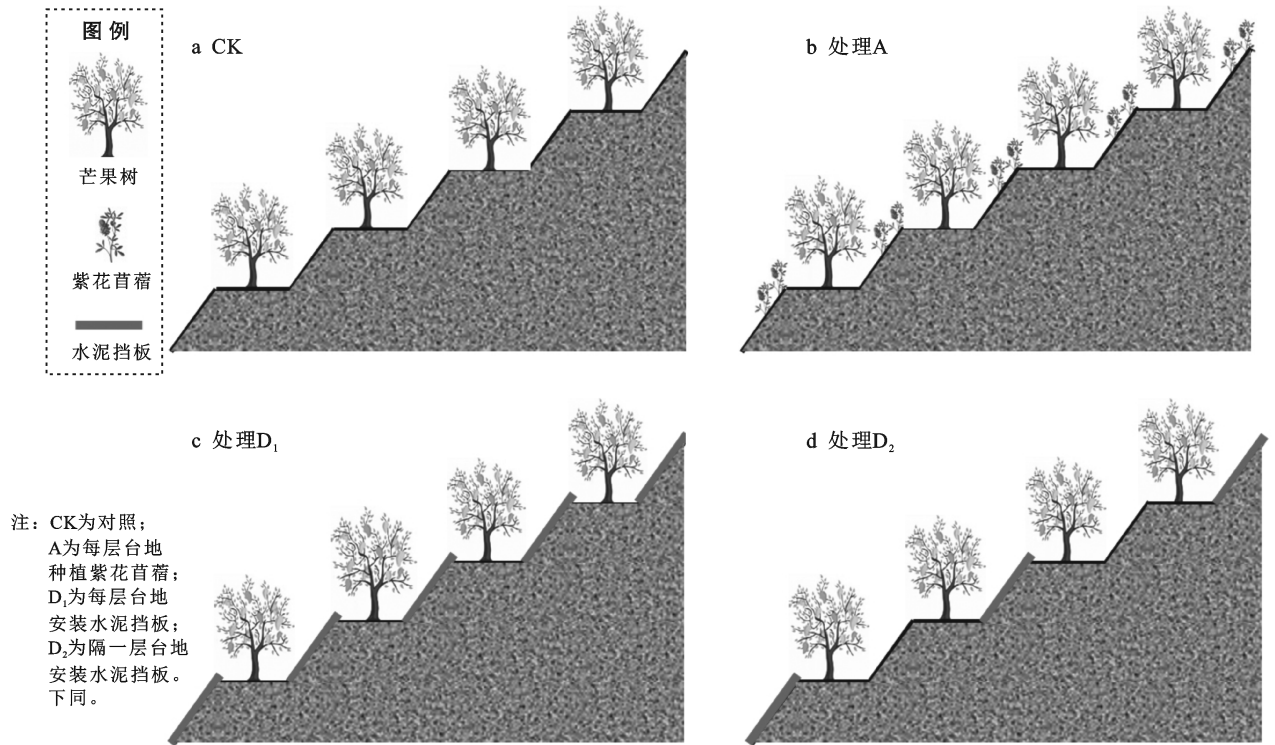


图 1 不同治理措施实验处理示意图

## 2.2 样品收集

(1) 径流液收集。自 2019 年 7 月雨季开始, 每次降雨之后按照标准方法完成径流量的记录和径流样品采集工作。2019 年采集 8 次, 2020 年采集 9 次, 两年合计采集 17 次样品。

(2) 土壤样品的采集。分别在 2019 年和 2020 年 11 月底进行土壤样品的采集, 在每处理径流小区内上、中、下 3 个位置的树冠滴水线处各取一钻 0—20 cm 土层样品, 3 钻混合成一个样品。土壤样品过 2 mm 筛后分成两份, 一份 4 °C 冷藏保存用于速效养分测定, 另一份置于阴凉干燥处风干用于常量养分测定。

## 2.3 测定方法

径流样品测定: 解冻后的径流样品沉淀 12 h, 之后取上清液过 0.45 μm 滤膜用来测定全碳、全氮、全磷、全钾、铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)和硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)含量。将样品瓶中沉淀的泥沙洗出至铝盒中, 65 °C 烘干至恒重, 称重。径流液中的全碳(TC)和全氮(TN)含量采用总有机碳/有机氮分析仪(Vario TOC, Germany)测定; 全磷(TP)和全钾(TK)含量采用电感耦合等离子体发射光谱仪(Optima 8300, USA)分析测定; 硝态氮(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)和铵态氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)含量采用连续流动分析仪(Seal AA3, Germany)测定。

土壤理化性状的测定: 土壤含水率(SM)采用烘干

法测定; 土壤 pH 值采用电位法测定(水土比=2.5:1); 土壤有机碳(SOC)和 TN 含量采用元素分析仪(Vario MACRO cube, Germany)测定; 土壤 TP 含量采用浓硫酸—高氯酸溶、钼锑钒比色法测定; 土壤速效磷(AP)含量采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> (pH=8.5)提取、钼锑钒比色法测定。土壤 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>含量采用 2 mol/L KCl 提取、连续流动分析仪(Seal AA3, Germany)测定。

## 2.4 计算和统计方法

不同治理措施对坡地芒果园径流量、产沙量、径流液中养分含量和土壤理化性状的影响差异分析采用单因素方差分析法(one-way ANOVA), LSD 多重比较进行显著性检验( $\alpha=0.05$ )。数据整理和统计分析在 Excel 2010 和 SPSS 21.0 (SPSS, Chicago, USA)中完成, 作图在 Sigmaplot 14.5 (Systat, USA)中完成, 图表中数据均表示为平均值(mean)±标准误差(SE)。

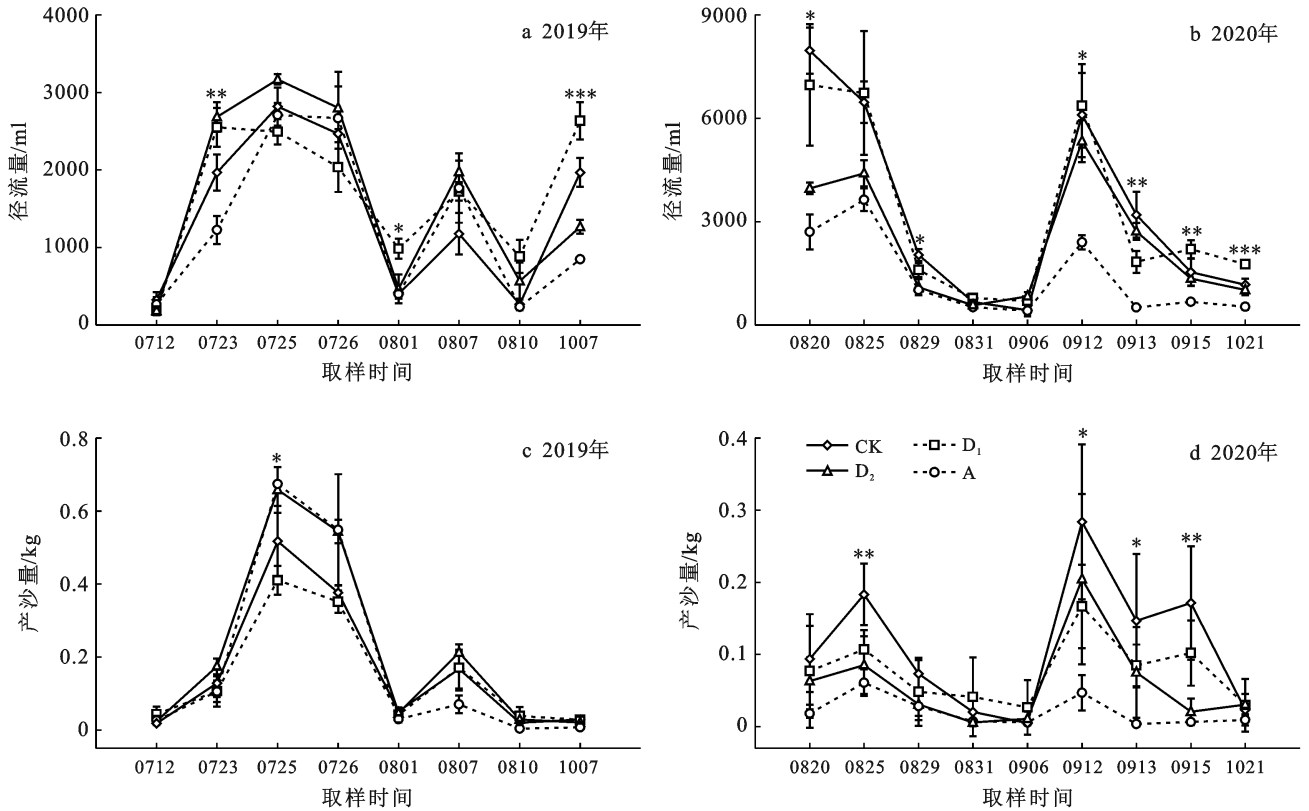
## 3 结果与分析

### 3.1 不同治理措施对坡地芒果园径流量和产沙量的影响

2019 年和 2020 年两个试验期, 共收集 17 次径流样品。D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 和 A 处理分别收集的总径流量(42 435±2 980), (34 402±1 495), (22 515±1 528) ml,

而对对照地收集的总径流量为 $(40\ 950 \pm 2\ 108)$  ml。其中, $D_2$ 和A处理的总径流量分别比对照减少16%和45%。结果显示,17次径流量收集中,有8次取样中A处理收集的径流量显著低于对照(图2a—2b)。两年采样期, $D_1$ 、 $D_2$ 和A处理总产沙量分别是

$(1.87 \pm 0.21)$ ,  $(2.24 \pm 0.17)$ ,  $(1.65 \pm 0.13)$  kg, 而对对照地的总产沙量为 $(2.31 \pm 0.13)$  kg, 其中A处理和 $D_1$ 处理的产沙量分别比对照减少28.3%、19.0%。17次样品收集中,有4次采样A处理的产沙量显著低于对照(图2c—2d)。



注:“\*”、“\*\*”和“\*\*\*”分别表示 $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ,  $p < 0.001$ 。误差棒表示标准误( $N=3$ )。

图 2 不同治理措施下芒果园的径流量和产沙量

### 3.2 不同治理措施对径流液中养分含量的影响

不同治理措施下芒果园径流液中全碳、全氮和全磷含量如图3所示。在2019年8月7日和10日以及2020年9月15日和10月21日4次采样中,A处理径流液中的全碳含量显著高于对照,其它采样时间不同处理之间径流液中全碳含量无显著差异。2019年8月10日和10月7日以及2020年10月21日3次采样A处理径流液中的全氮含量显著高于对照,其它采样时间不同治理措施之间径流液中全氮含量无显著差异。不同治理措施对径流液中全磷含量没有显著影响。

不同治理措施芒果园径流液中全钾、铵态氮和硝态氮含量如图4所示。2019年7月12日、23日以及2020年9月6日、12日4次取样中, $D_2$ 和A处理径流液中全钾含量显著高于对照。2019年7月26日和2020年9月25日采样中,A处理径流液中全钾含量

显著低于对照。2019年8月1日、7日以及2020年8月20日3次取样, $D_2$ 处理径流液中全钾含量显著高于对照。不同治理措施对径流液中铵态氮含量没有显著影响。2019年10月7日采样 $D_1$ 和 $D_2$ 处理径流液中硝态氮含量显著低于对照。2020年8月25日及29日A处理径流液中硝态氮含量显著低于对照。其他采样时间不同治理措施径流液中硝态氮含量与对照无显著差异。

### 3.3 不同治理措施对芒果园土壤养分的影响

不同治理措施芒果园0—20 cm土层的土壤养分含量见表1。与对照相比,工程措施( $D_1$ 和 $D_2$ )和生物措施(A)对土壤含水量、pH值、土壤有机碳、全氮、硝态氮和铵态氮的含量均无显著差异。仅在2020年采样期,种植苜蓿处理(A)土壤全磷和速效磷含量显著高于对照, $D_2$ 处理速效磷含量显著高于对照。



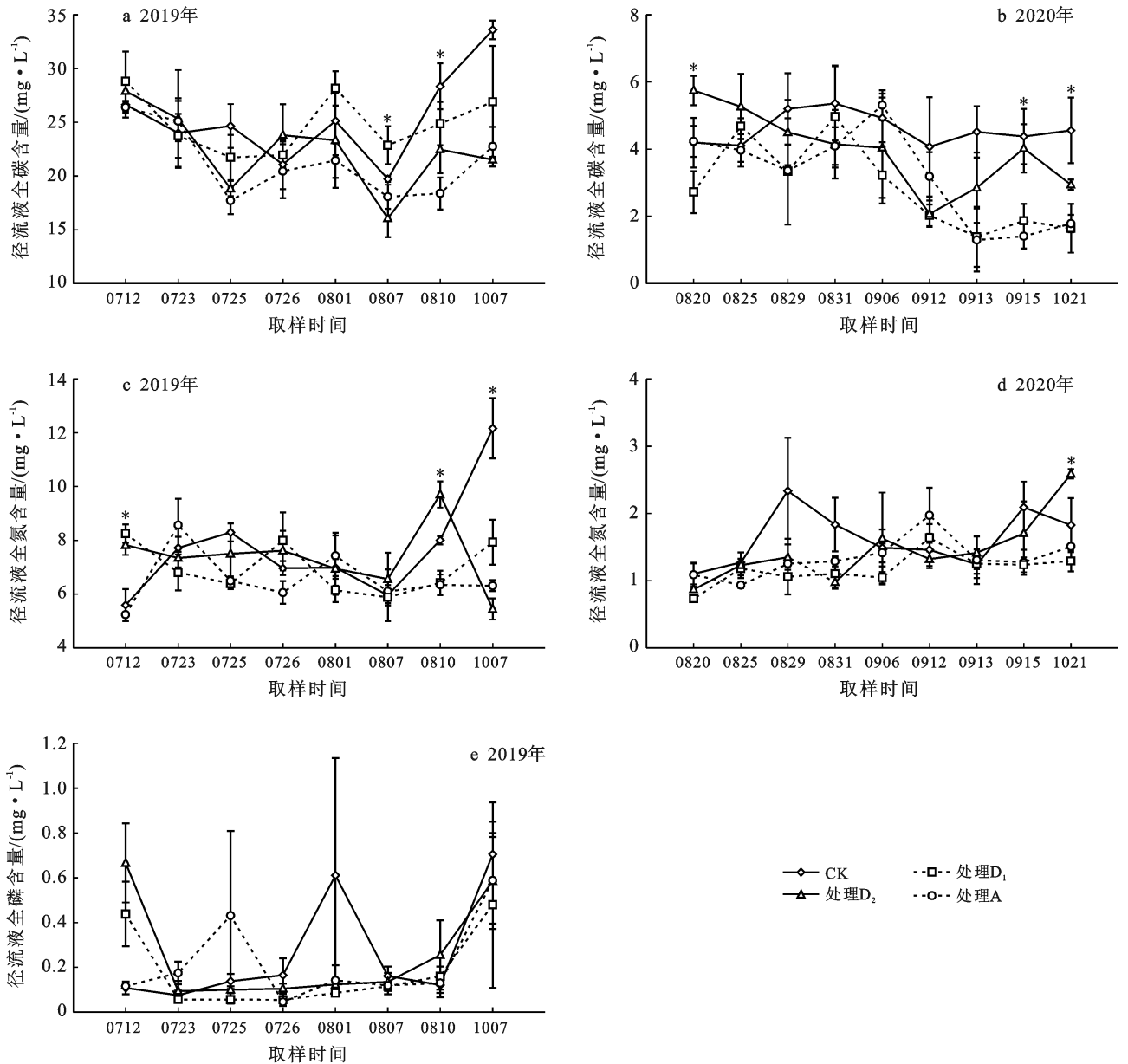


图 3 不同治理措施下芒果园径流液中全碳、全氮和全磷含量

表 1 不同治理措施对坡地芒果园土壤养分的影响(N=3)

年份	处理	含水量/ %	pH 值	有机碳/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全磷/ (g·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	硝态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	铵态氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )
2019	CK	12.0±1.5 <sup>a</sup>	7.0±0.0 <sup>a</sup>	8.7±1.0 <sup>a</sup>	1.4±0.1 <sup>a</sup>	0.42±0.08 <sup>a</sup>	5.8±0.3 <sup>a</sup>	6.3±1.7 <sup>a</sup>	1.3±0.3 <sup>a</sup>
	D <sub>1</sub>	12.7±1.0 <sup>a</sup>	6.8±0.2 <sup>a</sup>	8.7±1.0 <sup>a</sup>	1.5±0.1 <sup>a</sup>	0.34±0.07 <sup>a</sup>	5.5±0.4 <sup>a</sup>	5.9±1.3 <sup>a</sup>	1.7±0.8 <sup>a</sup>
	D <sub>2</sub>	14.3±1.2 <sup>a</sup>	7.0±0.1 <sup>a</sup>	9.8±1.1 <sup>a</sup>	1.4±0.1 <sup>a</sup>	0.38±0.03 <sup>a</sup>	4.4±0.1 <sup>a</sup>	8.4±0.4 <sup>a</sup>	1.0±0.4 <sup>a</sup>
	A	12.7±1.1 <sup>a</sup>	7.1±0.1 <sup>a</sup>	11.2±0.5 <sup>a</sup>	1.6±0.0 <sup>a</sup>	0.38±0.04 <sup>a</sup>	6.3±0.4 <sup>a</sup>	8.0±1.4 <sup>a</sup>	0.7±0.1 <sup>a</sup>
2020	CK	23.3±1.5 <sup>a</sup>	6.9±0.1 <sup>a</sup>	7.1±0.5 <sup>a</sup>	1.3±0.1 <sup>a</sup>	0.22±0.03 <sup>b</sup>	3.4±0.2 <sup>b</sup>	3.1±0.6 <sup>a</sup>	0.6±0.2 <sup>a</sup>
	D <sub>1</sub>	21.8±1.2 <sup>a</sup>	6.9±0.0 <sup>a</sup>	7.1±0.1 <sup>a</sup>	1.4±0.1 <sup>a</sup>	0.28±0.04 <sup>ab</sup>	4.5±0.2 <sup>ab</sup>	3.7±1.3 <sup>a</sup>	0.8±0.5 <sup>a</sup>
	D <sub>2</sub>	22.9±1.6 <sup>a</sup>	6.6±0.1 <sup>a</sup>	7.4±0.2 <sup>a</sup>	1.4±0.0 <sup>a</sup>	0.28±0.03 <sup>ab</sup>	5.4±0.9 <sup>a</sup>	3.3±0.8 <sup>a</sup>	1.7±0.9 <sup>a</sup>
	A	23.2±0.9 <sup>a</sup>	6.7±0.4 <sup>a</sup>	8.9±1.2 <sup>a</sup>	1.4±0.0 <sup>a</sup>	0.33±0.04 <sup>a</sup>	5.2±0.2 <sup>a</sup>	5.8±1.1 <sup>a</sup>	0.9±0.4 <sup>a</sup>

注:不同小写字母表示同一采样年份不同处理之间差异显著。

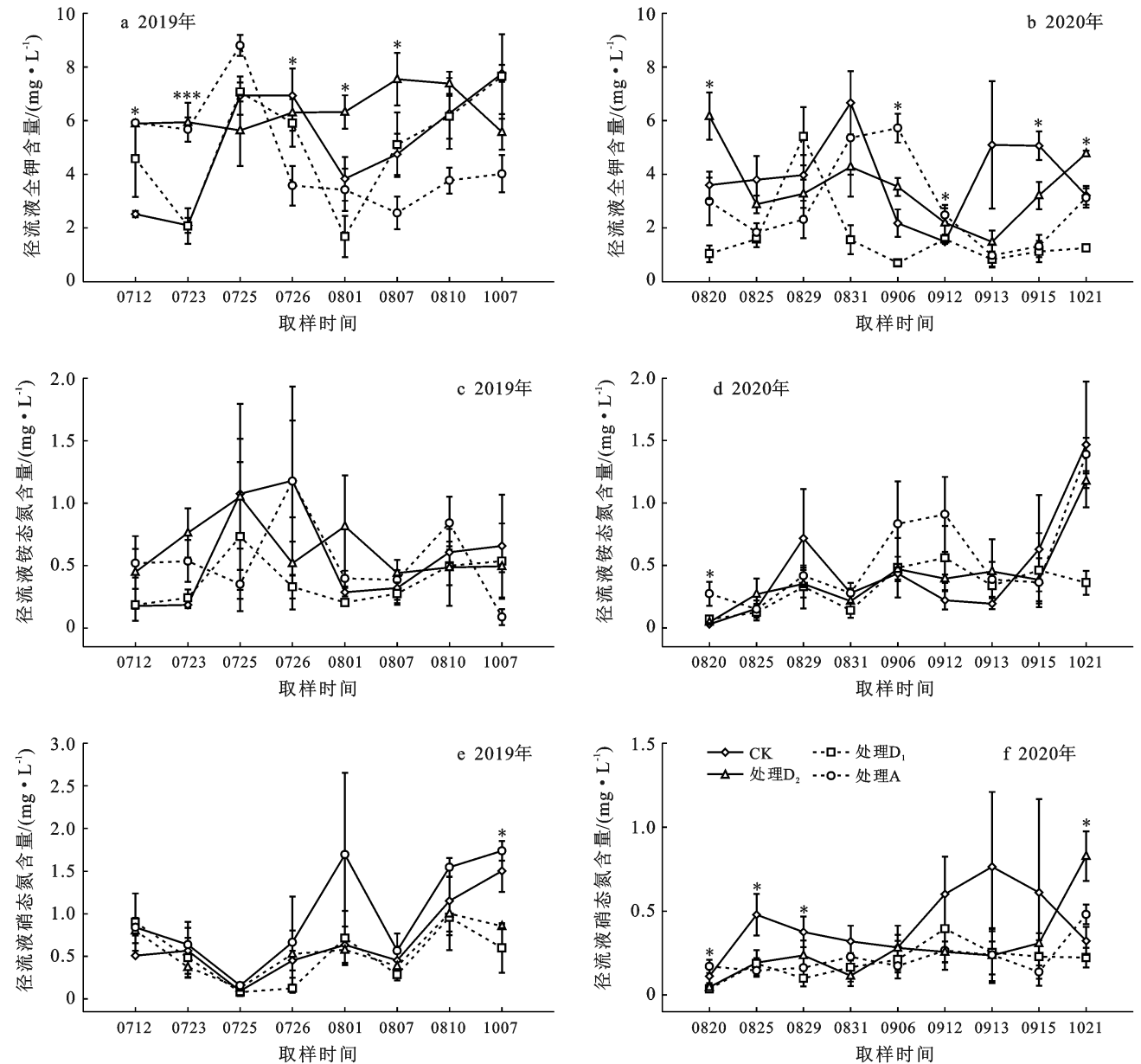


图 4 不同治理措施芒果园径流液中全钾、铵态氮和硝态氮含量

## 4 讨论与结论

攀枝花市地处金沙江干热河谷峡谷区,地势崎岖、山高坡陡,当地芒果多栽培在开垦的坡地上。由于该地区果农长期使用除草剂,导致芒果园林下土壤大面积裸露,不合理的管理措施更加剧了芒果园的水土流失。因此,本研究为了探寻有效的坡地果园水土流失治理手段,根据果园坡度、治理难度等实际情况选择两个工程措施(在果园梯级台地边缘修筑水泥挡板,处理 D<sub>1</sub> 和 D<sub>2</sub>)和一个生物措施(在果园行间种植紫花苜蓿,处理 A)进行水土流失治理成效评价。

植物篱技术是坡地上的一种重要且有效的水土流失治理技术,且水土保持作用随种植年限的增长而

增强,该技术的特点是简单易行、成本低,具有较好的实用价值,还可以改善土壤养分状况、改变土壤微生物、调节农田小气候、促进生物多样性等,具有良好的生态、经济和社会效益<sup>[14-16]</sup>。坡地果园径流量和泥沙流失量的大小可以反映不同治理措施下土壤的抗蚀能力<sup>[17]</sup>。聂军等<sup>[18]</sup>在长沙县坡地种植辣椒的研究发现,与传统种植方式相比,香根草生物篱处理能够有效地降低地表径流,包括总产流量、次产流量和最大产流量。他们还发现香草生物篱处理总产流量比对照降低了 41.9%,土壤侵蚀量比对照降低 64.5%。姚源升等<sup>[19]</sup>对百色坡地芒果园水土流失治理研究中发现,生物覆盖和生物栅篱均能有效减少雨水对果园表土的冲刷,降低果园雨季的水土流失量和土壤侵蚀

量,平均比对照分别降低 63.7% 和 83.7%。本研究结果发现,两年试验期,A 处理收集的总径流液 22 515 ml,比对照减少 45%,D<sub>2</sub> 处理比只比对照减少 16%,而 D<sub>1</sub> 处理径流总量与对照相似。在 17 次径流液采集中,有 8 次取样 A 处理收集的径流量显著低于对照。另外,两年采样期 A 处理的总产沙量为 1.65 kg,比对照减少 28.3%,D<sub>1</sub> 处理产沙量比对照减少 19.0%,而 D<sub>2</sub> 处理的总产沙量与对照相近。因此,我们可以认为在坡地果园行间种植苜蓿的植物措施具有更强的抗蚀能力,可以有效地减少地表径流量和泥沙产量。

土壤表面养分随地表径流进入河流和水网的自然输出,是导致耕地水土流失和土壤退化的主要因素<sup>[20]</sup>,也可能造成潜在的面源污染。聂军等<sup>[18]</sup>和姚源升等<sup>[19]</sup>的研究发现,生物篱处理能够显著降低地表径流中铵态氮和硝态氮含量,较好地改善果园土壤质量。廖晓勇等<sup>[21]</sup>在三峡库区坡地种植饲草玉米生物篱的研究发现,陡坡地营建饲草玉米生物篱能够显著改善土壤理化性状、培肥土壤和改善地力。然而在本研究中,2019 和 2020 年两个采样年内多次收集的径流液中的全钾和硝态氮含量虽然在不同处理之间差异显著,但没有一致的变化规律,治理措施试验处理(D<sub>2</sub> 和 A)时而高于对照,时而显著低于对照。另外,各处理径流液中的全碳和全氮含量仅在极个别采样期有显著差异,而径流液中全磷和硝态氮含量在不同处理之间没有显著差异。研究还发现,3 种治理措施下果园地表土壤理化性状与对照之间也没有显著差异。一般研究认为,降雨强度是造成径流液养分流失的主要因素<sup>[18]</sup>。但在本研究中,不同治理措施对养分流失和土壤质量没有明显一致的改善效果可能是由于该地区降雨强度、土壤质地、施肥管理等多方面原因导致的,还需在后续进一步的研究中进行深入探讨。

综上所述,针对攀枝花市坡地果园水土流失治理而言,在果园行间种植紫花苜蓿的生物措施能够相对较多地减少地表径流和产沙量,进而更有效地减少坡地芒果园的水土流失,该措施适合在金沙江干旱河谷峡谷区坡地果园水土流失治理中推广应用。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Li Zhongwu, Liu Chun, Dong Yuting, et al. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China [J]. Soil and Tillage Research, 2017, 166(2): 1-9.
- [2] 谌芸,何丙辉,赵秀兰,等.小江流域农地水土流失对水体

- 富营养化的影响[J].水土保持学报,2010,24(4):32-43.
- [3] 苏志珠,朱东红,马义娟.晋西沿黄地区水土流失危害及防治对策研究[J].水土保持通报,2003,23(4):55-60.
- [4] 李宗善,杨磊,王国梁,等.黄土高原水土流失治理现状、问题及对策[J].生态学报,2019,39(20):7398-7409.
- [5] 鲍玉海,丛佩娟,冯伟,等.西南紫色土区水土流失综合治理技术体系[J].水土保持通报,2018,38(3):143-150.
- [6] 游翔,张闻多,张素,等.攀枝花干热河谷区坡面产流产沙研究[J].中国水土保持,2020(6):28-30.
- [7] 贺奋琴.基于 RS 和 GIS 的水土流失因子提取与分析:以攀枝花市为例[D].四川 成都:成都理工大学,2004.
- [8] 贺奋琴,何郑伟,尹建忠.基于遥感和 GIS 的水土流失因子信息提取与分析定标研究:以攀枝花市为例[J].测绘科学,2006,31(4):126-129.
- [9] 铁万祝,罗关兴,王友富,等.我国芒果产业发展概况与主要问题[J].中国热带农业,2013(5):16-19.
- [10] 潘宏兵,刘伟,罗玲,等.攀枝花芒果幼果黑心病与土壤理化性状相关性分析[J].中国土壤与肥料,2020(2):116-122,158.
- [11] 李贵利,杜邦,刘斌,等.攀枝花市晚熟芒果产业发展的气候优势分析[J].中国热带农业,2011(1):41-42.
- [12] 戴声佩,李茂芬,罗红霞,等.川滇交界于干河谷地区农业气候资源特征[J].热带作物学报,2018,39(6):1225-1234.
- [13] 陈协蓉.四川土种志[M].成都:四川科学出版社,1994:13-17,192-196.
- [14] 申元村.三峡库区植物篱坡地农业技术水土保持效益研究[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):61-66.
- [15] 陈蝶,卫伟.植物篱的生态效益研究进展[J].应用生态学报,2016,27(2):652-662.
- [16] 郭甜,何丙辉,蒋先军,等.紫色土区植物篱对坡面土壤微生物特性的影响[J].水土保持学报,2011,25(5):31-34.
- [17] 蒋光毅,史冬梅,卢喜平,等.紫色土坡地不同种植模式下径流及养分流失研究[J].水土保持学报,2004,18(5):54-58,63.
- [18] 聂军,廖育林,谢坚,等.自然降雨条件下香根草生物篱对菜地土壤地表径流和氮流失的影响[J].水土保持学报,2009,23(1):12-16,67.
- [19] 姚源升,龙明良,黄大猷,等.百色坡地果园水土流失的生物覆盖治理研究[J].广西农业科学,2008,39(2):202-205.
- [20] Zhang Xingchang, Shao Mingan. Effects of vegetation coverage and management practice on soil nitrogen loss by erosion in a hilly region of the Loess Plateau in China [J]. Acta Botanica Sinica, 2003,45(10):1195-1203.
- [21] 廖晓勇,罗乘德,陈义相,等.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.