

聚丙烯酸钠对 3 种土壤持水能力及作物产量的影响^{*}

庄文化^{1,2,3}, 吴普特^{1,2,*}, 冯浩^{1,2}, 徐福利^{1,2}, 李卓², 宁荣昌⁴

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100;
3. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 4. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要: 在离心机模拟不同水吸力条件下, 研究了聚丙烯酸钠(sodium polyacrylate 记作 SP) 5 种使用浓度(占干土质量 0, 0.01%, 0.08%, 0.2% 与 1%) 对 3 种土壤(砂土、壤土、黏土) 持水能力的影响; 采用大田试验研究了地表撒施 2 g/m² SP 对冬小麦与下季玉米产量及 WUE 影响。结果表明: 3 种土壤在 0.01 MPa 至 1.5 MPa 水吸力下的持水能力随着 SP 用量的增加而增加, 砂土的作用效果较壤土、黏土更显著; 3 种土壤适宜浓度为 0.08% ~ 0.2%, 最佳用量为 0.2%, 此用量条件下砂土、壤土、黏土的最大毛管持水量分别较对照增加了 138.61%, 7.22%, 62.70%; 不灌水条件下, SP 处理较不施用 SP 冬小麦增产 4%, WUE 增加 5.7%, 灌浆期灌水 28.5 mm 条件下 SP 处理较不施用 SP 增产 1%, WUE 降低 1%; SP 处理的玉米产量较对照降低 0.5%, WUE 提高 3%, 效果明显低于对冬小麦效果。

关键词: 聚丙烯酸钠; 持水能力; 冬小麦; 玉米; 水分利用效率

中图分类号: S156.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2008)04-0153-05

Influence of Sodium Polyacrylate on Water-holding Capacity of Three Different Soils and Effects on Yield of Crop

ZHUANG Wen-hua^{1,2,3}, WU Pu-te^{1,2,*}, FENG Hao^{1,2}, XU Fu-li^{1,2}, LI Zhuo², NING Rong-chang⁴

(1. Institute of Soil and Water Conservation, CAS & MWR, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, shaanxi 712100; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049; 4. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, Shaanxi 710072)

Abstract: The effects of sodium polyacrylate (SP) on soil water-holding capacity at different suctions of sand, silt and clay were evaluated by using centrifugal Method. Five rates of SP, 0.0%, 0.01%, 0.08%, 0.2%, and 1% (on dry weight basis), were added to these three soils. The effects of SP on yield and WUE of winter wheat and the following maize were studied. SP was dusted on the upper layer with 2gm/m² after the wheat was sown and the maize was planted on the field without any treatments after the wheat was harvest. The results show that the amount of water retained by the soil at each suction over the range of 0.01MPa to 1.5 MPa significantly increased with increase of SP; The effects on sand were more obviously than silt and clay; It is suggested the concentrations of SP be controlled from 0.08% to 0.2% by weight and the best rate is 0.2% of each soil. Then the capillary prosity of sand, silt and clay were increased 138.61%, 37.22%, 62.70% respectively compared to the CK. Without added irrigation, the yield and WUE of SP treated wheat were increased 4% and 5.7% respectively compared to the CK while increased 1% and -1% respectively with added 28.5mm irrigation at filling stage. The yield and WUE of the maize planted on the SP treated plot were increased -0.5% and 3% respectively compared to CK. The effect of SP on the yield and WUE of maize was less obviously than on the wheat.

Key words: sodium polyacrylate; water-holding capacity; winter wheat; maize; WUE

季节性干旱缺水是制约我国干旱半干旱地区农业发展的瓶颈, 如何提高有限水资源的利用率与利用效率成为农业领域的研究热点与难点。广大科技工作者围绕提高土壤持水与供水能力展开了科学研究^[1], 得出了大量有益结论。高分子保水剂作为一种新型的化学调控措施与手段被提出并应用到农林业生产中, 受到越来越

* 收稿日期: 2008-01-14

* 通讯作者 E-mail: gjzwpt@vip.sina.com

基金项目: 国家“863”计划项目(2006AA100204); 新世纪优秀人才支持计划项目(01140602); 高等学校学科创新引智计划资助

作者简介: 庄文化(1982-), 男, 在读博士, 主要研究方向为水土资源高效利用。

越多的重视。

保水剂又称作土壤改良剂、高吸水树脂和高分子聚合物。因为其特殊的分子结构与大量的亲水基团能够吸持自身重量几百倍甚至上千倍的纯水,同时通过粘结土粒与自身溶胀改良土壤结构。Sivapalan^[2]通过模拟试验发现,砂土中施入 0.03% 与 0.07% 的交联聚丙烯酰胺时的持水量在水吸力为 0.01MPa 时较对照分别提高了 23% 与 95%。冯浩^[3]通过室内试验和人工模拟降雨试验发现聚丙烯酸、聚乙烯醇、脲醛树脂 3 种高分子聚合物均能够改良土壤结构,提高土壤水稳性团粒含量,土壤持水能力平均较对照提高 2.8 倍。黄占斌等^[4]、员学锋等^[5]发现土壤中添加的高分子可增强易分散微粒间的粘聚力,形成较大团粒结构,特别是大于 1 mm 的团聚体比例增长迅速。黄占斌等^[6]、张国桢等^[7]通过实验发现高分子保水剂改善了土壤空隙的组成,使表层土与下层土的水势梯度变陡,减缓了土面蒸发强度,增加土壤的持水量。Al-Humaid A I^[8]通过对扭子树幼苗的存活与生长试验发现,相同的干旱胁迫条件下,在栽培土壤中加入 0.6% 高分子保水剂能够使幼苗的存活时间较对照延长 66%,新枝与根部生长量较对照有显著提高。Agassi M 等^[9]、Lentz R D 等^[10]发现高分子材料 PAM 不会对土壤与地下水造成污染,还能减少肥料、杀虫剂、生物需氧量对地下水的污染。

超高分子量聚丙烯酸钠(分子量 1 500~2 000 万),具有更高吸水倍数与吸水速率,且价格低廉,具有广阔的应用前景。笔者采用室内模拟实验研究了聚丙烯酸钠对砂土、壤土、黏土 3 种土壤持水能力的影响;采用大田冬小麦、夏玉米轮作试验,研究了表土施用聚丙烯酸钠对当季与下季作物产量及 WUE 的影响。旨在得出不同土壤施用聚丙烯酸钠的适宜用量及表施聚丙烯酸钠对作物产量及 WUE 的影响,为聚丙烯酸钠的推广应用提供理论依据与实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料

聚丙烯酸钠(sodium polyacrylate 简称 SP),由西北工业大学生产并提供,分子量(1 500~2 000 万),无色无味,大小均匀(直径 0.2 mm 左右)球状半透明晶体颗粒。

1.2 室内试验研究方法

1.2.1 供试土壤 试验以杨凌节水园(A)、法喜村(B)、岭后村(C) 0~20 cm 表土为供试土壤,属黄壤土类,土壤质地分类参考国际土壤质地分类标准,其主要土壤物理性状见表 1。

表 1 土壤物理性状

采样点	田间持水量/ %	土壤容重/ (g·cm ⁻³)	机械组成/ %			土壤类别
			砂粒	粉粒	粘粒	
			2~0.02 mm	0.02~0.002 mm	<0.002 mm	
A	12.5	1.516	80.04	14.31	5.65	砂土
B	25.8	1.324	9.38	65.66	24.96	壤土
C	29.5	1.208	6.55	61.08	32.37	黏土

1.2.2 试验设计 采用 2 因素完全试验设计:(1)土壤类型(砂土、壤土、黏土);(2)聚丙烯酸钠用量(0, 0.01%, 0.08%, 0.2%, 1%)。试验重复 4 次,结果取其均值。

1.2.3 测定项目及方法 试验前将取好的土壤自然风干后过 2 mm 筛子备用。按试验设计称取一定量高分子化合物与备用土壤混合均匀后取 100 g 干土装入环刀(重 g_1),土壤密度分别控制在砂土 1.5 g/cm³,壤土 1.3 g/cm³,黏土 1.2 g/cm³ 左右。将装好土的环刀放入离心盒后,放在水中从盒底向上饱和(不能让水面超过土面),充分饱和后取出离心盒放置一段时间,排除重力水后称量,然后测定在不同水吸力(s)下的环刀质量(g_2),不同水吸力下的土壤含水量 (%)利用如下公式计算: $= (g_2 - g_1 - 100) / 100$ 。将水吸力 $s = 0.01$ MPa 与 $s = 1.5$ MPa 时的含水量视作最大毛管持水量与凋萎含水量,分别记作 $w_{0.01}$ 与 $w_{1.5}$,二者的差记作有效水(w_e)含量,即: $w_e = w_{0.01} - w_{1.5}$ 。

测定结果用 Excel 进行作图并进行回归分析计算,用 SPSS 11.0 进行多重比较。

1.3 大田试验研究方法

1.3.1 研究区概况 实验小区位于陕西关中平原西部的杨凌区五泉乡岭后村,地处东经 107°59' - 108°09',北纬 34°14' - 34°24',属于暖温带半湿润季风气候区,年平均蒸发量 884.0 mm,年平均降水量 637.6 mm,年内降雨分配不匀,60%以上的降雨集中在 7,8,9,10 四个月,年际变化大,丰枯比为 3.0,变差系数为 0.25。供试

土壤为中等肥力黏土,土壤基本性状见表 1 中的黏土 C。

1.3.2 试验设计与处理 采用 2 因素 2 水平完全设计:(1)灌水:W₀,不灌水;W₁,2007 年 5 月 2 日灌水 1 次 28.5 mm;(2)聚丙烯酸钠:S₀,不施用聚丙烯酸钠;S₁,施用聚丙烯酸钠 2 g/m²。试验小区规格 5 m ×4 m,各小区重复 4 次,共 16 个小区,随机排列。

试验地选择大田中间位置以尽量避免边界效应,冬小麦品种西农 979,2006 年 10 月 5 日播种,施统一底肥,将聚丙烯酸钠与过筛风干土拌匀后撒于个小区表层,2007 年 5 月 2 日按处理浇水 28.5 mm,6 月 5 日收获。夏玉米品种德龙 958,小区沿用冬小麦小区处理,不进行浇水与施用聚丙烯酸钠处理。

1.3.3 测定项目及方法 冬小麦与夏玉米播种前与收获后分别用取土烘干法测定其 0 - 160 cm 每 10 cm 的含水量,播种前与收获后 160 cm 土壤总的含水量之差记作土壤耗水量 W_s (mm);降雨量 P(mm)利用试验区微型气象站获取;收获时,以各小区实际产量计产,结果取 4 个小区均值作为各个处理产量 Y(kg)。灌水量用 W_j 表示。水分利用效率 WUE(kg/(mm ·hm²))按如下公式计算:WUE = Y/(P + W_s + W_j)。

2 结果与分析

2.1 对土壤持水能力影响

聚丙烯酸钠不同用量(SP%)对砂土与黏土持水能力的影响见图 1、图 2,对壤土的影响规律同上述两种土壤。从图中可以看出,SP 处理增加了各个水吸力下的土壤持水能力,且用量越高持水能力越强。同时可以看出 SP 处理在较低吸力段与中吸力段都能保持一定的含水量递减,而对照处理在中吸力段曲线即出现平缓趋势,即含水量基本没有变化,失去了供水能力。说明 SP 处理提高土壤持水能力的同时延缓了土壤的失水过程,保证了土壤中吸持的水分能够缓慢释放出来供植物利用。SP 在提高提高土壤有效水分 e ($e = 0.01 - 1.5$) 的同时,也增加了无效水分 (1.5) 的含量,各个浓度处理的土壤持水量与水吸力都满足 $= as^b$ (a, b 为常数) 的幂函数关系(显著性水平 $P = 0.01$),其回归方程参数 a, b 与相关系数 R^2 以及各个处理含水量情况见表 2。从表 2 可以看出,3 种土壤水吸力 s 与对应土壤含水量 w 的幂函数关系相关系数都达到了极显著水平(砂土与黏土 $R^2 > 0.97$,壤土 $R^2 > 0.99$)。分析参数 a 可以看出,黏土 > 壤土 > 砂土,与土壤的持水能力黏土 > 壤土 > 砂土规律一致,即 a 值能够从一定程度上反映土壤的持水能力,这与赵世伟等^[11] 的实验结果相同。同种土壤 a 值随着 SP 用量的提高而增大,表明 SP 施入土壤能够提高土壤的持水能力,且用量越大,提高幅度越高。SP 4 个浓度处理都从不同程度上提高了最大毛管持水量 0.01 与凋萎含水量 1.5 。 0.01% 浓度处理 3 种土壤的 0.01 与 1.5 较对照增加最大值不足 5%,在 $P = 0.05$ 水平差异不显著; $0.08\%, 0.2\%, 1\%$ 3 个浓度处理的 3 种土壤 0.01 与 1.5 值与对照差异都达到极显著水平($P = 0.01$)。从增加有效水分角度看, 0.01% 浓度处理较对照没有达到增加土壤持水能力的效果。从 SP 用量增加量与 0.01 较对照增加量角度比较, 1% 浓度处理较 0.2% 浓度处理 SP 用量增加了 400%,最大毛管含水量 0.01 较对照增加量最大值不超过 200%,同时 1% 浓度处理的凋萎含水量 1.5 增加量较最大毛管含水量 0.01 增加量更为显著。因此 3 种土壤适宜用量范围为 $0.08\% \sim 0.2\%$,最佳浓度处理为 0.2% 。

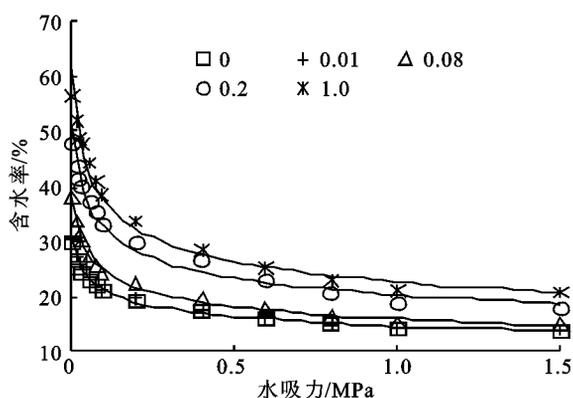


图 1 不同处理砂土持水量

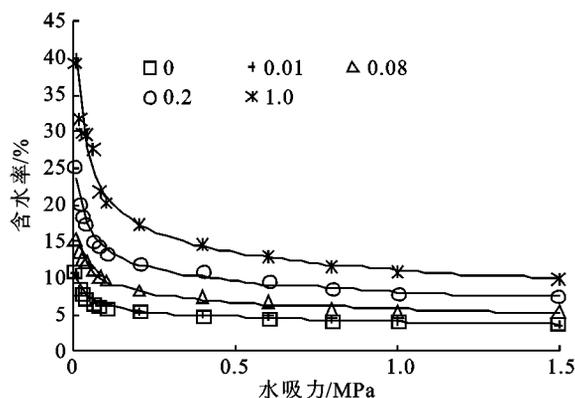


图 2 不同处理黏土持水量

2.2 对轮作冬小麦夏玉米影响

2.2.1 对当季冬小麦产量及水分利用效率影响 从表 3 可以看出,浇水与施用 SP 处理都能够增加小麦的产量, W₀S₁, W₁S₀, W₁S₁ 分别较对照增加了 4%, 3.4%, 4.5%, 增产效果均未达到显著水平 ($p = 0.05$), W₁S₁ 较 W₁S₀ 增产 1.03%, 低于 W₀S₁, 较 W₀S₀ 增产 4%, 即表施聚丙烯酸钠在浇水条件下的增产效果低于不浇水的

增产效果。160 cm 土壤耗水量 W_0S_1 较 W_0S_0 减少 5.6%, W_1S_1 较 W_1S_0 增加 8%, 即不浇水处理施用 SP 增产的同时减少了 160 cm 土壤耗水量, 原因可能是 SP 降低了土壤蒸发, 浇水条件下的 SP 处理出现土壤耗水量增加, 可能由于表层施用 SP 使一部分补充灌水滞留表土层被无效蒸发, 同时由于产量增加, 小麦耗水量增加, 所以会出现浇水较不浇水处理的土壤耗水量增加, 浇水条件下表施 SP 较不施用 SP 耗水量增加, 但差异性都没有达到显著水平。浇水处理显著 ($P=0.05$) 增加了总耗水量, 降低了 WUE, SP 处理对 WUE 影响受到土壤耗水量与浇水量的共同影响。 W_0S_1 较 W_0S_0 处理产量增加, 总的耗水量降低, 最终 WUE 增加 5.7%, 仍没有达到显著水平, W_1S_1 较 W_1S_0 产量增加, 总的耗水量增加, 最终 WUE 降低 1.2%。

表 2 不同处理对土壤持水曲线参数及水分含量的影响

用量 SP %	参数			毛管持水量/ %		较对照增加量/ %		有效水含量/ % e	
	a	b	R ²	0.01	1.5	0.01	1.5		
砂土	0	3.8163	-0.9837	0.9837	10.54d	3.52d	0.00	0.00	7.02
	0.01	3.9715	-0.1947	0.984	10.75d	3.67d	2.02	4.28	7.08
	0.08	5.6327	-0.2274	0.9936	15.36c	5.14c	45.73	45.97	10.22
	0.2	8.044	-0.2353	0.9908	25.14b	7.31b	138.61	107.78	17.83
	1	10.98	-0.2847	0.9887	39.18a	9.78a	271.83	177.97	29.40
壤土	0	11.344	-0.1852	0.9962	25.84d	10.52d	0.00	0.00	15.32
	0.01	11.433	-0.1858	0.9964	26.21d	10.6cd	1.42	0.76	15.60
	0.08	11.711	-0.1942	0.9974	28.18c	10.82c	9.05	2.85	17.35
	0.2	12.783	-0.2294	0.9958	35.46b	11.65b	37.22	10.69	23.81
	1	22.22	-0.1862	0.9985	51.54a	20.61a	99.48	95.81	30.94
黏土	0	14.659	-0.1553	0.9964	29.50d	13.76d	0.00	0.00	15.74
	0.01	14.539	-0.1626	0.996	30.38d	13.61d	2.96	-1.11	16.76
	0.08	15.812	-0.1922	0.9963	37.89c	14.63c	28.43	6.27	23.26
	0.2	20.239	-0.204	0.9768	48.00b	17.80b	62.70	29.33	30.20
	1	22.57	-0.2195	0.9837	56.47a	20.65a	91.43	50.03	35.82

注:同种土壤同一列不同字母表示差异性极显著 $P=0.01$ 。

2.2.2 对下一季夏玉米

表 3 不同处理对小麦玉米产量及水分利用效率的影响

处理	产量/ (kg · hm ⁻²)	160 cm 土壤		降雨量/ mm	浇水量/ mm	耗水总量/ mm	WUE/ (kg · hm ⁻² · mm ⁻¹)
		耗水量/ mm	mm				
小麦	W_0S_0	7816 ±402	102.1 ±5.7	250.2	0	352.3b	22.2a
	W_0S_1	8129 ±537	96.4 ±4.6	250.2	0	346.6b	23.5a
	W_1S_0	8087 ±508	111.1 ±6.2	250.2	28.5	389.8a	20.8b
	W_1S_1	8170 ±550	120 ±7.9	250.2	28.5	398.7a	20.5b
玉米	W_0S_0	6464 ±580	-127.4 ±13.5	455.5	0	328.1a	19.7a
	W_0S_1	6383 ±386	-136.4 ±12.2	455.5	0	319.1a	20.0a
	W_1S_0	6438 ±340	-128.8 ±12.1	455.5	0	326.7a	19.4a
	W_1S_1	6449 ±342	-138.6 ±14.6	455.5	0	316.9a	20.3a

产量及水分利用效率影响
从表 3 可以看出,夏玉米产量前茬不浇水处理 (W_0S_1 , W_0S_0) 与浇水处理 (W_1S_1 , W_1S_0) 之间的差异小于 1%, 明显低于同种处理不同重复之间的差异, 即前茬小麦的浇水处理对夏玉米产量影响非常小。施用 SP 处理 (W_0S_1 , W_1S_1) 较不施用 SP (W_0S_0 , W_1S_0) 减产 0.5%, 但差异不显著 ($P=0.05$), 即表施聚丙烯酸钠对下一季作物几乎没有效果。由于夏玉米生育期与雨季同期, 降雨一部分用于蒸散发, 一部分用来补充土壤水分, 所以 160 cm 耗水量出现负值, 施用 SP 处理负值更大, 表明土壤水分含量增加值更大, 较没有施用 SP 处理增加 7.3%。比较 4 种处理 WUE 看出, 前茬浇水处理对下一季的效果几乎为 0, 施用 SP 处理较未施用 SP 提高 3%, 其效果没有达到显著性水平。

3 结 论

(1) 聚丙烯酸钠能够提高砂土、壤土、黏土不同水吸力下的持水能力,其用量低于0.08%时与对照差异不显著;3种土壤适宜浓度为0.08%~0.2%,最佳用量为0.2%,此用量条件下砂土、壤土、黏土的最大毛管持水量分别较对照增加了138.61%,37.22%,62.70%;不同浓度处理在各个水吸力条件下也表现出砂土持水能力提高幅度高于壤土与黏土,即聚丙烯酸钠更适用于砂性土壤。

(2) 不灌水条件下,SP处理较不施用SP冬小麦增产4%,WUE增加5.7%,灌浆期灌水28.5mm条件下SP处理较不施用SP增产1%,WUE降低1%,即大田冬小麦表层施用聚丙烯酸钠 2 g/m^2 ,不利于灌浆期灌水对冬小麦的增产与WUE的提高。不灌水处理,较多情况为SP降低土壤蒸发,提高了对水分的利用,最终表现出提高作物产量,WUE增加。在灌水条件下,由于一次性水量较大,SP处理由于表面持水能力较强,大部分水分被吸持在地表,增加了无效蒸发量,而对照灌水后有部分水能够入渗到更深的土层供小麦利用,因此由于灌水所产生的增产效应对照比表层施用聚丙烯酸钠效果显著,出现灌水条件下表施聚丙烯酸钠增产效果较不灌水处理要低。在此建议采用开沟施或穴施等方法提高聚丙烯酸钠的施用深度,在增加土壤持水能力的同时避免增加地表无效蒸发。

(3) 表土施用聚丙烯酸钠对下一季玉米产量及WUE的影响明显小于对冬小麦产生的效果,即聚丙烯酸钠仅对当季作物有效。该结果是因为表施造成聚丙烯酸钠容易见光分解导致,还是因为该类化合物使用寿命较短导致,原因仍需要进一步试验研究。

参考文献:

- [1] 朱显谟. 试论黄土高原的生态环境与土壤水库[J]. 第四纪研究, 2000, 20(6): 514-520.
- [2] Sivapalan S. Benefits of treating a sandy soil with a crosslinked-type polyacrylamide[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2006, 46(4): 579-584.
- [3] 冯浩, 吴淑芳, 吴普特. 高分子聚合物对土壤物理及坡面产流产沙特征的影响[J]. 中国水土保持科学, 2006, 4(1): 15-19.
- [4] 黄占斌, 朱书全, 张铃春, 等. 保水剂在农业改土节水中的效应研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3): 557-60.
- [5] 员学锋, 汪有科, 吴普特, 等. PAM对土壤物理性状影响的试验研究及机理分析[J]. 水土保持学报, 2005, 19(2): 37-40.
- [6] 黄占斌, 万会娥, 邓西平, 等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J]. 水土保持学报, 1999(4): 52-55.
- [7] 张国桢, 黄占斌, 方锋. 保水剂对土壤和猕猴桃产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 26-29.
- [8] Al-Humaid A I. Effects of hydrophilic polymer on the survival of bottonwood (*Conocarpus erectus*) seedlings grown under drought stress[J]. European Journal of Horticultural Science, 2005, 70(6): 283-288.
- [9] Agassi M, Letey J, Farmer W J, et al. Soil erosion contribution to pesticide transport by furrow irrigation[J]. Journal of Environmental Quality, 1995, 24(5): 892-895.
- [10] Lentz R D, Sojka R E, Robbins C W, et al. Polyacrylamide for surface irrigation to increase nutrient-use efficiency and protect water quality[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(7/8): 1203-1220.
- [11] 赵世伟, 周印东, 吴金水. 子午岭北部不同植被类型土壤水分特征研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 119-122.

责任编辑: 李鸣雷 刘英