

PAM-atta 复合保水剂对土壤物理性质的影响^①

刘瑞凤^{1,2}, 张俊平^{1,2}, 郑欣¹, 王爱勤^{1*}

(1 中国科学院兰州化学物理研究所, 兰州 730000; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 在研制开发出耐盐型丙烯酰胺/凹凸棒黏土复合保水剂(PAM-atta)的基础上, 研究了该复合保水剂对土壤物理性质的影响。结果表明: PAM-atta 复合保水剂可显著提高土壤含水量、>0.25 mm 团聚体含量、孔隙度以及阳离子交换量, 降低土壤体积质量(容重)。同时 PAM-atta 复合保水剂粒径越小, 对土壤体积质量、团聚体等的作用效果也越明显。与 CK 相比, 施用 120 目的保水剂可提高土壤中>0.25 mm 团聚体含量达 13.3% ~ 16.2%。

关键词: 复合保水剂; 凹凸棒黏土; 土壤团聚体; 体积质量(容重); 阳离子交换量

中图分类号: S157.9

干旱缺水是制约我国农业发展和加速土地荒漠化的重要因素。我国荒漠化土地面积 262.2 万 km², 占国土总面积的 27.4%, 每年因荒漠化造成的直接经济损失达 540 亿元, 相当于 1996 年西北 5 省区财政收入总和的 3 倍^[1]。我国荒漠化土地主要分布在内蒙古、甘肃、新疆等西部地区, 这些地区水资源匮乏, 年蒸发量远大于降水量, 且地下水源不足, 要想从根本上改变荒漠化现状, 除合理利用水资源外, 还必须开发节水技术, 改善土壤水分条件, 为现代农业的发展和生态环境的恢复提供技术支撑。

保水剂作为化学节水材料, 是一种能够吸收自身重量几百甚至几千倍水分的高分子功能化合物, 国外早在上世纪 60 年代已开始研究, 于 80 年代实现了规模化的应用。我国对保水剂的研究开发起步较晚, 但经过剖析仿制和跟踪开发后, 到目前已有 40 余种产品^[2], 并在干旱地区农业现代化和生态环境恢复等方面得到了一定的应用^[3-4]。但目前保水剂在使用过程中仍存在成本高和耐盐碱性能较差等问题, 这些因素已经成为制约保水剂在农、林业中大面积推广应用的瓶颈因素。为此, 我们通过接枝共聚反应研制开发了有机无机杂化聚丙烯酰胺/凹凸棒黏土(简称 PAM-atta)复合保水剂^[5]。凹凸棒黏土本身具有耐盐性, 它的加入不仅改善了保水剂的耐盐性, 而且还降低了保水剂的生产成本。为了进

一步考察该复合保水剂的使用性能, 在实验室各种性能测试的基础上, 本文开展了中试放大产品在土壤中实际作用的有关性能测试, 为该复合保水剂的推广应用提供了应用依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地为甘肃省兰州市中国科学院兰州化学物理研究所试验基地。兰州市气候属中温带大陆性气候, 平均年降水量 327.7 mm, 4、5 月平均气温 14.3℃, 土壤属灰钙土, 黄土母质, 土壤 pH 值为 8.65。

1.2 PAM-atta 复合保水剂

按照文献[5]的方法, 中试放大生产 PAM-atta 复合保水剂, 复合保水剂中凹凸棒黏土的含量为 300 g/kg, 过 40 目网筛。PAM-atta 复合保水剂在纯水和生理盐水中的吸水倍率分别为 1700 g/g 和 102 g/g, 在与水充分接触情况下, 10 min 即可吸收 1003 g/g, 且对 Ca²⁺、Mg²⁺ 耐受性较强, 在 2.5 g/kg CaCl₂ 和 MgCl₂ 溶液中吸水倍率分别为 62 g/g 和 65 g/g。

1.3 实验方法

1.3.1 不同含量保水剂使用效果研究 实验小区为 50 cm × 50 cm × 50 cm 的方形小坑, 将保水剂与坑内土壤充分混合均匀, 保水剂施用量分别是

①基金项目: 科技部 863 项目(2002AA6Z0301071)和中国科学院“西部行动”计划项目(KGCXZ-SW-502)资助。

* 通讯作者(aqwang@lzb.ac.cn)

作者简介: 刘瑞凤(1978—), 女, 内蒙古五原县人, 硕士研究生, 主要从事生态、环境治理的研究。E-mail: Liurui Feng128@eyou.com

130、260、520、1300、2600 kg/hm², 同时设置 CK, 3 次重复, 灌水量为田间饱和持水量与保水剂理论吸水总量之和的 120%。水分测定采用烘干法, 在灌水后 5、10、15、20、25、30 天取样测定土壤含水量, 并分析 15 天和 30 天时土样的 pH, 培养 60 天对所有土样的 pH 值、电导率、体积质量、土壤总孔隙度、毛管孔隙度、团粒结构(干筛法)及阳离子交换量等进行测试, 以上均采用常规方法^[6], 阳离子交换量采用 BaCl₂-MgSO₄ 强迫交换法^[7]。试验时间 3 月 15 日到 5 月 15 日, 取样的深度为 0~10 cm 和 30~40 cm。

1.3.2 保水剂粒径对土壤改良效果研究 选取分别过 20 目、80 目和 120 目标准筛的保水剂进行实验, 保水剂施用量 520 kg/hm², 测试内容与方法同 1.3.1 相同。

2 结果与讨论

2.1 PAM-atta 复合保水剂用量对土壤平均持水量的影响

PAM-atta 复合保水剂在土壤中的实际保水效果如图 1 所示, 不论是 0~10 cm 土层还是 30~40 cm 土层, 土壤平均含水量(6 次测试土壤水分平均值)均随着保水剂用量的增大而增加, 当含量达到 2600 kg/hm² 时, 土壤含水量达到最大值。与 CK 相比, 在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层土壤平均含水量分别提高 27.3% 和 34.2%。由此说明 PAM-atta 复合保水剂具有良好的保水能力。而且, 30~40 cm 土层的土壤平均含水量高于 0~10 cm 土层。

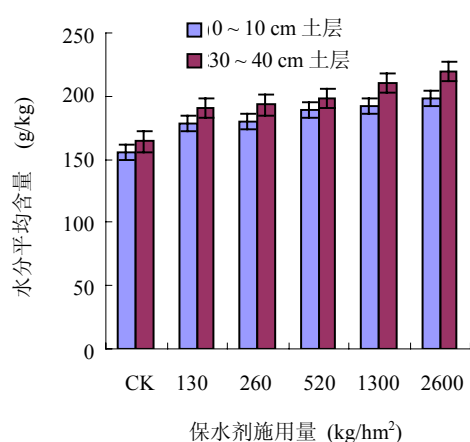


图 1 PAM-atta 复合保水剂施用量对土壤平均含水量的影响

Fig. 1 Effects of application rate of PAM-atta on average soil water content

聚丙烯酰胺类保水剂通常有较好的耐盐碱性, 但吸水倍数较低^[8]。以丙烯酸胺和凹凸棒黏土为原料合成的 PAM-atta 复合保水剂, 在纯水和生理盐水中的吸水倍率分别为 1700 g/g 和 102 g/g, 比聚丙烯酰胺类保水剂要高得多, 这是因为在复合保水剂合成中加入了无机凹凸棒黏土。凹凸棒黏土具有 2:1 型层链状分子结构, 上下两层为硅氧四面体, 中间一层为镁(铝)氧八面体, 凹凸棒黏土具有良好的耐盐性、吸水性和阳离子交换能力^[9], 由于在其表面有大量的硅羟基, 可发生接枝共聚反应, 因而其产物表现出了良好的吸水性能。凹凸棒黏土的售价仅为 200 元/t 左右, PAM-atta 复合保水剂中凹凸棒黏土的含量达到了 300 g/kg, 故大大降低了该复合保水剂的生产成本。

2.2 PAM-atta 复合保水剂用量对土壤 pH 值的影响

土壤 pH 值的大小直接影响土壤肥力变化和养分的存在状况, 还影响土壤微生物的活动。本实验分别考察了施用保水剂 15、30 天和 60 天时土壤 pH 值的变化情况。由表 1 可见, 在 15 天时, pH 值随保水剂用量的增大而增大, 在 520~2600 kg/hm² 施用量下, pH 随着作用时间的延长, 又呈现降低的趋势, 60 天时, 保水剂施用量为 2600 kg/hm² 的土壤在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层分别仅比 CK 提高了 0.9% 和 0.7%。由此可以看出, 高浓度 PAM-atta 复合保水剂的施用, 只在施用前期对土壤 pH 影响较大, 当作用时间达 60 天时, 对土壤 pH 值几乎没有影响, 而低浓度 PAM-atta 复合保水剂施用可降低土壤 pH 值。这是因为凹凸棒黏土本身含有金属离子, 因而在使用早期 pH 值会略有增加, 而它同时有阳离子可交换性, 所以随着与土壤的相互作用, 它可与土壤中的 Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 等金属离子发生交换反应, 从而使土壤 pH 值略有下降, 因而在一定程度上该复合保水剂有“固盐”的作用^[10]。而单纯用有机原料合成的保水剂, 因重复单元主要是羧基钠或钾, 遇水后土壤的 pH 值反而会有升高^[3]。这也正是有机无机复合保水剂耐盐碱的主要原因所在。

2.3 PAM-atta 复合保水剂用量对土壤团粒结构的影响

土壤肥力是评价土壤优劣的重要指标, 土壤结构决定土壤的物理肥力, 同时也决定土壤通气透水性, 粒径 >0.25 mm 的团粒对土壤的农学价值评价起主要作用。由图 2 可以看出, 复合保水剂的施用

表 1 PAM-atta 复合保水剂施用量对土壤 pH 值的影响

Table 1 Effects of application rate of PAM-atta on soil pH

培养时间 (d)	土层深度 (cm)	CK	130 kg/hm ²	260 kg/hm ²	520 kg/hm ²	1300 kg/hm ²	2600 kg/hm ²
15	0~10	8.52	8.62	8.68	8.71	8.83	8.92
	30~40	8.56	8.61	8.66	8.70	8.92	9.26
30	0~10	8.55	8.50	8.57	8.69	8.84	8.99
	30~40	8.48	8.53	8.54	8.63	8.88	8.91
60	0~10	8.57	8.35	8.41	8.49	8.56	8.65
	30~40	8.62	8.32	8.41	8.49	8.58	8.68

可以提高 >0.25 mm 土壤团聚体含量。在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层所反映的规律基本相一致,但当施用量 >260 kg/hm²时,它们之间的差别已不明显。在施用量为 260 kg/hm²时, >0.25 mm 团聚体含量最高,分别比 CK 提高了 13.2%和 13.4%。复合保水剂有较显著的改善土壤团聚体的作用,是因为 PAM-atta 有机无机杂化保水剂中添加了凹凸棒黏土矿物,该黏土具有良好的粘结性,因而合成的有机

无机保水剂在吸水后也具有较好的粘性。因此,PAM-atta 复合保水剂用量越大,土壤微小团粒聚集的几率越高,越有利于促进团聚体的形成。

2.4 PAM-atta 复合保水剂用量对土壤孔隙结构的影响

从土壤体积质量可以了解土壤的紧实程度,土壤紧实,体积质量则大,土壤疏松,体积质量则小。土壤孔隙是土壤中养分、水分、空气和微生物等迁移的通道、贮存的库和活动的场地,也是植物根系生长的场所,而它的组成则直接影响土壤通气透水性和根系穿插的难易程度,并对土壤中水、肥、气、热和微生物活性等发挥着不同的调节功能^[11]。总孔隙度可大体反映土壤的潜在蓄水和容气能力^[12],土壤孔隙度大,则土壤通透性好^[13]。由表 2 可以看出,土壤体积质量随着保水剂含量的增大而减小,在 2600 kg/hm²时体积质量值最小;在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层,较 CK 分别降低了 14.7%和 7.9%。土壤总孔隙度变化与体积质量变化正好相反,复合保水剂用量为 2600 kg/hm²时总孔隙度达到最大,在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层分别比 CK 提高了 12.9%和 6.6%,非毛管孔隙度分别提高 46.6%和 24.4%,毛管孔隙度降低 12.4%和 7.7%,且保水剂对土壤上

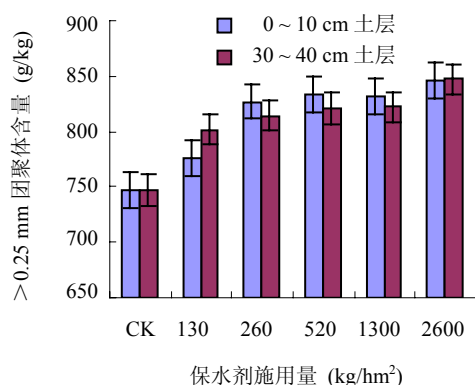


图 2 PAM-atta 复合保水剂施用量对土壤团聚体的影响

Fig. 2 Effects of application rate of PAM-atta on soil aggregate

表 2 PAM-atta 复合保水剂施用量对土壤体积质量及孔隙度的影响

Table 2 Effects of application rate of PAM-atta on soil bulk density and porosity

处理 (kg/hm ²)	体积质量 (g/cm ³)		毛管孔隙度 (%)		非毛管孔隙度 (%)		总孔隙度 (%)	
	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm
CK	1.25	1.23	30.10	30.09	22.59	23.68	52.69	53.77
130	1.21	1.22	29.61	29.95	24.86	24.05	54.47	53.99
260	1.19	1.20	29.30	29.47	25.68	25.25	54.98	54.72
520	1.18	1.16	28.96	28.49	26.62	27.73	55.58	56.22
1300	1.15	1.14	28.11	28.08	28.70	28.77	56.81	56.85
2600	1.07	1.12	26.37	27.63	33.12	29.92	59.49	57.55

注: 以上数据为 3 次重复平均值, 总孔隙度按土壤比重 2.65 计算, 下表同。

层 (0~10 cm) 结构的影响小于下层 (30~40 cm)。由此可见, PAM-atta 复合保水剂的施用, 可以提高土壤的孔隙度, 改善土壤的通透性, 调节土壤中水、气含量的比例, 且用量越大效果越好。

2.5 PAM-atta 复合保水剂用量对土壤阳离子交换量的影响

土壤阳离子交换量 (CEC) 可作为评价土壤肥蓄肥能力的指标, 是土壤改良的重要依据^[14]。CEC 大的土壤保存速效养分的能力大, 反之则小。由图 3 可见, 土壤 CEC 随着保水剂含量的增大而增大, 不同土壤深度所反映的变化趋势基本一致。与 CK 相比, 复合保水剂含量为 520 kg/hm² 时, 在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层 CEC 变化的百分数分别为 22.8% 和 23.3%。由此看来, PAM-atta 复合保水剂可以提高土壤的阳离子含量, 从而改善土壤的保肥性能。因为土壤 CEC 大小主要取决于土壤中有机质和黏土矿物含量, 复合保水剂属于有机无机杂化材料, 其中凹凸棒黏土属于黏土, 因而对提高土壤 CEC 有较好的作用效果。

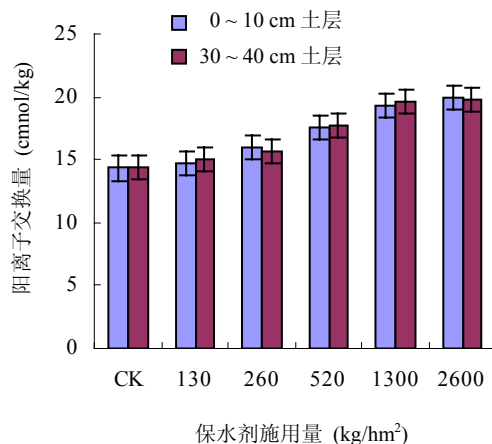


图 3 PAM-atta 复合保水剂施用量对土壤阳离子交换量的影响

Fig. 3 Effects of application rate PAM-atta on soil cation exchange capacity

2.6 PAM-atta 复合保水剂粒径对土壤性质的影响

施用 PAM-atta 复合保水剂时, 颗粒大小在什么范围内能发挥最佳效果也是应用过程中非常重要的问题。为此, 本实验将保水剂粉碎后分别过 20 目、80 目、120 目标准筛, 选取保水剂施用量 520 kg/hm² 考察了 PAM-atta 复合保水剂粒径大小对土壤物理性质的影响。

由图 4 可见, 土壤平均含水量均随着保水剂粒径的减小而增加, 在 30~40 cm 土层土壤平均含水量高于 0~10 cm 土层。因此, 仅就保水剂的保水效果而言, PAM-atta 复合保水剂粒径越小, 保水效果越好。但从成本的角度去考虑, 粉碎过细会导致材料及能源的浪费, 因而推荐使用 80 目为宜。

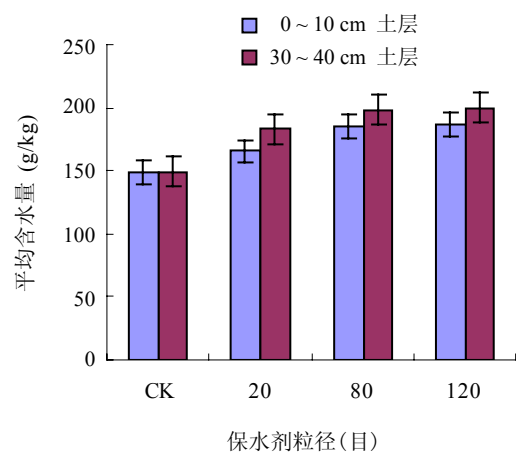


图 4 PAM-atta 复合保水剂粒径对土壤平均含水量的影响

Fig. 4 Effects of size of PAM-atta on average soil water content

由表 3 可以看出, 在不同土层中, PAM-atta 复合保水剂粒径对 pH 值的影响与 CK 基本无差别。但是土壤体积质量随着粒径的减小而减小, 同时土壤总孔隙度增加, 非毛管孔隙度增加, 毛管孔隙度降低。因此, PAM-atta 复合保水剂粒径越小, 对土壤作用效果越明显, 可以有效协调土壤固、液、气三

表 3 PAM-atta 复合保水剂粒径大小对土壤物理性质的影响

Table 3 Effects of size of PAM-atta on soil physical properties

处理	pH 值		体积质量 (g/cm ³)		毛管孔隙度 (%)		非毛管孔隙度 (%)		总孔隙度 (%)	
	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm	0~10 cm	30~40 cm
CK	8.62	8.57	1.23	1.24	30.13	30.59	23.57	20.39	53.70	50.98
20 目	8.62	8.62	1.21	1.22	29.81	29.94	24.39	23.46	54.20	53.40
80 目	8.66	8.63	1.15	1.18	28.17	29.09	28.55	26.22	56.72	55.31
120 目	8.67	8.55	1.14	1.16	28.06	28.42	28.82	25.93	56.88	56.33

表 4 PAM-atta 复合保水剂粒径大小对土壤各级团聚体含量的影响 (g/kg)

Table 4 Effects of size of PAM-atta on soil aggregate

处理	土层深度(cm)	>5 mm	2~5 mm	1~2 mm	0.5~1 mm	0.25~0.5 mm	>0.25 mm	提高 (%)
CK	0~10	153.6	184.7	140.0	170.1	98.7	747.1	
	30~40	126.0	201.9	145.8	180.9	92.7	747.2	
PAM-atta	20 目	137.9	218.5	172.2	143.0	142.4	814.0	8.95
	80 目	145.0	195.4	162.0	197.9	117.5	817.7	9.45
	120 目	212.7	214.6	148.3	170.6	100.0	846.2	13.26
	20 目	222.9	184.7	138.3	163.2	100.8	809.9	8.39
	80 目	311.1	169.3	104.5	135.9	90.6	811.5	8.61
	120 目	333.2	194.6	117.1	141.5	81.7	868.0	16.17

者比例,改善土壤通透性。PAM-atta 复合保水剂粒径对土壤团聚体含量影响也不同,由表 4 可见,粒径越小,土壤中>0.25mm 团聚体含量越高,以 0~10 cm 为例,施用 20 目、80 目和 120 目保水剂后土壤>0.25 mm 团聚体分别较 CK 提高 9.0%、9.5%和 13.3%;另外,>5 mm 团聚体含量随着粒径的减小而增加,而 1~2 mm 和 0.25~0.5 mm 团聚体含量随着粒径的减小而减少。

3 结论

(1) PAM-atta 复合保水剂用量越大,对土壤物理性质的改善效果越明显。施用浓度为 2600 kg/hm² 时,与 CK 相比,在 0~10 cm 和 30~40 cm 土层土壤平均含水量分别提高了 27.3% 和 34.2%;>0.25 mm 团聚体含量分别增加了 13.2% 和 13.4%,土壤体积质量分别降低了 14.7% 和 7.9%,总孔隙度提高了 12.9% 和 6.6%,非毛管孔隙度提高了 46.6%和 24.4%,毛管孔隙度降低了 12.4% 和 7.7%,阳离子交换量分别提高了 22.8% 和 23.3%,土壤物理性质指标均得到了较好的改善。PAM-atta 复合保水剂粒径越小,土壤平均含水量越高,土壤体积质量越小,毛管孔隙度也越小,总孔隙度和非毛管孔隙度则越大,土壤>0.25 mm 团聚体含量也越大。综合各种因素,建议实际使用目数以 80 目为宜。

(2) 无论是在 0~10 cm 土层还是在 30~40 cm 土层,都对土壤的物理性能有较大改善,说明在农作物种植和植树造林等都可以应用。建议该保水剂使用量为 520 kg/hm²。

参考文献:

[1] 施祖麟,王亚华.西部大开发中的生态环境可持续发展问题.中国发展,2002,4: 21-28

[2] 邹新禧.超强保水剂 M.北京:化学工业出版社,2002

[3] 张富仓,康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应.农业工程学报,1999,15 (2): 74-78

[4] 孙景生,张寄阳,段爱旺,肖俊夫,刘祖贵,俞希根.中瑞保水剂及其对土壤与作物的效应.灌溉排水,2000,19 (4): 41-44

[5] 李安,王爱勤,陈建敏.聚丙烯酸(钾)/凹凸棒黏土吸水剂的制备及性能研究.功能高分子学报,2004,17 (2): 200-206

[6] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室编.土壤物理性质测定法.北京:科学出版社,1978: 26-95

[7] 鲍士旦主编.土壤农化分析.北京:中国农业出版社出版,2000: 153-156

[8] 康红梅,谢建军,刘洋.耐盐性丙烯酸系吸水树脂的合成及吸液性能.高分子材料科学与工程,2003,19 (60): 84-87

[9] Bradley WF. The structural scheme of attapulgite. American Mineralogist, 1940, 25 (6): 405-410.

[10] 王志玉,刘作新,赵京考.土壤改良剂 MDM 对松嫩平原草甸碱土的改良效果.水土保持学报,2004,18 (1): 144-146

[11] 吴建平,袁正科,袁通志.湘西南沟谷森林土壤水文-物理特性与涵养水源功能的研究.水土保持研究,2004,11 (1): 74-81

[12] 冯杰,郝振纯,陈启慧.分形理论在土壤大孔隙研究中的应用及其展望.土壤,2001,33 (3): 123-130

[13] 秦嘉海,吕彪,赵芸晨.河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培肥效应的研究.土壤,2004,36 (1): 71-75

[14] Xie ZB, Zhu JG, Chu HY, Gao ZH, Deng XH. Effect of lanthanum accumulation on cation exchange capacity and solution composition of red soil. Pedosphere, 2000, 10 (2): 171-176

Effects of Water-Preserving Composite of Polyacrylamide/ Attapulgite on Soil Physical Properties

LIU Rui-feng^{1,2}, ZHANG Jun-ping^{1,2}, ZHENG Xin¹, WANG Ai-qin¹

(1 Lanzhou Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: A new water-preserving composite of polyacrylamide/attapulgite (PAM-atta) was prepared by combining acylamide with attapulgite clay. Effects of PAM-atta on soil physical properties were investigated. The results indicated that soil water content, pH value, aggregates >0.25mm, porosity and cation exchange capacity increased with application rate of the composite. The finer the composite in particle size, the more significant the effect on soil water content and aggregates >0.25mm. The use of the composite that has passed a 120 mesh sieve may increase the content of soil aggregates >0.25mm up to 13.3% ~ 16.2%.

Key words: Water-preserving composite, Attapulgite, Soil aggregates, Bulk density, Cation exchange capacity

更正启事

本刊 2005 年第 37 卷第 6 期第 649 页未标出文章基金编号: 国家自然科学基金项目 (40261007)、宁夏回族自治区自然科学基金项目 (ZD3) 资助。现作更正补加, 谨向作者及读者致歉。