

模拟降雨条件下玉米植株对降雨再分配的作用

郑子成¹, 李廷轩¹, 张锡洲¹, 何淑勤², 林超文³

(1. 四川农业大学 资源环境学院, 成都 611130;

2. 四川农业大学 林学院, 四川 雅安 625014; 3. 四川省农业科学研究所 土壤肥料研究所, 成都 610066)

摘要:为了阐明成熟期玉米对降雨的再分配作用,有效地防治区域水土流失,采用人工模拟降雨的方法,就川西低山丘陵区成熟期玉米植株对降雨的冠层截留量、茎秆流量和穿透雨量的作用进行了研究。结果表明:冠层截留率平均为 7.5%,茎秆流量平均为 28.8%,穿透雨量平均为 63.7%。随着降雨强度的增加,单位时间内玉米冠层的截留量呈增加趋势,但随着玉米植株的叶面积增大,有效截留量却呈减少趋势,株高和角度对它的影响较小。随着叶面积和降雨强度的增加,茎秆流量呈增加趋势,角度影响较小。随着叶面积的增加,穿透雨量呈减少趋势;而随着降雨强度的增加,单位时间内穿透雨的数量呈增加的变化趋势,株高影响较小。

关键词:玉米; 模拟降雨; 冠层截留; 茎秆流; 穿透雨量

中图分类号:S161.6;P333.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2012)04-0072-05

Effect of Maize Plants on Water Distribution under the Condition of Simulated Rainfall

ZHENG Zi-cheng¹, LI Ting-xuan¹, ZHANG Xi-zhou¹, HE Shu-qin², LIN Chao-wen³

(1. College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130,

China; 2. College of Forestry, Sichuan Agriculture University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

3. Institute of Soil and Fertilizer, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: In order to clarify the role of the mature corn in the distribution of rainfall and effectively prevent regional soil erosion, effect of maize plants in maturity stage on canopy interception, throughfall and stemflow were analyzed in hilly region in the western Sichuan Province by using the field method of artificial rainfall. The results showed that the average of throughfall, stemflow and canopy interception amounts were 7.5%, 28.8% and 63.7%, respectively. The interception of corn canopy showed an increasing trend with the increase of rainfall intensity, and the effective interception showed decreasing trend with the increase of corn plant leaf area. However, there was no significant correlation between the canopy interception, the height and the angle of leaf. Stem flow showed an increasing trend with the increase of leaf area and rainfall intensity. However, there was no significant correlation between the stem flow and the angle of leaf. The throughfall showed a decreasing trend with the increase of leaf area and showed the increasing trend in the number of throughfall with the increase of rainfall intensity. However, there was no significant correlation between the throughfall and the height.

Key words: maize; simulated rainfall; canopy interception; stemflow; throughfall

土壤侵蚀会引起泥沙淤积,降低表土生产能力和水体质量,对人类社会构成严重威胁,是全球性的环境问题^[1-4]。生物措施、农业技术措施和工程措施是治理土壤侵蚀的三大措施,其中生物措施是最有效彻底的,因而生物措施特别是植被冠层一直是各国

研究者研究的焦点,但现阶段国内外学者大多都针对林木灌木冠层进行研究^[5-11],而对作物对降雨的再分配研究较少。通过研究玉米冠层的截留作用,发现茎秆流占总降水量的 53%^[12]。在喷灌条件下,穿透雨量和茎秆流量分别占总水量的 45.4%和 43.0%^[13]。

收稿日期:2011-12-08

修回日期:2012-01-11

资助项目:国家自然科学基金资助项目(40901138);国家科技支撑计划子课题(2008BAD98B03);四川省科技厅应用基础项目(2008JY0022);地表过程与资源生态国家重点实验室开放基金资助项目(2008-KF-05);中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室开放研究基金资助项目

作者简介:郑子成(1976—),男,内蒙乌盟人,副教授,博士,主要研究方向为水土保持与土壤生态。E-mail: zichengzheng@yahoo.com.cn

通信作者:李廷轩(1966—),男,四川宣汉人,教授,博士生导师,主要研究方向为植物营养与土壤生态。E-mail: litix@263.net

冬小麦在整个生育期内,穿透雨率为72%~76%,仅测得少量茎秆流量^[14]。Ayars等基于喷灌条件研究了棉花地中的水量再分布情况,结果表明,穿透雨率为56%~97%,茎秆流率为3%~8%^[15]。可见,种植作物后对降水的分配作用有所不同。

四川省和平小流域地处长江上游,生态环境脆弱,土壤侵蚀严重,其中坡耕地尤为突出。中国水土流失与生态安全综合科学考察组2008年调查结果显示,我国水土流失面积有356.92万km²,占国土总面积的37.19%,其中水力侵蚀面积有161.22万km²;长江上游水土流失面积高达35.2万km²,其水土流失区年土壤侵蚀量14.1万t,而坡耕地年侵蚀总量为3.8万t。土壤侵蚀严重制约了当地资源、经济和社会的可持续发展。因此开展长江上游和平小流域坡耕地主栽农作物玉米对降雨再分配作用的研究,可为防治区域水土流失、协调区域土地利用及改善长江上游生态环境提供一定理论支持。

1 研究区概况

研究区位于长江上游,隶属于雅安市雨城区。流域面积10.22 km²,流域内侵蚀主要来自于农耕地,侵蚀面积3.4 km²,年侵蚀模数4 794 t/km²,属中度流失区。区内夏季农耕地以种植玉米为主,辅以白菜、芋头、海椒等。该区属内陆亚热带季风气候区,年均温16.2℃,日照1 005 h,年降雨量在1 875 mm以上,主要集中在6—9月,约占全年的72.6%,此时玉米正值成熟期。区内为低山地貌,出露地层为中生代以后的沉积岩,主要土壤类型为下第三系名山群残坡积物发育而成的紫色土。

2 材料与方法

2.1 供试玉米

本研究供试玉米品种为蜀龙210,2010年4月10日播种,行距60 cm,株距45 cm。播种时底肥为有机肥,施有机肥(腐熟牛粪)1 400 kg/667 m²。一月后进行追肥,施尿素8 kg/667 m²,两月后施过磷酸钙45 kg/667 m²,其余管理措施按照当地农耕习惯进行。

2.2 试验方法

在四川农业大学教学科研园区,采用人工模拟降雨试验^[16],降雨高度6 m,有效降雨面积为3 m×5 m。根据研究区多年水文资料记录的降雨频率,设计降雨强度依次为:0.58,0.88,1.19,1.51 mm/min。已有研究表明,玉米植株会在较短的时间内形成茎秆流^[13],故将每场降雨设计降雨历时为8 min,各试验

过程均重复3次,共计12场降雨。

试验选择在玉米成熟期(2010年8月2日—8月5日)每天早上6:00—9:00进行,试验过程中,在四周布设挡风板,用于消除风速和蒸发对降雨均匀度的影响。降雨前,随机选取长势基本一致的12株成熟期玉米植株进行编号,此时玉米植株平均株高为2.25 m,平均叶面积0.35 m²。然后将编好号的玉米植株沿根部水平切下,用石蜡将底部密封,按田间实际株行距(45 cm×60 cm),将收集筒置于人工降雨机之间进行观测试验。

2.3 测定项目与方法

2.3.1 冠层上部水量和穿透雨量 以每株玉米为中心,在其冠层东、南、西、北4个方向上各均匀布置2个承雨筒(口径20 cm,高33 cm)。待每场降雨结束后,用量筒测出各承雨筒内水量 V_1 (ml),结合筒口面积计算出平均值,即为该植株对应的实际冠层上水量 D_n (mm),同时计算出各株玉米对应的实际雨强。以上述4个方向为基轴,分别在顺时针45°和逆时针45°共4个方向的冠层下方各均匀布置2个承雨筒(承雨器口径8 cm,高度30 cm),待降雨结束后,计算出该植株对应的实际穿透雨量 T (mm)。

2.3.2 茎秆流量 茎秆流的收集采用自制的带盖圆形收集筒^[17]。筒身直径10 cm,高20 cm。在筒内圆心处焊有一根长15 cm的竖直铁钉,将玉米插入铁钉固定。筒盖为一圆台结构,底径12 cm,上部口径5 cm。待每场降雨结束后,将筒中所收集到的水倒入量筒中测量其体积 V (ml),并根据玉米种植的株行距将水量换算成茎秆流量 S (mm)。

2.3.3 冠层截留量 冠层截留量根据水量平衡原理计算:

$$I_p = D_n - T - S \quad (1)$$

式中: I_p ——冠层截留量(mm); D_n ——冠上水量(mm); T ——穿透雨量(mm); S ——茎秆流量(mm)。

2.3.4 其他观测项目 试验前选择株高和茎叶夹角等较为一致的玉米植株,分别测定每株玉米的株高、茎叶夹角以及地径等指标,试验结束后采用长宽法^[18]分别测定各株玉米的叶面积,确保试验前后玉米植株的形态指标一一对应。

试验数据运用Excel 2003和DPS 11.5软件进行分析与处理。

3 结果与分析

3.1 玉米冠层截留分异特征

将平均茎秆下水流量、冠层截留量及株间水量分

别定义为^[19]：

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i \quad (2)$$

$$\bar{T}_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_i \quad (3)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M T_{ij} \quad (4)$$

式中： S_i 、 I_i ——第 i 测点的茎秆流量 (mm) 和冠层截留量 (mm)； T_{ij} ——第 i 测点第 j 个承雨筒承接的穿透雨量 (mm)； N ——观测点数； M ——第 i 测点处布置的承雨筒数； \bar{S} ——平均茎秆下水流量； \bar{T}_p ——平均冠层截留量； \bar{T} ——平均株间水量。

人工模拟降雨经玉米冠层重新分配结果见表 1。冠层截留率的最大值为 8.5%，最小值为 6.7%，平均为 7.5%，变化幅度为 11.8%~26.9%；茎秆流率的最大值为 44.7%，最小值为 17.6%，其平均值为 28.8%，变化幅度为 66.8%~154.0%；穿透雨率最大值为 75.7%，最小值为 46.8%，其平均值为 63.7%，变化幅度为 14.9%~61.8%。除 0.58 和 0.88 mm/min 两个雨强外，其余雨强之间的冠层截留量差异均达到极显著水平；0.88 和 1.51 mm/min 两个雨强下的茎秆流量差异达到显著水平，而其余雨强之间的茎秆流量差异均不显著；0.58 mm/min 和其余雨强之间的穿透雨量差异均达到极显著水平，0.88、1.51 mm/min 两个雨

强下的穿透雨量差异达到极显著水平，1.19、1.51 mm/min 雨强之间的穿透雨量差异达到显著水平。

表 1 降雨经玉米冠层重新分配

降雨强度/ (mm·min ⁻¹)	冠层截留量		茎秆流量		穿透雨量	
	均值/ mm	冠层截 留率/%	均值/ mm	茎秆流 率/%	均值/ mm	穿透雨 率/%
0.58	0.4cC	8.5	2.1abA	44.7	2.2cC	46.8
0.88	0.5cC	6.7	1.3bA	17.6	5.6bB	75.7
1.19	0.7bB	7.6	2.4abA	26.1	6.1bAB	66.3
1.51	0.9aA	7.3	3.3aA	26.8	8.1aA	65.9
平均	0.6	7.5	2.3	28.8	5.5	63.7

注：同列不同小写字母表示在 0.05 水平上的差异显著，同列不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

3.2 玉米冠层截留分异后各组分影响因素分析

降雨再分配是一个复杂的过程，受诸多因素影响，其中雨强、株高、角度和叶面积是影响降雨再分配的主要因素^[16-18]，本文主要针对以上 4 个因素与降雨再分配后的组分之间的相关性进行探讨。

3.2.1 冠层截留量的影响因素分析 各测点冠层截留量和雨强的关系见图 1a，可以看出冠层截留量有随雨强的增加呈极显著的线性增加趋势。将株高、叶面积、角度与冠层截留量关系分别点绘于图 1b、1c 和 1d。由图中可见截留量与三者之间的相关关系较差。综上所述，影响冠层截留量的主要因素为降雨强度。

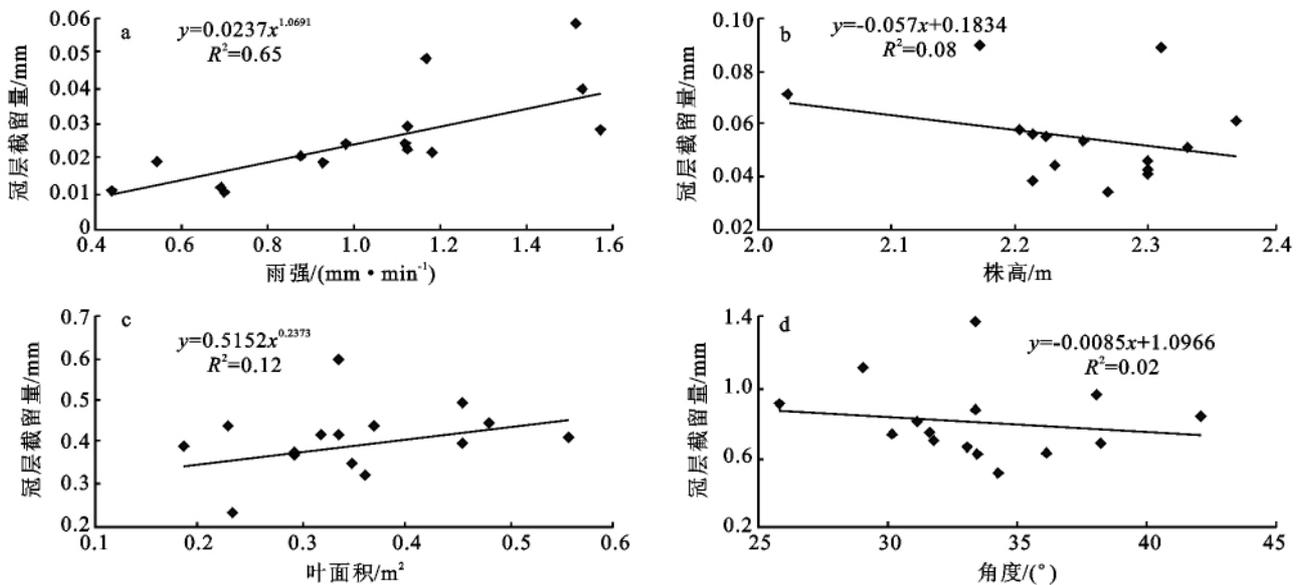


图 1 冠层截留量与雨强、株高、叶面积及角度的相关性

3.2.2 冠层截留量与叶面积、降雨强度、株高和角度的关系 综上所述可知，玉米冠层截留量与叶面积、降雨强度关系较为密切。经回归分析得出玉米冠层截留量与二者之间的回归方程为：

$$y = 6.76x_1^{1.08}x_2^{0.32} \quad (5)$$

式中： y ——冠层截留量 (mm)； x_1 ——降雨强度

(mm/min)； x_2 ——叶面积 (m²)，该公式经方差检验极显著 ($P < 0.01$)， $R^2 = 0.99$ 。

由式 (5) 可知，雨强的增加，会使单位时间内冠上雨量也相应增加，单位时间内玉米冠层的截留量也会增加。而随着玉米植株的生长，叶面积会增大，增加冠层截留量，但叶片会有部分重叠，从而减少有效截

留量。因此,在一定程度上可用降雨强度、叶面积两个因素对研究区成熟期玉米冠层截留降雨的能力进行估测。

3.2.3 茎秆流量影响因素分析 为了分析茎秆下水流量的影响因素,将各观测点的茎秆下流量和对应的雨强、株高、叶面积和角度关系绘于图 2。

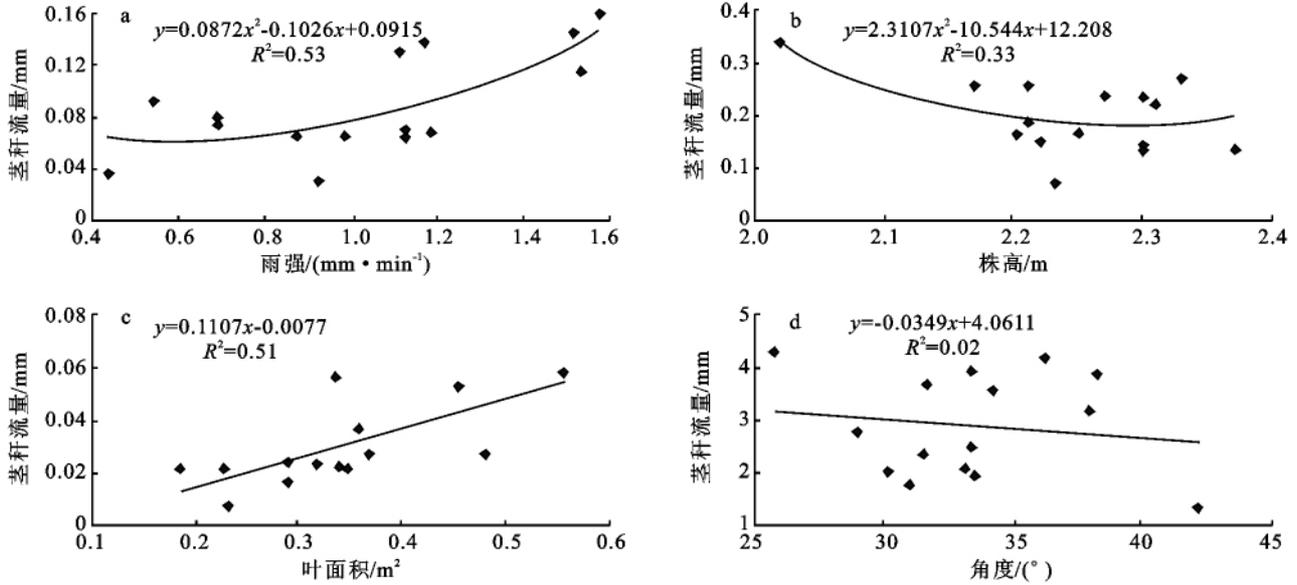


图 2 茎秆流量与雨强、株高、叶面积及角度的相关性

3.2.4 茎秆流量与叶面积、降雨强度、株高和角度的关系 综合以上分析可知,玉米冠层截留量与叶面积、降雨强度和株高都有存在一定的相关关系。经回归分析得出玉米冠层截留量与三者之间的回归方程:

$$y = 0.60x_1^{1.00}x_2^{1.28}x_3^{-1.06} \quad (6)$$

式中: y ——茎秆流量 (mm); x_1 ——降雨强度 (mm/min); x_2 ——叶面积 (m^2); x_3 ——株高 (m), 该公式经方差检验显著 ($P < 0.01$), $R^2 = 0.82$ 。

茎秆流量随雨强和叶面积的增加呈增加趋势,且均达到极显著水平;玉米株高、角度和茎秆流量之间呈现负相关关系,但相关关系较差,这是因为玉米完全成熟后,单就株高和角度这两个生长指标而言,玉米个体间差异较小,因此不能够很好地反映茎秆流量的变异情况。

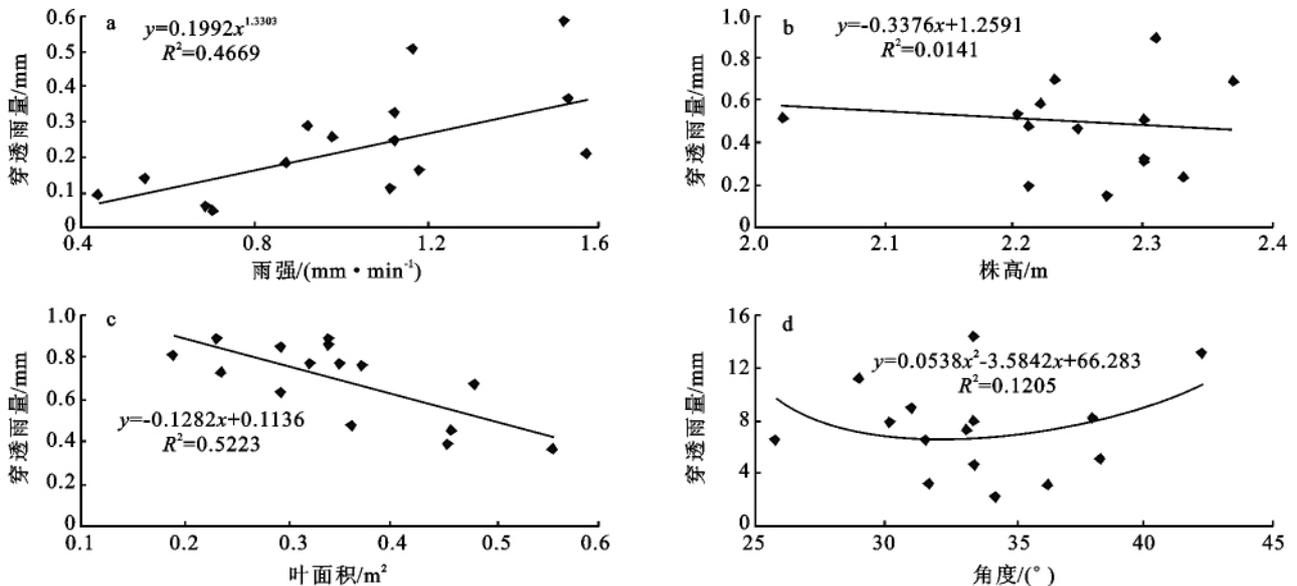


图 3 穿透雨量与雨强、株高、叶面积及角度的相关性

由式(6)可见,叶面积、雨强和株高对于茎秆流量的影响要大于叶片角度的作用。它们对于茎秆流量的作用在于叶面积的增加,使截留降雨的有效面积增加,进而增加了茎秆流量;而雨强的增加,导致单位时间内降雨总量增加,从而导致茎秆流量的增加;株高的增加,在一定程度上弱化了叶面积的作用,故导致茎秆流量减小。可见,可用降雨强度、叶面积和株高 3 个因素可以对成熟期玉米汇集茎秆流的能力进行估算。

3.2.5 穿透雨量影响因素分析 为分析穿透雨量的影响因素,将各观测点的穿透雨量和对应的雨强、株高、叶面积和角度关系点绘图 3。穿透雨量随雨强增加呈增加趋势,随叶面积增加而线性减少,且达到极显著水平;植株的株高和角度与茎秆流量之间的相关关系较差,由此说明玉米成熟后,影响穿透雨量空间分布的主要因素雨强。

3.2.6 穿透雨量与叶面积、降雨强度和株高的关系 综上所述可知,玉米穿透雨量与叶面积和降雨强度都有存在一定的相关关系。经回归分析得出玉米穿透雨量与二者之间的回归方程:

$$y=0.29x_1^{0.95}x_2^{-0.47} \quad (7)$$

式中: y ——茎秆流量(mm); x_1 ——降雨强度(mm/min); x_2 ——叶面积(m^2),该公式经方差检验极显著($P<0.01$), $R^2=0.8966$ 。

从式(7)可知,穿透雨量受雨强、叶面积和角度的影响要大于叶面积的影响。它们对于穿透雨量的作用在于,叶面积的增加,使截留降雨的有效面积增加,从而导致了雨滴滴落到地表的数量减少;而雨强的增加,单位时间冠上雨量也会相应的增加,那么在单位时间内穿透雨的数量也会增加。可见,可用降雨强度和叶面积 2 个因素对成熟期玉米抑制穿透雨量的能力进行估算。

4 结论

(1) 不同雨强下降雨经成熟期玉米冠层再分配后茎秆流率平均值为 28.8%;穿透雨率平均值为 63.7%;冠层截留率平均值为 7.5%。

(2) 4 个因素中,只有雨强与冠层截留量之间呈极显著的正相关关系;冠层截留量可以用模型 $y=6.76x_1^{1.08}x_2^{0.32}$ ($P<0.01$) 进行估算。

(3) 茎秆流量随雨强和叶面积的增加而线性增加,且均达到极显著水平;茎秆流量可以用模型 $y=0.60x_1^{1.00}x_2^{1.28}x_3^{-1.06}$ ($P<0.05$) 进行估算。

(4) 4 因素中,只有雨强和叶面积与穿透雨量呈极显著关系,分别呈正相关性和负相关性;穿透雨量可以用模型 $y=0.29x_1^{0.95}x_2^{-0.47}$ ($P<0.01$) 进行估算。

参考文献:

- [1] 徐宪立,马克明,傅伯杰,等. 植被与水土流失关系研究进展[J]. 生态学报,2006,26(9):3137-3143.
- [2] 田卫堂,胡维银,李军,等. 我国水土流失现状和防治对策分析[J]. 水土保持研究,2008,15(4):204-209.
- [3] Wilson G V, McGregor K C, Boykin D. Residue impacts on runoff and soil erosion for different corn plant populations [J]. Soil and Tillage Research,2008,99(2):300-307.
- [4] Zhou P, Luukkanen O, Tokola T, et al. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed [J]. Catena,2008,75(3):319-325.
- [5] Shachnovich Y, Berliner P R, Bar P. Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone[J]. Journal of Hydrology, 2008,349(1):168-177.
- [6] Cattani P, Ruy S M, Cabidoche Y M, et al. Effect on runoff of rainfall redistribution by the impluvium-shaped canopy of banana cultivated on an Andosol with a high infiltration rate[J]. Journal of Hydrology,2009,368(1/4):251-261.
- [7] Poppenborg P, Hölscher D. The influence of emergent trees on rainfall distribution in a cacao agroforest (Sulawesi, Indonesia)[J]. Flora,2009,204(10):730-736.
- [8] Pilar L, Francisco D. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions; a review of studies in Europe [J]. Journal of Hydrology,2007,335(1/2):37-54.
- [9] 何常清,薛建辉,吴永波,等. 岷江上游亚高山川滇高山栎林的降雨再分配[J]. 应用生态学报,2008,19(9):1871-1876.
- [10] 张颖,牛健植,谢宝元,等. 森林植被对坡面土壤水蚀作用的动力学机理[J]. 生态学报,2008,28(10):5084-5094.
- [11] 吕瑜良,刘世荣,孙鹏森,等. 川西亚高山不同暗针叶林群落类型的冠层降水截留特征[J]. 应用生态学报,2007,18(11):2398-2405.
- [12] 王迪,李久生,饶敏杰. 玉米冠层对喷灌水量再分配影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报,2006,22(7):43-47.
- [13] 马璠,吴发启,马波,等. 叶面积和降雨强度对玉米茎秆流量的影响[J]. 农业工程学报,2008,10(10):25-26.
- [14] Li J S, Rao M J. Sprinkler water distributions as affected by winter wheat canopy[J]. Irrig. Sci.,2000,20(1):29-35.
- [15] Ayars J E, Hutmacher R B, Schoneman R A, et al. Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity[J]. Transactions of the ASAE,1991,34(3):890-896.
- [16] 罗春燕,涂仕华,庞良玉,等. 降雨强度对紫色土坡耕地养分流失的影响[J]. 水土保持学报,2009,23(4):24-27.
- [17] 马波,吴发启,马璠,等. 叶面积和降雨强度对大豆茎秆流的影响[J]. 中国水土保持科学,2008,6(6):58-62.
- [18] 王德贤. 四种测定单株玉米总叶面积方法的比较[J]. 青海农林科技,1999(4):20-21.
- [19] 王迪,李久生,饶敏杰,等. 喷灌冬小麦冠层截留试验研究[J]. 中国农业科学,2006,39(9):1859-1864.