

# 渭北旱塬花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究

王忠林 李会科 贺秀贤

(西北农林科技大学 陕西杨陵 712100)

**摘要:** 通过对花椒地埂林土壤抗蚀性、抗冲性指标连续3年的测定和分析结果表明: 花椒地埂林土壤具有显著的固埂保土效益, 土壤抗蚀性、抗冲性均高于无林埂土壤。土层腐殖质含量、水稳性团聚体含量及表层土壤水稳性团聚体风干率、团聚状况、团聚度均高于无林地埂土壤, 土壤分散率、分散系数均低于无林埂土壤。土壤抗冲性大小与树龄、冲刷水量、土壤毛根含量、腐殖质含量关系密切, 土壤抗冲性变化规律与抗蚀性吻合, 土壤抗蚀性强弱与抗冲性强弱趋于一致。

**关键词:** 土壤抗蚀性 土壤抗冲性 地埂林

**中图分类号:** S157.1, S573

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2000)01-0033-05

## Study on Soil Anti-erosion and Anti-scour of Prickly Ash at Edges of Terraces in Drought Upland of Weibei

WANG Zhong-lin LI Hui-ke HE Xiu-xian

(Northwest Science and Technology University of Agriculture and Forestry Yangling Shaanxi 712100)

**Abstract** Indicators of soil anti-erosion and anti-scour of prickly ash at edges of terraces were analysed. The result showed that root systems of prickly ash at edges of terraces had significant benefit for fixing edges of terraces and conserving soil. The contents of humus, aggregate with stable water, the rate of air-dry of stable water aggregate, aggregation state, degree of aggregate were higher than those in no prickly ash land while soil dispersion and coefficient of dispersion of former were lower than latter. Soil anti-scour was close to tree age, water by scoured, numbers of smaller roots and humus content. Change of soil anti-scour was agreement with soil anti-erosion.

**Key words** soil anti-erosion soil anti-scour prickly ash at edges of terraces

林地土壤抗蚀抗冲性研究, 国内不少人做过这方面的研究报导, 但对于黄土塬面上地埂林地, 特别是花椒地埂林土壤抗蚀抗冲性研究, 国内报导不多, 为进一步探讨地埂花椒林护埂固土机制, 我们对地埂花椒林土壤抗蚀抗冲性能进行了连续3年的测定分析。

### 1 调查区的自然概况

测定试验地位于陕西淳化地母庄村, 年均气温

9.6℃, 10℃活动积温3218℃, 年均降水量600.6mm, 全年太阳辐射量5043.5kJ/m<sup>2</sup>, 日照百分率54%, 日照时数2372h, 干燥度1.25, 属于暖温带半湿润地区森林草原地带。土壤以圪土、瘠土为主。所选择的地埂花椒林样地, 埂高15~20cm、埂宽20~25cm、地坎高1.5~1.8m, 台田宽12~30m, 长150~200m, 树龄6~10a, 株距1.8~2.0m, 树高2~2.8m, 地径4.5~6cm, 冠幅平均1.8~2.25m, 种植作物为小麦。

\* 收稿日期: 2000-01-01

国家“九五”重点科技攻关计划项目, 编号为96-004-05-07。

2 研究方法

2.1 采土样

选择代表性样地 5 块, 对照选取同花椒地埂林立地条件相同的无林地埂地。沿地埂取土壤剖面, 每块地埂上取 2 个, 按土层 0~ 20 cm、20~ 40 cm、40~ 60 cm 三个层次分别在两边和中间三个位置各取土样, 并混合后作为各层分析土样。然后整理土壤剖面, 分别在各层取 5 cm × 5 cm × 10 cm 原状土块样。混合样土及土块样在室内进行测定分析, 为探讨根系含量与抗冲性能关系, 对花椒林土壤根系含量也进行了调查测定。

2.2 室内分析

2.2.1 土壤抗冲性测定 将采集的土柱, 利用冲刷槽法来测定抗冲性, 将原状土块先放入水砂盆中, 使其经 15 min 毛管吸水达到饱和状态, 称重后置于长 100 cm、宽 6.2 cm、高 6 cm 的冲刷槽内, 调节好坡度, 以不同的流量分别放水冲刷, 水量由冲刷时间控制。冲刷完毕, 取出剩余土样, 静置 10 min, 以控去重力水再称重, 算出冲刷模数。

2.2.2 土壤抗蚀性能测定

抗蚀指数测定: 选择 0.5~ 0.7 cm 粒径的土壤 25 颗, 放在 0.5 cm 孔径筛子上浸入水中, 每隔 1 min 计录崩塌的土粒数, 连续记录 10 min, 然后计算出抗蚀指数。

土壤腐殖质、水稳性团粒测定: 土壤腐殖质测定采用重铬酸钾容量法, 水稳性团聚体, 用土壤团粒分析仪测定风干水稳性团聚体, 土壤机械成份分析

采用吸管法, 以六偏磷酸钠为分散剂; 毛管饱和土壤水稳性团聚体分析采用将海绵置于容器中, 使下部浸水, 上放滤纸, 将土样置无底筒内, 使土样吸水至达饱和含水量为止, 然后进行水稳性团聚体分析; 微团聚体分析, 采用将样品在水中浸泡 24 h 振荡 2 h, 用吸管法定定粒级组成。

2.2.3 指标计算

冲刷模数  $M = \frac{G_1 - G_2}{Q}$

式中:  $M$  ——冲刷模数 (g/L);  $Q$  ——冲刷所用水量 (L);  $G_1$ 、 $G_2$  ——冲刷前后的土样重 (g)。

抗蚀指数 (%) =  $\frac{\text{总土粒} - \text{崩塌土粒}}{\text{土粒总数}} \times 100\%$

团聚状况 = ( $> 0.05$  mm 微团聚体分析值) - ( $> 0.05$  mm 机械分析值)

团聚度 (%) =  $\frac{\text{团聚状况}}{> 0.05 \text{ mm 微团聚体分析值}} \times 100\%$

分散率 (%) =  $\frac{\leq 0.05 \text{ mm 微团聚体分析值}}{< 0.05 \text{ mm 机械分析值}} \times 100\%$

分散系数 (%) =  $\frac{\leq 0.001 \text{ mm 微团聚体分析值}}{< 0.001 \text{ mm 机械分析值}} \times 100\%$

水稳性团聚体风干率 (%) =  $\frac{\text{风干土水稳性团聚体含量}}{\text{毛管饱和土水稳性团聚体含量}} \times 100\%$

3 结果及分析

3.1 地埂花椒林土壤腐殖质含量与水稳性团聚体含量

表 1 地埂林地土壤腐殖质含量及团聚体含量比较

类 型		不同土层腐殖质含量/%				不同土层水稳性团聚体含量/%				表层(0~ 5 cm) 水稳性团聚体风干率/%	
		土层深度/cm	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	> 0.5 mm
花椒地埂	1997	2.36	1.73	0.85	1.65	23.75	22.90	10.45	19.03	30.70	37.65
	1998	2.27	1.08	0.97	1.44	25.50	14.40	12.50	17.47	45.60	48.40
	1999	2.25	1.60	1.16	1.67	19.71	13.58	10.61	14.63	62.29	75.49
	平均	2.29	1.47	0.99	1.58	22.99	16.96	11.19	17.05	46.20	53.85
无林地埂	1997	1.44	1.11	0.72	1.09	16.90	19.10	8.90	14.97	10.50	19.10
	1998	1.47	0.86	0.81	1.05	11.70	8.30	8.00	9.33	16.00	17.80
	1999	1.45	1.25	0.95	1.22	10.02	7.89	6.64	8.18	29.84	40.36
	平均	1.45	1.07	0.83	1.12	12.87	11.76	7.85	10.83	18.78	25.75

注: 以上数值 5 块样地各年平均值。

土壤腐殖质是提高土壤肥力, 形成土壤水稳性团粒的胶结剂。水稳性团聚体有较强的水稳性, 是衡

量土壤抗蚀性重要指标。水稳性团粒含粒高的土壤, 土体抵抗雨滴的溅蚀力强, 土粒与水的亲和力低, 土

壤不易被径流分散和悬浮, 土壤抗蚀力就强。

3.1.1 土壤腐殖质含量及变化 通过连续 3 年对 5 块样地测定结果表明(表 1)花椒地埂林土壤腐殖质含量比无林埂高 41.07%, 各层含量皆高于无林埂地, 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 土层分别比无林地埂增加腐殖质含量 57.93%、37.38%、19.28%。由于花椒每年有大量枯枝落叶进入土壤腐烂分解及根系生物化学作用, 使得土壤有机质含量增加。地埂土壤腐殖质含量自上而下逐渐降低, 林地土层土壤腐殖质含量降低幅度大。

3.1.2 水稳性团聚体含量变化 表 1 中看出花椒地埂林土壤水稳性团聚体含量及各层土壤水稳性团聚体含量均高于无林地埂土壤。水稳性团聚体含量平均增加 57.43%, 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm, 土层分别增加 78.63%、44.22%、42.55%。水稳性团聚体含量自上而下的变化规律与土壤腐殖质变

化规律基本吻合。随土层深度增加水稳性团聚体含量下降。

3.1.3 表层土壤水稳性团聚体风干率 日本川村秋男等人从溅蚀角度研究侵蚀度与团聚体含水量的关系, 发现团聚体处于毛管饱和水状态时, 水稳性最高; 风干状态时, 水稳性最低, 并从试验中得知, 水稳性团聚体风干率与土壤抗蚀性呈正相关。因此风干率可作为土壤抗蚀性指标。表 1 中可看出: 表层(0~5 cm)水稳性团聚体风干率高于无林地埂。 $>0.5$  mm、 $>0.25$  mm 水稳性团聚体风干率分别比无林地埂高 1.46 倍、1.09 倍。 $>0.25$  mm 水稳性团聚体风干率高于 $>0.5$  mm 水稳性团聚体风干率。这表明花椒林地埂林土壤抗蚀性强, 这与土壤团粒结构的组成及土壤含有大量毛细根网络土壤颗粒, 增加水稳性团聚体含量有关。

表 2 花椒地埂林土壤抗蚀指数、分散率、团聚状况、团聚度及分散系数

类 型		抗蚀指数/%				土壤分散率/%				分散系数/%				团聚状况				团聚度/%			
土层深度/cm		0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均	0~ 20	20~ 40	40~ 60	平均
花椒地埂	1997	60	59	54	57.7	34.44	38.11	40.11	37.55	32.69	33.68	37.20	34.59	59.4	46.4	36.5	47.43	46.16	36.54	29.19	37.30
	1998	67	89	84	87.7	36.04	36.07	40.91	37.67	33.74	34.03	36.04	34.60	69.7	49.4	38.3	52.47	45.62	43.33	42.46	43.80
	1999	87	85	82.8	84.9	41.49	44.25	47.47	44.40	31.57	33.75	36.92	34.08	47.63	43.69	40.96	44.09	79.11	74.25	72.56	75.31
	平均	79	77.7	73.6	76.8	37.32	39.48	42.83	39.88	32.67	33.89	36.72	34.43	58.91	46.50	38.59	48.00	56.96	51.37	48.07	52.13
无林地埂	1997	47	36	20.0	34.3	40.05	45.75	50.70	45.50	38.6	40.77	43.44	40.94	33.44	30.82	20.11	28.12	43.66	39.68	33.44	38.99
	1998	67	56	25	49.3	41.59	45.86	48.53	45.33	37.22	42.65	46.51	42.13	28.8	26.8	18.7	24.77	37.93	36.67	30.22	34.94
	1999	64	52	48	54.7	55.46	58.41	65.44	59.77	39.11	41.97	45.23	42.10	31.28	29.79	25.08	28.72	67.5	66.33	59.97	64.60
	平均	593	48.0	31.0	46.1	45.70	50.01	54.89	50.20	38.31	41.80	45.06	41.72	31.17	29.14	21.30	27.20	49.70	47.63	41.21	46.18

3.2 以微团聚体含量为基础的抗蚀性指标

3.2.1 土壤抗蚀指数 土壤抗蚀指数反映土壤抗崩塌能力, 测定结果表明(表 2), 土壤抗蚀指数花椒埂林为 76.8%, 无林地埂为 46.1%, 花椒地埂林土壤有较强的固持土壤能力, 抗崩塌能力强。花椒地埂林各层土壤抗蚀指数分别比无林埂高 33.22%、61.88%、137.42%。土壤抗蚀指数自上而下逐渐降低。抗蚀指数大小与土壤腐殖质含量、根系含量等因素有关。

3.2.2 土壤团聚状况和团聚度 团聚状况表示土壤颗粒的团聚程度, 其值愈大, 抗蚀性愈强。团聚度以 $>0.05$  mm 微团聚体占土壤相应粒级的百分含量表示土壤抗蚀性强弱。3 年测定结果表明: 花椒地埂林土壤团聚状况、团聚度均高于无林地埂土壤。团聚状况、团聚度分别比无林地埂土壤高 76.47%、12.88%。团聚状况、团聚度自上而下逐渐降低这与土壤根系分布、腐殖质含量变化趋势相一致。测定结

果可看出有林地埂土壤不易崩散, 团聚程度高, 抗水蚀能力相应高。

3.2.3 土壤分散率、分散系数 分散率表示土壤易蚀性指标, 以微团聚体分析中低于 $0.05$  mm 粒级的含量与机械分析中相应粒级含量的比值表示土壤的分散性, 愈易分散的土壤在微团聚体分析中小于该粒级颗粒含量愈高, 分散率愈大。分散系数与分散率一样, 只将分析计算的粒级直径改为 $0.001$  mm。由表 2 中可看出, 地埂花椒林土壤分散率、分散系数均低于无林地埂, 花椒埂林土壤分散率、分散系数分别为 39.88%、34.43%, 无林地埂土壤分别为 50.20%、41.72%, 花椒埂林土壤分散率、分散系数分别比无林埂土壤低 20.56% 和 17.47%。土壤分散率、分散系数的层次变化规律自上而下逐层增加, 土壤分散程度增强, 固结土壤能力削弱。花椒埂林整个土层分散率、分散系数都显著低于无林埂, 表明林地土壤分散程度低, 固结土壤能力强, 抗蚀性高。

3.3 花椒地埂林土壤抗冲性能

3.3.1 花椒埂林土壤冲刷模数变化 冲刷槽作冲刷试验, 试验在同一坡度, 冲刷水量 5 L, 冲刷历时 5 min 条件进行的, 并重复 5 次, 求平均值  $M$ 。连续两年试验结果 5 块样地平均值如表 3:

表 3 地埂花椒林土壤冲刷模数					
类 型		不同土层冲刷模数/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$			平均/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
		0~ 20 cm	20~ 40 cm	40~ 60 cm	
花椒地埂	1998 年	2.70	7.27	7.79	5.92
	1999 年	3.08	5.29	6.60	4.99
	平均	2.89	6.28	7.20	5.46
无林地埂	1998 年	6.74	8.25	8.80	7.93
	1999 年	7.38	7.75	9.84	8.32
	平均	7.06	8.00	9.32	8.13

注: 表中值为 5 块样地年平均值。

表 3 中可看出, 花椒地埂林不同土层及整个土层土壤冲刷模数均小于无林地埂, 平均土壤冲刷模数比无林地埂小 32.84%, 0~ 20 cm、20~ 40 cm、40~ 60 cm 土层分别比无林地埂小 59.07%、21.5% 和 22.75%。地埂花椒林土壤抗冲性强这主要由花椒林土壤含有大量毛根网络土壤, 土壤有机质含量高, 有良好的团粒结构, 使土壤团聚性能高, 抗蚀性强, 固结土壤能力及护埂保土作用程度高。

3.3.2 影响土壤抗冲性的因子分析

(1) 不同树龄林地土壤抗冲性。测定结果表明:

表 4 不同树龄花椒地埂林土壤冲刷模数 $\text{g/L}$				
树龄/a	5	6	9	10
0~ 20 cm	3.96	3.65	3.15	2.16
20~ 40 cm	9.40	8.76	5.89	3.80
40~ 60 cm	9.57	9.02	6.21	5.83
平 均	7.64	7.14	5.08	3.93

注: 表中值为三块同龄埂林平均值。

随树龄的增高, 其抗冲性也随之增强,  $M$  值渐小。5 年生椒林土壤冲刷模数平均比 10 年生椒林土壤大 3.71 g/L, 各土层分别大 1.8 g/L、5.6 g/L、3.74 g/L。这与随树龄增加, 林木根系不断扩大, 毛细根增多, 固结土壤能力逐渐增强有关。

表 6 地埂花椒林土壤毛根含量对冲刷的影响														
< 1 mm 毛根含量/ $\text{g} \cdot 1\,000\text{ cm}^{-3}$	1.599	1.624	1.648	1.696	2.111	2.526	2.549	2.561	2.573	2.818	3.063	3.795	4.526	...
$M$ 值/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	7.64	7.48	7.31	6.98	6.495	5.74	5.63	5.53	5.35	4.27	4.22	4.19	4.17	...

根据分析结果及测定数据, 经计算机运算, 地埂花椒林土壤  $M$  值与毛根含量  $X$  关系模型相关方程为二次函数:

(2) 不同冲刷水量对土壤抗冲性作用。试验结果表明(表 5)随着冲刷水量的增加, 土壤抗冲性削弱,  $M$  值增大。冲刷量由 2 L 增至 8 L, 花椒地埂林土壤冲刷模数由 3.93 g/L, 增加到 6.98 g/L, 无林地埂林土壤冲刷模数由 5.71 g/L 增加到 8.56 g/L。随着冲刷水量增加, 冲刷模数增加幅度花椒地埂林土壤相应要大, 抗冲性逐渐降低。不同冲刷水量土壤冲刷模数花椒埂林要小于无林埂地, 可见花椒地埂林土壤抗冲性强。

表 5 不同冲刷水量土壤冲刷模数 $\text{g/L}$					
地类	冲刷水量/L	不同土层冲刷模数			平 均
		0~ 20 cm	20~ 40 cm	40~ 60 cm	
花椒地埂林	3	2.16	3.80	5.83	3.93
	5	2.91	5.89	6.41	5.07
	8	3.17	8.76	9.02	6.98
	平均	2.75	6.15	7.09	5.33
无林地埂	3	3.08	5.29	8.76	5.71
	5	7.06	8.00	9.32	8.13
	8	6.70	9.40	9.57	8.56
	平均	5.61	7.56	9.22	7.47

(3) 土层毛根含量对冲刷的作用。经调查表明: 6~ 8 年生花椒林根系在 0~ 60 cm 土层中含量 66.2 g/m<sup>3</sup>, 其中 < 1 mm 毛根长度占 94.1%。1~ 3 mm 细根占 3.3%, > 3 mm 粗根占 2.6%; 按重量, 毛根占 27.8%, 细根占 12.8%, 粗根占 59.4%。毛根含量的增加, 有效地网络固结着土壤, 使土壤不易被冲散, 增强了土壤的抗蚀抗冲性能。毛根分布集中于 0~ 20 cm, 20 cm 以下毛根量减少, 60 cm 以下毛根更少, > 3 mm 根增多。毛根的垂直分布规律与冲刷模数  $M$  值十分密切。由表 6 可以看出, 当毛根含量多时,  $M$  值减小, 抗冲性增强, 相反, 土壤毛根含量少时,  $M$  值增大, 抗冲性减弱, 毛根起着网络土体阻挡和牵拉土粒的作用。根据调查测定数据分析, 可看出土壤冲刷模数与土壤毛根含量呈负相关关系。毛根含量多, 土壤抗崩能力愈强, 抗冲性也愈强, 反之, 则抗崩性、抗冲性也愈弱。

$M = 0.598\,9X^2 - 4.815\,5X + 13.692$   
相关系数  $r = 0.9443$   
(4) 土壤腐殖质含量对冲刷的作用。由表 1、3 中

可看出随着土层腐殖质含量的增加,  $M$  值减小, 土壤抗冲性提高。土层自上而下腐殖质含量降低,  $M$  值自上而下提高, 抗冲性自上而下削弱。可见, 土壤抗冲性与土壤腐殖质含量关系密切。腐殖质含量增加表明土壤有着良好的团粒结构, 它是形成土壤水稳性团粒的胶结剂, 土壤水稳性团粒含量高, 团聚程度高, 固结土粒能力强, 因而抗冲刷能力增强, 抗冲性高。

### 3.4 土壤抗冲性与抗蚀性关系

由前面分析可以看出, 土壤抗冲性与抗蚀性关系密切, 土壤抗蚀性强, 抗冲性也强, 土壤抗冲性的变化规律与抗蚀性变化趋势基本吻合。

土壤冲刷模数与土壤腐殖质含量、水稳性团聚体含量、土壤毛根含量呈负相关关系。

设  $M$  为土壤冲刷模数,  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$  分别为土壤毛根含量 ( $\text{g}/1000\text{ cm}^3$ )、土壤腐殖质含量 (%)、土壤水稳性团聚体含量 (%)。

根据调查测定数据, 逐步回归配线性方程, 经计算机运算, 结果得出回归方程为:

$$M = -0.173x_1 - 0.2x_2 - 0.32x_3 + 11.316$$

$$\text{复相关系数 } R = 0.9476$$

从上述关系可看到, 毛根含量、腐殖质含量、水稳性团聚体含量增加,  $M$  值减小, 土壤抗冲性增强, 由此说明, 土壤抗蚀性的强弱与土壤抗冲性的强弱是一致的。这是因为土壤抗蚀性越强, 标志着土壤结

构体的水稳性越强, 结构体不易崩解分散, 加之毛根的网络, 使之不易被水冲走, 故土壤抗冲性就越强。

## 4 结 论

(1) 地埂花椒林土壤抗蚀性能高于无林埂。土壤抗蚀指数、腐殖质含量、水稳性团聚体含量、团聚状况、团聚度及水稳性团聚体风干率均高于无林埂。土壤分散率、分散系数低于无林埂。土壤抗蚀指数、腐殖质含量、水稳性团聚体含量、土壤团聚状况、团聚度自下而上变化规律基本吻合。自上而下逐渐降低, 而分散率、分散系数自上而下逐渐增加。

(2) 地埂花椒林土壤抗冲性能高于无林埂。土壤冲刷模数小于无林埂。随树龄提高, 其抗冲性也随着增强,  $M$  值愈小; 随冲刷水量增加, 冲刷模数  $M$  增加, 抗冲性降低, 不同冲刷水量下, 土壤  $M$  值均小于无林埂林。土壤毛根含量与土壤抗冲性呈正相关, 毛根含量愈多, 抗冲性也愈强。土壤腐殖质含量的增加, 土壤抗冲性也随之增强。

(3) 土壤抗冲性与抗蚀性关系密切。土壤抗冲性变化规律与抗蚀性吻合, 土壤抗蚀性强弱与抗冲性强弱趋于一致。土壤抗冲性与土壤  $< 1\text{ mm}$  毛根含量、土壤腐殖质含量、水稳性团聚体含量关系密切, 它们之间相关关系如下方程:

$$M = -0.173x_1 - 0.2x_2 - 0.32x_3 + 11.316$$

### 参考文献

- 1 孙立达, 朱金兆主编 水土保持林体系综合效益研究与评价[M] 北京: 中国科学技术出版社, 1995 195~ 234
- 2 王忠林等 花椒地埂林土壤抗蚀性研究[J] 西北林学院学报, 1998(2): 30~ 33
- 3 王佑民, 刘秉正等著 黄土高原防护林生态特征[M] 北京: 中国林业出版社, 1994 187~ 219
- 4 吴钦孝, 杨文治主编 黄土高原植被建设与持续发展[M] 北京: 科学出版社

(上接第17页)

### 参考文献

- 1 黄河水利委员会 西北黄土地区坡地固体径流和液体径流形成过程的初步研究 黄河建设, 1957, (12): 17~ 29
- 2 郭继志 关于坡度与径流量和冲刷关系问题的探讨 黄河建设, 1958, (3): 47~ 48
- 3 中国科学院地理研究所水文研究室 黄土坡耕地水土流失计算方法的探讨 地理学报, 1966, 32(2): 140~ 155
- 4 孙阁 林地地表径流的研究 水土保持学报, 1989, 3(2): 52~ 55
- 5 贾绍凤, 梁季阳 黄土高原降雨、径流、产沙相互关系研究 水土保持学报, 1992, 6(3): 42~ 47
- 6 王贵平, 贾志军, 蔡强国, 陆兆熊 晋西黄土丘陵沟壑区坡面径流预报模型研究 中国水土保持, 1992, (3): 16~ 19
- 7 王百田, 王斌编 黄土坡面地表处理与产流过程研究 水土保持学报, 1994, 8(2): 18~ 24
- 8 张光辉, 梁一民 模拟降雨条件下人工草地产流产沙过程研究 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 56~ 59
- 9 吴发启, 赵晓光, 刘秉正, 唐克丽 黄土高原南部缓坡耕地降雨与侵蚀的关系 水土保持研究, 1999, 6(2): 53~ 56
- 10 中国科学院黄土高原综合科学考察队 中国黄土高原地区坡度分级数据集 北京: 海洋出版社, 1990
- 11 王万忠 黄土高原降雨特征与土壤流失的研究 水土保持通报, 1983, (4): 7~ 13