

Study on the Effects of Several Kinds of New Super Absorbent Polymers on Soil Leaching Loss of Water and Nitrogen and Growth of Flowering Chinese Cabbage

Shikun Li¹, Xiujuan Zhong², Xiaoyun Mao², Zongwen Liao^{2*}

¹Guangdong Runtian Fertilizer Co. Ltd., Xinxing Guangdong

²College of Resource and Environmental Sciences, South China Agriculture University, Guangzhou Guangdong
Email: *zwliao@sohu.com, 149803962@qq.com

Received: Dec. 10th, 2015; accepted: Dec. 25th, 2015; published: Dec. 28th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

This paper studied the effects of three kinds of new super absorbent polymers on soil evaporation, nitrogen and water leaching and growth of flowering Chinese cabbage through simulation experiment and pot experiment. The soil cup leaching experiment showed that the soil water content in treatment with super absorbent polymers increased from 7.10% to 28.42% on average. The soil column test showed that on the 14th day of the experiment, the accumulative leaching losses of soil nitrogen in treatment with PSB were 4.68% lower than those in NH₄NO₃ treatment, while in the treatment with NJ1 and NJ2, the losses were 20.20% and 14.49%. The pot experiment showed that the biomass of flowering Chinese cabbage in treatment with the complex water-retaining agent increased from 10.33% to 34.44% on average than that in NH₄NO₃ treatment.

Keywords

New Super Absorbent Polymers, Nitrogen Leaching, Flowering Chinese Cabbage

几种新型保水剂对水肥淋失和菜心生长的影响

李世坤¹, 钟秀娟², 毛小云², 廖宗文^{2*}

*通讯作者。

¹广东润田肥业有限公司, 广东 新兴

²华南农业大学资源环境学院, 广东 广州

Email: zwliao@sohu.com, 149803962@qq.com

收稿日期: 2015年12月10日; 录用日期: 2015年12月25日; 发布日期: 2015年12月28日

摘 要

通过模拟试验和盆栽试验, 研究了3种新型保水剂对土壤蒸发量、氮肥和水分淋失以及菜心生长的影响。土杯淋溶试验表明, 加入保水剂可使土壤含水量平均增加7.10%~28.42%。土柱淋溶试验表明, 在第14 d, 与 NH_4NO_3 相比, 加(PSB)处理的氮素累计淋失量降低4.68%, 与尿素相比, 加(NJ1)和(NJ2)处理的氮素累计淋失量分别降低20.20%和14.49%。盆栽实验表明, 与 NH_4NO_3 相比, 施用保水剂处理的菜心生物量的增产幅度为10.33%~34.44%。

关键词

新型保水剂, 氮肥淋失, 菜心

1. 前言

大量研究表明, 在目前农业生产条件下, 我国的农田化肥当季利用率氮肥为 30%~35%, 磷肥为 10%~20%, 钾肥为 35%~50%, 低于国外同类肥料的 5%~20%。以氮肥为例, 每年损失的氮素相当于 1900 多万 t 的尿素, 折合人民币 380 多亿元[1]。因此, 化肥损失不仅造成了经济的损失, 更加剧了环境的污染。提高肥料利用率, 实现可持续发展是国内外共同关注的重大问题[2] [3]。另一方面, 我国又是一个水资源相对贫乏的国家, 单位耕地面积占有水量仅 28,320 m^3/hm^2 , 仅为世界平均的 4/5。随着城市和工农业的迅速发展, 水的供需矛盾愈来愈突出, 工农业争水的矛盾更加尖锐[4] [5]。

保水剂是一种具有超高吸水、保水能力的高分子聚合物, 它对提高干旱地区土壤持水性、提高土壤的持水量及降低土壤水蒸发都具有很好的效果, 因而在节水农业和生态环境恢复中得到了较为广泛的应用[6]-[8]。目前已商品化的保水剂大多是以聚丙烯酸或聚丙烯酰胺为主生产的, 存在的主要问题是成本高和耐盐碱性能差[9]-[10]。

与传统的单一保水剂仅注重保水不同, 本试验用的新型保水剂同时具有保水、保氮的效果, 不仅可为植物生长提供水分, 而且提供生长所需的必要元素。研制新型保水剂的目的就是通过化学保水技术和肥料控释技术的综合运用, 设法降低保水剂成本以开拓水肥一体化技术途径[11]。

2. 材料与方法

2.1. 供试材料

供试保水剂: 铵盐水凝胶-1 (以下简称 NJ1)和铵盐水凝胶-2 (以下简称 NJ2), 由华南农业大学理学院研制, 其不仅具有保水性能, 而且它本身含有氮肥, 具有肥效。其基本参数为 NJ1: 0.72 g $\text{H}_2\text{O}/\text{g}$ 凝胶, 0.18 g $\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{g}$ 凝胶, 0.06 g N/g 凝胶, 可任意稀释, 其吸水倍率为 110.52 g/g; NJ2: 0.40 g $\text{H}_2\text{O}/\text{g}$ 凝胶, 0.49 g $\text{NH}_4\text{NO}_3/\text{g}$ 凝胶, 0.17 g N/g gel, 可任意稀释, 其吸水倍率为 103.48 g/g。复合保水剂(以下简称 PSB)由无机矿物(膨润土, 产自广东三水)与高聚物保水剂(由北京汉力葆科贸中心提供)按 1:1 比例混合制成, 由

华南农业大学新肥料资源研究中心研制, 其吸水倍率为 156.13 g/g。

供试肥料: 尿素, 含氮 46%; NH_4NO_3 , 含氮 35%; 过磷酸钙, 含有效磷 P_2O_5 12%; 氯化钾, 含有效钾 K_2O 60%。

供试作物: 菜心, 品种为精选 80 天油青。

供试土壤: 取自华南农业大学资源环境学院农场水稻土, 其理化性质见表 1。

2.2. 试验方法

2.2.1. 新型保水剂在土壤中的抗蒸发试验

设 4 个处理, 每处理 3 次重复: CK0, 纯土壤, 不加保水剂; T1, 加 NJ1 处理; T2, 加 NJ2 处理; T3, 加 PSB 处理。选用高 9 cm、口径 7 cm 的塑料水杯, 在底部打三个均匀分布的小孔, 垫一层 200 目尼龙布。将过 60 目筛的供试土壤 200 g 与 0.4 g 等干重新型保水剂混合均匀, 放入杯内, 在杯下套一合适大小的烧杯, 烧杯口托住水杯, 下半部分有足够空间盛装渗漏水(如图 1 所示)。向水杯中缓慢加蒸馏水 120 ml, 静置一晚至水杯中已无水再流出, 取下水杯称重, 获得土壤和保水剂水饱和后重量。其后放入 40℃ 恒温培养箱中, 每天定时取出称重, 至质量稳定时停止[12]。以下列公式计算土壤含水率(EP)

$$\text{EP}(\%) = (\text{M}_i - \text{M}_0) / 200.00 \times 100\%$$

式中: M_i —定期测定纸杯和其内混合物的质量; M_0 —纸杯和其内混合物的初始质量。

2.2.2. 新型保水剂的土柱淋溶试验

参照 Paramasivam 等方法[13]。在事先用 200 目滤布封底口, 并在滤布上垫有少量砂子(25 g)的塑料管(直径 5 cm, 高 30 cm)中模拟耕层按 1.3 g/cm^3 容重先装入 250 g(约 10 cm 高)土壤(风干, 过 2 mm 筛), 所加的新型保水剂的干重相等, 再在其上按同样紧实度装入与 250 g 土壤混合的土肥混合物(1 gN/kg 土),

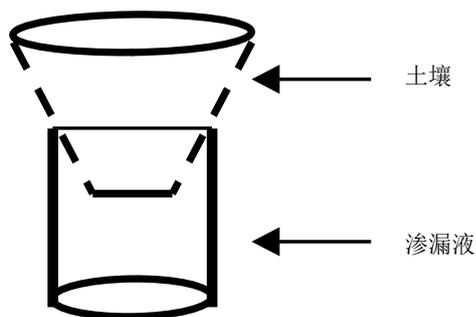


Figure 1. Soil cup leaching set
图 1. 土杯淋溶装置图

Table 1. Physical-chemical characteristics of pot soil
表 1. 盆栽土壤理化性质

化学性质	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	PH 值/ 土:水 = 1:2.5	全氮(N)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全磷(P_2O_5)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全钾(K_2O)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效氮(N)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷(P_2O_5)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效钾(K_2O)/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
	20.9	6.05	1.54	0.40	4.86	62.03	21.20	49.27
物理性质	质地	砂粒/%	粉粒/%	粘粒/%	容重/ $\text{g}\cdot\text{cm}^3$			
	中壤	52.73	21.36	25.91	1.3			

土柱上面再以少量砂子(25 g)覆盖以防加水时扰乱土层。以不加肥料的土柱作为对照, 其余各处理等氮, 每个处理重复3次。

第一次先加150 ml水使土壤水分接近饱和, 培养1 d后再以150 ml水一次加入淋溶土柱, 收集48 h内淋溶液, 淋溶结束后以刺有小孔塑料薄膜封闭塑料管上口, 室温下培养3 d后, 用100 ml水进行第2次淋溶, 以后各次按同样操作进行, 在培养2、5、8、11、14 d时进行淋溶, 即培养3 d, 淋溶1次。量取各淋溶液体积, 分析全氮含量。全氮测定方法采用碱性过硫酸钾氧化-紫外分光光度法[14]。设计方案如表2所示, A组设CK1、T1, 可比较保 NH_4NO_3 的效果; B组设CK2、T2、T3, 可比较保尿素的效果。A、B组各处理(CK0除外)的施氮量均相等, 故组间亦可比较。

2.2.3. 新型保水剂的菜心盆栽试验

盆栽试验在华南农业大学玻璃温室大棚内进行。试验设8个处理, 每处理4次重复, 每盆用土4 kg。氮、磷、钾均作基肥与土混匀。肥料种类及用量见表3。第一造种植菜心, 在盆中先装2 kg的土, 再加入保水剂, 其后再装2 kg土与肥的混合物, 整平、压紧。每盆3株。在盆栽期间保证每个处理相同的灌水量。收获时收割菜心地上部分, 称鲜重, 烘干后称干重。

Table 2. Soil column leaching of super absorbent polymers with different N fertilizer treatments

表 2. 含不同氮肥的保水剂土柱淋溶试验方案

试验 Trial	处理 Treatment	保水剂 Super absorbent polymers		氮肥 N fertilizer	
		种类 Variety	$\text{g}\cdot\text{column}^{-1}$	种类 Variety	$\text{g}\cdot\text{column}^{-1}$
A 组	CK0	—	—	—	—
	CK1	—	—	NH_4NO_3	0.714
	T1	PSB	0.12	NH_4NO_3	0.714
B 组	CK2	—	—	全尿素	0.543
	T2	NJ1	0.43 (与 T1 等干重)	补尿素	0.4876
	T3	NJ2	0.2 (与 T1 等干重)	补尿素	0.4696

Table 3. Pot experiment of Chinese flowering cabbage with super absorbent polymers

表 3. 保水剂的菜心盆栽试验方案

处理 Treatment	保水剂 Super absorbent polymers		氮肥 N fertilizer		过磷酸钙 Super phosphate ($\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$)	氯化钾 Potassium chloride ($\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$)	养分量 Nutrient rate ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O)
	种类 Variety	($\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$)	种类 Variety	($\text{g}\cdot\text{pot}^{-1}$)			
CK0	—	—	—	—	—	—	0-0-0
CK1	—	—	NH_4NO_3	1.72	2.67	0.67	150-80-100
T1A	PSB	2.12	NH_4NO_3	1.72	2.67	0.67	150-80-100
T1B	PSB	2.12	尿素	1.3	2.67	0.67	150-80-100
T2	NJ1	10	NH_4NO_3	—	2.67	0.67	150-80-100
T3	NJ2	3.53 (与 T1 等干重)	NH_4NO_3	—	2.67	0.67	150-80-100

3. 结果与分析

3.1. 新型保水剂对土壤水分蒸发的影响

加入复合保水剂的处理与 CK0 比较, 土壤含水量差异很大, 第 1 天差异在 4~14 g 之间, 此差异一直保持到第 7 天。从图 2 可以看出 7 天内复合保水剂 PSB 的保水效果最好, 比对照 CK0 的含水量提高了 28.42%, 其次是 NJ1 和 NJ2, 分别比对照提高了 10.06% 和 7.10%。这说明使用复合保水剂可明显降低土壤水分蒸发, 在相当长时间内保持明显高于 CK0 的含水量。在 7 天以后, 各处理的土壤含水量差距逐步缩小。

3.2. 新型保水剂的土柱淋溶试验

3.2.1. 新型保水剂对土柱淋出量的影响

本试验前的预备试验先后设计为 T1 加 PSB 0.5 g/管, 0.3 g/管, T2、T3 相应与 T1 等干重, 但发现连续淋溶 3 次以后就出现淋不出水的现象, 这与保水剂吸水膨胀有关。考虑到要有一定淋出量以研究新型保水剂的保肥效果, 故减少用量, 设计 T1 (PSB) 为 0.12 g/管, T2、T3 与 T1 等干重。

试验发现第一次淋液体积都比较少, 说明在第一次土壤中水分尚未充分饱和。图 3 显示, 从淋出的总体积可以看出加入新型保水剂能够使淋液量减少, 其中累计淋液体积 T1 比 CK1 减少 9.23%, 而 T2 和 T3 分别比 CK2 减少 4.13% 和 4.21%, T1 比 T2 和 T3 分别减少 5.81% 和 5.74%。说明 3 种新型保水剂在土壤中有较强的保水能力; 其中, PSB 的保水效果优于 NJ1 和 NJ2。

3.2.2. 新型保水剂对氮素溶出的影响

尿素以及 NH_4NO_3 和不同保水剂处理在土壤中的氮素累计溶出率曲线如图 4 所示。A 组试验结果表明, T1 在 14 天累计溶出率比 CK1 降低 4.68 个百分点; B 组试验结果表明 T2 和 T3 分别比 CK2 降低了 20.20 和 14.49 个百分点, T2 比 T3 降低 6.68 个百分点。综合来看, CK1 比 CK2 降低 41.22 个百分点, 表明 NH_4NO_3 比尿素具有较强的抗淋溶能力。试验表明加入 3 种新型保水剂能够较好控制土壤中氮素养分的淋失。其中复合保水剂 PSB 效果较好, 且复合保水剂对 NH_4NO_3 的保肥效果远远优于对尿素的保肥效果, 这与其中 NH_4^+ 易为土壤胶体吸持有关。

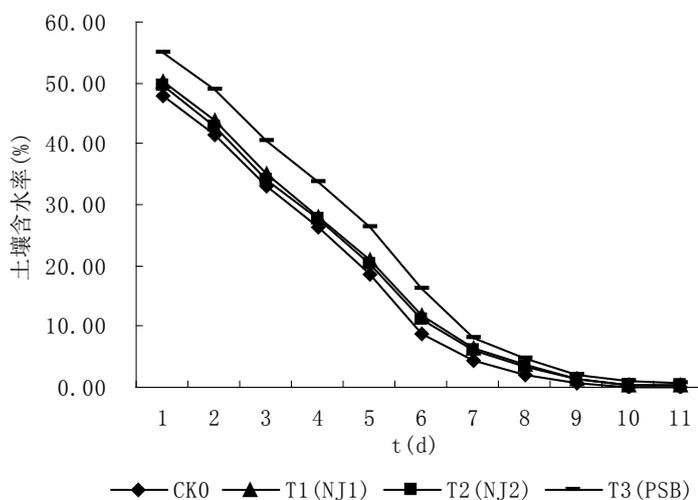


Figure 2. The change curve of soil moisture content
图 2. 土壤含水率变化曲线

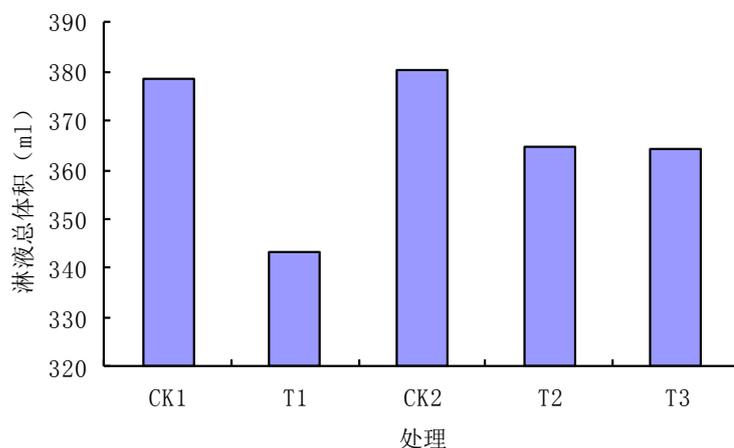


Figure 3. The total leaching volume of different treatments

图 3. 不同处理的淋液总体积量

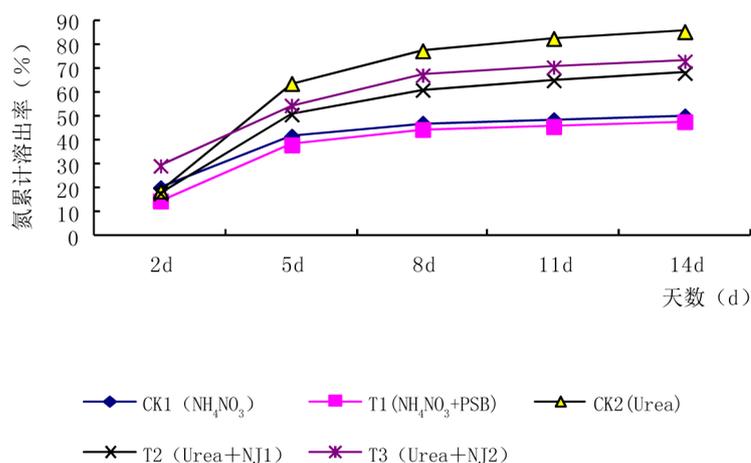


Figure 4. Nitrogen cumulate leaching rate curves of super absorbent polymers in soil

图 4. 保水剂对土壤中的氮素累计溶出率的影响曲线

3.3. 新型保水剂的菜心盆栽试验

3.3.1. 新型保水剂对菜心生物量的影响

与单施用 NH_4NO_3 (CK1) 相比, 加入复合保水剂 PSB (T1A、T1B) 以及直接施用凝胶 1 (T2) 和凝胶 2 (T3), 菜心生物量都有明显增产 (见表 4), 其增产幅度为 10.33%~34.44%。与等氮处理 T1B 相比, T1A 和 T3 增产幅度分别为 10.17% 和 21.85%, 表明 PSB 对 NH_4NO_3 的保肥效果优于尿素, 具有明显的增产作用, 这同样与 NH_4^+ 易为土壤胶体吸持有关。

3.3.2. 新型保水剂对菜心叶绿素、光合作用的影响

表 5 表明, 加入新型保水剂, 其叶绿素含量有明显提高。T2 处理比 CK1 提高了 10.58 个百分点, 与 CK1 相比, T1A、T1B、T3 处理均有不同程度的提高。表 5 也表明, 加入新型保水剂能提高菜心叶片的光合速率, 与 CK1 相比, 提高幅度为 $1.7\sim 3.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 这说明新型保水剂能够对菜心叶片的叶绿素值以及光合速率有促进作用, 进而提高菜心的生物产量。

Table 4. Chinese flowering cabbage biomass of different treatments
表 4. 不同处理的盆栽菜心的生物量

处理 Treatment	鲜重 fresh weight (g·pot ⁻¹)	增产 Increasing yield (%)	
		较 CK1 Over CK1	较 T1B Over T1B
CK0	12.80c	—	—
CK1	16.84bc	—	—
T1A	20.47ab	21.56	10.17
T1B	18.58ab	10.33	—
T2	18.62ab	10.57	0.22
T3	22.64a	34.44	21.85

注(Note): 同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平。
 Different letters in same column mean significant at 5% level.

Table 5. Chlorophyll and photosynthesis rate of Chinese flowering cabbage of different treatments
表 5. 不同处理的盆栽菜心的叶绿素、光合速率

处理 Treatment	叶绿素 SPAD 值 Chlorophyll SPAD	光合速率 Photosynthesis speed (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)
CK	53.99b	13.4d
CK1	56.60ab	14.0cd
T1A	56.65ab	15.7bc
T1B	57.01ab	15.8bc
T2	62.59ab	17.5ab
T3	57.69ab	16.4bc

注(Note): 同列中不同字母表示差异达 5% 显著水平。
 Different letters in same column mean significant at 5% level.

4. 讨论与结论

国内外的研究表明,施用保水剂在改良土壤物理性质、减少灌溉水用量、保持土壤养分和提高水分利用率等方面均有积极作用[6] [15]-[19]。然而,目前无论国内还是国外对于保水剂在农业上的应用均受到两方面的限制:一是价格高,昂贵的成本使其无法在农业上推广应用;二是普通保水剂的耐盐性差,在土壤或肥料盐份存在条件下其保水性能会大幅度降低,并缩短使用寿命。通过改变保水剂的剂型(由颗粒型变凝胶型)、采用普通保水剂与无机材料共混加工研制复合保水材料等技术途径来突破普通保水剂价格高、耐盐性差的经济技术瓶颈[20],对促进保水剂在农业上的推广应用、提高农田用水的利用率和提高肥料利用率具有重要的意义。

本研究采用的两种水凝胶型保水剂和一种复合保水剂均能显著提高土壤中的水分含量、减少土壤水分蒸发、降低氮素的淋溶损失率,并能明显提高作物产量。水凝胶型保水剂的生产工艺较普通保水剂简捷,在单体胶联后不需烘干、粒化,能较大幅度降低因后续工艺带来的能耗等成本,同时,还能提高保水性能。复合保水剂采用廉价的无机矿物与普通高聚物保水剂共混加工后制得,能提高其耐盐性[20],大幅度降低成本。本试验采用的矿物售价为 300 元/t 左右,为一般保水剂价格的 1/8,加入后成本降幅很明显。多次研究结果表明这种复合保水剂能保持较好的保水、保肥性能[12] [21]。本研究的试验结果表明,通过改变保水剂的剂型、采用普通保水剂与无机材料加工研制复合保水材料等技术途径来突破普通保水

剂的高价限制是可行的。

本研究的结果表明,新型保水剂不仅对土壤中尿素有良好的保肥作用,而且对 NH_4NO_3 的保肥效果较好,甚至优于对尿素的效果,表明3种新型保水剂能够抵抗离子的破坏作用,具有较好的抗盐能力而且成本下降。这一研究结果显示,矿物-高聚物复合保水剂和凝胶型途径为研制保水型控释肥、实现水肥一体化调控提供了重要的技术基础,值得深入研究。

参考文献 (References)

- [1] 李庆逵,朱兆良,于天仁. 中国农业持续发展中的肥料问题[M]. 南昌:江西科学技术出版社,1998:1-5.
- [2] 廖宗文,刘可星,王德汉,等. 发展有中国特色的控释肥[J]. 中国农业科技导报,2001,3(4):71-75.
- [3] Shaviv, A. and Mikkelsen, R.L. (1993) Controlled Release Fertilizers to Increase Efficiency of Nutrition and Minimize Environmental Degradation—A Review. *Fertilizer Research*, **35**, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00750215>
- [4] 山仑,陈国良,主编. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,1993:298-301.
- [5] 李英能,主编. 节水农业新技术[M]. 南昌:江西科学技术出版社,1998,344-348.
- [6] 刘春生,杨吉华,马玉增,等. 抗旱保水剂在果园中的应用效应研究[J]. 水土保持学报,2003,17(2):134-136.
- [7] 崔英德,郭建维,阎文峰,等. SA-IP-SPS 型保水剂及其对土壤物理性能的影响[J]. 农业工程学报,2003,19(1):28-31.
- [8] 杜生太,康绍忠,张富仓,等. 固体水的吸水特性及其抗旱节水效应[J]. 干旱地区农业研究,2002,20(3):49-53.
- [9] 李云开,杨培岭,刘洪禄. 保水剂农业应用及其效应研究进展[J]. 农业工程学报,2002,18(2):182-186.
- [10] 李雅丽. 耐电解质高吸水性树脂的合成及其吸液性研究[J]. 应用化工,2003,32(4):27-29.
- [11] 杜建军,廖宗文,宋波,等. 包膜控释肥养分释放特性评价方法的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2002,8(1):16-21.
- [12] 卢其明,孙克君,廖宗文,等. 聚合物/膨润土复合材料的水肥调控特性研究[J]. 水土保持学报,2004,18(4):50-51.
- [13] Paramasivam, S. and Alva, A.K. (1997) Leaching of Nitrogen Forms from Controlled-Release Nitrogen Fertilizers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **28**, 1663-1674. <http://dx.doi.org/10.1080/00103629709369906>
- [14] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京:科学出版,1983:186-194.
- [15] Flannery, R.L. and Busscher, W.J. (1982) Use of Synthetic Polymer in Potting Soils to Improve Water Holding Capacity. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **13**, 103-111.
- [16] Woodhouse, J. and Johnson, M.S. (1991) Effect of Superabsorbent Polymers on Survival and Growth of Crop Seeding. *Agricultural Water Management*, **20**, 63-70. [http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(91\)90035-H](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(91)90035-H)
- [17] Kazanskii, K.S. and Dubrovskii, S.A. (1992) Chemistry and Physics of Water-Storing Agricultural Polyacrylamides. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **36**, 789-793.
- [18] Chatzoudis, K.S. and Rigas, F. (1998) Macroreticular Hydrogel Effects on Dissolution Rate of Controlled-Release Fertilizers. *Journal Agriculture and Food Chemistry*, **46**, 2830-2833. <http://dx.doi.org/10.1021/jf970969f>
- [19] 王志玉,刘作新. 高吸水树脂的性能及其在农业上的应用[J]. 土壤通报,2004,35(3):352-355.
- [20] 刘瑞凤,张俊平,王爱勤. PAM-atta 复合保水剂的保水性能及影响因素研究[J]. 农业工程学报,2005,21(9):47-50.
- [21] 毛小云,李世坤,廖宗文. 有机-无机复合保水肥的保水保肥效果研究[J]. 农业工程学报,2006,22(6):45-48.