

# 施肥条件下保水剂对土壤蒸发和土壤团聚性状的影响

李继成<sup>1</sup>, 张富仓<sup>1</sup>, 孙亚联<sup>2</sup>, 李志军<sup>1</sup>, 罗朋<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 旱区农业水土工程教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 通过在两种质地土壤中施加“科瀚 98”保水剂与肥料配比对土壤累积蒸发量及土壤团聚体含量的变化、分布及养分状况的影响进行了研究。结果表明, 土壤累积蒸发量曲线可以用幂函数给予描述。土壤中的团聚体含量随着保水剂用量的增加而增加, 其中质地较轻的黄绵土较质地重的糜土的土壤团聚体数量增加较多; 保水剂与肥料共同作用时, 肥料用量越大, 土壤团聚体含量越低。土壤团聚体中的  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  含量随着保水剂用量的增加而增加, 同时其贮量也得到相应的增加。

**关键词:** 保水剂; 肥料; 土壤蒸发; 土壤团聚体; 土壤养分

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)02-0048-06

中图分类号: S143, TQ44

## Effects of Super Absorbent Polymer on Characteristics of Soil Evaporation and Soil Aggregation Under Different Fertilizer Treatments

LI Ji-cheng<sup>1</sup>, ZHANG Fu-cang<sup>1</sup>, SUN Ya-lian<sup>2</sup>, LI Zhi-jun<sup>1</sup>, LUO Peng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas, Ministry of Education, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Effects of the “Kehan 98” super absorbent polymer (SAP) and fertilizer proportion on the characteristics of soil evaporation and soil aggregation were investigated using two soils. Results indicated that the curve for accumulated soil evaporation with or without SAP and fertilizer applications could be expressed by a power function. The quantity of soil aggregates increased with the increased SAP. Soil aggregation in the Huanmian soil, a lightly textured soil, increased significantly compared with the Lou soil, a heavily textured soil. When both SAP and fertilizer were applied, soil aggregates were reduced with an increase in the quantity of fertilizer. The contents of nitrate nitrogen and ammonium nitrogen in different soil aggregates increased with the increased SAP and its storage content increased correspondingly.

**Keywords:** absorbent polymer; fertilizer; soil evaporation; soil aggregates; soil nutrient

保水剂 (super absorbent 或 super absorbent polymer, SAP) 是一种高分子化合物, 这种高分子化合物利用其分子表面的亲水性基团电离并与水分子结合成氢键, 可以吸持自身重量数百倍的水分<sup>[1-2]</sup>。同时这些亲水性官能团吸附土壤中的无机离子和养分, 影响土壤结构, 起到保水、保土、保肥作用, 进而促进植物生长<sup>[3-4]</sup>。但是保水剂在农业生产中应用时, 遇到的最大的问题是肥料在与水水合时形成的电解

质溶液对保水剂的吸水、保水性会产生一定的影响, 但是却提高了土壤对养分的吸附力, 减少了肥料的淋失, 提高了土壤的保肥能力<sup>[5-8]</sup>。有关学者研究中发现土壤中加入保水剂对土壤蒸发有显著的影响<sup>[9-10]</sup>; 保水剂不仅可以提高土壤持水性能, 而且还可以改善土壤结构, 土壤中施加保水剂, 通过其自身的化学键增加土壤的水稳性团聚体的数量, 这对稳定土壤结构, 防止表层结皮, 抑制土壤蒸发有很好的作

收稿日期: 2007-10-08 修回日期: 2007-12-26

资助项目: 国家自然科学基金 (50579066)

作者简介: 李继成 (1980-), 男 (汉族), 陕西省咸阳市人, 硕士研究生, 主要从事农业水土环境修复研究。E-mail: Lijicheng46@sohu.com。

通讯作者: 张富仓 (1962-), 男 (汉族), 陕西省武功县人, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业水土环境。E-mail: zhangfc@nwsuaf.edu.cn。

用;也使土壤的孔隙度增加,从而改善了土壤的通透性,并使容重降低<sup>[11-12]</sup>。

目前保水剂在节水农业中的应用多集中于保水剂单独使用条件下的保水、保土能力方面的研究,关于肥料和保水剂相互作用条件下的保水、保土、保肥机理研究较少<sup>[13-14]</sup>。本文研究“科瀚 98”保水剂在黄绵土(轻壤土)、瘠土(重壤土)上与氮肥和磷肥混施时的土壤水分蒸发性能和土壤团聚体数量和分布,同时分析土壤团聚体的养分状况,以便为保水剂在农业上的合理使用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

试验采用的土壤为陕西省代表性的两种耕作层土壤(0—20 cm)黄绵土和瘠土,分别取自陕西省安塞县和杨陵区。土壤质地分别为砂壤土和重壤土(表 1)。保水剂采用河北海明生态科技有限公司生产的

表 1 供试土壤基本性质

土 壤	不同粒级颗粒含量/ %								pH	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	CEC/ (cmol· kg <sup>-1</sup> )
	> 1.00 mm	1.00~ 0.20 mm	0.20~ 0.05 mm	0.05~ 0.02 mm	0.02~ 0.01 mm	0.01~ 0.005 mm	0.005~ 0.002 mm	< 0.002 mm			
瘠土	0.45	0.43	8.27	40.39	12.87	7.89	9.32	20.38	8.54	15.38	14.87
黄绵土	4.39	65.78	19.93	8.92	0.32	0.02	0.05	0.59	8.23	6.80	6.26

### 1.3 测定方法

土壤累计蒸发量采用称重法,土壤团聚体采用沙维诺夫分级(干筛法),将蒸发试验完毕的 100 g 风干土放置在最大孔径土壤筛(5 mm)上面,套筛下面土壤筛孔径依次为 3, 2, 1, 0.5, 0.25 mm, 底层放置底盒,以备收取 < 0.25 mm 团聚体。将盛土套筛放在干筛震荡机上震荡 5 min 后,从上至下依次取样,称重,求得团聚体组成,团聚体分析用上海仪器厂生产的电动振筛机。土壤团聚体中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 分别采用酚二磺酸比色法和靛酚蓝比色法。

## 2 结果与分析

### 2.1 保水剂与肥料配比对土壤蒸发的影响

从表 2 和表 3 分别是两种不同质地土壤与不同数量的保水剂和肥料配比时的土壤累积蒸发量试验结果,土壤累积蒸发量与蒸发历时可以用幂函数  $Q = at^b$  给予描述。指数  $b$  值是表示土壤蒸发能力敏感指标,其值的变化意味着抑制蒸发能力的强弱,而  $a$  值

农用抗旱保水剂。供试肥料为氮肥和磷肥。

### 1.2 试验方法

将土壤过 1 mm 的筛并称取每份土样 100 g,分别考虑保水剂和肥料两个因素,采用双方向 4×3 试验方案。在两种不同质地的土壤中分别加入 0 (CK), 0.2% (SAP<sub>1</sub>), 0.6% (SAP<sub>2</sub>), 1.0% (SAP<sub>3</sub>) 的保水剂与不同浓度的肥料,肥料浓度处理分别为 CK (F<sub>0</sub>), 中肥处理 NP 0.2, 0.13 g/kg 干土 (F<sub>1</sub>), 高肥处理 NP 0.4, 0.26 g/kg 干土 (F<sub>2</sub>)。

以上试验重复 3 次。将土壤、保水剂、肥料 3 者充分混合均匀并放入规格相同的大铝盒中,各处理中分别加入蒸馏水 50 g, 让其在恒温箱(25 ℃)中蒸发 10 d。期间观察不同时间累计蒸发量,试验完毕,将土壤倒在纸上,令其自然风干。同时测定风干的 100 g 土中粒径大于 0.25 mm 的土壤团聚体的含量,并测定粒径大于 0.25 mm 和小于 0.25 mm 的土粒中的硝态氮和铵态氮的含量。

相当于起始蒸发量。当土壤中加入保水剂时,随着保水剂用量的增大,拟合公式中  $a$  值逐渐减小,说明起始蒸发量减小; $b$  值增大,说明抑制蒸发能力变强,土壤累积蒸发量总体呈现逐渐减小的趋势;可见保水剂的加入能明显减少土壤的累积蒸发量。当保水剂与肥料共同作用于两种土壤中,保水剂用量一定时,随着肥料用量的增加,表现为  $a$  值逐渐增大,起始蒸发量增大; $b$  值逐渐减小,抑制蒸发能力有所减弱,土壤累积蒸发量总体呈现增大的趋势。

可见保水剂与肥料共同作用于土壤中时,肥料的施入会降低保水剂抑制土壤蒸发的能力,从而土壤累积蒸发量会有相应的增加。以上分析表明,土壤中施加保水剂,土壤抑制蒸发能力增强,土壤水分的蒸发速率减缓,从而减小土壤水分的累积蒸发量;但是保水剂与肥料共同作用于土壤中时,土壤抑制蒸发能力有所减弱,土壤水分的蒸发速率受到肥料用量的影响,肥料浓度越高,蒸发速度越快,导致土壤水分的累积蒸发量有所增加。

表 2 黄绵土中不同保水剂与肥料配比的土壤累积蒸发量和拟合方程

处理	不同时段土壤累积蒸发量/g							拟合方程 $Q = at^b$		
	3 d	4 d	5 d	7 d	8 d	9 d	10 d	a	b	r
CKF <sub>0</sub>	6.34	8.66	12.08	15.66	21.94	25.01	28.18	1.576 0	1.244 9	0.988 8
CKF <sub>1</sub>	5.97	8.04	11.33	14.96	21.40	24.47	27.58	1.393 0	1.288 6	0.987 6
CKF <sub>2</sub>	6.01	8.09	11.47	15.10	21.45	24.97	27.88	1.394 6	1.293 4	0.987 5
SAP <sub>1</sub> F <sub>0</sub>	4.61	6.34	8.87	10.82	18.94	22.29	26.28	0.866 1	1.453 9	0.975 7
SAP <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	4.65	6.58	9.28	11.54	18.02	22.21	27.83	0.865 1	1.473 9	0.979 4
SAP <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	5.27	7.53	10.24	12.82	21.41	23.51	28.64	1.120 3	1.363 8	0.954 0
SAP <sub>2</sub> F <sub>0</sub>	4.10	6.30	9.49	12.19	19.25	21.91	25.41	0.788 4	1.501 4	0.983 8
SAP <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	4.78	6.75	9.99	17.02	20.31	23.49	26.13	0.936 4	1.466 1	0.996 6
SAP <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	5.08	7.29	10.66	17.21	20.71	23.70	28.04	1.041 9	1.431 6	0.998 8
SAP <sub>3</sub> F <sub>0</sub>	3.31	4.91	8.12	13.69	16.46	18.62	23.29	0.552 4	1.626 4	0.995 2
SAP <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	3.71	5.19	8.99	14.57	17.81	20.89	24.00	0.628 4	1.599 2	0.992 9
SAP <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	3.91	5.41	10.51	15.89	18.08	22.64	24.98	0.688 8	1.585 8	0.981 9

表 3 瘠土中不同保水剂与肥料配比的土壤累积蒸发量和拟合方程

处理	不同时段土壤累积蒸发量/g							拟合方程 $Q = at^b$		
	3 d	4 d	5 d	7 d	8 d	9 d	10 d	a	b	r
CKF <sub>0</sub>	3.83	5.00	6.77	15.27	19.70	23.69	26.50	0.485 1	1.749 5	0.981 2
CKF <sub>1</sub>	3.47	5.17	6.98	15.73	20.03	23.96	26.88	0.439 2	1.807 5	0.990 2
CKF <sub>2</sub>	3.88	5.24	7.74	15.19	19.47	23.05	26.01	0.555 7	1.684 4	0.991 8
SAP <sub>1</sub> F <sub>0</sub>	3.19	4.46	6.38	13.19	17.04	20.35	22.47	0.432 6	1.736 6	0.990 9
SAP <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	3.96	4.18	7.61	15.03	18.76	22.84	23.17	0.517 6	1.692 6	0.965 8
SAP <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	5.44	5.12	9.22	18.02	21.75	25.40	25.43	0.850 7	1.508 8	0.945 2
SAP <sub>2</sub> F <sub>0</sub>	3.01	4.35	6.71	13.12	16.56	19.41	22.27	0.418 9	1.744 6	0.995 4
SAP <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	3.67	5.35	7.58	14.98	17.8	20.20	22.30	0.628 4	1.584 2	0.992 3
SAP <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	4.33	6.04	7.88	15.01	18.86	22.03	24.65	0.757 0	1.523 1	0.992 2
SAP <sub>3</sub> F <sub>0</sub>	2.54	4.01	6.32	12.28	15.48	17.62	20.06	0.356 4	1.783 1	0.995 4
SAP <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	3.08	5.24	7.42	14.73	18.40	20.92	24.73	0.453 8	1.756 6	0.997 1
SAP <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	4.53	6.34	8.20	14.90	18.97	22.06	24.86	0.837 6	1.478 1	0.993 6

## 2.2 保水剂与肥料对比对土壤团聚体的影响

表 4 和表 5 分别是两种不同质地土壤与不同数量的保水剂和肥料配比时的土壤团聚体试验结果。在黄绵土中拌施保水剂, 处理 SAP<sub>3</sub>F<sub>0</sub>, SAP<sub>2</sub>F<sub>0</sub> 和 SAP<sub>1</sub>F<sub>0</sub> > 0.25 mm 的团聚体总量较对照(CKF<sub>0</sub>) 分别增加 249.1%, 168.8%, 74.8%; > 0.5 mm 的团聚体总量较对照分别增加 547.8%, 369.4%, 187.0%; > 1 mm 的团聚体总量较对照也有显著的增加。在瘠土中拌施保水剂, 处理 SAP<sub>3</sub>F<sub>0</sub>, SAP<sub>2</sub>F<sub>0</sub> 和 SAP<sub>1</sub>F<sub>0</sub> > 0.25 mm 的团聚体总量较对照(CKF<sub>0</sub>) 分别增加 10.3%, 7.8%, 2.9%; > 0.5 mm 的团聚体总量较对照分别增加 21.7%, 23.6%, 15%; > 1 mm 的团聚体总量较对照 23.6%, 22.1%, 20.4%。可见, 土壤中施加保水剂后的土壤团聚体含量较对照处理有了显著提高。试验中还发现, 未经保水剂处理的对

照土样中小级别团聚体含量较多, 而经保水剂处理的土样中大级别团聚体含量较多。同时随保水剂施用量的增大, 所形成的大级别团聚体含量增多, 这和有关国内报道的高吸水性树脂使用效果基本一致<sup>[15]</sup>。从本试验结果来看, 保水剂分别施加在两种土壤中, 其中使用效果黄绵土较瘠土好, 这是因为瘠土黏粒含量较高, 本身团聚结构比较好, 所以加入保水剂对其影响较黄绵土小。当保水剂在土壤中与肥料共同作用时, 对于黄绵土来说, 保水剂与肥料相互作用时, 处理 SAP<sub>1</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>1</sub>F<sub>1</sub> > 0.25 mm 的团聚体总量较对照处理 SAP<sub>1</sub>F<sub>0</sub> 分别减少 14.8%, 8.1%; > 0.5 mm 的团聚体总量分别较对照处理减少 14.1%, 10%, > 1 mm 的团聚体总量分别较对照减少 12.1%, 10.3%; 而处理 SAP<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>2</sub>F<sub>1</sub> 较对照处理 SAP<sub>2</sub>F<sub>0</sub> 分别减少 12.6%, 8.1%; > 0.5 mm 的团聚

体总量分别较对照处理减少 15.4%, 8.6%; > 1 mm 的团聚体总量分别较对照处理减少 16.9%, 11.8%。对于瘠土来说, 处理 SAP<sub>1</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>1</sub>F<sub>1</sub> > 0.25 mm 的团聚体总量较对照处理 SAP<sub>1</sub>F<sub>0</sub> 分别减少 2.6%, 1.4%, 处理 SAP<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>2</sub>F<sub>1</sub> 和处理 SAP<sub>3</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>3</sub>F<sub>1</sub> 分别较对照处理减少, 且减少幅度不大; > 0.5 mm 的团聚体总量处理 SAP<sub>2</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>2</sub>F<sub>1</sub> 较处理 SAP<sub>2</sub>F<sub>0</sub> 分别减少 12.6%, 8.1%; 而处理 SAP<sub>3</sub>F<sub>2</sub>, SAP<sub>3</sub>F<sub>1</sub> 较处理 SAP<sub>3</sub>F<sub>0</sub> 分别减少 7.5%, 4.1%; > 1

mm 的团聚体总量较对照处理 SAP<sub>1</sub>F<sub>0</sub> 变化不大。以上数据分析表明, 保水剂与肥料共同作用时, 能降低土壤的团聚体含量, 且肥料用量越大, 土壤团聚体含量越低。这是因为保水剂作为土壤改良剂施入土壤中, 和黏粒间的相互作用属于表面特征; 分子的舒展性能越好, 越有利于絮凝, 形成团粒结构; 由于保水剂分子链上的伸展状态是属于电粘滞效应并且受电解质影响, 所以当电解质溶液存在时, 分子的舒展性降低, 团聚作用也相应降低<sup>[16-19]</sup>。

表 4 黄绵土中不同保水剂与肥料配比的土壤团聚体含量

%

处理	不同粒级土壤团聚体含量								
	> 5 mm	5~ 3 mm	3~ 2 mm	2~ 1 mm	1~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	> 0.25 mm	> 0.5 mm	> 1 mm
CKF <sub>0</sub>	—	—	0.35	1.40	2.10	4.32	8.17	3.85	1.75
CKF <sub>1</sub>	—	—	0.91	1.38	2.45	4.23	8.97	4.74	2.29
CKF <sub>2</sub>	—	—	1.47	1.23	2.78	3.97	9.45	5.48	2.70
SAP <sub>1</sub> F <sub>0</sub>	3.84	2.34	1.24	1.96	1.67	3.23	14.28	11.05	9.38
SAP <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	3.66	2.19	1.11	1.45	1.54	3.17	13.12	9.95	8.41
SAP <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	3.57	2.48	1.23	1.02	1.19	2.68	12.17	9.49	8.30
SAP <sub>2</sub> F <sub>0</sub>	8.95	5.34	1.17	1.19	1.42	3.89	21.96	18.07	16.65
SAP <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	7.13	5.17	1.29	1.09	1.83	3.67	20.18	16.51	14.68
SAP <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	6.11	5.32	1.13	1.27	1.45	3.92	19.20	15.28	13.83
SAP <sub>3</sub> F <sub>0</sub>	15.16	5.39	1.67	1.23	1.49	3.58	28.52	24.94	23.45
SAP <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	14.17	4.93	2.31	2.03	1.21	2.69	27.34	24.65	23.44
SAP <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	13.75	4.32	1.85	1.96	1.76	2.75	26.39	23.64	21.88

表 5 瘠土中不同保水剂与肥料配比的土壤团聚体含量

%

处理	土壤团聚体含量								
	> 5 mm	5~ 3 mm	3~ 2 mm	2~ 1 mm	1~ 0.5 mm	0.5~ 0.25 mm	> 0.25 mm	> 0.5 mm	> 1 mm
CKF <sub>0</sub>	6.78	8.53	10.42	11.47	16.72	13.42	67.34	53.92	37.20
CKF <sub>1</sub>	8.89	7.23	11.21	10.23	17.12	13.79	68.47	54.68	37.56
CKF <sub>2</sub>	8.84	6.13	11.98	11.34	17.47	13.63	69.39	55.76	38.29
SAP <sub>1</sub> F <sub>0</sub>	16.81	9.37	8.32	10.28	17.23	7.27	69.28	62.01	44.78
SAP <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	16.05	9.16	10.24	11.29	15.17	6.43	68.34	61.91	46.74
SAP <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	16.51	8.37	11.17	10.34	14.58	6.52	67.49	60.97	46.39
SAP <sub>2</sub> F <sub>0</sub>	18.14	11.23	7.48	10.23	18.54	6.94	72.56	65.62	47.08
SAP <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	19.23	8.30	7.20	12.21	17.19	7.32	71.45	64.13	46.94
SAP <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	19.55	9.20	8.60	13.24	14.27	5.37	70.23	64.86	50.59
SAP <sub>3</sub> F <sub>0</sub>	21.34	12.37	7.30	7.29	18.32	7.67	74.29	66.62	48.30
SAP <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	21.58	12.20	7.20	8.78	16.21	7.19	73.16	65.97	49.76
SAP <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	19.69	10.90	8.30	9.19	15.27	6.82	70.17	63.35	48.08

## 2.3 保水剂对氮素在土壤团聚体中分布的影响

### 2.3.1 保水剂对硝态氮在土壤团聚体中分布的影响

表 6 为两种不同质地土壤与不同数量的保水剂和肥料配比时不同团聚体类型中硝态氮含量及贮量分布结果。两种不同类型的团聚体中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量的

分布, 无论是瘠土还是黄绵土, 团聚体中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量 < 0.25 mm 明显大于 > 0.25 mm, 这可能与 < 0.25 mm 团聚体内部小孔隙溶液中 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 含量较高有关, 有学者在研究中发现, 细小颗粒更利于土壤氮素的富集<sup>[20]</sup>。当在两种土壤中加保水剂时, 随着保水

剂用量的增加, 垆土 > 0.25 mm 团聚体中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量呈递增趋势, 同时  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量也增加; 其中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量处理  $\text{SAP}_1\text{F}_0$ ,  $\text{SAP}_2\text{F}_0$ ,  $\text{SAP}_3\text{F}_0$  分别较对照  $\text{CKF}_0$  增加 12.6%, 51.3%, 82.6%,  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量分别增加 19.0%, 68.7%, 111.4%; 而 < 0.25 mm 团聚体中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量分别较对照处理增加 24.3%, 106.7%, 342.5%,  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量分别增加 5.1%, 63.3%, 241.8%。

可以说明当土壤中施加保水剂时, 团聚体中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量随着保水剂用量的增加而增加, 从而  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量也随之增加。对于黄绵土来说, > 0.25 mm 团聚体中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量也有不同程度的

增加, 分别较对照处理增加 10.9%, 42.4%, 62.8%, 而  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量分别增加 55.3%, 218.4%, 389.5%, 而 < 0.25 mm 团聚体中  $\text{NO}_3^-$ -N 含量分别较对照增加 4.5%, 27.3%, 59.2%,  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量分别增加 7.8%, 15.7%, 26.8%。

由于保水剂施加在黄绵土中, 对土壤团粒结构影响较垆土大, 对于大团粒结构(> 0.25 mm)来说, > 0.25 mm 团粒含量虽然得到增加, 而本身  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较垆土小, 所以  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量较垆土小; 对与微团粒结构(< 0.25 mm)来说, 由于 < 0.25 mm 团粒含量较垆土大, 本身  $\text{NO}_3^-$ -N 含量较垆土大, 从而  $\text{NO}_3^-$ -N 贮量较垆土大。

表 6 不同团聚体类型中硝态氮含量及贮量分布

mg/kg

处理	> 0.25 mm 垆土		< 0.25 mm 垆土		> 0.25 mm 黄绵土		< 0.25 mm(黄绵土)	
	$\text{NO}_3^-$ -N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ -N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ -N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ -N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ -N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ -N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ -N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ -N 贮量/ mg
$\text{CKF}_0$	16.25h	1.05j	23.03g	0.79h	40.15f	0.38i	46.59h	3.96g
$\text{CKF}_1$	72.61f	5.32g	106.67e	3.56e	54.65e	0.50hi	63.07g	5.74d
$\text{CKF}_2$	132.67d	9.58e	150.24d	4.46d	62.51cd	0.62gh	81.77e	7.24c
$\text{SAP}_1\text{F}_0$	18.29h	1.25ij	28.62g	0.83h	45.69f	0.59ghi	47.62h	4.276fg
$\text{SAP}_1\text{F}_1$	105.46e	7.06f	158.98d	5.50c	45.43f	0.59ghi	48.75h	4.14fg
$\text{SAP}_1\text{F}_2$	198.92b	13.60c	238.80c	7.79b	63.41c	0.77g	79.96e	7.16c
$\text{SAP}_2\text{F}_0$	24.58gh	1.77hi	47.61f	1.29gh	57.8de	1.21f	58.01g	4.58ef
$\text{SAP}_2\text{F}_1$	110.88e	7.53f	156.98d	4.56d	129.12a	2.61c	131.71d	10.49b
$\text{SAP}_2\text{F}_2$	220.56a	14.71b	57.67f	1.75g	113.50b	2.17d	137.36c	10.79b
$\text{SAP}_3\text{F}_0$	29.68g	2.22h	101.90e	2.70f	66.23c	1.86e	72.60f	5.02e
$\text{SAP}_3\text{F}_1$	164.58c	12.02d	265.07b	7.34b	125.36a	3.43a	147.12b	10.79b
$\text{SAP}_3\text{F}_2$	224.70a	16.15a	299.79a	9.16a	109.83b	2.90b	156.39a	11.47a

注: 同一列中不同字母表示差异显著。

### 2.3.2 保水剂对铵态氮在土壤团聚体中分布的影响

表 7 为两种不同质地土壤与不同数量的保水剂和肥料配比时不同团聚体类型中铵态氮含量及贮量分布结果。在垆土中加入保水剂时, > 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 含量随着保水剂用量的增加, 呈现增加趋势; 处理  $\text{SAP}_1\text{F}_0$ ,  $\text{SAP}_2\text{F}_0$ ,  $\text{SAP}_3\text{F}_0$  较对照处理  $\text{CKF}_0$  分别增加 2.6%, 96.3%, 108.6%。

除处理处理  $\text{SAP}_1\text{F}_0$  以外, 差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ )。< 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 含量较对照处理  $\text{CKF}_0$  分别增加 15.0%, 26.3%, 80.3%, 差异均达显著水平 ( $P < 0.05$ ); 同时  $\text{NH}_4^+$ -N 贮量也有不同程度的增加, > 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 贮量分别比对照增加 10%, 100%, 110%。< 0.25 mm

团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 贮量分别比对照增加 14.3%, 28.6%, 133%。

当黄绵土中加入保水剂时, > 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 含量分别较对照处理增加 42.0%, 8.9%, 36.0%, 均达到显著水平 ( $P < 0.05$ ); < 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 含量较对照处理分别增加 37.8%, 24.8%, 56.5%, 其中 > 0.25 mm  $\text{NH}_4^+$ -N 贮量较对照分别增加 157%, 200%, 385%; < 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 贮量分别较对照增加 34.2%, 13.7%, 27.4%。

当保水剂用量相同时, 随着肥料的增加, > 0.25 mm 和 < 0.25 mm 团聚体  $\text{NH}_4^+$ -N 含量和贮量也随之增加。以上实验数据表明, 当保水剂施加在土壤中

与肥料共同作用时,可以减少氮的铵挥发,铵态氮贮量也得到相应的增加。这是因为保水剂可以有效地吸持溶解在土壤溶液中的尿素分子和水解产物

$\text{NH}_4^+$ , 前一过程可以使尿素的水解得到延缓, 而后再一过程则能直接抑制制氨的挥发, 从而减少氨的损失, 以达到保肥作用<sup>[21]</sup>。

表 7 不同团聚体类型中铵态氮含量及贮量分布

处理	> 0.25 mm 垆土		< 0.25 mm 垆土		> 0.25 mm 黄绵土		< 0.25 mm 黄绵土	
	$\text{NO}_3^-$ —N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ —N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ —N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ —N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ —N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ —N 贮量/ mg	$\text{NO}_3^-$ —N 含量/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3^-$ —N 贮量/ mg
	CKF <sub>0</sub>	1.38e	0.10fg	6.81g	0.21f	8.70fg	0.07h	7.88h
CKF <sub>1</sub>	1.21e	0.08g	9.03de	0.28de	8.00g	0.08h	8.74gh	0.80gh
CKF <sub>2</sub>	2.07d	0.14g	10.68c	0.32c	24.58d	0.23e	18.28d	1.69d
SAP <sub>1</sub> F <sub>0</sub>	1.41e	0.11f	7.83f	0.24ef	12.36ef	0.18f	10.86fg	0.98ef
SAP <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	0.91e	0.06h	11.80b	0.39b	9.41fg	0.13g	9.03gh	0.81gh
SAP <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	2.06e	0.15e	10.34c	0.34c	28.09c	0.29d	27.85c	2.52c
SAP <sub>2</sub> F <sub>0</sub>	2.71bc	0.20c	8.58ef	0.27ea	9.47fg	0.21ef	9.84gh	0.83gh
SAP <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	2.21cd	0.17d	8.82de	0.25ef	9.52fg	0.20ef	8.99gh	0.71h
SAP <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	2.94e	0.22b	9.73cd	0.32c	37.64b	0.73b	40.78b	3.37b
SAP <sub>3</sub> F <sub>0</sub>	2.88b	0.21bc	12.28ef	0.49a	11.83ef	0.34c	12.34ef	0.93fg
SAP <sub>3</sub> F <sub>1</sub>	2.99b	0.23b	10.16c	0.28de	13.78e	0.38c	14.58e	1.10e
SAP <sub>3</sub> F <sub>2</sub>	4.80a	0.35a	17.21a	0.52a	52.54a	1.40a	57.15a	4.27a

注: 同一列中不同字母表示差异显著。

### 3 结果与讨论

(1) 土壤累积蒸发量可以用幂函数给予描述, 即  $Q = at^b$ 。当土壤施加保水剂时, 随着保水剂用量的增大, 表示土壤蒸发能力的敏感指标  $b$  值增大,  $a$  值逐渐减小, 总体表现为土壤累积蒸发量逐渐减小; 当保水剂肥料共同作用于两种土壤中时, 保水剂用量一定, 随着肥料用量的增加,  $b$  值逐渐减小, 同时  $a$  值逐渐增大, 土壤累积蒸发量有所增大。

(2) 土壤中施加保水剂后的土壤团聚体含量均较对照处理有了显著的提高, 保水剂用量越大, 土壤团聚体含量越多, 其中使用效果黄绵土较垆土好, 未经保水剂处理的对照中小级别团聚体含量较多, 而经保水剂处理的土样中大级别团聚体含量较多, 同时随保水剂施用量的增大, 所形成的大级别团聚体含量增多; 当保水剂与肥料共同作用时, 能降低土壤的团聚体含量, 肥料用量越大, 土壤团聚体含量越低。

(3) 两种不同类型的团聚体中  $\text{NO}_3^-$  —N 含量的分布, 无论是垆土还是黄绵土, 团聚体中  $\text{NO}_3^-$  —N 含量 < 0.25 mm 明显大于 > 0.25 mm; 当在两种土壤中加入保水剂时, 随着保水剂用量的增加, 垆土中 > 0.25 mm 团聚体中  $\text{NO}_3^-$  —N 含量呈递增趋势, 同时  $\text{NO}_3^-$  —N 贮量也增加; 保水剂施加在黄绵土中, 对土壤团粒结构影响较垆土大, 对于大团粒结构 (> 0.25 mm), > 0.25 mm 团粒含量虽然得到增加, 而本身其  $\text{NO}_3^-$  —N 含量较垆土小, 所以  $\text{NO}_3^-$  —N 贮量较垆土

小; 对与微团粒结构 (< 0.25 mm), 由于 < 0.25 mm 团粒含量较垆土大, 本身  $\text{NO}_3^-$  —N 含量较垆土大, 从而  $\text{NO}_3^-$  —N 贮量较垆土大。

(4) 当保水剂施加在土壤中, 土壤中 > 0.25 mm 和 < 0.25 mm 团聚体中  $\text{NH}_4^+$  —N 含量和贮量随着保水剂用量的增加而增加。实验表明, 当保水剂施加在土壤中与肥料共同作用时, 可以减少氮的铵挥发, 铵态氮贮量也得到相应的增加。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] Janardan S, Singh J. Effect of stockosorb polymers and potassium levels on potato and onion [J]. J Potassium Res, 1998, 4 (1): 78—82.
- [2] Bowman D C, Evans R Y. Calcium inhibition of polyacrylimide gel hydration is partially reversible by potassium [J]. Hort Sci, 1991, 26 (8): 1063—1065.
- [3] Silberbush M, Adar E, De Malach Y. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. I. Corn irrigated by trickling [J]. Agricultural Water Management, 1993, 23: 303—313.
- [4] Silberbush M, Adar E, De Malach Y. Use of an hydrophilic polymer to improve water storage and availability to crops grown in sand dunes. 2. Cabbage irrigated by sprinkling with different water salinities [J]. Agricultural Water Management, 1993, 23: 315—327.

(下转第 89 页)

土高原丘陵沟壑区小流域土壤侵蚀过程模拟和建模进行了尝试性研究, 构建了基于 CA 的侵蚀产沙过程模型——CASEM。该模型具有结构简单, 动力机制明晰, 模拟规则简单, 所需输入参数少等优点。本研究仅仅是一个开始, 下一步的工作将包括: (1) 模型验证。(2) 将模型同遥感和 GIS 技术、数据挖掘、模糊推理等紧密集成, 建立智能化的土壤侵蚀过程模拟及侵蚀评价专家系统。(3) 使 CA 在模拟侵蚀过程中自动调整模型参数和演化规则, 实现侵蚀模型在时空尺度上的自由转换。

#### [ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] Smith R. The application of cellular automata to the erosion of landforms [ J ]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1991, 16: 273—281.

[ 2 ] Chase C G. Fluvial land sculpting and the fractal dimension of topography [ J ]. *Geomorphology*, 1992, 5: 39—57.

[ 3 ] Murray A B, Paola C. A cellular model of braided rivers [ J ]. *Nature*, 1994, 371, 54—57.

[ 4 ] Favis Mortlock D T, Quinton J N, Dickinson W T. The GCTE validation of soil erosion models for global

change studies [ J ]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1996, 51(5): 397—403.

[ 5 ] Ambrosio D D, Gregorio S Di, Gabriele S, et al. A Cellular Automata Model for Soil Erosion by Water [ J ]. *Phys. Chem. Earth ( B )*, 2001, 26(1): 33—39.

[ 6 ] Lou Wei. LANDSAP: a coupled surface and subsurface cellular automata model for landform simulation [ J ]. *Computer & Geosciences*, 2001, 27: 363—367.

[ 7 ] 周成虎, 孙战利, 谢一春. 地理元胞自动机研究 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1999.

[ 8 ] 陈建平, 丁火平, 王功文, 等. 基于 GIS 和元胞自动机的荒漠化演化预测模型 [ J ]. *遥感学报*, 2004, 8(3): 254—260.

[ 9 ] 孙战利. 空间复杂性与地理元胞自动机模拟研究 [ J ]. *地球信息科学*, 1999: 32—37.

[ 10 ] 黄秉维. 谈黄河中游水土保持问题 [ J ]. *中国水土保持*, 1988(1): 12—15.

[ 11 ] 王万忠, 焦菊英. 黄土高原降雨侵蚀产沙和黄河输沙 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1996.

[ 12 ] Beasley D B, Huggins L F, Monke E J. ANSWERS: A model for watershed planning [ J ]. *Transaction of the ASCE*, 1981, 23(4): 938—944.

(上接第 53 页)

[ 5 ] Chatzoudis G K, Rigas F. Macro reticular hydrogel effects on dissolution rate of controlled release fertilizers [ J ]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46: 2830—2833.

[ 6 ] Taylor K C, Halfacre R G. The effect of hydrophilic polymer on media water retention and nutrient availability to *ligustrum lucidum* [ J ]. *Hort Science*, 1986, 21(5): 1159—1161.

[ 7 ] Zhan Falu, Liu Mingzhu, Guo Mingyu, et al. Preparation of superabsorbent polymer with slow release phosphate fertilizer [ J ]. *Journal of Applied Polymer Science*, 2004, 92: 341—342.

[ 8 ] Guo Mingyu, Liu Mingzhu, Hu Zheng, et al. Preparation and properties of a slow release N P compound fertilizer with superabsorbent and moisture preservation [ J ]. *Journal of Applied Polymer*, 2005, 96(6): 2132—2138.

[ 9 ] 员学锋, 汪有科, 吴普特. PAM 对土壤物理性状影响的实验研究及机理分析 [ J ]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 37—40.

[ 10 ] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应 [ J ]. *农业工程学报*, 1999, 15(4): 74—78.

[ 11 ] Bear Hur M, Keren R. Polymer effects on water infiltration and soil aggregation [ J ]. *Soil Science. Soc. Am.* 1997, 61: 565—570.

[ 12 ] El Amir S, Helalia A M, Shwaky M E. Effects of acryhope and aquastore polymers on water regime and porosity in sandy soil [ J ]. *Egyptian Journal of Soil Science*, 1993, 33(4): 395—404.

[ 13 ] Mikkelsen L R. Using hydrophilic polymers to control nutrient release [ J ]. *Fert. Res*, 1994, 38: 53—59.

[ 14 ] 北京农业大学树脂应用协作组. 高吸水性树脂在农业上的应用基础研究 [ J ]. *北京农业大学学报*, 1989, 15(1): 37—44.

[ 15 ] 龙明杰, 张宏伟. 高聚物土壤结构改良剂的研究 [ J ]. *土壤肥料*, 2000(5): 13—18.

[ 16 ] 吴增芳. 土壤结构改良剂 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1976.

[ 17 ] 陈宗淇, 张玉荣, 曾利容. 聚丙烯酰胺对蒙脱土絮凝的研究 [ J ]. *化学学报*, 1981, 39(7): 672—676.

[ 18 ] 侯万国, 张春光, 王果庭. 聚丙烯酰胺对黏土悬浮体的絮凝与稳定作用 [ J ]. *高等学校化学学报*, 1989, 10(8): 848—858.

[ 19 ] Van Olphell H 著, 许冀泉, 等译. 黏土胶体化学导论 [ M ]. 北京: 农业出版社, 1982: 171—176.

[ 20 ] 张庆忠, 陈欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展 [ J ]. *应用生态学报*, 2002(13): 233—238.

[ 21 ] 杜建军, 苟春林, 崔冀德, 等. 保水剂对氮肥氨挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响 [ J ]. *农业环境科学报*, 2007, 26(4): 1296—1301.