

作物与坡度交互作用对坡面径流侵蚀产沙的影响

马波^{1,2}, 吴发启², 李占斌¹, 王健²

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用人工模拟降雨试验, 通过观测作物不同生长阶段、不同坡度径流量和土壤流失量的动态变化过程, 研究作物和坡度对坡面土壤侵蚀的共同影响。结果表明: 作物和坡度均对坡面径流的形成、发展产生较大的影响。与裸地相比, 种植玉米条件下, 坡面地表径流量平均减少 23.80%, 土壤流失量平均减少 44.25%, 玉米对坡面产流产沙的抑制作用随玉米生长逐渐增强, 坡面产流产沙量均随坡度的增加而增大。作物幼苗期的坡面径流量和土壤流失量主要受坡度的增强作用控制, 至作物生长旺盛期, 作物种植对坡面产流产沙的抑制作用成为主导因素。作物的存在可在一定程度上削弱坡度对产流产沙的增加作用, 有效降低坡面的水土流失量。

关键词: 黄土区; 径流量; 土壤流失量; 作物; 坡度

中图分类号: S157.1 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2013)03-0033-06

Interaction of Crop Cover and Slope Gradient on Runoff and Sediment Yield

MA Bo^{1,2}, WU Fa-qi², LI Zhan-bin¹, WANG Jian²

(1. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: In order to investigate the interaction of crop cover and slope gradient on runoff and sediment yield, this study observed the dynamics of runoff and sediment losses at different growth stages with different slope gradients by simulated rainfall. The results showed that both crop cover and slope gradient had considerable effects on formation and development of runoff. Compared to bare soil, the average runoff amount and sediment yield reduced by 23.80% and 44.25%, respectively in corn field. The inhibition effects of corn on runoff and sediment yield gradually increased as corn grew. Under crop cover, both runoff and sediment yield increased with increasing slope gradients. At the seedling stage of corn, slope gradients had significant effects on amount of runoff and sediment yield. Crop cover became the dominant factor which affected runoff and sediment yield till the full growth stage. Crop cover could reduce the increment of runoff and sediment yield in a certain degree and soil and water losses.

Key words: loess area; runoff amount; soil loss amount; crop; slope gradient

我国大部分地区坡耕地水土流失量占该区总流失量的比例均在 60% 以上, 坡耕地的水土流失防治也是现代土壤侵蚀最为突出的问题之一^[1]。作物由于其生长周期短且受人为干扰较大, 对坡面径流侵蚀泥沙的影响与林草植被相比存在较大差异。研究表明, 农田的径流量远大于林草植被类型, 产沙量是林地的 2~4 倍, 是天然荒坡的 4~7 倍, 且变化幅度较大, 由此可见, 农田的防蚀能力较差^[2]。但是与裸地相比, 具有一定覆盖度的农田, 其产流量较少, 产流时间也会相对延迟, 作物对降低坡面的径流量和产沙量起到了积极的作用^[3-6]。坡度是影响坡面径流侵蚀能力的动力因子, 坡度的陡缓决定了坡面径流动力比降的大小^[7]。大量的研究表明, 在一定范围内, 坡度越大, 坡面的径流量和土壤流失量也越大^[8-15]。朱显谟^[16] 研究认为当农地坡度高于 2° 时, 在降雨强度较大时便能产生侵蚀; 坡度越大坡面冲刷量也越大, 但是径流量的变化与坡度的关系缺乏规律性。种植作物条件下, 坡度与坡面径流冲刷量之间亦存在类似的关系。在坡度小于 8% 的坡面上, 一定量的作物覆盖可以大幅度减少坡面侵蚀, 坡面侵蚀主要由降雨因素造成, 但当坡度大于 16% 时, 由于径流冲刷作用, 侵蚀量仍

收稿日期: 2013-01-18

基金项目: 国家“973”重点基础研究项目(2007CB407201-5); 西北农林科技大学科技创新专项(QN2011152)

作者简介: 马波(1982-), 男, 博士后, 主要从事研究黄土坡耕地土壤侵蚀研究。E-mail: soilcrop@163.com

通讯作者: 吴发启(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事土壤侵蚀过程机理研究。E-mail: wufaqi@263.net

然较高^[17]。对于种植作物的坡耕地而言,相同的覆盖和降雨条件下,坡度越大,坡面产流量越大,但产沙量规律并不明显^[18]。种植作物的坡耕地,其坡面径流侵蚀随坡度的变化还受到作物种类、种植方式等的影响,从而表现出较强的复杂性。鉴于此,本研究以黄土坡耕地为研究对象,选取种植玉米的径流小区进行人工模拟降雨,通过观测作物不同叶面积指数、不同坡度的径流量和土壤流失量的动态变化过程,研究作物和坡度对坡面土壤侵蚀的共同影响,以期为黄土区水土流失防治和农田水土资源利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于陕西省渭河流域,地处黄土高原南缘地带,属大陆性季风性半湿润气候,年降雨量 635~646 mm,年均蒸发量 993 mm;研究区内 60%降雨集中于 7—10 月,且多大到暴雨。常年平均气温 12.9℃,月平均气温 7 月份为 26.1℃,1 月份为 -1.2℃。土壤主要以土垫旱耕人为土(壤土)为主,是当地长期农业耕作和施加土肥积累形成的一种土壤^[19]。该区植被主要以温带湿润半湿润森林为主,但分布较少,为农田所取代。

1.2 研究方法

研究在西北农林科技大学水土保持工程实验室径流小区上进行,采用人工模拟降雨方法分阶段进行观测。径流小区长 4 m,宽 1 m,出水口距地面高 0.4 m,坡度设计为 3°,5°,10°和 15°,每个坡度下设 2 个径流小区。小区内选取杨凌当地农耕地表层壤土,按 15 cm 分层、压实装土;并自然沉降 6 个月后再将小区填满,但不压实,以利于作物生长。在各坡度下,其中 1 个径流小区上按行距 60 cm,株距 25 cm 种植玉米,另一个小区为相同条件裸坡对照。供试作物品种为玉米(郑单 958),为黄土区主要的粮食作物,于 2009 年 6 月 20 日种植于径流小区;并在同一时间种植于试验大田,以备观测玉米叶面积指数(leaf area index, LAI)。在每一观测阶段,采用土钻法($\phi=5$ cm)测定径流小区表层土壤含水量。利用降雨机对径流小区进行模拟降雨,待小区产流开始时,利用塑料小桶收集径流泥沙样 1 min,后每隔 2 min 采集径流泥沙样本 1 min,直至产流结束。采集径流泥沙样带至室内测量其总体积,然后澄清 24 h 后倒掉上清液,将沉淀泥沙在 105℃下烘干后称重得泥沙质量。本研究降雨强度为 80 mm/h,每场降雨历时为 60 min。依据玉米生长期对坡面产流产沙共观测 6 次,每次观测前还需测量当前阶段玉米的叶面积指数。降雨机采用侧喷式降雨机,由中国科学院水利部水土保持研究所研制生产,将降雨机置于径流小区两侧实行对喷,喷头距地面高 6 m,降雨高度为 7 m,有效降雨面积为 5 m×7 m,通过调节供水压力实现对降雨强度的控制。

2 结果与分析

2.1 作物对坡面产流产沙的影响

2.1.1 作物生育期内不同坡度坡面的产流产沙量 种植玉米条件下,不同观测阶段不同坡度的坡耕地产流产沙状况如图 1 所示。由图 1 可看出,相同坡度下种植玉米的坡面其蓄水减沙的效果显著。玉米全生育期各坡度平均坡面径流量为 37.65 L/m²,土壤流失量为 202.64 g/m²,含沙量为 4.91 g/L,分别是裸地的 76.20%,55.75%和 69.45%。种植作物可减少地表径流 23.80%,减少地表土壤流失量 44.25%,其减沙效果优于其蓄水效果。玉米不同生育期的蓄水减沙效果差异较大,其中幼苗期(LAI=0.41)对坡面产流产沙影响最弱,抽雄期(LAI=4.45)最强。以 4 个坡度平均为例,与裸地相比,幼苗期的径流量减少了 8.61%,减少土壤流失量 16.78%。由此可看出,玉米幼苗期虽然植株矮小,对地表覆盖也较小,但也可减少坡面约 1/5 的泥沙量,具有较强的减沙能力。玉米抽雄期对地表覆盖最好、植株生长也最为旺盛,其与裸地相比,可减少径流量 43.23%,减少土壤流失量 72.83%,分别是幼苗期的 5.0 倍和 4.3 倍,显示了玉米抽雄期强劲的蓄水拦沙能力。值得注意的是,玉米成熟收割以后,由于地表仅残存部分地被物(留茬期),其坡面产流产沙增加较为迅速,与抽雄期相比,增加径流量 52.26%,增加泥沙量 178.66%,但是其产流和产沙分别较裸地降低了 13.56%和 24.30%。说明作物收获后地表残余地被物在一定程度上也可减少坡面的径流量和土壤流失量。随着作物生长,其对坡面产流产沙的抑制作用逐渐加强,坡面产流量和产沙量均呈降低趋势,其坡面径流含沙量也随作物生长逐渐降低。

种植作物条件下,相同生长阶段不同坡度下的产流产沙量也存在较大差异,作物叶面积指数和坡度对坡面产流产沙量的影响实质是时间和空间因素对坡面土壤侵蚀的共同作用,两者的交互作用使坡面的径流量和产沙量发生较大变化。由图 1 可知,种植作物条件下,不同坡度上径流量和土壤流失量均低于相应坡度的裸地,并随坡度的增加而逐渐增大。这说明作物在不同坡度均能有效减少坡面产流产沙量,但是又因为坡度的影响而产生较大差异。玉米在其全生育期内,坡面坡度由 3°到 15°径流量增加了 52.21%,其增幅较裸地相应增幅

降低了1.9%。3°坡度时玉米地较裸地减少地表径流24.68%,15°时减少了25.61%,两者相差不足1%。这说明虽然玉米坡面径流随坡度增大呈增加趋势,但是与裸地相比,其对径流的抑制作用并没有因为坡度的升高而发生较大的改变,在各个坡度上对坡面径流量的降幅差异较小。而种植玉米条件下,坡面坡度从3°到15°土壤流失量增加了294.48%,这一增幅较裸地高出103.17%;但3°时玉米坡面土壤流失量减少了53.43%,而15°坡面则降低了36.94%,且玉米对坡面土壤流失量的降幅随坡度增大而逐渐降低。由此可见,坡度对作物的拦沙作用影响较大,当坡度较小时,作物可以拦截较多的泥沙量,而当坡度增大时其对坡面产沙的抑制作用逐渐减小,坡度对坡面产沙的增加作用逐渐加强。

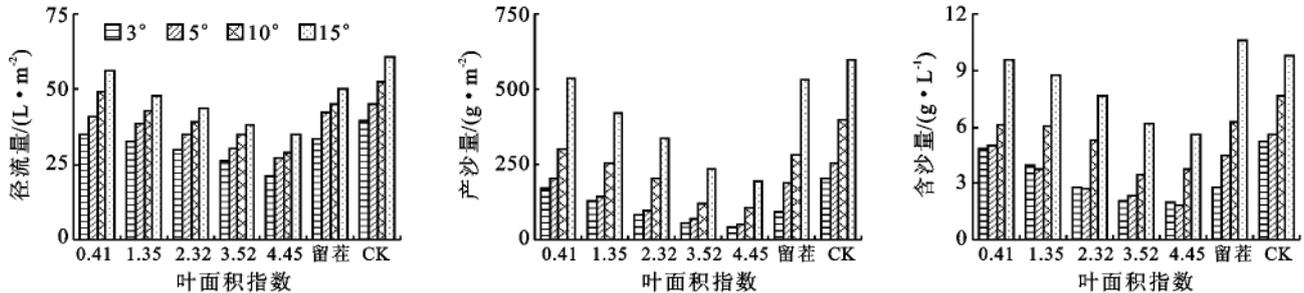


图1 不同坡度下玉米叶面积指数对坡面产流产沙的影响

2.1.2 作物不同生育期坡面产流产沙过程 图2给出了种植玉米条件下,不同生长阶段坡面产流产沙过程的变化。玉米不同生长阶段坡面径流观测结果(图2(a))表明,由于玉米冠层截留分异降雨和坡面土壤入渗作用,各测试期坡面开始产流时降雨量一般在5 mm以内,大体随玉米生长,坡面开始产流,降雨量逐渐增加。其中幼苗期最小,为0.73 mm;抽雄期最大,为4.93 mm。而留茬期,由于地表失去绝大多数地被物,其产流也相对较早,坡面开始产流时降雨量为2.24 mm。从整个过程讲,种植玉米的坡面其产流始终小于裸地;玉米叶面积指数越高,径流过程曲线越低。幼苗期的径流过程变化趋势与裸地较为接近,且随着降雨持续波动较大;而抽雄期的径流过程曲线远远低于裸地,且波动较为平缓。由图2中还可看出,不同生长阶段的产流过程均为多峰曲线过程,且不同生长阶段差异较大。其产流过程的共同规律是,产流初始阶段都为快速上升阶段,随后增长放缓并逐渐接近稳定产流状态。而生长阶段不同,产流过程不同状态的变化程度及延续时间均存在一定差异。幼苗期时,径流开始的起点较高,其值与裸地相近,在产流10 min内急剧上升并达到峰值,达到峰值后波动虽较大,但各时段径流强度均低于裸地。随着玉米生长,产流伊始的急剧上升阶段所需时间逐渐加长,达到峰值的时间也相应推迟;而达到峰值后稳定径流阶段的持续时间也逐渐缩短。进入抽雄期后,坡面从产流至到达平稳径流阶段的上升期所需时间最长,在35 min以上,其特点为产流起点低、波动较小并缓慢上升。而在进入稳定径流阶段,其各时段径流强度波动较小,变化过程较前几个生长阶段相对稳定。这是因为玉米抽雄期植株生长最为旺盛,对降雨的拦截阻滞作用最为显著,可有效降低坡面径流量,减缓径流波动幅度。作物收获留茬以后,其残存的地被物虽少,但对坡面径流过程影响显著。与裸地相比,留茬坡面可将径流第一个峰值出现的时间减缓至产流25 min以后;但由于缺乏对地表的保护,在达到峰值以后波动依然较大。由此可见,玉米全生育期内坡面径流的波动程度低于裸地,且随玉米生长波动性逐渐降低,显示出对坡面径流较强的调节作用。

图2(b)为玉米不同生长阶段坡面产沙过程曲线,其产沙过程曲线均低于裸地。玉米生长越旺盛,产沙过程曲线越低。与坡面产流过程相比,玉米产沙过程曲线波动起伏较为平缓。其中幼苗期和拔节初、中期产沙过程波动较大,而随着玉米生长,产沙过程趋于平缓;进入拔节中后期及以后,坡面产沙过程曲线远远低于裸地和其他生长阶段,且变化波动最为平缓。玉米各生长阶段的产沙过程也呈多峰曲线过程,但是在拔节中后期和抽雄期起伏变化较小,波峰波谷差异不显著;各产沙过程大致规律与产流过程基本一致。裸地过程在产沙初始就较高,并在产流开始9 min之内便上升,并达到第一个峰值,在此后随降雨持续稍有波动。幼苗期产沙过程曲线距离裸地产沙曲线较远,但是与裸地相似,产沙起点值较高且在产流开始很短时间内便达到峰值,并在波动中接近稳定产沙状态。由于玉米冠层的拦截阻滞作用和土壤入渗,使玉米生长旺盛期的坡面径流大幅度降低,加之玉米冠层保护地表大大降低了降雨动能,在一定程度上削弱了坡面径流的能量,从而进一步降低了地表径流的挟沙能力,使坡面产沙量大幅度减少,并且由于其坡面径流过程变化平稳,径流紊乱性较低,从而导致坡面产沙过程的变化也相对平缓、起伏较小。这说明玉米生长旺盛期在减少坡面产沙量的同时也降低了坡面产沙过程的波动性,提高了产沙过程的稳定性。与产流过程相似,玉米留茬期的产沙过程波动也相应较大,产沙起点

相对较低,并至产流开始 15 min 以后达到峰值,之后逐渐接近稳定产沙状态,但是波动性相对较大。

图 2(c)为玉米不同生长阶段坡面径流含沙量的变化过程曲线。由于坡面径流含沙量受控于径流量和产沙量两方面的影响,因此其变化过程综合反映了产流产沙 2 个方面的变化趋势。由图中可以看出,由于玉米在拔节中期及以前各阶段的产流过程曲线波动性较大,加之拔节初期及幼苗期产沙过程曲线波动性大,使玉米拔节中期之前各阶段的含沙量变化过程曲线均呈现出较大的波动性。而拔节中后期和抽雄期的产流过程和产沙过程均表现出良好的稳定性,使得其含沙量变化过程也相对平缓,波动起伏不大。

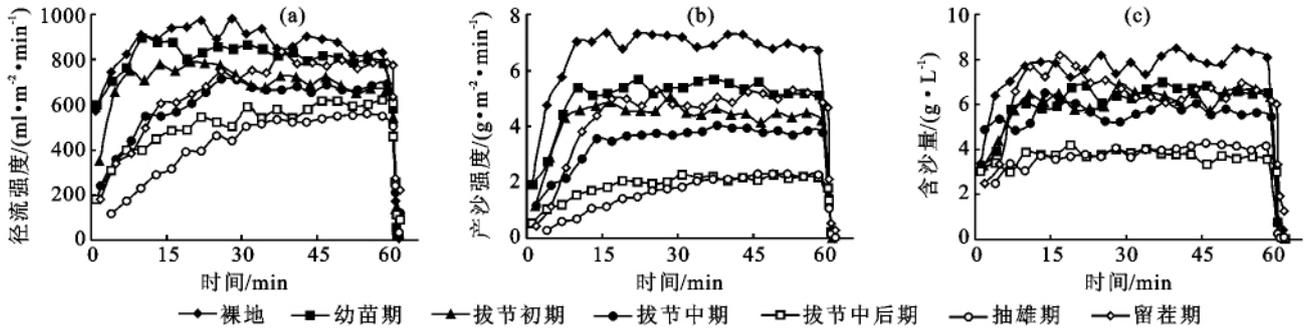


图 2 不同生育期玉米坡面产流产沙过程变化(以 10°小区为例)

2.1.3 不同坡度坡面的产流产沙过程 由上文可知,坡度对作物的拦水阻沙效应存在一定的影响,然而对坡面产流产沙过程也存在一定的影响,使坡面产流产沙过程的强度和波动性都随着坡度的改变产生较大的变化。图 3 给出了不同坡度下玉米坡面的产流产沙过程。由图中可以知,种植玉米条件下,各坡度产流开始时降雨量均在 5 mm 以内,大体随坡度增加开始产流时降雨量逐渐降低,说明玉米同一生长阶段,坡度的升高可缩短坡面产流所需的时间。种植玉米条件下,不同坡度的坡面径流过程均呈多峰过程,并随坡度的升高其过程曲线也逐渐升高。大致规律是,在开始降雨 20~40 min 内坡面产流快速增加,随后增加放缓逐渐接近稳定产流状态并伴有上下波动。坡度为 3°时,径流过程曲线最低,并在产流开始 20 min 左右到达第一峰值,随后开始逐渐稳定,并产生一定的波动。而坡度为 15°时,径流过程曲线最高,且在产流开始后径流强度迅速增加,并在产流 24 min 以后达到峰值,随后伴有较大波动,但径流强度开始维持在较高水平。这说明坡度对同一生长阶段玉米坡面径流过程的波动程度影响较小,但对径流强度的变化影响较大。与产流过程比,玉米不同坡度的产沙过程变化幅度相对较大。但各坡度下的产沙过程变化大体与产流过程保持同步,不同的是,3°和 5°的坡面产沙变化过程波动较小,随坡度增加,曲线的波动性也逐渐增强。坡度为 3°时,产沙过程曲线位置较低,并在产流开始后 12 min 内便进入了稳定的产沙状态,且随时间持续变化幅度较小,曲线平稳。5°过程曲线的稳定程度大体与 3°相似,但是自产流开始 24 min 以后才逐步进入稳定产沙状态。10°和 15°产沙过程线位置较高,且距 3°和 5°产沙过程线较远,这是因为 3°和 5°的产沙量相对较低,与 10°和 15°的差距较大。其中 15°的产沙过程线最高,波动也最大,在产流 24 min 内产沙强度增加将近 40 倍,说明 15°时产沙量随时间变化最为剧烈。由于玉米抽雄期坡面产流产沙较小,且玉米对坡面产沙量的作用力随坡度增加降低较快,使坡面产沙过程线也随之发生较大改变。因此,径流含沙量在降雨过程中随坡度的变化受产沙过程影响程度较大,而径流过程较大的波动性又无疑增强了含沙量变化过程的波动程度;其中 15°径流含沙量变化过程的波动性最大。

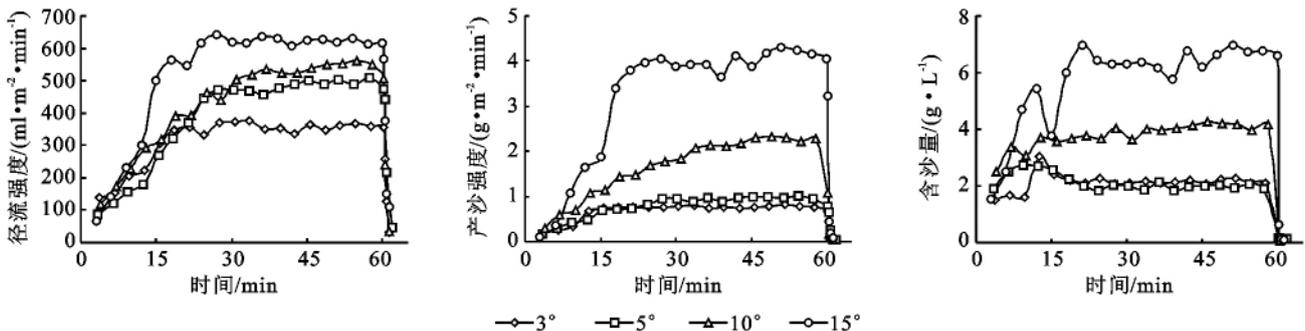


图 3 不同坡度下玉米坡面产流产沙过程(以玉米抽雄期为例, LAI=4.45)

2.2 作物和坡度对坡面产流产沙量的交互作用分析

不同坡度和种植作物对坡面产沙量的影响孰轻孰重没有区分,在此借鉴程琴娟等^[20]计算坡面因子影响贡

献率的方法,并加以改进来计算坡度和作物叶面积指数 2 个因素对坡面产流产沙影响贡献指数。由于本试验的最小坡度为 3°,在实际生产当中几乎与平地相同,故将 3°作为基准,任意坡度 $X^\circ(5^\circ, 10^\circ, 15^\circ)$ 下各因素引起的坡面产流量增量按下列公式计算,并取其绝对值:坡度引起的产流变化量=裸地产流量(X°)-裸地产流量(3°);由作物引起的坡面产流变化量=作物覆盖产流量(X°)-裸地产流量(X°);总产流变化量=作物覆盖产流量(X°)-裸地产流量(3°);坡度对产流影响贡献指数=坡度引起的产流增加量/总产流增加量;种植作物对产流量的影响贡献指数=有作物引起的产流变化量/总产流增加量。2 个因素对坡面产沙量和含沙量的影响贡献指数的计算方法与之同理。经过计算,2 个因素贡献指数趋势如图 4 所示。由图中可以看出,随着坡度的增加,种植玉米对坡面径流量和土壤流失量的影响贡献指数均逐渐降低,而坡度的影响贡献指数逐渐增加。其中种植玉米对坡面产流量的影响贡献指数在 5°时有较大降幅,而在 10°和 15°降幅较小。这说明在小坡度下(3°),更有利于降雨的入渗,玉米的存在增强了入渗作用,对坡面径流量的降低起到了关键作用。而在 15°时,坡度本身对径流的影响较大,不仅不利于入渗,而且还对坡面径流起到了加速作用,玉米虽然对径流有延缓和阻挡作用,对坡度产生的增加径流的效应起到部分抑制作用,但无法改变较大坡度下产生较高径流量的状况。值得注意的是,在 3°和 5°坡面种植玉米对坡面产流产沙影响较大,而 15°时坡度的影响占主要地位,但是唯有 10°坡面两者对坡面产流产沙的影响差异较小,不同的是,10°坡度对坡面产流产沙具有促进作用,而种植玉米又对其起到了抑制作用。这也说明在 10°以下坡度种植玉米,对坡面的蓄水拦沙效果较为理想。

随着玉米生长,坡度对坡面产流产沙量的促进作用得到有效抑制。其中幼苗期时各坡度之间的产流产沙量差异较大,而随着玉米生长,各坡度之间的差距逐渐缩小。通过对玉米不同生长阶段坡度和玉米植株对坡面产流产沙量变化贡献指数的计算可知,玉米幼苗期时坡度对坡面产流产沙量的变化贡献指数最大,至 15°时,坡度对坡面产流量和产沙量的影响贡献率分别达到 0.81 和 0.91;而玉米植株对坡面产流产沙量变化影响贡献指数随坡度升高而大幅降低,其对坡面径流量和产沙量的影响贡献指数由 5°时的 0.37 和 0.56 分别降低至 15°时的 0.18 和 0.14。这说明玉米植株较小时,对坡面的影响较弱,坡面产流产沙量的变化受坡度升高影响很大。但随着玉米的生长,玉米对坡面施加的影响也越来越大。至玉米抽雄期时,玉米植株对坡面产流量的减少率由幼苗期的 16.45% 升高至 41.30%,且在各坡度下的径流减少率较为均衡,说明抽雄期对抑制坡度的影响较为显著。其中抽雄期坡度对坡面产流产沙量的变化影响贡献指数分别由 5°的 0.45 和 0.23 增加至 15°时的 0.62 和 0.71,增幅明显放缓。玉米植株对坡面产流产沙量的变化影响贡献指数分别由 5°时 0.78 和 0.96 下降至 15°时的 0.65 和 0.72,其降幅也较幼苗期有较大程度的减少。这说明随着玉米叶面积指数的增加,玉米植株对坡面的产流产沙量抑制力加强,并使坡度对坡面产流产沙的促进作用得到有效削弱。

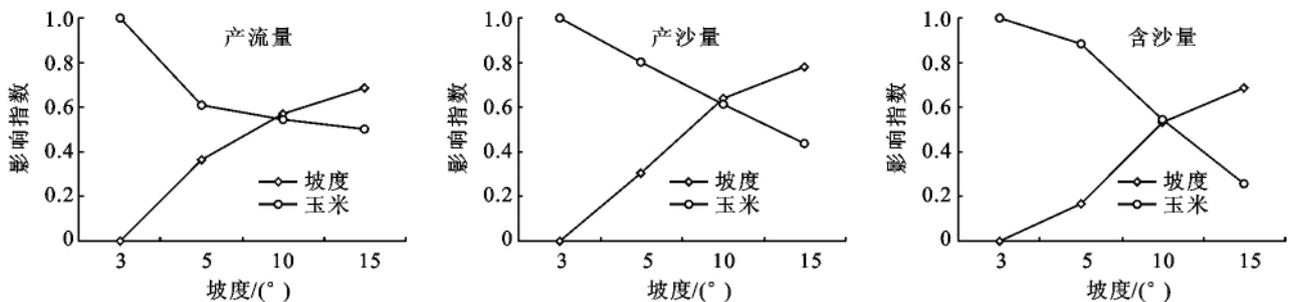


图 4 坡度与玉米交互作用对坡面产流产沙的影响

由以上分析可知,坡度和作物对坡面产沙产流量的影响呈现出此消彼长的趋势,对坡面水土流失的变化起着重要作用。2 种作用相互叠加使坡面的产流产沙量变化更为复杂,坡度对坡面产流产沙的影响力随作物生长损失较小,而作物对产流产沙量的影响力提高较大,并使其随作物生长而成为影响坡面产流产沙量变化的主导作用力。经过回归分析,得到坡度和作物叶面积指数与坡面产流产沙的回归关系,如表 1 所示。从表 1 中可知,不同作物下坡度和叶面积指数与坡面产流量、产沙量和含沙量之间均呈线性关系,且相关性较高。经显著性检验可知,3 个关系式均达到极显著水平($P < 0.0001$)。

表 1 作物叶面积指数和坡度与坡面产流产沙量的回归关系

回归关系	R^2	F 值
$M_w = 1.188S - 4.157LAI + 36.862$	0.955	178.612**
$M_s = 20.828S - 51.197LAI + 139.688$	0.916	92.164**
$C = 0.380S - 0.811LAI + 3.500$	0.945	147.184**

注: M_w 为产流量(L/m^2), M_s 为产沙量(g/m^2), C 为含沙量(g/L), S 为坡度($^\circ$); **表示达 $P < 0.0001$ 显著水平。

3 结论

(1)作物对降雨的拦截阻滞对坡面径流的形成、发展产生较大的影响。与裸地相比,种植玉米条件下,坡面地表径流量平均减少 23.80%,土壤流失量平均减少 44.25%,玉米对坡面产流产沙的抑制作用随玉米生长逐渐加强。

(2)种植作物条件下,坡度对坡面产流产沙的影响较大,坡面产流产沙量均随坡度的增加而增大。在玉米生育期内,作物苗期对坡面影响较小,坡度的影响占主导地位,使种植作物的坡面对径流量和产沙量的抑制能力较弱,其坡面产流产沙量相对裸地的降幅较小。随作物生长,作物对坡面的影响力加强,至作物生长旺盛期时,对坡面产流产沙量的抑制力达到最强,成为影响坡面产流产沙的主导因素,作物的存在可在一定程度上削弱坡度对产流产沙的增加作用,有效降低坡面的水土流失量。

参考文献:

- [1] 唐克丽. 中国土壤侵蚀与水土保持学的特点及展望[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 2-7.
- [2] 李森, 宋孝玉, 沈冰, 等. 黄土沟壑区不同植被对产流产沙的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(1): 117-120.
- [3] 宋孝玉, 李永杰, 陈洪松, 等. 黄土沟壑区不同下垫面条件农田降雨入渗及产流规律野外试验研究[J]. 干旱地区农业研究, 1998, 16(4): 68-75.
- [4] 孙飞达, 蒋志荣, 王立. 不同降雨强度下农地的产流产沙研究[J]. 甘肃科学学报, 2005, 17(1): 53-56.
- [5] 王健, 尹武君, 刘旦旦. 玉米苜蓿间作对黄土坡耕地降雨产流产沙的影响[J]. 节水灌溉, 2011(8): 43-46.
- [6] Singh R K, Panda R K, Satapathy K K, et al. Simulation of runoff and sediment yield from a hilly watershed in the eastern Himalaya, India using the WEPP model[J]. Journal of Hydrology, 2011, 405(3/4): 261-276.
- [7] 姚文艺, 汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2001.
- [8] Foster R L, Martin G L. Effect of unit weight and slope on erosion[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1969, 95(4): 551-561.
- [9] 陈法扬. 不同坡度对土壤冲刷量影响试验[J]. 中国水土保持, 1985(2): 26-31.
- [10] 刘志, 江忠善. 降雨因素和坡度对片蚀影响的研究[J]. 水土保持通报, 1994, 14(6): 19-22.
- [11] 王秀英, 曹文洪, 陈东. 土壤侵蚀与地表坡度关系研究[J]. 泥沙研究, 1998(2): 36-41.
- [12] 胡世雄, 靳长兴. 坡面土壤侵蚀临界坡度问题的理论与实验研究[J]. 地理学报, 1999, 54(4): 347-356.
- [13] 魏天兴, 朱金兆. 黄土残塬沟壑区坡度和坡长对土壤侵蚀的影响分析[J]. 北京林业大学学报, 2002, 24(1): 59-62.
- [14] 李凤英, 何小武, 周春火. 坡度影响土壤侵蚀研究进展[J]. 水土保持研究, 2008, 15(6): 229-231.
- [15] 耿晓东, 郑粉莉, 刘力. 降雨强度和坡度双因子对紫色土坡面侵蚀产沙的影响[J]. 泥沙研究, 2010(6): 48-53.
- [16] 朱显谟. 黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素[J]. 水土保持通报, 1981, 1(4): 13-18.
- [17] Woodruff C M. Erosion in relation to rainfall, crop cover, and slope on a greenhouse plot[J]. Soil Science Society Proceedings, 1947, 12: 475-478.
- [18] 宋孝玉, 康绍忠, 史文娟, 等. 长武黄土沟壑区不同下垫面条件农田产流产沙规律及影响因素[J]. 水土保持学报, 2000, 14(2): 28-49.
- [19] 潘继花, 张甘霖. 土垫旱耕人为土中磷的分布特征及其土壤发生学意义[J]. 第四纪研究, 2008, 28(1): 43-49.
- [20] 程琴娟, 蔡强国, 廖义善. 土壤表面特性与坡度对产流产沙的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(2): 9-11.

上接第 32 页

参考文献:

- [1] 朱显谟, 田积莹. 强化黄土高原土壤渗透性及抗冲性的研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(3): 1-10.
- [2] 朱显谟. 黄土区水蚀的主要类型及其有关因素(三)[J]. 水土保持通报, 1982, 2(1): 25-30.
- [3] 蒋德麒, 朱显谟. 中国农业土壤论文集[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1962.
- [4] 李勇, 徐晓琴, 朱显谟, 等. 草类根系对土壤抗冲性的强化效应[J]. 土壤学报, 1992, 29(3): 302-308.
- [5] 张建军, 朱金兆, 查同刚, 等. 晋西黄土区水土保持林地土壤抗冲性研究[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(6): 20-24.
- [6] 汪有科, 吴钦孝, 赵鸿雁, 等. 林地枯落物抗冲机理研究[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 75-80.
- [7] 周佩华, 武春龙. 黄土高原土壤抗冲性的试验研究方法探讨[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 29-34.
- [8] 查小春, 贺秀斌. 土壤物理力学性质与土壤侵蚀关系研究进展[J]. 水土保持研究, 1999, 6(2): 98-104.
- [9] 张建军, 张宝颖, 毕华兴, 等. 黄土区不同植被条件下的土壤抗冲性[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(6): 25-29.
- [10] 张光辉. 坡面水蚀过程水动力学研究进展[J]. 水科学进展, 2001, 12(3): 395-402.
- [11] 石生新, 赵崇伟. 土壤抗冲性的研究[J]. 山西水利科技, 1998(3): 90-93.
- [12] 刘晓红, 李校, 彭志杰. 生物多样性计算方法的探讨[J]. 河北林果研究, 2008, 23(2): 166-168.
- [13] 贾俊妹, 李文忠, 高国雄, 等. 大通县退耕还林不同配置模式物种多样性的研究[J]. 西北林学院学报, 2006, 21(3): 1-6.