

闽北锥栗林经营过程中的水土流失防治效果研究

邹显花^{1,3}，黄彬彬^{1,3}，高清贵²，马祥庆^{1,3}

(1. 福建农林大学林学院,福州 350002;2. 建瓯市水土保持办公室,
福建 建瓯 353100;3. 海峡两岸红壤区水土保持协同创新中心,福州 350002)

摘要：采用侵蚀针与径流小区定位观测相结合的方法，比较黑色薄膜覆盖与绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱、施用除草剂等传统经济林水土流失治理措施的水土保持效果，探讨在锥栗林中黑色薄膜覆盖防治水土流失的可行性。结果表明：不同处理的水土及养分流失量总体上均显著小于对照。其中，绿肥覆盖与施用百草枯 2 种处理的液体径流量在试验期间均低于其他 3 种处理措施。由于覆膜减少了降雨的入渗量，与其他处理相比，黑色薄膜覆盖的液体径流量较大，其固体流失量则在不同月份均最低，施用百草枯处理的固体流失量也显著小于其他传统处理。通过对不同处理的坡面侵蚀空间分异特征进一步分析得出，与对照相比，绿肥覆盖、生物篱、施用百草枯 3 种处理的坡面净侵蚀现象随着处理时间的延长而逐渐减少，而黑色薄膜覆盖与割草覆盖处理的坡面净沉积作用明显。因黑色薄膜覆盖可实现“肥与水隔离”，大量的液体流失并未造成过多的养分损失，仅 5—6 月的液体全 P、全 K 和铵态 N 大于对照，7—10 月，液体养分流失量也显著小于对照，且黑色薄膜覆盖在试验期间固体养分流失量总体上均显著小于其他处理。此外，黑色薄膜覆盖大大缩短了果实捡拾时间，降低了人工成本。黑色薄膜覆盖措施在减轻坡面土壤侵蚀、减少土壤养分流失方面效果显著，相对其他措施在锥栗林的水土保持方面具有优势，但较强的膜上径流具有加剧侵蚀的倾向，限制其实际应用。可结合设置覆膜比例，采用有孔薄膜、坡面微工程等减少液体径流，以达到薄膜覆盖的最佳效果。

关键词：锥栗林；防草黑色薄膜覆盖；水土流失；养分流失；坡面侵蚀空间分异特征

中图分类号：S157.4 **文献标识码：**A **文章编号：**1009-2242(2016)06-0047-09

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2016.06.009

The Control Effect of Soil Erosion in *Castanea henryi*
Plantation in the North of Fujian Province

ZOU Xianhua^{1,3}，HUANG Binbin^{1,3}，GAO Qinggui²，MA Xiangqing^{1,3}

(1. College of Forestry, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002; 2. Office of Soil and Water Conservation, Jianou, Fujian 353100; 3. Co-innovation Center for Soil and Water Conservation in Red Soil Region of the Cross-straits, Fuzhou 350002)

Abstract: We tried to compare the soil and water conservation effects of plastic film mulching with some traditional measures for controlling the soil and water erosion in economic forest, such as green manure mulching, grass coverage, biological hedge, and paraquat application. We tried to explore the feasibility of plastic film mulching on preventing soil and water erosion in *Castanea henryi* plantation, using erosion needles and observation in runoff plots at the same time. The results showed that the soil erosion and nutrient loss of 5 different treatments were all significantly less than the control treatment as the extension of processing time. The liquid runoff of green manure mulching and paraquat application measures were both less than the other 3 treatments. The liquid runoff of plastic film mulching was more than the other measures when soil loss was the least for low level of rainfall infiltration, and soil loss of paraquat application was less than the other traditional measures. We also analyzed the spatial heterogeneity of soil erosion on the slopes. We found that net sediment on the slopes of green manure mulching, biological hedge and paraquat application reduced gradually as the extension of processing time. But all the different slope positions of grass coverage and plastic film mulching showed net deposition obviously. On the other hand, so much liquid runoff of plastic film mulching did not take too much nutrient away because the mulch could separate nutrient from

收稿日期：2016-06-13
资助项目：福建省教育厅中青年教育科研项目(科技类)(JA13094)；国家科技支撑计划项目(2014BAD15B02)；国家林业局林业公益性行业科研项目(201304303)
第一作者：邹显花(1987—)，女，福建三明人，博士研究生，研究实习员，主要从事植被生态恢复研究。E-mail:zhouxianhua111@163.com
通信作者：马祥庆(1963—)，男，福建建瓯人，博士，教授，主要从事土壤退化及生态恢复研究。E-mail:lxymxq@126.com

rainfall. Only the content of total phosphorus, total potassium and ammonium nitrogen in liquid runoff in May and June were more than the control treatment when the liquid nutrient loss were less than the control treatment significantly from July to October. The soil nutrient loss of plastic film mulching was also less than the other measures. Moreover, plastic film mulching could reduce the labor costs by reducing the time to harvest. Therefore, we think that plastic film mulching had significant effect in reducing slope soil erosion and nutrient loss, and it had certain superiority in soil and water conservation of *Castanea henryi*. But it had a tendency to increase erosion for liquid runoff on the film, so practical use of this measure should be restricted. In our opinion, we can set up the proportion of mulch, using a porous membrane or micro-engineering on slopes to reduce liquid runoff, to achieve the best effect of plastic film mulching.

Keywords: *Castanea henryi* plantation; black plastic film mulching; soil erosion and water loss; nutrient loss; spatial differentiation of soil erosion

锥栗(*Castanea henryi* (Skam) Rehd. et Wils.) 为壳斗科落叶乔木,是我国名特优经济林干果和天然的绿色食品^[1]。在坡地资源开发利用中,锥栗作为省工省本、一年种植多年受益的树种深受山区农民的青睞^[2]。闽北良好的气候与土壤条件为锥栗的生长提供了优越的生态环境,是锥栗的原产地和主产区,具有 1 800 多年的栽培历史,现有锥栗林面积 2.8 万 hm²^[3]。锥栗已成为闽北高山区的支柱产业和农民创收的主要来源之一。然而,锥栗经营过程中,栗农通常在每年 9 月锥栗采收前把林下杂草全部清耕,以便采收期锥栗捡拾,造成锥栗林下从每年的 9 月到第二年的 3 月土壤直接裸露^[4]。夏季为了防止杂草与锥栗争肥,栗农又将春季刚长出的杂草清除,锥栗林下植被覆盖度全年较低,且锥栗为落叶乔木,每年有 5 个月左右时间树体光秃,锥栗对降雨的冠层截留作用小。加之,锥栗对立地条件要求不严,产区大多分布在海拔 400~1 000 m 坡度陡峭的丘陵山地。该土层由酸性岩为主,风化母质发育而成的红壤,土壤透水性弱,质地粘重,结构差,土粒分散,抗蚀抗冲能力弱。林下植被覆盖低,冠层截留能力弱,且土层抗蚀能力弱,闽北锥栗林的水土流失日趋严重,甚至造成山体大面积滑坡,使高山区土壤更加贫瘠化,由此导致锥栗林单产不高,品质下降,成为限制锥栗林进一步发展的瓶颈和生产上急需解决的重大课题。

目前,经济林水土流失的治理措施主要通过生草制^[5]、林下套种^[6]、割草覆盖^[7]、植物绿篱拦挡^[8]、施用除草剂灭草^[9]等方法。20 世纪中叶,随着高分子化合物的发展,一些工业发达的国家利用极薄的聚乙烯薄膜取代传统的稻草、马粪、沙石等覆盖材料覆盖地面,以达到保水、保肥、增温的目的,从而形成了塑料薄膜覆盖栽培技术^[10],因其具有汇集热能、提高地温、保墒、保肥、抑草和高产等作用,被迅速普及应用,称为农业耕作史上的“白色革命”^[11]。由于薄膜的不透水性能够阻止雨水与土壤的直接接触,从而减小土

壤表面的受雨面积和径流冲刷面积,具有减少土壤流失的可能性^[12]。近年来,坡地经营中也逐渐引入薄膜覆盖这一栽培技术^[13]。黑色薄膜覆盖模式在锥栗林中的应用,不仅可以抑制杂草、提高地温、稳定土壤湿度,且方便栗农捡拾果实,降低锥栗林经营的人工成本。因此,本研究在建瓯市水土流失严重的锥栗林中,通过侵蚀针与径流小区定位观测相结合的方法,比较黑色薄膜覆盖模式与绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱、施用除草剂等传统的经济林水土流失治理措施的水土保持效果,探讨在锥栗林中黑色薄膜覆盖经营模式的可行性,为科学地防治锥栗林的水土流失、提高锥栗产量和品质提供科学依据,并指导生产实践,达到生态与产业的“双赢”。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于建瓯市房道镇连地村,属武夷山脉东南麓,平均海拔 470 m,属中亚热带雨林气候,平均气温 19.5 ℃,土壤以红壤为主,土壤肥沃,土层深厚。试验地地理位置 27°01′39″N,118°11′12″E,坡度 35°,属于阴坡。锥栗林林地不同土层的基本物理、化学性质见表 1 和表 2。

1.2 研究方法

1.2.1 试验设计

(1)径流小区布设。采用径流小区定位观测法,对锥栗林不同坡面处理模式的水土及养分流失情况进行观测。径流小区于 2015 年 4 月布设完成,径流小区长 20 m,宽 5 m,小区面积为 100 m²,长边顺坡垂直于等高线,短边与等高线平行。小区四周用彩钢压型板设截水墙,埋深 35 cm,地上部分 15 cm,上缘向小区外呈 60°倾斜。小区上方及两侧设截流沟及排水沟。小区下端设集水槽,用固定油毛毡覆盖,集水槽设置出水口,出水口连接集水池。集水池长 1 m,宽 1 m,深 1 m,容积 1 m³,集水池内设固定水尺,底部和四壁用塑料薄膜铺设。试验开始后,在集水池

顶部盖上油毛毡,以防止降雨直接进入集水池。

(2)不同处理措施设计。本试验共设置6种坡面处理措施,选取5个径流小区,在对林下进行全面清草后,分别设置绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱、防草黑

色薄膜覆盖等不同的坡面处理措施,同时设置1个清耕对照小区,此外,选取1个径流小区,施用除草剂百草枯进行除草。径流小区内锥栗树龄为20年左右,不同径流小区锥栗树的分布及生长情况见表3。

表1 锥栗林地土壤物理性质

土层深度/cm	土壤容重/(g·cm ⁻³)	土壤总孔隙度/%	最大持水量/%	毛管持水量/%	最小持水量/%
0—20	1.11±0.15a	58.67±5.51a	54.67±9.50a	44.00±3.61a	30.67±2.89a
20—40	1.18±0.01a	55.67±0.58a	46.33±0.58a	38.00±1.00a	26.33±1.15a
40—60	1.21±0.03a	54.33±1.16a	44.67±1.16a	39.00±2.65a	27.33±2.52a

注:同列不同小写字母表示不同土壤层的土壤物理性质差异显著($P<0.05$)。

表2 锥栗林地土壤化学性质

土层深度/cm	全P/(g·kg ⁻¹)	有效P/(mg·kg ⁻¹)	全钾/(g·kg ⁻¹)	速效钾/(mg·kg ⁻¹)	C/(mg·g ⁻¹)	全N/(mg·g ⁻¹)	水解性N/(mg·g ⁻¹)
0—20	0.33±0.04a	5.01±1.34a	20.97±3.28a	251.89±9.96a	16.18±1.34a	1.75±0.02a	161.15±29.62a
20—40	0.36±0.09a	2.42±0.46ab	22.03±0.76a	192.25±70.60a	13.06±0.37b	1.55±0.08b	117.15±21.99a
40—60	0.34±0.01a	1.68±1.77b	19.53±2.92a	130.50±44.54a	9.37±1.72c	1.29±0.13c	176.86±143.36a

注:同列不同小写字母表示不同土壤层的土壤化学性质差异显著($P<0.05$)。

绿肥覆盖和生物篱处理均选择百喜草为参试草种,种子经60℃温水浸种1h后播种。其中,绿肥覆盖选择全坡撒播的种植方式,播种密度为15g/m²^[14],播后撒少量细土覆盖,浇水保湿。生物篱采用条播方式,按2m的带间距开浅沟,沟深5~10cm,宽0.5m,把种子均匀撒在沟中,然后用细土覆盖种子,厚度以不见种子为宜,浇水保湿,播种密度为30g/m²。除草剂选用百草枯,百草枯喷施频率根据药效时间而定,杂草地上部重新萌发后再次喷施,以保证处理效果,试验处理期间分别于4,7,10月各喷施1次。黑色薄膜覆盖采用新型可降解的黑色薄膜,以免造成白色污染。采用全坡覆盖的方式,在锥栗树干基部直径30cm范围内不覆盖,以保证锥栗树的正常生长。不同坡面处理措施的布设于2015年4月25日完成。

表3 不同径流小区内锥栗树的分布及生长情况

处理措施	株数/株	胸径/cm	树高/m	冠幅/m	郁闭度
绿肥覆盖	8	16.72	8.43	6.27	0.7
割草覆盖	7	20.20	8.86	6.20	0.6
生物篱	6	19.15	8.59	6.95	0.5
喷施百草枯	7	18.18	9.05	6.15	0.6
防草黑色薄膜覆盖	6	22.20	9.45	6.50	0.5
对照	9	16.84	8.91	6.26	0.7

(3)侵蚀针布设。土壤侵蚀是土壤被分散、剥离、搬运、沉积的过程,从坡面尺度来看,在土壤侵蚀过程中同一坡面不同空间部位受到的侵蚀作用存在差异,使得坡面的土壤侵蚀空间发生分异,因此,研究坡面土壤侵蚀空间分异特征有利于更深入的了解土壤侵蚀过程和机理^[15]。本研究根据样地坡长20m,将每个径流小区的顺坡方向三等分,分为上坡、中坡、下坡3个坡位,在每个坡位布设侵蚀针,侵蚀针为直径约0.5cm,长24cm的木质测钎,按1m间隔垂直打入坡面,布设距离行距2m,每个坡位内共布设15支

侵蚀针。预先在侵蚀针上标记出地表初始位置(标志线),标志线以上长12cm,标志线以下长12cm。

1.2.2 观测方法 在2015年4月25日不同坡面措施布设完成之后,5—10月(雨季)每月25日进行不同处理的水土流失量及养分流失量测定。2015年5—10月试验样地的降雨量分别为111.67,480.72,262.19,357.52,216.39,136.67mm,降雨数据来源于国家地球系统科学数据共享平台的HADCM2模式数据,已有研究验证该模型的 R^2 介于0.86~0.95范围内^[16],准确度较高。HADCM2模式是Hadley气候预测和研究中心发展的海气耦合模型。原始数据来源于IPCC数据发布中心,数据为GRIB格式,先将其转化为文本格式,提取中国区域的数据点,结合中国的DEM,利用ANUSPLIN软件包进行空间插值。数据集成为NETCDF格式,空间分辨率为0.085度,时间分辨率为月。

(1)水土流失量测定。试验期间5—10月每月25日进行不同径流小区水土流失量的测定与取样。测定前,先用铁锹将集水池内沉积的泥沙摊平。等泥沙沉降后,利用固定在集水池四边的水尺在不同位置重复测定4次集水池中的水位,计算出集水池内的液体与固体径流量总体积 V_1 。同时,定量采取500ml水样于取样瓶中($n=6$),其中,3瓶用于测定液体养分流失量,另3瓶用于测定固体径流量中的悬移质输沙量。然后利用水泵将上层液体抽出,进一步测定池底沉积泥沙的体积 V_2 ,集水池内液体径流量即为 V_1 与 V_2 之差。在测定池底沉积泥沙体积后,将集水池内泥沙全部取出并称量湿重,均匀取2kg泥沙样品于取样瓶中($n=6$),其中3个样品用于测定固体养分流失量,另3个用于测定固体径流量中的推移质输沙量。分别用烘干法测定水样的含沙率及泥沙样的含水率,从而推算出集水池内悬移质及推移质的输沙量,二者之和即为固体流失量^[17]。

为防止水土流失量过大造成集水池的溢流现象,本研究在集水池旁通过分流管连接 1 个体积为 0.5 m³ 的分流桶,当集水池内水位超过 1 m 时,集水池开始分流,此时液体径流总量为集水池内水量与分流桶内水量之和,据此计算池内液体径流量。

(2)坡面土壤侵蚀的空间分异特征测定。通过测量侵蚀针高度的变化直接反应坡面的侵蚀、沉积状况。分别分为上坡、中坡、下坡 3 个坡位进行侵蚀针的出露高度观测,1 个月观测 1 次。每支侵蚀针侵蚀前的读数与侵蚀后的读数之差,代表被测定部位在 1 个月内的土壤侵蚀量;差值为负值时代表被监测点为净侵蚀点,数值越小表示净侵蚀量越大;差值为正值时代表被监测点为净沉积点,数值越大表示净沉积量越大;差值为 0 时表示被监测点在降雨过程中为侵蚀沉积平衡点。

(3)养分流失量测定。每个月对集水池中的水样和泥沙进行定量取样($n=3$),测定液体和固体的养分流失量。水样主要测定速效 P、速效 K、水解性 N、硝态 N、铵态 N,泥沙样品主要测定全 P、有效 P、全 K、速效 K、水解性 N、全 N 及全 C 含量等指标。水样速效 P、水解性 N、硝态 N、铵态 N 含量利用 AA3 连续流动分析仪对新鲜水样进行测定;速效 K 含量用火焰光度法测定;泥沙样品中全 P 含量采用 NaOH 碱熔钼锑抗比色法测定;有效 P 含量用氟化铵—盐酸浸提法测定;全 K、速效 K 含量用 NaOH 碱熔火焰光度法测定;水解性 N 含量用碱解扩散法测定;全 N 及

C 含量采用碳氮分析仪测定。

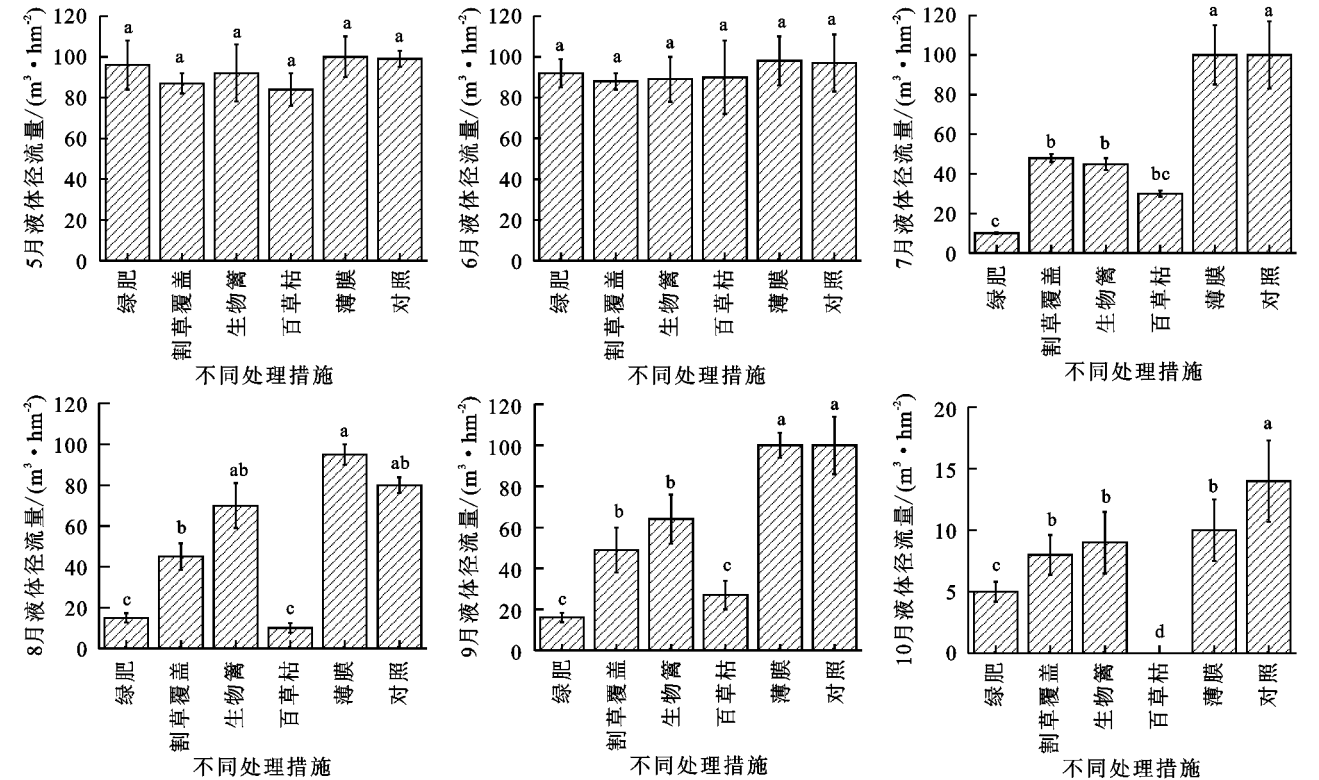
1.2.3 数据统计分析 试验数据用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和显著性分析,采用 Origin 8.5 软件统计数据并绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同处理措施的水土流失量比较

2.1.1 液体径流量 不同月份不同处理的液体径流量与降雨规律基本保持一致(图 1)。其中,因 4 月不同坡面处理的布设对径流小区干扰较大,不同处理 5 月与降雨量最大的 6 月相同,存在较大的液体径流量,均达到 85 m³/hm² 以上。7,8,9 月黑色薄膜覆盖处理与对照的液体径流量相对稳定,绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱及施用百草枯 4 种模式的液体径流量相对于 5,6 月而言,存在较大的降幅。其中,绿肥覆盖与施用百草枯 2 种处理的液体径流量显著降低,均低于 5,6 月份液体径流量的 1/4。降雨量较小的 10 月不同处理的液体径流量均显著降低,小于 15 m³/hm²,其中,施用百草枯模式的液体径流量接近 0 m³/hm²,已超出测量的精度范围,这可能是由于集水池内少量的液体存在蒸发现象造成的。

对不同月份不同处理的液体径流量进行比较可见,5—10 月,黑色薄膜覆盖处理与对照的差异不显著,二者大于其他处理,这一规律在 7—10 月表现得尤为显著。而至 7 月起,绿肥覆盖和施用百草枯处理的液体径流量则显著小于其他处理($P<0.05$)。



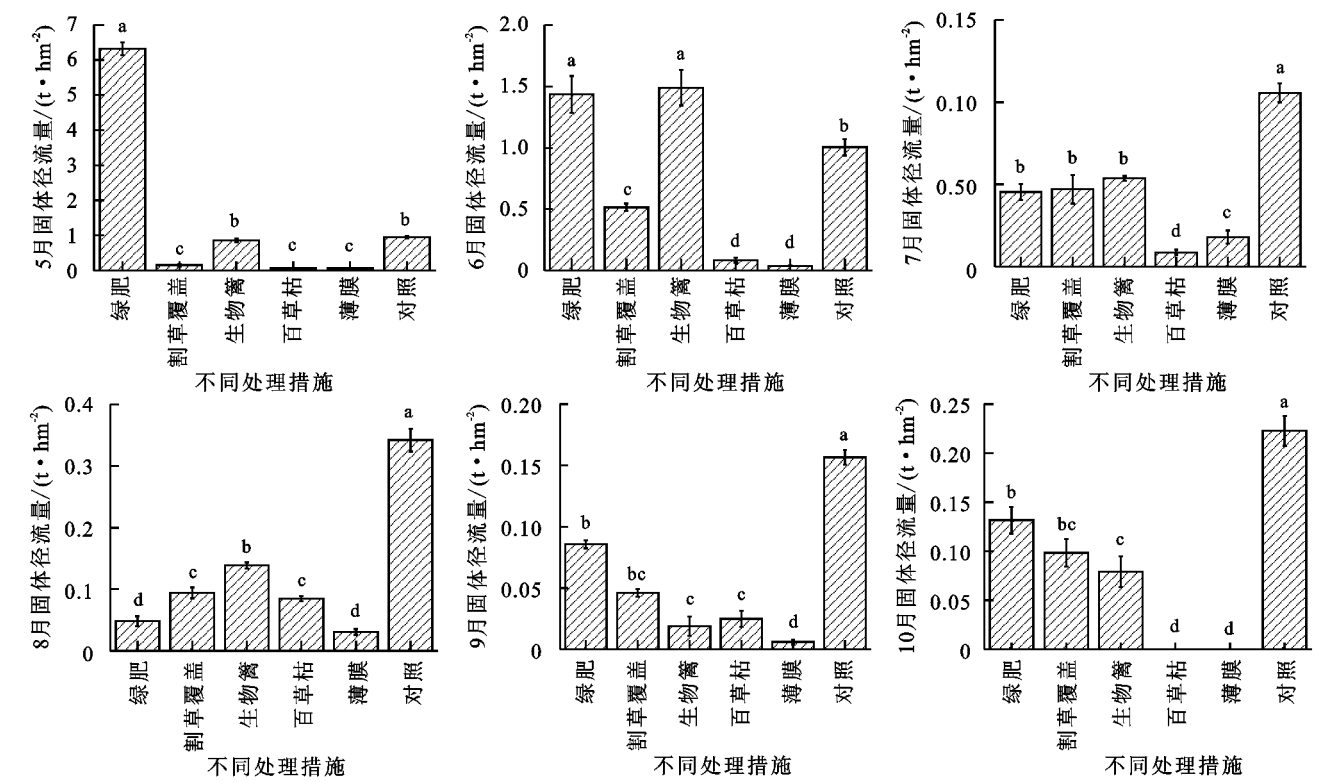
注:不同小写字母表示不同处理措施的液体径流量差异显著($P<0.05$)。

图 1 不同月份不同处理措施的液体径流量比较

2.1.2 固体径流量 不同月份不同处理措施的固体径流量与降雨规律总体上一致(图2)。5、6月不同处理措施的固体径流量均显著大于其他月份。其中,5月绿肥覆盖的固体径流量显著高于其他处理,可能是由于4月措施布设时,绿肥覆盖进行全坡撒播,对地表土壤的扰动较大;其他5个处理则表现为降雨量最大的6月固体流失量最大。随着处理后时间的延长,7、8、9月绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱3个处理及对照处理的固体径流量显著降低,但7—9月的变化幅度较

小。施用百草枯和黑色薄膜覆盖2种处理的固体径流量则呈现逐渐减少的趋势,直至10月二者的固体径流量甚至低至接近于0 t/hm²,超出测量的精度范围。

对不同月份不同处理措施的固体径流量进行比较可见,除了5、6月的绿肥覆盖和生物篱处理的固体流失量大于对照外,不同月份不同处理措施的固体流失量均显著小于对照($P<0.05$),其中,黑色薄膜覆盖处理的流失量最小,施用百草枯处理的固体径流量也较其他3种处理措施更低。



注:不同小写字母表示不同处理措施的固体径流量差异显著($P<0.05$)。

图2 不同月份不同处理措施的固体径流量比较

2.1.3 不同处理措施的坡面土壤侵蚀空间分异特征分析 从图3可以看出,不同处理措施的坡面侵蚀随着处理措施布设后时间的延长呈现逐渐减少的趋势,降雨量较小的10月不存在坡面净侵蚀,坡面的沉积作用明显。割草覆盖与黑色薄膜覆盖处理的不同坡位在整个试验过程中均表现为明显的坡面沉积作用。5月降雨量虽最少,但因4月份坡面扰动的缘故,绿肥覆盖、生物篱、施用百草枯和对照处理在5月均存在坡面净侵蚀现象,其中下坡的侵蚀量显著大于上坡和中坡($P<0.05$)。

降雨量最大的6月,绿肥覆盖、生物篱、施用百草枯和对照处理的坡面仍存在净侵蚀现象,但与5月不同的是不同处理措施坡面的上坡侵蚀量大于下坡和中坡,不同处理的沉积坡位中,中坡的沉积量大于上坡和下坡。7、8、9月不同处理的坡面沉积作用表现

更为明显,且总体上不同月份不同处理中坡的沉积作用比下坡和上坡更显著。其中,对照的上坡在7—9月仍表现为坡面净侵蚀,且侵蚀量显著大于其他存在坡面侵蚀的坡位。

2.2 不同处理措施的养分流失量比较

2.2.1 液体养分流失量 不同处理措施的液体全P和全K的流失量总体表现为一致的变化规律(图4)。5月黑色薄膜覆盖处理的液体全P和全K流失量显著大于其他4个处理措施($P<0.05$),全P流失量表现得更为显著,达到18.37 kg/hm²,是最低值对照处理的4.8倍;6—10月,不同处理措施的液体全P和全K的流失量均小于对照,其中,不同月份绿肥覆盖的全P和全K流失量均最小,且与其他处理的差异达到显著水平($P<0.05$),施用百草枯处理也显著小于其他处理措施。

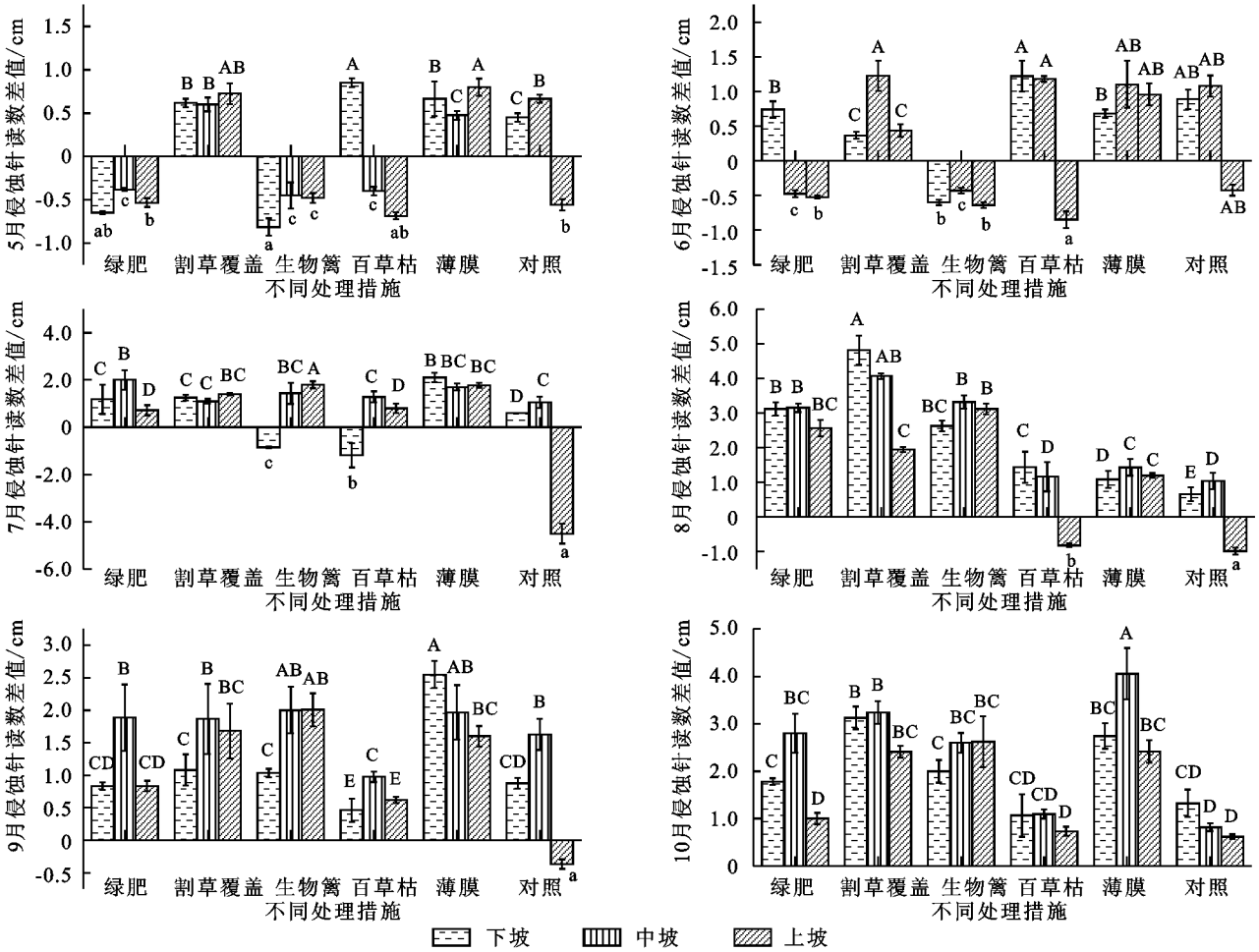


图 3 不同月份不同处理措施的坡面侵蚀空间分异特征比较

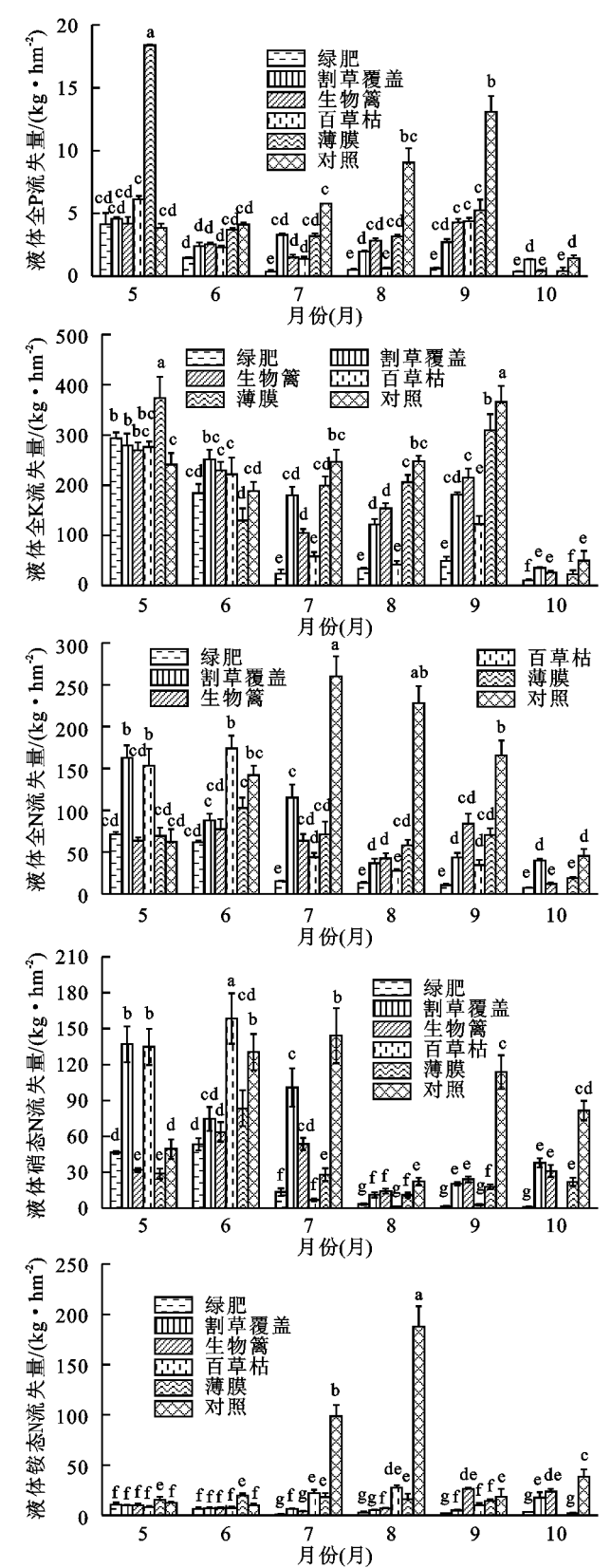
与液体全 P、全 K 流失量不同的是,不同处理措施的液体全 N 流失量在 5 月表现为割草覆盖和施用百草枯模式二者差异不显著($P>0.05$),但显著大于其他处理($P<0.05$),达到其他处理措施的 2 倍;6—10 月,液体全 N 流失量的变化规律与全 P、全 K 流失量一致,总体上表现为不同处理措施的液体全 N 流失量均小于对照,其中,绿肥覆盖的全 N 流失量最小,施用百草枯处理也显著小于其他处理。5—10 月,不同处理措施的液体硝态 N 流失量的变化规律与全 N 流失量变化规律保持一致性。液体铵态 N 在 5—6 月的流失量与全 P、全 K 一致,表现为黑色薄膜模式的流失量显著大于其他处理措施($P<0.05$)。7—10 月,不同处理的液体铵态 N 流失量总体上均显著小于对照,其中,绿肥覆盖处理的流失量最少。

从图 4 还可看出,施用百草枯处理 10 月的液体流失量接近于 $0\text{ m}^3/\text{hm}^2$,无法满足取样要求,故其不存在液体养分流失。不同月份的液体养分流失量与降雨规律成正相关,降雨量最大的 6 月液体养分流失量最大,而 10 月的液体养分流失量则明显低于其他月份,5 月则因为 4 月不同坡面措施的布设造成液体

养分流失量较大。

2.2.2 固体养分流失量 不同处理措施的固体全 P、全 N、全 K 流失量的变化规律一致(图 5)。5—6 月,绿肥覆盖、生物篱的固体全 P、全 N 及全 K 流失量均大于对照,其他 3 种处理的流失量显著小于这 3 种处理($P<0.05$);7—10 月,不同处理措施的固体全 P、全 N 及全 K 流失量均显著小于对照($P<0.05$)。综合 5—10 月不同月份比较,施用百草枯和黑色薄膜覆盖的固体全 P、全 N 及全 K 流失量总体上表现为小于其他处理,其中,10 月二者均不存在固体流失,故其固体养分流失量为 0。

不同处理措施的固体有效养分流失量与全养分流失量的变化规律基本一致。5,6 月绿肥覆盖、生物篱与对照的固体有效 P、水解性 N 及速效 K 的流失量显著大于其他 3 个处理($P<0.05$)。5—10 月,不同处理措施的固体有效养分流失量总体上均小于对照,其中,7—10 月不同处理与对照的差异达到显著性水平($P<0.05$)。综合 5—10 月不同月份比较,黑色薄膜覆盖的固体有效养分流失量最少,施用百草枯处理的流失量与其差异不显著。



注:不同小写字母表示不同月份不同处理措施的液体养分流失量之间差异显著($P<0.05$)。

图 4 不同月份不同处理措施的液体养分流失量比较

从图 5 还可看出,与液体养分流失量相同,不同月份的固体养分流失量与降雨规律也存在一定的相关性,5,6 月的固体养分流失量显著大于其他月份的流失量,降雨量最大的 6 月液体养分流失量最大,降

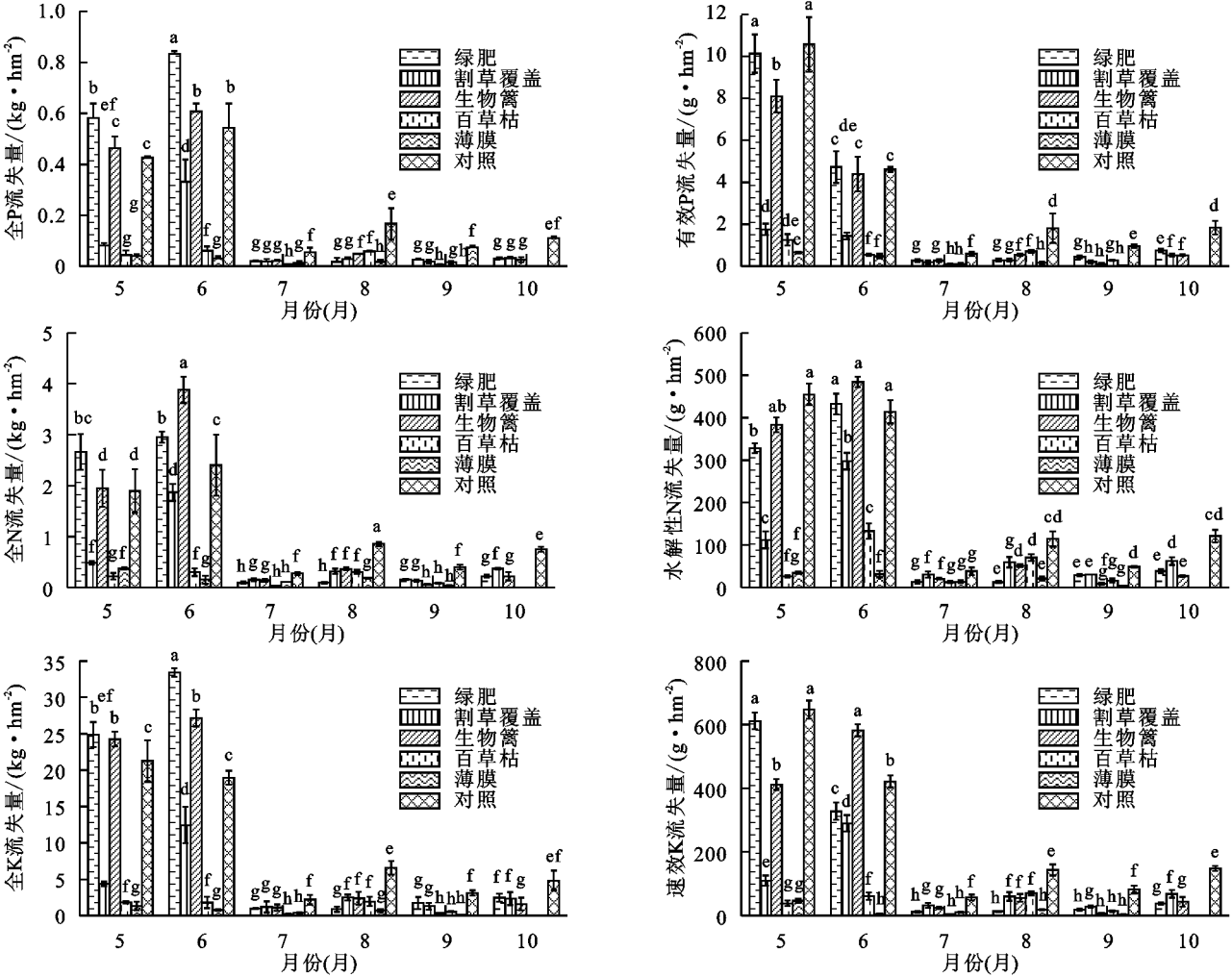
雨量较大的 8 月的固体流失量也大于其他月份,5 月则因为 4 月不同坡面措施的布设造成固体养分流失量较大。

不同处理措施的固体 C 流失量与其养分流失量的变化规律一致(图 6)。5,6 月,绿肥覆盖、生物篱的固体 C 流失量显著大于其他 3 种处理措施($P<0.05$);7—10 月,不同处理的固体 C 流失量均显著小于对照处理($P<0.05$)。综合 5—10 月不同月份比较,施用百草枯和黑色薄膜覆盖的固体 C 流失量总体上表现为小于其他处理,其中,10 月二者固体流失量均接近于 0 t/hm²,无法满足取样要求。

3 讨论

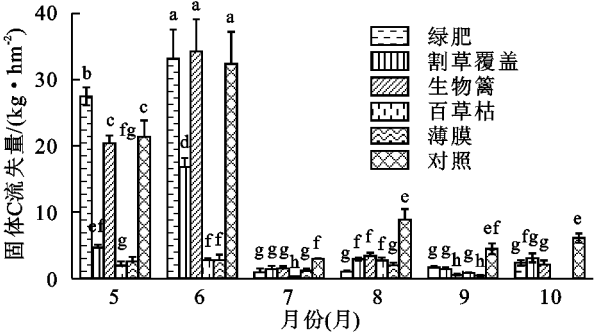
本研究通过对黑色薄膜覆盖处理与绿肥覆盖、割草覆盖、生物篱、施用百草枯等传统的经济林水土流失治理措施的水土流失及养分流失进行比较发现,黑色薄膜覆盖在减轻坡面土壤侵蚀,减少土壤养分流失方面效果显著,其固体流失量及固体养分流失量均显著小于其他处理措施,在试验期间该措施在不同坡位均表现为净沉积现象。然而,由于覆膜减少了降雨的入渗量,形成较强的膜上径流,与其他处理相比,黑色薄膜覆盖处理的液体径流量存在一定程度的增加,这一结果与刘毅等^[18]、陈火君等^[19]的研究一致。但是,本研究中通过对不同处理措施的液体养分流失量进一步测定发现,因薄膜覆盖可实现“肥与水隔离”,黑色薄膜覆盖处理大量的液体流失并未造成过多的养分损失,仅 5 月与 6 月的液体全 P、全 K 和铵态 N 大于对照,随着处理时间的延长,其液体养分流失量也显著小于对照。陈火君等^[19]的研究也表明,覆膜处理的地表径流中 N、P、K 的浓度分别比无薄膜覆盖处理的低 39.54%,28.05%和 43.74%。

此外,通过 2015 年 9 月锥栗收获期,对不同处理措施的锥栗捡拾耗时对比发现,黑色薄膜覆盖的果实集中,大大缩短了捡拾的时间,降低了人工成本,且果实较为干净。综合可见,黑色薄膜覆盖措施相对于其他传统的经济林水土流失治理措施在锥栗林经营过程中的水土流失治理方面具有一定的优势,但其较强的膜上径流,在流经无覆盖区域时,具有增大径流加剧侵蚀的倾向,成为实际生产应用中需要解决的关键问题。因此,可结合其他措施以达到薄膜覆盖的最佳效果,如通过设置坡面的覆膜比例^[20]、有孔薄膜的应用^[21]等均能适当增加降雨的入渗量,减小膜上径流。也有研究表明,坡面采取部分微工程措施能够减少水的动能,对于覆膜的水土保持效果有良好的促进作用,Wan 等^[22]发现,在垄沟耕作系统中,垄顶覆膜并种植作物,可以减小径流量和土壤流失量。



注：不同小写字母表示不同月份不同处理措施的固体养分流失量之间差异显著($P < 0.05$)。

图 5 不同月份不同处理措施的固体养分流失量比较



注：不同小写字母表示不同月份不同处理措施的固体 C 流失量之间差异显著($P < 0.05$)。

图 6 不同月份不同处理措施的固体 C 流失量比较

4 结论

(1)不同处理措施的水土流失规律总体表现为5—6月的液体径流量较大,均大于 $85 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。随着措施布设时间的延长,除了黑色薄膜覆盖处理外,7—10月其他处理的液体径流量均显著小于对照,其中,绿肥覆盖和施用百草枯2种处理的液体径流量最小。随着时间的延长,不同处理的固体流失量也表现为显著小于对照,其中,黑色薄膜覆盖的固体流失量在不同月份均最低,施用百草枯处理的流失量也显著小于其

他处理措施。

(2)通过对不同处理的坡面侵蚀空间分异特征进行分析可见,绿肥覆盖、生物篱、施用百草枯和对照均存在坡面净侵蚀现象。而相对于对照处理,不同处理措施的坡面侵蚀现象随着处理时间的延长呈现逐渐减少的趋势。割草覆盖与黑色薄膜覆盖处理则表现为不同坡位在整个试验过程中的坡面沉积作用明显。

(3)黑色薄膜覆盖处理大量的液体流失并未携带过多的养分流失,仅5月与6月的液体全P、全K和铵态N大于对照处理,随着处理时间的延长,不同处理的液体养分流失量(全P、全K、全N、铵态N和硝态N)显著小于对照,其中,绿肥覆盖的液体养分流失量最小,施用百草枯仅高于绿肥覆盖处理。不同处理的固体全效养分(全P、全K、全N)、速效养分(有效P、速效K、水解性N)及固体C流失量的变化规律与固体流失量表现为一致的变化规律,即施用百草枯和黑色薄膜覆盖处理在试验期间不同月份的固体全效养分、速效养分及固体C流失量总体上表现为显著小于其他处理。

参考文献:

- [1] 冯金玲,杨志坚,陈辉. 锥栗的研究进展[J]. 亚热带农业研究,2009,5(4):237-241.
- [2] 马海泉,江锡兵,龚榜初,等. 我国锥栗研究进展及发展对策[J]. 浙江林业科技,2013,33(1):62-67.
- [3] 范辉华. 福建锥栗产业可持续发展的问题与对策[J]. 江西林业科技,2014,42(6):44-47.
- [4] 高清贵. 福建省建瓯市锥栗山水土流失防治措施及其效益初探[J]. 亚热带水土保持,2016,28(1):37-39.
- [5] 杜丽清,吴浩,郑良永. 果园生草栽培的生态环境效应研究进展[J]. 中国农学通报,2015,31(11):217-221.
- [6] 李纪元,肖青,李辛雷,等. 不同套种模式油茶幼林水土流失及养分损耗[J]. 林业科学,2008,44(4):167-172.
- [7] 闵安民,郭亨孝,李红霞,等. 不同除草处理对经济林果园地水土保持作用的初步研究[J]. 水土保持学报,2005,19(2):49-52.
- [8] 涂仕华,陈一兵,朱青,等. 经济植物篱在防治长江上游坡耕地水土流失中的作用及效果[J]. 水土保持学报,2005,19(6):1-5,85.
- [9] 水建国,柳俊,廖根清,等. 不同自然植被管理措施对红壤丘陵果园水土流失的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(5):42-46.
- [10] 许香春,王朝云. 国内外地膜覆盖栽培现状及展望[J]. 中国麻业,2006,28(1):6-11.
- [11] 袁海燕,文卿琳. “白色革命”与农业的可持续发展[J]. 宁夏农学院学报,2001,22(2):73-75.
- [12] Dusek J, Ray C, Vogel T. Effect of plastic mulch on water flow and herbicide transport in soil cultivated with pineapple crop: A modeling study[J]. Agricultural Water Management, 2010, 97(10):1637-1645.
- [13] Zhang H Y, Liu Q J, Yu X X, et al. Influences of mulching durations on soil erosion and nutrient losses in a peanut (*Arachis hypogaea*)-cultivated land[J]. Natural Hazards, 2014, 72(2):1175-1187.
- [14] 李国怀. 百喜草及其在南方果园生草栽培和草被体系中的应用[J]. 生态科学, 2001, 20(1/2):70-74.
- [15] 胡国庆,董元杰,史衍玺,等. 坡面土壤侵蚀空间分异特征的磁性示踪法和侵蚀针法对比研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1):53-57.
- [16] Jing W L, Feng M, Yang Y P. A Statistical downscaling approach of NCEP/NCAR reanalysis temperature data [J]. Geo-information Science, 2013, 15(6):819-828.
- [17] 杨一松,王兆骞,陈欣,等. 南方红壤坡地不同利用模式的水土保持及生态效益研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(5):84-87.
- [18] 刘毅,陶勇,万开元,等. 丹江口库区坡耕地柑桔园不同覆盖方式下地表径流氮磷流失特征[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(11):1340-1344.
- [19] 陈火君,卫泽斌,吴启堂,等. 薄膜覆盖减少化肥养分流失研究[J]. 环境科学, 2010, 31(3):775-780.
- [20] 王军,陈能场,詹振寿,等. 不同种植方式对烟田氮素径流损失的影响[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5):68-73.
- [21] 付登强. 麻地膜覆盖的保水保温特性及对作物的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2008:1-47.
- [22] Wan Y S, El-Swaify S A. Runoff and soil erosion as affected by plastic mulch in a Hawaiian pineapple field [J]. Soil and Tillage Research, 1999, 52(1/2):29-35.
- (上接第 46 页)
- [9] 陈光荣,张国宏,高世铭,等. 粮草豆隔带种植保护性耕作对坡耕地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(4):54-58.
- [10] 李霞,陶梅,肖波,等. 免耕和草篱措施对径流中典型农业面源污染物的去除效果[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6):221-224.
- [11] 孙铁军,刘素军,肖春利,等. 草地雀麦刈割对坡地水土流失的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4):34-37.
- [12] 俞巧钢,叶静,马军伟,等. 山地果园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(2):6-10.
- [13] 段舜山,蔡昆争,王晓明. 鹤山赤红壤坡地幼龄果园间作牧草的水土保持效应[J]. 草业科学, 2000, 17(6):12-17.
- [14] 范远江,袁淑清. 民族地区林下经济发展模式解析:以三峡库区石柱县为例[J]. 黑龙江民族丛刊, 2011(3):50-55.
- [15] 重庆市农业技术推广总站. 重庆市土壤信息系统的建立与施肥决策应用研究[EB/OL]. (2007-10-27)[2016-06-07]. <http://www.cqates.com/cqsoil/>.
- [16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2000.
- [17] 黄慧敏. 火焰原子吸收分光光度法测定环境水样中钾和钠[J]. 福建分析测试, 2007, 16(2):115-116.
- [18] 孙羲. 农业化学[M]. 上海:上海科技出版社, 1980:55-83.
- [19] 何念祖,梦赐福. 植物营养原理[M]. 上海:上海科技出版社, 1987:59-124.
- [20] 李生秀,付会芳,袁虎林,等. 几种反映旱地土壤供氮能力的方法的比较[J]. 土壤, 1990(4):194-197.