

不同农田植被条件下黑土坡耕地产流和产沙特征

吴限¹, 魏永霞^{1,2}, 王敏^{1,2}, 王龙¹

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 黑龙江 150030; 2. 黑龙江省高校节水农业重点实验室, 哈尔滨 黑龙江 150030)

摘要: [目的] 研究不同农田植被条件下的水土侵蚀特征, 为该区作物种类选择提供参考。[方法] 2013 年在位于东北典型黑土带上的黑龙江省红星农场径流小区内, 开展了玉米、大豆、大豆—玉米间作 3 种农田植被条件下的地表径流和土壤侵蚀特征研究。[结果] 玉米的径流拦蓄和土壤侵蚀控制的效果最好, 间作次之, 大豆位居最后; 玉米和间作模式的地表径流分别较大豆减少了 15.8% 和 10.7%, 土壤侵蚀量亦分别减少了 10.47% 和 5.35%。[结论] 在较低降雨强度下玉米和间作的减流减沙效果差别不甚明显, 在较高强度下玉米和间作减流减沙效果明显好于大豆。

关键词: 天然降雨; 黑土区; 坡耕地; 叶面积指数; 农田植被; 产流; 产沙

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)03-0101-04

中图分类号: S157.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.03.024

Characteristics of Runoff and Sediment Yield in Sloping Farmland of Black Soil Region Under Different Farmland Vegetation

WU Xian¹, WEI Yongxia^{1,2}, WANG Min^{1,2}, WANG Long¹

(1. College of Water and Civil Engineering, Northeast Agriculture University, Harbin, Heilongjiang 150030, China;

2. Key Laboratory of Water-saving Agriculture of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: [Objective] In order to provide references for the selection of suitable crops for black soil areas, to analyze the rill erosion characteristics of different cropland. [Methods] The study of surface runoff and soil erosion characteristics under three different cropland planting of corn, soybean and soybean-corn belt cropping, was carried out in the runoff plot of Hongxing State Farm in Heilongjiang Province located in the northeast typical black soil belt in 2013. [Results] For the performances of runoff retaining and sediment yield control, corn performed the best, while the intercropping of soybean-corn followed it, and soybean took the last. Compared to soybean, the surface runoff decreased 15.8% and 10.7% under the cultivation modes of corn and intercropping of soybean-corn; in corresponding to the soil loss, decreased 10.47% and 5.35%, respectively. [Conclusion] The control of surface runoff and soil loss between corn and soybean-corn belt cropping was not significant under the relatively low-intensity rainfall conditions. Whereas the control of surface runoff and soil loss under soybean-corn belt cropping was much better than that under soybean in the high-intensity rainfall condition.

Keywords: natural rainfall; black soil area; sloping farmland; leaf area index; farmland vegetation; runoff yield; sediment yield

土壤侵蚀是地球地质演变中的必然的物质运动过程,但是随着生物的出现,特别是受人类活动的影响,原有地质土壤侵蚀的过程受到了一定的影响,侵蚀速度加快,并且侵蚀性质也开始发生变化,成为了制约农业经济发展的主要因素之一。松嫩平原自然条件优越,农业生产水平较高,是全国大豆玉米等农作物的主产区,其黑土素有“土中之王”的美称。黑土区坡耕地面积大,雨期集中,降雨强度大,极易造成水

土流失。据黑龙江省环境保护厅调查,截止 2000 年黑龙江全省水土流失面积为 1.12×10^7 hm² 导致黑土肥力锐减,作物产量下降,不仅影响了当地社会经济的可持续发展,也对国家的粮食安全造成了隐患。针对坡耕地水土流失问题,国内外学者进行了一些作物植被的防蚀作用研究^[1-2],主要包括:作物植被对降雨的拦截^[3-4],再分配作用,冠降雨对土壤物质的打击、剥离等作用^[5-6],作物对降雨入渗过程的改变

收稿日期:2014-03-27

修回日期:2014-04-22

资助项目:国家科技支撑计划项目(2014BAD12B01);东北农业大学博士基金项目(2010RCB65)

第一作者:吴限(1989—),男(汉族),黑龙江省齐齐哈尔市人,硕士研究生,研究方向为农业节水理论与技术。E-mail:wx527748@gmail.com。

通信作者:魏永霞(1961—),女(汉族),黑龙江省海伦县人,博士,教授,博士生导师,主要从事农业节水和水土保持理论与技术研究。E-mail:wux0915@163.com。

等^[7]。本文利用玉米、大豆、大豆—玉米间作(以下简称“间作”)3种模式,研究不同模式的产流产沙特征,以期为该地区坡耕地作物种类的选择提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验区选择位于东北典型黑土带上的黑龙江省北安市红星农场,地处小兴安岭南麓向松嫩平原的过渡地带,为丘陵漫岗地带,属中温带湿润大陆性季风气候。该地区多年平均降水量为 553 mm,主要集中在 7、8、9 月份,占全年降水量的 70%左右,其中暴雨降水量占 7—9 月份的 35%。年平均蒸发量 1 100~1 200 mm,不小于 10℃的有效积温 2 254.5℃,无霜期 110~115 d。土壤主要以黑土为主,质地黏重,入渗困难。2013 年红星农场总耕地面积 2.73×10^4 hm²,其中大豆种植区 9 600 hm²,玉米 1.64×10^4 hm²。农场土地一半为丘陵漫岗区,土壤侵蚀模数为 1 375 t/(km²·a)。

1.2 试验设计

试验在红星农场坡耕地上的径流小区内进行,按照作物种类及其种植模式不同,设置 3 个农田植被处理,分别是大豆、玉米和间作,2 次重复。各径流小区纵向平均坡度均为 3°,长 20 m,宽 5 m,其边界均设置深入地下 1 m 的隔板;尽量保持各个径流小区除植被条件以外的其他自然条件基本相同。径流小区供试作种类为大豆黑河三号,玉米为德美亚 1 号。间作小区中央 3 垄植玉米,余 4 垄植大豆。

1.3 测定项目和方法

(1) 降雨量及其过程。采用美国 ONSET 公司 HOBO 自记雨量计自动记录。

(2) 地表径流及其过程。采用河北飞梦科技有限公司的 FL-JY 磁感记录仪径流自记系统自动记录。

(3) 降雨产沙量及其过程:不同措施的降雨产沙量及其产沙过程与径流过程同步人工观测,在开始产流后,每 5 min 取一翻斗沙样,将沙样静置 24 h,漂去上层清水,余下的用滤纸滤除泥沙,烘干 6 h 称重。

(4) 叶面积系数。不同生育期选取有代表性的大豆和玉米植株,分别测定每个叶片的长、宽(量取叶片的最长、最宽部位),用下面公式求得单株叶面积:

$$\text{单株叶面积} = \frac{\sum L \cdot B \cdot K}{N}$$

式中: L ——叶长; B ——叶宽; K ——校正系数。通过求积仪实测面积,再与量取的叶面积相比求得。

(5) 植被覆盖度。数码相机采集图像(大豆小区自上而下以黑土地为背景拍摄,玉米小区自下而上以

蓝天为背景拍摄)后,用图像分析法测定各小区的植被覆盖度。

2 结果与分析

2.1 一次降雨条件下不同农田植被的地表径流特征

选取 1 次典型天然降雨进行分析(2010730),其降雨量为 45 mm,降雨历时 85 min,最大降雨强度 79.2 mm/h,不同作物的地表径流过程如图 1 所示。

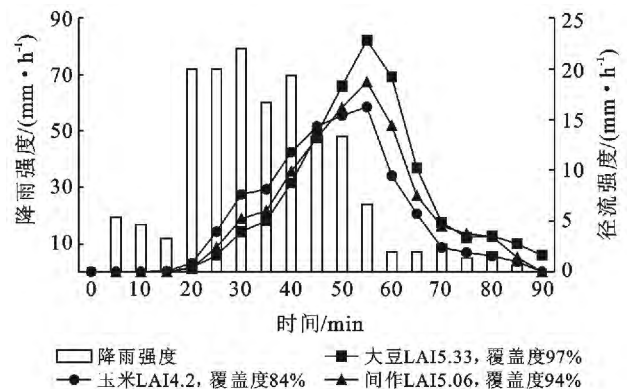


图 1 2013 年 7 月 30 日不同小区的地表径流过程

从 2013 年 7 月 30 日降雨径流过程可以看出,大豆和玉米以及间作对径流调节作用有较大差异。在降雨初期的前 15 min,各小区并未产生明显径流;在之后 15 min 的中等强度降雨中,降雨已经逐步浸润表层,土壤表层入渗率减少;在 20 min 时随着雨强陡增,地面开始形成明显的径流。其中在 15~45 min 之间大豆小区产生的径流明显小于玉米小区,大豆冠层低矮,枝叶茂密。拥有相对较高的叶面积指数、枝干数量。并且大豆复杂的植株形态有着较高的冠层截留^[4,8],将部分降雨截留在了冠层中。而该年生育期的大风天气和雨滴动能使部分大豆倒伏,枝叶压低一定程度上阻挡减缓了径流的产生。在 35 min 后由于较高的降雨强度,大豆相对软弱的枝叶无法承受雨滴动能以及风压,植被覆盖率暂时降低,大豆枝叶相比玉米较为软弱,相比玉米宽大的叶片,高强度降雨中大豆叶片对降雨阻挡作用较弱,大豆小区径流增加较快^[9],而玉米小区径流增加速度相对较小。在较高降雨强度下,玉米调节径流的效果明显强于大豆。大豆小区叶面积指数(LAI)为 5.33,植被覆盖率 97%(由于部分植株倒伏,并未达到 100%),均大于玉米小区的 4.2,植被覆盖率 84%。虽然玉米的叶面积指数和覆盖率略低与大豆,但是玉米强韧的枝叶可以有效的抵御降雨,极大的减少高动能的冠下穿透雨。较大的茎秆流也可以使径流趋于稳定,有效的增加入渗^[10],减少径流。

与大豆相比,玉米控制径流的效果较好,减少径流最高可达 17.72%。玉米和大豆小区产流时间基本相同,玉米小区径流变化过程较平坦,大豆小区在产流后随着降雨强度增加,径流强度变化较大。降雨初期大豆复杂的冠层空间结构阻碍了径流的形成,随着雨强增大,冠层结构对拦蓄减缓径流的形成控制作用减弱,大豆倒伏的枝条和枯叶不能继续起到有效的拦蓄作用。大豆和玉米对降雨的转化分配差异性开始体现,大豆倾向于将拦截的降雨集中于冠层边缘,而处于生长旺盛期的玉米则倾向于将雨水集中在叶下区^[5],且玉米的茎杆流占很大比例。这样的差异性导致了玉米对于降雨的分配相对大豆更加均匀,径流的形成过程得以减缓。该次降雨大豆、玉米、间作小区径流量为 10,8.37 和 8.9 mm。间作小区在径流量和产流特性上介于两者之间。15~45 min 间作、玉米小区产流相比大豆小区产流增加 11.29%,40.31%,在降雨前期和大豆小区产流特征较相似。45 min 后间作、玉米小区相比大豆小区产流分别减少 38.15%和 19.22%,高强度降雨条件下其产流特征和间作小区相似度较高。

2.2 两次降雨条件下不同农田植被对土壤侵蚀量的影响

从图 2 可看出,产沙过程随径流过程的变化表现比较相似的波动变化趋势,但产沙过程随降雨强度的变化更为明显,产沙量峰值与降雨强度峰值较为接近。玉米小区的土壤侵蚀量平均为 3.13 kg,大豆小区的平均土壤侵蚀量为 3.62 kg,间作小区为 3.42 kg。不同作物及种植模式对土壤侵蚀的控制作用按大小排序,依次为:玉米>间作>大豆,与径流分析结果相同。

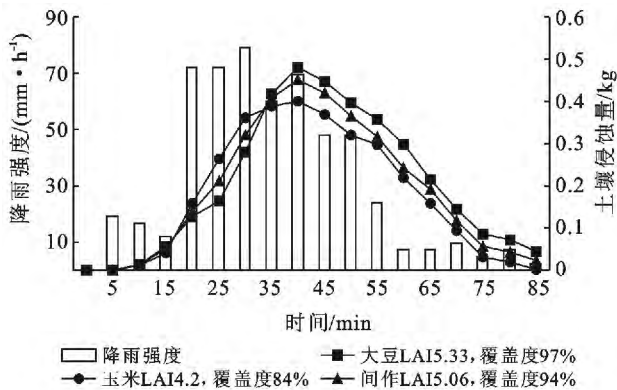


图 2 2013 年 7 月 30 日降雨不同作物的侵蚀产沙过程

与大豆相比,在降雨早期,玉米和大豆的产沙量并没有和产流量一样有着明显的差距。玉米叶片向斜上方伸展且成凹形,其叶面积较大,所以玉米在降

雨的分配上,茎杆流起主导作用,茎杆流消耗了大量的雨滴动能。虽然茎杆流也对土壤有着一定的侵蚀作用,但是相对于其他方式,其侵蚀能力可以忽略不计^[11]。在降雨中后期,玉米小区产沙量和径流量一样均小于大豆小区。虽然大豆冠层稠密,冠层垂直投影结构复杂,对降雨有多次的拦截消能机会^[8],但相对于玉米高大的冠层高度,从冠层落下的雨滴动能相对玉米较小。然而由于玉米巨大的茎杆流,玉米对土壤侵蚀的控制作用仍强于大豆。间作模式产沙量和产流量表现一致,占大豆的 94%,介于两者之间。

2.3 次降雨条件下不同农田植被的径流强度和产沙强度的关系

径流强度和产沙强度大致成二次抛物线关系,如图 3 在低强度降雨中,大豆、玉米、间作小区产流和产沙关系波动并不强烈,高强度降雨中,径流强度达到 10 mm 以上时,产沙强度开始出现明显波动,从相关系数可以看出,玉米小区径流强度与土壤侵蚀量相关系数: $R^2=0.9538$,产沙和径流关系最为稳定,间作次之,大豆较差。大豆在高强度降雨中抗蚀能力衰减严重。原因在上文有所描述,这里不再赘述。

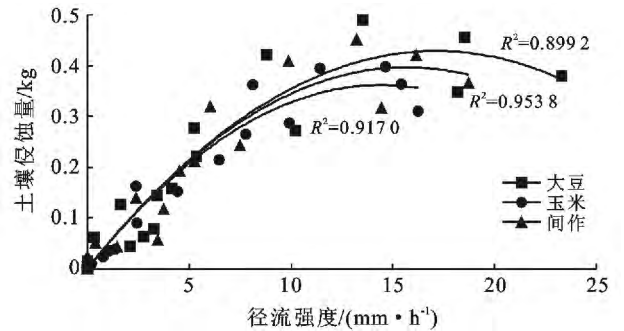


图 3 次降雨径流强度与产沙强度的关系

2.4 不同农田植被的年降雨径流及土壤侵蚀特征

2.4.1 年径流量及土壤侵蚀量 2013 年试验区降雨量较大,仅生育期内降雨就达到 570.8 mm,但次降雨除 7 月 30 日降雨强度较大外均较小,土壤长期处于水分充沛状态。不同作物对年径流量的影响因种类而异。大豆、玉米、间作小区年径流深及土壤侵蚀量见表 1。

可见,大豆小区的拦蓄效果最弱,其次为间作,径流深和土壤侵蚀量分别占大豆小区的 89.02%和 94.65%,玉米小区最佳,径流量和土壤侵蚀量为大豆小区的 83.61%和 89.53%。不同作物对土壤侵蚀的控制作用按大小排序依次为:玉米、间作、大豆。与对径流的分析相似。全年大多数降雨强度不高,玉米与间作对土壤侵蚀的控制作用差异不明显,说明玉米和

大豆的间作模式对两种作物的特性形成了良好的互补。

表 1 3 种处理下小区的年径流及土壤侵蚀量

处理	径流量/ mm	径流 系数/%	较大豆减 少比例/%	土壤侵蚀量/ (t·hm ⁻²)	较大豆减 少比例/%
大豆	69.59	12.18	0	4.3	0
玉米	58.19	10.19	16.38	3.85	10.47
间作	61.95	10.85	10.98	4.07	5.35

2.4.2 土壤侵蚀量的年内分布 2013 年全年降雨量主要集中在 5—8 月份,其降雨量分别为 41.2, 80.6, 218.3 和 182.5 mm。表 2 为不同处理 5—8 月份的土壤侵蚀量。与大豆小区相比,玉米小区土壤侵蚀量稍小。间作小区和大豆小区的土壤侵蚀量相比并没有明显差别。这是由于在生育期早期,大豆冠层结构发育简单,玉米没有出苗,叶面积系数较低,植被对土壤侵蚀量的影响力有限。6 月份降雨量相比 5 月份明显提高,降雨侵蚀力也有所增加,随着作物冠层发育和叶面积指数的增加,虽然 6 月份降雨量有所提高,但是土壤侵蚀量没有明显提高。在控制侵蚀方面,玉米对于大豆优势有所发挥,而间作模式相较其他两者的差异性并不显著。7 月份降雨量达到最大值,各小区的土壤侵蚀量也相应明显增加,达到最大值。7 月份降雨侵蚀力相比降雨量提高更加显著,而植被发育程度也趋于成熟,叶面积系数剧增。在该年度高强度大风天气中,大豆小区部分植株出现倒伏、损伤,玉米小区植株有所损伤。间作小区由于玉米高大粗壮茎叶对大豆起到了保护作用,降低了风压和高动能降雨对大豆冠层的冲击,大豆整体完好,倒伏不明显,植被冠层发育受影响不大。玉米小区和间作小区的土壤侵蚀量分别为大豆小区的 90%和 94%,间作模体现了较好抗侵蚀能力。8 月份相比 7 月份径流及径流含沙量较少。

表 2 3 种处理下各小区 5—8 月土壤侵蚀量及叶面积指数

处理		5 月	6 月	7 月	8 月
大豆	侵蚀量/(t·hm ⁻²)	0.31	0.46	2.50	1.03
	LAI	0.31	1.79	5.33	5.75
玉米	侵蚀量/(t·hm ⁻²)	0.28	0.42	2.27	0.89
	LAI	0.00	1.58	4.21	4.89
间作	侵蚀量/(t·hm ⁻²)	0.30	0.45	2.37	0.95
	LAI	0.18	1.75	5.06	5.32

3 结论与讨论

(1) 种农田植被对坡耕地降雨产流、产沙控制效

果不同,总体上玉米对降雨产流、产沙控制效果最好,间作次之,大豆位居最后。

在降雨初期玉米和间作的产流略高于大豆,大豆较高的冠层截留和倒伏的枝叶部分减缓了产流,但随着雨强的增加,产流增幅更加明显。在降雨中后期大豆小区产流完全超过了玉米和间作。得益于较大茎秆流,玉米在控制产流中有良好的表现;从产流产沙量看,大豆小区的年产流量和产沙量分别平均 69.59 mm 和 4.3 t/hm²。玉米小区平均的年产流量和产沙量占大豆小区平均的 83.61%和 89.53%,间作径流深和产沙量分别占大豆小区的 89.02%和 94.65%。可见玉米和间作比大豆更能有效的减流减沙,虽然玉米的叶面积指数低于同期大豆,但是玉米的叶片大小、结构、倾角^[8]等更能有效的将降雨转化为茎秆流,减少土壤侵蚀量。

间作小区中玉米对大豆有一定的物理保护作用,在大风极端天气条件下能有效减少大豆倒伏,减少降雨对地面的直接冲击,对控制产流产沙起积极的作用。

(2) 3 种农田植被对坡耕地降雨产流、产沙的调控能力因作物生育阶段的不同而不同。

作物苗期对产流量和产沙量控制能力较弱。随着作物生长,作物对坡面产流、产沙的控制力也随之增强,不同作物控制力的差距也开始体现。作物生长的旺盛期,对坡面产流产沙的控制作用最强,成为控制坡面产流产沙的主要阶段。

以上结论是根据 2013 年实际情况得出的,而天然降雨具有一定的随机性和不确定性,且研究时间较短。故尚需进一步开展不同年型的试验研究。

[参 考 文 献]

- [1] 卢喜平,史东梅,吕刚,等.紫色土坡地果草种植模式的水土流失特征研究[J].水土保持学报,2005,19(2):21-25.
- [2] 陈伟,魏永霞,王存国,等.不同水土保持技术模式的坡耕地产流、产沙特征[J].水土保持学报,2011,25(6):27-30.
- [3] 余冬立,刘营营,邵明安.黄土坡面不同植被冠层降雨截留模型模拟效果及适用性评价[J].农业工程学报,2012,28(16):115-119.
- [4] Komatsu H, Shinohara Y, Kume T, et al. Relationship between annual rainfall and interception ratio for forests across Japan [J]. Forest Ecology and Management, 2008,256(5):1189-1197.
- [5] 马波,马璠,吴秋菊,等.玉米冠下溅蚀效应及空间分布特征[J].农业工程学报.2012,28(20):135-141.
- [6] Armstrong C L, Mitchell J K. Transformations of rainfall by plant canopy[J]. Transactions of the ASAE, 1987,30(3):688-696.

(下转第 111 页)

层, 枯落物层的水分蒸发损失更快, 水分变化剧烈, 这对植物根系生长来说应该是很不利的, 而在雨季由于长时间的连续降水和极端降水事件, 不仅仅使得枯落物层达到最大持水量, 还使得其能够长期保持大量的水分, 而且此时温度和水分含量对土壤微生物活性提高和枯落物层的分解也有利, 提供了大量的有机质, 改良了土壤结构, 增加了土壤孔隙, 使土壤容重变小。生长季也是栓皮栎生长和根系更新的活跃期, 这些也许是栓皮栎利用枯落物层水分的原因。

[参 考 文 献]

- [1] Bonkowski M, Scheu S, Schaefer M. Interactions of earthworms (*Octolasion lacteum*), millipedes (*Glomeris marginata*) and plants (*Hordelymus europaeus*) in a beechwood on a basalt hill: Implications for litter decomposition and soil formation[J]. *Applied Soil Ecology*, 1998, 9(1):161-166.
- [2] Borendse F. Implication of increased litter production for plant biodiversity[J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 1999, 14(1):4-5.
- [3] Lee R. *Forest Hydrology*[M]. New York: Columbia University Press, 1980:1-6.
- [4] Yang Wenzhi, Wu Qinxiao. Forest and grassland vegetation construction and its sustainable development in Loss Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1998:65-66.
- [5] 刘少冲, 段文标, 赵雨森. 莲花湖区几种主要林型枯落物层的赤水性[J]. *中国水土保持科学*, 2005, 3(2):81-86.
- [6] 张维诗, 金靖博, 唐亚森. 森林枯落物的水文功能[J]. *林业勘察设计*, 2007(3):35-36.
- [7] 周宏伟, 李生宇, 孙树国, 等. 自然覆盖物对塔里木沙漠公路防护林土壤蒸发的影响[J]. *科学通报*, 2008, (53):123-130.
- [8] 申卫军, 彭少麟, 周国逸, 等. 马占相思与湿地松人工林枯落物层的水文生态功能[J]. *生态学报*, 2001, 21(5):846-850.
- [9] 王春红, 吴勇, 李秀博. 贡嘎山地区不同植被枯落物对降水影响的初步研究[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(6):1741-1744.
- [10] 李海军, 张毓涛, 张新平. 天山中部不同林龄天然云杉林地地表土壤入渗性能研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2011, 5(25):197-203.
- [11] 汪邦稳, 杨洁, 汤崇军. 南方红壤区百喜草及其枯落物对降雨径流分配的影响[J]. *水土保持学报*, 2009, 2(23):7-11.
- [12] 张建利, 张文, 毕玉芬. 山地草地凋落物分解与凋落物水文功能[J]. *生态环境*, 2008, 17(5):1986-1990.
- [13] 李嘉竹, 刘贤赵. 氢氧稳定同位素在 SPAC 水分循环中的应用研究进展[J]. *中国沙漠*, 2008, 28(4):787-794.
- [14] Burgess S S O, Adams M A, Turner N C, et al. Characterisation of hydrogen isotope profiles in an agroforestry system: Implications for tracing water sources of trees[J]. *Agricultural Water Management*, 2000, 45(3):229-241.
- [15] 田立德, 姚檀栋, Tsujimura M, 等. 青藏高原中部土壤水中稳定同位素变化[J]. *土壤学报*, 2002, 39(3):289-295.
- [16] 程立平, 刘文兆. 黄土塬区几种典型土地利用类型的土壤水稳定同位素特征[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3):651-658.
- [17] 王仕琴, 宋献方, 肖国强, 等. 基于氢氧同位素的华北平原降水入渗过程[J]. *水科学进展*, 2009, 20(4):495-501.
- [18] 关君蔚. 北京的水土保持[J]. *北京水利*, 1996(4):7-8.
- [19] 孙素艳, 陈一鸣, 姜健俊. 水土保持措施对山区水循环的影响:以宁夏南部山区为例[J]. *资源科学*, 2006, 4(28):184-188.
- [20] Sturm P, Knohl A. Water vapor $\delta^2\text{H}$ and $\delta^{18}\text{O}$ measurements using off-axis integrated cavity output spectroscopy[J]. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2010, 3(1):67-77.

(上接第 104 页)

- [7] 陈洪松, 邵明安, 张兴昌, 等. 野外模拟降雨条件下坡面降雨入渗、产流试验研究[J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2):5-8.
- [8] 马璠. 作物植被对坡耕地土壤侵蚀的影响研究[D]. 陕西杨凌:西北农林大学, 2009.
- [9] 马波, 吴发启, 马璠. 种植大豆地表土壤溅蚀效应及其空间分布特征[J]. *土壤学报*, 2013, 50(1):50-57.
- [10] 刘秉正, 刘世海, 郑随定. 作物植被的保土作用及作用系数[J]. *水土保持研究*, 1999, 6(2):32-36.
- [11] Quinn N W, Lafflen J M. Characteristics of raindrop throughfall under corn canopy[J]. *Transactions of the ASAE*. 1983, 26(5):1445-1450.