

马悦,郭年冬,张瑞芳,等. 石灰岩坡面花生不同覆盖度水土及养分流失规律[J]. 江苏农业科学,2016,44(9):429-434.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.09.121

# 石灰岩坡面花生不同覆盖度水土及养分流失规律

马悦<sup>1,2</sup>,郭年冬<sup>1</sup>,张瑞芳<sup>2,3,4</sup>,王红<sup>2,3,4</sup>,周大迈<sup>2,3,4</sup>,张爱军<sup>2,3,4</sup>

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071000; 2. 河北省山区研究所,河北保定 071001;

3. 国家北方山区农业工程技术研究中心,河北保定 071000; 4. 河北省山区农业工程技术研究中心,河北保定 071000)

**摘要:**通过室内人工模拟降水的方法,研究花生不同覆盖度石灰岩坡面水土流失和养分流失特征。结果表明:随着覆盖度的增加,坡面产流、产沙量减少,养分流失量与产流产沙量成正比关系;与对照相比,20%覆盖度径流量、泥沙量分别减少22.22%、44.07%;覆盖度增加到95%,径流量、泥沙量分别减少61.11%、80.49%;与对照相比,95%覆盖度坡面有效减少了86.25%氮损失量、91.38%磷损失量、89.57%钾损失量;径流泥沙中各养分含量随着覆盖度的增加而减少。通过对不同处理因素下坡面养分流失量变化进行方程拟合,结果表明:采用三项式方程模拟石灰岩坡面土壤养分流失比较适宜,且20%覆盖度的全效养分与泥沙量拟合系数均超过0.99,呈显著相关。

**关键词:**石灰岩坡面;花生;水土流失;径流;养分流失量;土壤覆盖度

**中图分类号:** S158.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)09-0429-06

河北省内太行山岩石裸露面积较大,在漫长的地壳构造运动中造成岩层破损严重,在夏季暴雨季节,泥石流发生频繁,属泥石流发生高危区<sup>[1]</sup>。太行山区森林覆盖率低,土壤干旱贫瘠,裸岩区比例高,山地较陡<sup>[2]</sup>,山区岩石类型以石灰岩、花岗岩、片麻岩为主,其中石灰岩占30.2%。多年来,由于自然因素及人类活动干扰,石灰岩区坡地水土流失情况日

益加重。蔡崇法等对紫色土坡地养分流失的研究中发现,在影响养分流失的植被覆盖度、坡度、降水强度3个因子中,植被覆盖度是影响土壤侵蚀及养分流失程度最大的因子,其次是降水强度,坡度的影响程度相对最小<sup>[3]</sup>。本试验采用室内人工模拟降水装置,对降水条件下石灰岩坡地不同覆盖度水土、养分流失情况进行分析,以期为太行山区石灰岩坡耕地水土流失治理、小流域面源污染的防控和山区生态环境治理提供科学依据<sup>[4]</sup>。

收稿日期:2016-03-31

基金项目:河北省自然科学基金(编号:C2015204155)。

作者简介:马悦(1992—),女,吉林白城人,硕士研究生,主要从事植物营养生态研究。E-mail:mayuehebau@163.com。

通信作者:张爱军,博士,硕士生导师,研究员,主要从事植物营养生态与山区数字化研究。E-mail:zhangaijun@hebau.edu.cn。

接近削减上限,是污染物削减压力较大的区域。对比表2可以发现污染物削减压力较大地区的特征指标占整个重污染区的比例相对并不大,尤其上述地区的水资源量平均比例仅为0.7%,水环境容量比例为0.6%,但其污染物排放量比例却相对偏大,显示出这些地区在较少的自然禀赋下却是重点削减区域。

## 4 结论

构建了求解信息熵加权总和最大的模型,对太湖重污染区内各地区间水污染物优化分配问题进行了研究。该模型计算步骤简练,指标权重赋值客观,可减少污染物总量分配的人为干扰。研究结果显示,经过上述优化分配,各地区自然经济特征指标所负荷的污染物排放量差异程度降低,更大程度上体现了分配的公平性。研究成果对于开展太湖重污染区污染总量控制研究具有一定的指导意义,同时为当地水环境污染防治工作提供决策依据。

## 参考文献:

[1]张修宇,陈海涛. 我国水污染物总量控制研究现状[J]. 华北水

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验用土为河北省满城县石灰岩山坡土壤,填土时不进行

利水电学院学报,2011,32(5):142-145.

[2]马中,Dan Dudek,吴健,等. 论总量控制与排污权交易[J]. 中国环境科学,2002,22(1):89-92.

[3]Burm D H, McBean E A. Optimization modeling of water quality in an uncertain environment[J]. Water Resources Research,1985,21(7):934-940.

[4]毛战坡,李怀恩. 总量控制中削减污染物合理分摊问题的求解方法[J]. 西北水资源与水工程,1999,10(1):25-30.

[5]边博,夏明芳,王志良,等. 太湖流域重污染区主要水污染物总量控制[J]. 湖泊科学,2012,24(3):327-333.

[6]Weber B H, Depew D J, Smith J D. Entropy, information and evolution; new perspectives on physical and biological evolution[M]. Cambridge: MIT Press, 1988:173.

[7]张妍,杨志峰,何孟常,等. 基于信息熵的城市生态系统演化分析[J]. 环境科学学报,2005,25(8):1127-1134.

[8]姚亚洲. 盐城经济开发区东区污水排放方案研究[D]. 南京:河海大学,2007.

[9]胡开明. 基于太湖水质达标及溯源方法的人湖污染物减排分配技术研究[D]. 南京:河海大学,2012.

过筛操作,以原状土放置进行自然密实。降水采用河北农业大学国家北方山区农业工程技术研究中心的 QYJY-503 人工模拟降水装置,该装置降水高度为 11 m,采用旋转下喷式喷头,降水强度变化范围为 10~200 mm/h,降水均匀度在 90% 以上。待测土壤全氮含量 1.58 g/kg,全磷含量 0.59 g/kg,全钾含量 50.62 g/kg,含水量 7%~9%,土壤容重 1.41 g/cm<sup>3</sup>。

作物品种为冀花 4 号,是由河北省农林科学院粮油作物研究所选育的花生品种。试验所用钢槽规格为 1.5 m × 0.5 m × 0.5 m,可调坡度在 0°~30° 之间,详见图 1。为了防止各小区间发生土壤颗粒和养分交换,降水时在每个钢槽两侧加上高出土面 15 cm 的木板;同时,为防止雨滴溅蚀造成的水、泥沙侧面损失,在钢槽尾端连接“V”形径流收集槽<sup>[5]</sup>,用以收集径流、泥沙。

## 1.2 试验设计与方法

试验共设 4 个处理:CK(不种植物,植被覆盖度为 0);植被覆盖度为 20%;植被覆盖度为 60%;植被覆盖度为 95%。播种后,随着作物的生长,在其苗期、结荚期、荚果成熟期,根据其茎叶对地面的投影面积测算覆盖度为 0、20%、60%、95% 时进行降水<sup>[6]</sup>。试验共 3 次重复。

试验方法中包括钢槽设置、种植作物、土壤施肥、收集径流等。试验初始设置各个处理小区土壤养分情况基本一致,试验钢槽坡度设为 10°,降水强度为 80 mm/h。花生实行 2 粒穴播,同时设置裸地对照,各坡面均等养分施肥。5 月 20 日

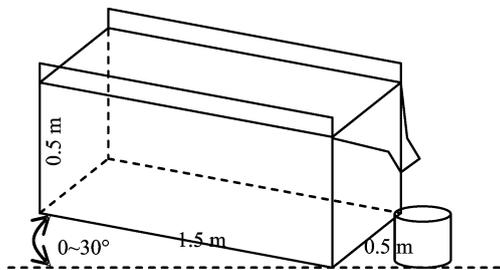


图1 模拟降水钢槽示意

进行花生播种,施肥量为 N 68.18 kg/hm<sup>2</sup>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 45.45 kg/hm<sup>2</sup>, K<sub>2</sub>O 68.18 kg/hm<sup>2</sup>。在花生不同时期进行降水,降水开始后记录每个坡面的产流时间,10 min 换 1 次径流收集桶,连续收集 6 次,降水径流收集历时 60 min。降水结束后静置径流收集桶,并将径流中的水样与泥沙进行分离,测量各时间段内的径流总量,将泥沙风干后测定其质量,并分别测定水样中各养分含量。

## 1.3 测定方法

分别测定水样中溶解态氮磷钾、硝态氮、铵态氮浓度和泥沙中颗粒态氮磷钾、有效磷浓度。水样中的总氮浓度采用碱性过硫酸钾消解-紫外分光光度法测定,总磷浓度采用钼酸铵分光光度法测定,水溶态钾浓度采用火焰光度法测定。泥沙中的全氮浓度采用半微量凯氏法测定,全磷浓度采用 NaOH 熔融-锑抗比色法测定,全钾浓度采用 NaOH 熔融-火焰光度法测定<sup>[7]</sup>。覆盖度的计算公式:

覆盖度 = 多个单位面积被测点投影面积的平均值 × 总植被面积。

## 2 结果与分析

### 2.1 花生不同覆盖度坡面土壤侵蚀特征

花生不同生长期的坡面呈现出不同的覆盖度,从产流时间上分析可知,随着覆盖度的增加,产流时间逐渐增加;作物叶片拦截雨滴,降低雨滴动能,减弱雨滴对坡面土壤的击溅作用,致使坡面产沙产流特征存在明显差异<sup>[8]</sup>。随着作物覆盖度逐渐增加,降水对地表的侵蚀冲刷作用也逐渐减弱,从产流量、产沙量、产沙模数和产流率的差异上得以体现,并且与覆盖度存在显著负相关性。由表 1 可以看出,与对照相比,20% 覆盖度产流量、产沙量分别减少 22.22%、44.07%;95% 覆盖度产流量减少 61.11%,产沙量减少 80.49%。从水土保持的蓄水保沙效益分析可知,坡面覆盖度的增加能有效减少坡面泥沙流失,在一定程度上削弱侵蚀强度。

表 1 不同覆盖度石灰岩坡面土壤产沙产流情况

覆盖度 (%)	产流时间 (s)	土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> )	产流量 (cm <sup>3</sup> )	径流系数 (%)	产沙量 (g)	产沙模数 [g/(cm <sup>2</sup> ·h)]
0	231c	1.84a	54a	90a	615a	820a
20	259c	1.77b	42b	69b	344b	460b
60	392b	1.75b	32b	54c	219c	293c
95	495a	1.76b	21c	37c	120d	160d

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。表 2 同。

由图 2 可知,在花生不同覆盖度下坡面产流率、产沙率呈现出的规律差异较大。图 2-a 坡面产流率在不同覆盖度下的变化相似,在降水初期产流率升高,到降水 40~50 min 产流率趋于稳定;随着覆盖度的进一步增加,坡面产流率降低。覆盖度的增加改变了雨滴从空中落下后的接触面,雨滴先落在叶面上,在叶面的缓冲作用下雨滴动能减弱,削弱了雨滴对表层土壤结构的破坏,维持了土壤下渗速率,因此前期降水产流率较低<sup>[9]</sup>;随着降水时间增加,土壤含水量逐渐达到饱和,开始产生地表径流且产流率趋于稳定<sup>[10]</sup>。

由图 2-b 可知,产沙率随着坡面覆盖度的增加而逐渐减小,对照坡面产沙率始终维持在 8.79~9.99 g/min;20% 覆盖

度与 60% 覆盖度产沙率变化规律相似,即降水初产沙率开始降低,在 50 min 后产沙率趋于平稳。由以上结果可知,覆盖度的增加在降水后期明显体现出对坡面产沙的防治效果。

### 2.2 花生不同覆盖度坡面养分流失过程

2.2.1 径流氮素流失特征分析 由图 3-a 可见,不同覆盖度下坡面径流总氮流失的波动幅度不大,总体呈现下降趋势;与对照相比,随着覆盖度的增加,坡面径流总氮含量逐渐降低;20% 覆盖度下总氮含量下降最快,60% 覆盖度径流总氮含量在 7.18~7.71 mg/L 间平稳波动,95% 覆盖度坡面径流总氮含量呈现出小幅度先升后降的趋势,在 40 min 达到最大值 6.91 mg/L,至降水结束下降到 5.10 mg/L。坡面硝态氮浓度

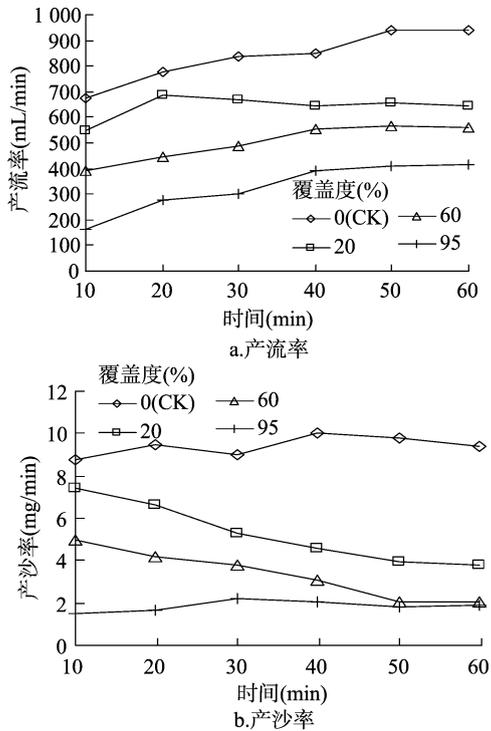


图2 不同覆盖度石灰岩坡面土壤产流、产沙特征

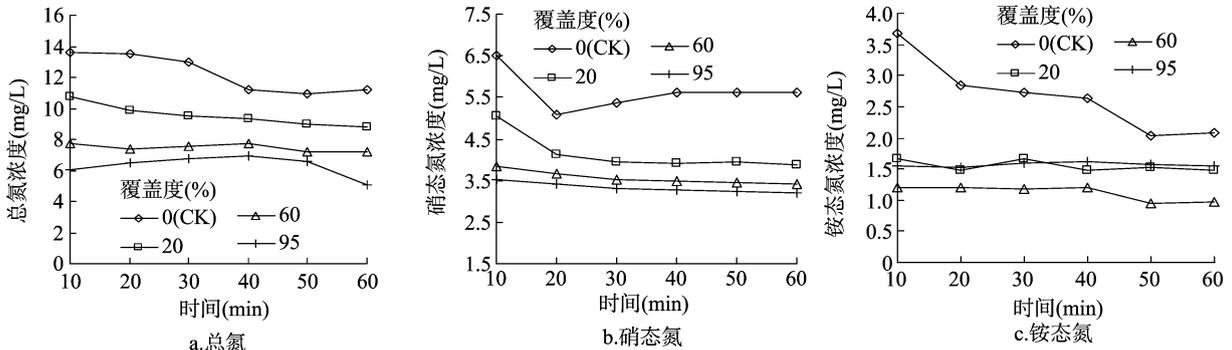


图3 径流氮流失规律

**2.2.3 径流钾流失特征分析** 通过对不同覆盖度坡面径流总钾含量变化的分析发现,各坡面钾含量从降水初期到降水结束一直处于下降趋势(图5-a)。20%、60%覆盖度坡面钾浓度及变化规律相似,其波动范围分别为3.20~5.13、3.01~4.40 mg/L;20%覆盖度坡面初始径流钾含量与对照坡面降水结束时钾浓度相近,第1次降水使得坡面土壤可溶态钾大量流失,到第2次降水时土壤中可溶态钾含量基本稳定。在覆盖度为95%的坡面,径流钾含量基本呈现平稳态势,覆盖度的增加使得雨滴对土壤扰动能力减弱,加上土壤表层残留的可溶态钾含量降低<sup>[12]</sup>,导致径流中钾浓度保持在一个平稳状态。图5-b中径流钾负荷量与含量变化相似,二者呈明显正相关。

### 2.3 花生不同覆盖度坡面泥沙养分流失特征

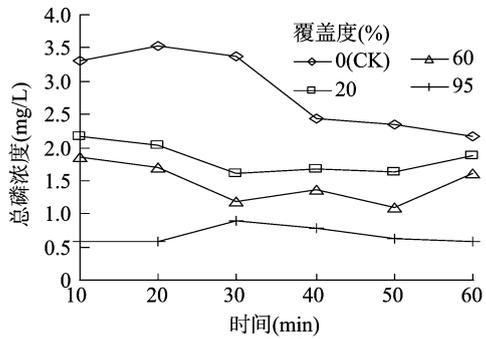
**2.3.1 泥沙氮素流失特征分析** 由图6-a可见,各坡面泥沙中氮含量呈现出相似的变化规律;对照坡面与20%覆盖度坡面氮含量变化规律相似,与对照坡面相比,20%覆盖度在一定程度上对坡面土壤颗粒起到拦截作用;随着覆盖度达到

随着覆盖度的增加而降低,各覆盖度下浓度变化各有差异,但总体趋势保持一致;对照坡面与20%覆盖度坡面初始径流中硝态氮含量很高,随着降水进行,硝态氮含量逐渐趋于稳定;60%、95%覆盖度坡面径流中硝态氮含量变化相似,且浓度范围相差不大,差值分别为0.43、0.30 mg/L(图3-b)。如图3-c所示,对照坡面在降水过程中铵态氮含量整体上表现出连续性下降趋势;而在3种不同覆盖度下,铵态氮含量都表现出较平稳的波动,与径流全氮、硝态氮含量不同的是铵态氮含量未表现出随着覆盖度的增加而减少的规律;在95%覆盖度下,径流中铵态氮含量变化规律与20%覆盖度相似,60%覆盖度下径流中铵态氮含量最低。出现以上现象的原因是由于作物95%覆盖度可以减缓土壤水分蒸发,使得含水量高于其他覆盖度坡面,造成土壤中氧气含量较低,反硝化作用增强,分子态氮浓度升高<sup>[11]</sup>。

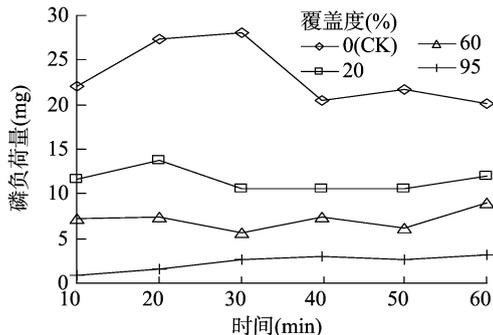
**2.2.2 径流磷流失特征分析** 由图4可见,在不同覆盖度下,水样中总磷浓度变化与颗粒态磷负荷量变化规律相似。从对照坡面磷浓度变化规律来看,图4-a中前期磷浓度较高,随着降水的进行,浓度开始下降,直至趋于平稳,20%、60%覆盖度坡面呈现一致的变化规律。在最高覆盖度下,坡面磷浓度大致呈现平稳状态,变化不大,主要是因为作物生长后期土壤表层磷浓度的下降以及覆盖度的增加减弱了雨滴对土壤颗粒的作用,随径流流失的可溶态磷随之减少。

60%,坡面泥沙氮浓度始终呈现下降趋势,与20%覆盖度最低浓度0.90 g/kg相比,60%覆盖度最低浓度降至0.51 g/kg;95%覆盖度坡面泥沙氮浓度维持在0.39~0.48 g/kg之间,波动幅度不大。较高覆盖度降低了表层土壤结构被雨滴的损坏程度,同时增强了坡面蓄水能力,提高了土壤入渗率。由图6-b可见,对照坡面硝态氮浓度在30 min有一个较大的波动,这是因为随着降水对土壤颗粒长时间作用,表层土壤大量细小颗粒遭到破坏,随着泥沙量增加,泥沙中硝态氮含量也随之增加<sup>[13]</sup>;20%覆盖度坡面硝态氮含量表现为先下降后上升趋势,虽然其浓度略低于对照,但表明20%的覆盖度在一定程度上制约了坡面的水土流失程度;60%、95%覆盖度坡面与对照相比,硝态氮含量大幅度下降,表明较高覆盖度能有效减缓养分流失。对照坡面铵态氮含量在30 min时达到最高值197.73 mg/kg,是95%覆盖度坡面铵态氮最高含量69.65 mg/kg的2.8倍,同样表明覆盖度的增加大幅减少了养分的流失(图6-c)。

**2.3.2 泥沙磷、钾流失特征分析** 由图7-a可见,随着降水

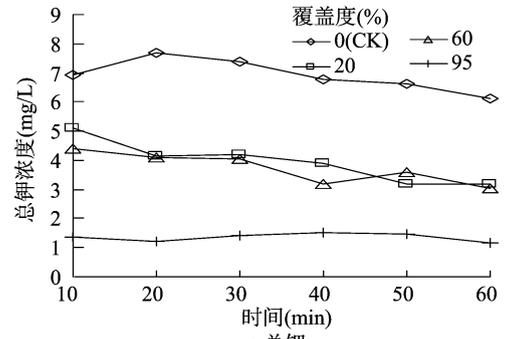


a. 总磷

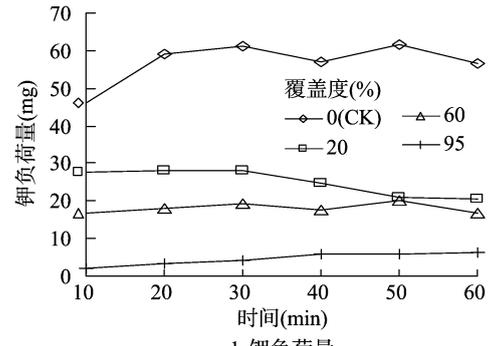


b. 磷负荷量

图4 径流磷流失规律

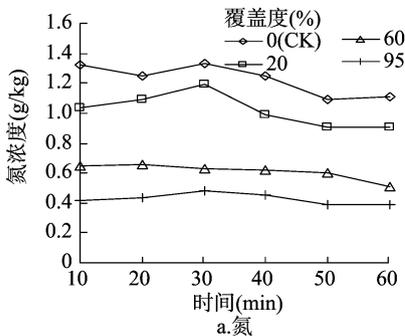


a. 总钾

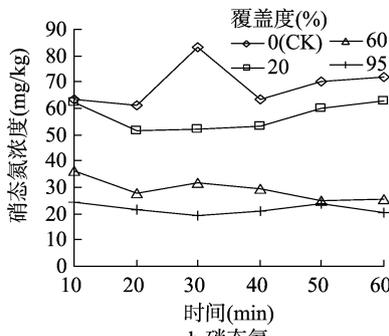


b. 钾负荷量

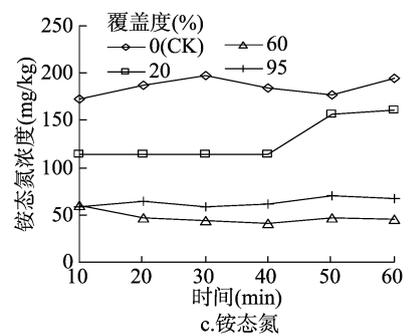
图5 径流钾流失规律



a. 氮



b. 硝态氮



c. 铵态氮

图6 泥沙中氮含量

的进行,各坡面泥沙中磷含量整体呈现下降趋势;20%覆盖度坡面磷浓度在30 min达到最大值0.76 g/kg,与对照坡面降水结束出现的最低浓度0.80 g/kg相比相差0.04 g/kg,表明20%覆盖度没有使坡面泥沙磷含量有较快的下降,但在一定程度上稳定了坡面土壤中的磷含量;60%、95%覆盖度下磷浓度变化趋势相似,表明坡面在达到60%覆盖度之后,继续增大覆盖度,对坡面泥沙磷浓度影响不大。磷负荷量变化规律与浓度相似,95%覆盖度坡面前期泥沙量要远低于60%覆盖度坡面,更高的覆盖度可以更好地保护泥沙,免于流失(图7-b)。如图7-c所示,各覆盖度坡面泥沙钾浓度呈现出平稳趋势,虽然钾浓度会随着覆盖度的增加而有所下降,但降水各时段浓度波动幅度不大,尤其是60%、95%覆盖度坡面表现出与全磷含量相似的变化规律。通过对钾负荷量的分析发现,降水前期坡面泥沙量较高,但随着坡面覆盖度的增加,后期降水对坡面泥沙量的影响越来越小(图7-d)。

#### 2.4 花生不同覆盖度与坡面养分流失量的关系

由表2可见,随着坡面覆盖度的增加,坡面产流、产沙量随之减少,养分流失量与产沙产流量成正比。与对照相比,

20%覆盖度泥沙量减少44.07%,覆盖度增加到95%时,泥沙量减少80.49%;20%覆盖度径流量减少了22.22%,95%覆盖度径流量减少了61.11%。从作物蓄水保沙效益分析来看,覆盖度的增加对坡面泥沙流失的作用更为明显。在降水过程中,各坡面全养分流失量表现为:钾流失量>氮流失量>磷流失量。与对照相比,坡面氮、磷、钾养分总流失量随着覆盖度的增加而降低,95%覆盖度分别使氮、磷、钾损失量有效减少86.25%、91.38%、89.57%。从覆盖度保肥效益来看,覆盖度的增加对坡面磷素的保肥效益最显著,其次为钾素、氮素。土壤中钾的基数较高,主要以无机态吸附在土壤颗粒表面,不会因为径流对土壤黏粒的选择性搬运而导致各时段中的含量有较大差异,因此各个时段中的全钾含量都比较稳定,且含量均较高<sup>[14]</sup>。氮自身活性较大,在土壤中易随水移动,损失量大<sup>[15]</sup>。磷在土壤中的吸附能力很强,主要以无机态为主,易被土壤固持,不易在土壤中移动,且含量较低。针对氮磷钾本身特性,在施肥时应遵守施氮保磷控钾的原则<sup>[16]</sup>。

在降水过程中,60%覆盖度坡面铵态氮占总氮比例最低,

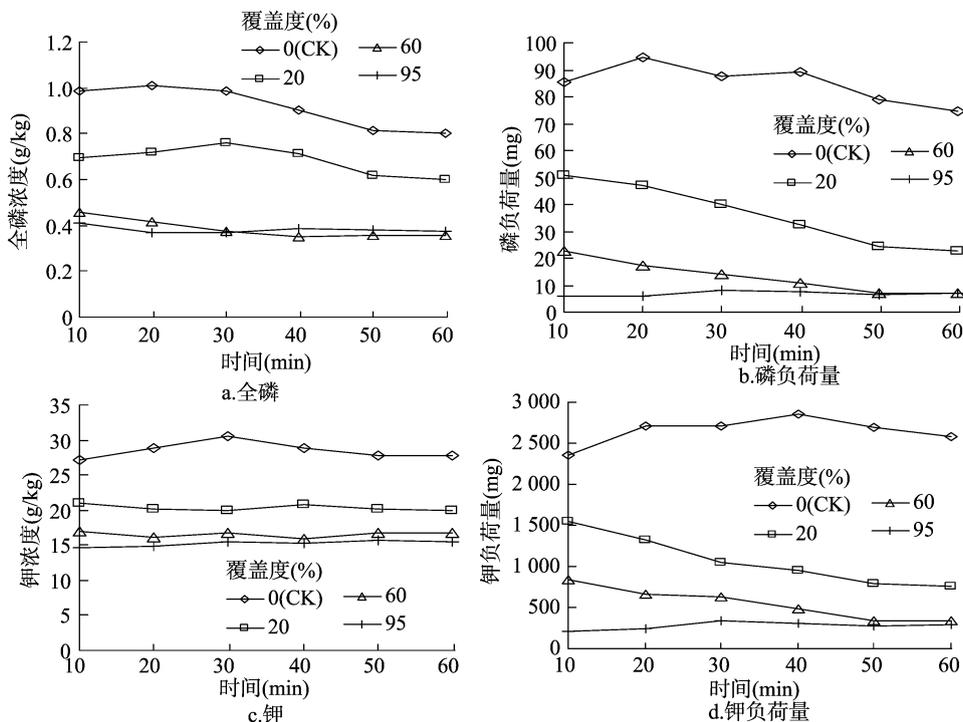


图7 泥沙中磷钾含量

为 12.17% ;95% 覆盖度铵态氮占总氮比例最高,为 22.03% 。在达到最高覆盖度之前,铵态氮流失量占总氮比例随覆盖度增加而降低,达到最高覆盖度时比例升高。95% 覆盖度坡面硝态氮流失量占总氮比例最高,为 40.11% ;对照坡面硝态氮流失量占总氮比例最低,为 24.63% 。随着覆盖度的增加,坡面硝态氮流失量占总氮比例随之增大,这与硝态氮在土壤中的存在形态有关。通过对颗粒态养分分析可知,各坡面颗粒态氮占总氮比例变化范围为 25.99% ~ 53.15% ,坡面氮素流

失以颗粒态养分、溶解态养分共存形式存在,而且随着覆盖度的增加,颗粒态氮含量会随之下降。颗粒态磷流失量占总磷比例变化范围为 65.29% ~ 78.46% ,坡面磷流失主要以颗粒态为主,而覆盖度的增加与颗粒态磷所占比例没有相关性。颗粒态钾流失量占总钾比例变化范围在 96.84% ~ 98.29% 之间,无论坡面覆盖度达到多少,坡面钾流失主要以颗粒态为主,且占总钾比例均在 90% 以上。

表2 坡面养分流失情况

覆盖度 (%)	径流量 (cm <sup>3</sup> )	泥沙量 (g)	氮流失量 (mg)	磷流失量 (mg)	钾流失量 (mg)	铵态氮流失量 (mg)	硝态氮流失量 (mg)	颗粒态养分流失量 (mg)		
								颗粒态氮	颗粒态磷	颗粒态钾
CK	54a	615a	1 287a	650a	16 248a	232a	317a	684a	510a	15 905a
20	42b	344b	686b	286b	6 535b	98b	174b	324b	216b	6 385b
60	32c	219c	345c	121b	3 414c	42c	111c	123c	79d	3 306c
95	21d	120c	177d	56c	1 694d	39c	71c	46d	41d	1 665c

### 2.5 坡面养分流失模型模拟对比分析

坡面不同覆盖度下降水养分流失量变化与泥沙量拟合方程见表 3,花生不同覆盖度坡面养分流失适合采用一元三次方程拟合。60% 覆盖度氮流失的拟合方程系数、95% 覆盖度磷流失的系数为负数,表明方程曲线为先下降后上升的趋势;系数为正的方程曲线为先上升后下降,后期再上升的趋势。拟合结果显示:在 20% 覆盖度下,氮磷钾流失拟合呈显著相关,相关系数达到 0.99 以上;在 60% 覆盖度下,氮磷钾流失拟合方程效果显著,相关系数均达到 0.87 以上。在 95% 覆盖度下,氮素流失方程拟合系数达到了 0.90 以上;磷、钾流失量方程拟合效果与 20% ~ 60% 覆盖度下的坡面相比,其相关性减弱,拟合系数在 0.7 以上。整体而言,在花生的整个生长期中,采用一元三次方程拟合坡面养分流失是非常可行的。

### 3 讨论

在对花生不同覆盖度坡面水土流失的研究中,试验数据显示:随着覆盖度的增加,坡面产流产沙量及各全效养分流失量会随之减少;李松在对植被与土壤侵蚀关系研究中发现,植被覆盖度与产流产沙量之间呈显著相关,当覆盖度增到 90% 时,土壤侵蚀量基本达到稳定状态且侵蚀量最少<sup>[9]</sup>。随着覆盖度的增加,坡面颗粒态氮流失量占总氮流失总量比例会越来越小;而对于颗粒态磷、钾占养分总流失量比例影响不大。袁东海等在红壤小流域恢复保护性植被试验区采用水土保持的综合农林措施,结果发现,与裸露的试验区相比,其水土流失量及氮磷流失量最小<sup>[17]</sup>。各坡面全效养分流失量表现为:钾流失量 > 氮流失量 > 磷流失量。陈光荣等通过在陇中黄土高

表3 养分流失量的回归方程分析

覆盖度(%)	全效养分	方程拟合	拟合系数
20	氮	$y=0.001\ 6x^3-0.177\ 4x^2+4.504\ 3x+104.17$	0.995 9
	磷	$y=0.000\ 7x^3-0.066\ 1x^2+1.244\ 9x+55.547$	0.995 6
	钾	$y=0.001\ 7x^3+0.072\ 5x^2-28.374x+1\ 835.8$	0.993 6
60	氮	$y=-0.000\ 1x^3+0.008\ 3x^2-0.197\ 8x+61.846$	0.870 4
	磷	$y=0.000\ 2x^3-0.010\ 1x^2-0.268\ 2x+32.752$	0.970 5
	钾	$y=0.002\ 7x^3-0.210\ 7x^2-6.893\ 1x+922.74$	0.975 3
95	氮	$y=0.000\ 2x^3-0.030\ 6x^2+1.758\ 5x+0.847\ 1$	0.978 4
	磷	$y=-0.000\ 5x^3-0.008\ 2x^2+0.429\ 6x+2.987\ 3$	0.776 6
	钾	$y=0.002\ 5x^3-0.369x^2+16.641x+74.261$	0.781 0

原半干旱区的坡耕地上建立天然降水径流小区,对粮、草、豆隔带种植保护性耕作防治水土流失效应进行定位研究,结果表明:免耕秸秆覆盖可显著减少径流量和侵蚀量,且径流量、侵蚀量与降水量的回归关系十分显著<sup>[18]</sup>。地表覆盖使土壤免受雨滴的直接打击,增加了土壤抗蚀能力和降水入渗,减小了地表径流、水流流速和水流挟沙率。王晓燕等研究均表明,秸秆覆盖率越高,坡面形成径流的速度越慢,雨水下渗能力越高<sup>[19]</sup>。

Wischmeier 等将植被覆盖作为土壤侵蚀的 1 个影响因子引入土壤流失估算方程,提出了通用流失方程(USLE)<sup>[20]</sup>。增大植被覆盖面积,促进植被生长期,充分发挥植被对坡面的保护系数,充分利用植被对降水、径流的缓冲、拦蓄作用是治理水土流失的重要措施<sup>[21]</sup>。坡面植被覆盖是坡面养分流失的重要影响因素,通过研究不同作物种植类型,对比不同覆盖度下坡面养分流失规律,对于制定石灰岩区土壤耕作种植制度、减轻坡面养分流失有着重要的指导意义。

#### 4 结论

与裸地相比,花生植被覆盖能够减小地表径流及泥沙流失量,随着植被覆盖度的增加,坡面产流产沙量减少;最高覆盖度(95%)与对照相比较,产流量减少了 61.11%,产沙量减少了 80.49%。坡面径流泥沙中各养分浓度与覆盖度呈负相关性,与对照相比,最高覆盖度(95%)分别有效减少了 86.25%、91.38%、89.57% 氮、磷、钾各养分损失量;植被覆盖增加了坡面粗糙度,使得汇流速度减慢,增加了径流在坡面入渗和作物吸收量,养分元素性质的不同和植被的覆盖度都影响其在土壤、径流中的迁移。

本研究中不同养分流失形态各不相同。坡面氮素流失主要以溶解态氮为主,颗粒态氮较少;磷素流失为颗粒态和溶解态共存;坡面钾素流失以颗粒态为主,且占 90% 以上,溶解态钾流失量非常少。在不同覆盖度下,颗粒态养分流失量所占比例与覆盖度呈负相关,覆盖度越大,颗粒态养分流失量越少。采用一元三次拟合坡面养分流失方程,在 20% 覆盖度下,氮磷钾流失拟合呈显著相关,相关系数达到 0.99 以上。

#### 参考文献:

- [1] 王景明. 冀京津区自然灾害及其防治[M]. 北京:地震出版社, 1994:129-156.
- [2] 荆文涛,陈 澍,祖艳群,等. 不同种植模式下红壤坡田水土及养

分流失研究[J]. 环境科学与技术,2015(11):66-70.

- [3] 蔡崇法,张光远,丁树文,等. 人工降雨条件下紫色土养分流失特点的试验研究[J]. 南昌工程学院学报,1995(增刊1):63-68.
- [4] 史东超,张金柱,郭素平. 太行山片麻岩区坡地水土流失规律研究[J]. 河北林果研究,2003,18(1):13-19.
- [5] 张光辉,刘宝元,李平康. 槽式人工模拟降雨机的工作原理与特性[J]. 水土保持通报,2007,27(6):56-60.
- [6] 龙锦林. 美国应用 RUSLE 测定花生栽培及覆盖对土壤流失的影响[J]. 水土保持科技情报,2002(2):31-34.
- [7] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:39-114.
- [8] 袁东海,王兆骞,陈 欣,等. 红壤小流域不同利用方式氮磷流失特征研究[J]. 生态学报,2003,23(1):188-198.
- [9] 李 松. 土壤养分与泥沙流失的初步试验分析[J]. 人民黄河,1990(2):64-67.
- [10] 张亚丽,李怀恩,张兴昌,等. 水蚀条件下土壤初始含水量对黄土坡地溶质迁移的影响[J]. 水土保持学报,2007,21(4):1-6,20.
- [11] Yan H J, Bai G, He J Q, et al. Influence of droplet kinetic energy flux density from fixed spray-plate sprinklers on soil infiltration, runoff and sediment yield[J]. Biosystems Engineering, 2011, 110(2):213-221.
- [12] 蒋定生. 黄土高原水土流失与治理模式[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [13] 陈建卓. 太行山石灰岩山地水土保持型生态农业试验研究[J]. 水土保持通报,2005,25(1):82-87.
- [14] 康玲玲,朱小勇,王云璋,等. 不同雨强条件下黄土性土壤养分流失规律研究[J]. 土壤学报,1999,36(4):536-543.
- [15] 黄绍敏,张鸿程,宝德俊,等. 施肥对土壤硝态氮含量及分布的影响及合理施肥研究[J]. 生态环境,2000,9(3):201-203.
- [16] 曾曙才,吴启堂. 华南赤红壤无机复合肥氮磷淋失特征[J]. 应用生态学报,2007,18(5):1015-1020.
- [17] 袁东海,王兆骞,陈 欣,等. 不同农作方式下红壤坡耕地土壤磷素流失特征[J]. 应用生态学报,2003,14(10):1661-1664.
- [18] 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.
- [19] 王晓燕,高焕文,杜 兵,等. 保护性耕作的不同因素对降雨入渗的影响[J]. 中国农业大学学报,2001,6(6):42-47.
- [20] Wischmeier W H. The USLE - some reflections[J]. Journal of Soil & Conservation, 1984, 39(2):105-107.
- [21] 张兴昌,郑剑英,吴瑞凌,等. 氮磷配合对土壤氮素径流流失的影响[J]. 土壤通报,2001,32(3):105,110-112.