

保水剂对不同质地土壤保肥性影响的研究

范 富, 张庆国, 侯迷红, 郇继承, 孙德智, 邢旭明

(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028043)

摘要: 试验在三种不同质地的土壤中加入不同用量的保水剂和相同用量硫酸钾进行, 利用花盆试验研究保水剂不同用量对不同质地土壤保持养分能力的影响。结果表明, (1) 保水剂能降低土壤淋洗液中钾离子浓度, 且钾离子浓度与保水剂用量呈负相关, 表明保水剂对三种质地土壤保持钾素的能力都有所提高; (2) 保水剂对三种质地土壤养分保持能力的影响大小程度依次为砂土、壤土、粘土; (3) 保水剂使土壤中硫酸钾残留量都较对照显著提高, 砂土、壤土和粘土中分别加入 0.25% 保水剂较对照分别节钾 25.51%、4.70% 和 2.06%。试验表明保水剂具有显著的保肥效果, 在一定程度上减少了可溶性养分的淋溶损失, 从而对土壤的持肥能力有较明显的增加作用。

关键词: 保水剂; 土壤质地; 土壤保肥性; 土壤淋洗; 钾离子浓度

中图分类号: S143.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0115-06

Effects of super absorbent polymer on nutrient retaining property in soils with different textures

FAN Fu, ZHANG Qing-guo, HOU Mi-hong, TAI Ji-cheng, SUN De-zhi, XING Xu-ming

(College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028043, China)

Abstract: Using different dosage of super absorbent polymer (SAP) and same dosage of potassium sulfate, a pot experiment was carried out to investigate the effects of different dosage of SAP on nutrient retaining property in three soils with different textures. The results show that: (1) SAP could reduce potassium ion concentration in the soil eluent, which was negatively correlated to dosage of SAP. This meant that SAP improved the potassium retaining capacity of the soils with different textures. (2) The effect degree of SAP to nutrient retaining capacity was different among the three kinds of soil, which could be ordered as: sand > loam > clay. (3) SAP increased significantly the residue of potassium sulfate in the soils. In sand, loam and clay, the application of 0.25% SAP could save potassium by 25.51%, 4.70% and 2.06%, respectively, compared with the control. Therefore, SAP was remarkably effective in retaining soil fertility, and it could reduce the leaching loss of soluble nutrients to a certain extent.

Keywords: super absorbent polymer (SAP); soil texture; soil nutrient retaining capacity; soil leaching; potassium ion concentration

化肥在农业生产中有重要地位, 是农业生产中最大的物质投资, 约占其全部生产性支出的 50%^[1]。正如农谚所言“有收无收在于水, 收多收少在于肥”。肥料是粮食增产的重要保障, 是“粮食的粮食”^[2]。然而, 常规化肥的损失不仅是土壤中肥料或养分的淋溶损失, 更为严重的是损失的肥料已经给我们的生存环境和生态环境造成了不良后果^[3-5]。因此, 科学施肥、提高肥料利用率、减少养分损失、改善农业生产环境对我国这样一个肥料消耗大国显得尤为重要^[6]。

保水剂(super absorbent polymers, 简称 SAP)是近年来发展迅速的化学节水技术, 是利用强吸水性树脂或淀粉等材料制成的一种超高吸水、保水能力的高分子聚合物, 它能迅速吸收比自身重数百倍甚至上千倍的纯水, 且有反复吸水功能, 吸水后的凝胶可缓慢释放水分供作物利用。土壤加入保水剂后可增加对肥料的吸附作用, 减少肥料的淋失, 而且保水剂本身无毒副作用, 不会污染环境, 最终可被生物降解为水、CO₂ 和氮。因此, 它是调节土壤水、热、气状况, 改善土壤结构, 提高土壤肥力的有效手段^[7-8]。

收稿日期: 2013-06-21

基金项目: 内蒙古自然科学基金项目(20080404MS0607); 内蒙古民族大学基金项目(MDX2008017); 内蒙古民族大学科研创新团队支持计划(NMD1003)

作者简介: 范 富(1963—), 男, 内蒙古化德县人, 教授, 主要从事植物营养调控和土壤改良方面的研究。E-mail: fanfu63@163.com。

具有用途广、投资少、见效快,在农业生产等诸多方面具有较广泛的应用发展前景^[9]。

由于多种肥料易溶于水,而水又处于主导地位,遵循肥随水走,以水调肥的规律,保水剂在保水的同时还能起到保肥的功效。它能减少施用肥料的总量,减少水肥淋失,提高肥料利用率^[10]。国内外学者对保水剂的保肥作用进行了大量的研究,证明保水剂可协调水肥耦合环境,提高氮、钾肥利用率,拌土施加保水剂可节肥 30%^[11-13]。并且在不同土壤中,加入保水剂后能减少水肥无效损耗,提高作物产量^[14]。

目前,保水剂在农业上的研究多侧重于对土壤物理性质的影响及其保水、节水效果等方面。但对于保水剂和肥料施加在土壤中,对养分的保持、保水剂与土壤和肥料的相互作用研究较少。本研究将采

用日本新型研制的 SA50II 型保水剂,针对内蒙古地区农田主要土壤类别砂土、壤土及粘土,研究保水剂对三种不同质地土壤的保肥效果,为加强深化保水剂系统研究,细化保水剂产品在不同土质土壤和区域的应用,填补内蒙古自治区通辽地区的研究空白。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤分别来源于,砂土:内蒙古通辽市科尔沁郊区沙地;壤土:内蒙古民族大学农学院试验田耕作层 0~20 cm;粘土:内蒙古民族大学农学院试验田粘土层 30~60 cm。每种土样分别取 3 个样品,进行机械组成和部分基本理化性状分析,根据国际制土壤质地分类标准测定供试土壤基本性质见表 1。

表 1 供试土壤基本性质

Table 1 Basic property of experimental soils

| 土壤质地 Soil texture | 各级颗粒含量/% Content of different classes of particle | | | pH 值 pH value | 有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹) | 全盐含量 Total salt content /(g·kg ⁻¹) | CEC /(cmol·kg ⁻¹) |
|-------------------------|--|---------------|-----------------------|------------------|---|--|----------------------------------|
| | 砂粒/% Sand | 粉粒/% Silt | 粘粒/% Clay particle | | | | |
| | 2~0.02 mm | 0.02~0.002 mm | <0.002 mm | | | | |
| 砂土 Sand | 91.41 | 0.33 | 8.25 | 7.29 | 6.86 | 0.43 | 6.56 |
| 壤土 Loam | 47.75 | 27.69 | 24.56 | 8.2 | 17.89 | 0.68 | 14.84 |
| 粘土 Clay | 12.79 | 36.52 | 50.69 | 6.59 | 19.35 | 0.97 | 16.89 |

试验所用的保水剂为由日本住友精化株式会社提供的 Sumitomoseika SA50II 型保水剂,它是一种高度亲水性高分子聚合物,产品为白色粉末状,粒径在 0.23~0.40 mm 之间,吸水倍率为 280 g·g⁻¹,酸碱性和中性。

供试肥料为上海市国药集团化学试剂有限公司生产的硫酸钾,分析纯,性状为无色透明结晶或粉末,含量(K₂SO₄)≥99%,K₂O 约为 50%。

1.2 试验方法与设计

试验选择三因素花盆试验,A 因素为不同质地的土类,包括砂土(A₁)、壤土(A₂)、粘土(A₃);B 因素为不同用量保水剂,包括 B₁(0 g)、B₂(1 g)、B₃(3 g)、B₄(5 g)和 B₅(10 g);C 因素为肥料,本试验只施用 3 g K₂SO₄。分别在三种不同质地的土壤中加入不同用量的保水剂和相同用量的硫酸钾。参照李世坤等^[15]方法。试验设计如下:取 15 个相同规格(160 mm×220 mm)的花盆模拟耕层,下端垫上三层滤纸,滤纸外面再包上一层医用纱布,淋洗之前在花盆下面用塑料容器承接淋洗液,将 4 kg 土壤、不同用量保水剂和 3 g 硫酸钾充分搅拌混匀,按 1.53 g·cm⁻³

容重先装入 3 kg 土放入花盆,上层用 1 kg 混前土作为表土,覆盖在混合物上方,以防止保水剂外露。试验实施前先取部分三种质地土样进行机械组成分析及常规养分的测定。以不加保水剂的花盆作为对照,每种土壤 5 个处理,重复 3 次。第一次加水 1 200 ml 使土壤水分接近饱和状态,观察 2 d 后以 1 000 ml 水再次淋洗土壤,第三次以 500 ml 水量淋洗土壤,当淋洗液体积呈现规律性变化时以后每次按 400 ml 水淋洗土壤,同时控制淋洗速度,为了更快速研究保水剂的保肥性能,试验每两天淋洗 1 次。考虑通辽市是科尔沁沙地的腹地,砂质土壤面积占的比例高,大部分又属于灌溉农田,所以试验设计共淋洗 11 次,记录每次的淋洗液体积并测定淋洗液中速效钾含量。通过反复淋洗后,最后再将土样阴干进行最终养分含量测定。

1.3 测定项目及测定方法

采用简易比重计法(鲍氏比重计)测定机械组成;电位法测定 pH 值(1:5 土水比)(pH-3B 雷磁精密 pH 计);重铬酸钾容量法—外加热法测定有机质含量(油浴加热);碱解扩散法测定碱解氮含量(DHG

-9140A 型电热恒温鼓风干燥箱); $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法测定速效磷含量(U-NIC7220 型分光光度计); $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定速效钾含量(FP6400 型火焰光度计);量筒测定淋洗液体积,项目测定方法按土壤农化分析(第3版)进行^[16]。

2 结果与分析

2.1 淋洗次数对保水剂保肥性的影响

由图1、图2、图3可以看出,在砂土中钾含量的变化为:保水剂施用到砂土中一直有保肥效应,且淋洗液中钾浓度变化量一直较大。相同用量保水剂时淋洗液中钾浓度随着淋洗次数的增加呈下降趋势;随着保水剂用量的增加,淋洗液中钾浓度逐渐减小。B1处理的最初和最终钾浓度为 $249.95 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 和 $109.98 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,而 B5 处理为 $194.96 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 和 $64.99 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,分别降低了 $54.99 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 和 $44.99 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,说明保水剂不但具有保水作用,而且具有保钾作用。在壤土中的钾含量变化,壤土在第5次淋洗后其淋洗液中钾浓度变化量中等。壤土的变化趋势与砂土类似,但淋洗液中钾浓度整体较砂土低,B1处理和 B5 处理钾浓度分别降低了 $19.99 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ 和 $14.25 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,变化幅度较小。说明保水剂在壤土中的保肥效果没有砂土明显。在粘土中钾含量的变化,粘土在第3次淋洗后 K^+ 基本稳定,后两次差异不大,且淋洗液中钾浓度变化量较低,趋于平稳。对照是在未加保水剂的土壤中,是在模拟降雨情况下,钾肥施入土壤后,主要以离子态形式存在,而转化为吸附态的比例很少,故 K 素很容易被淋失,当土壤中施入保水剂后,明显减少了养分的淋失量。

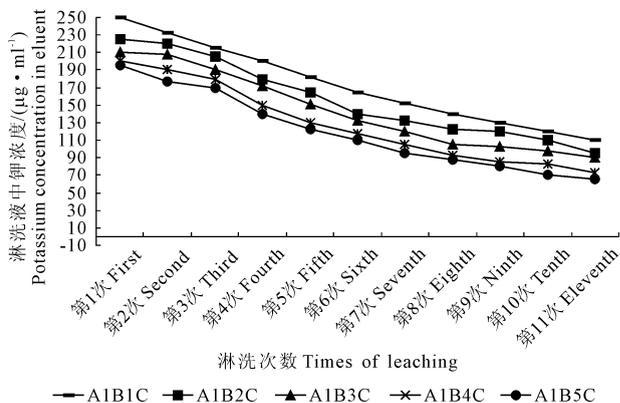


图1 保水剂对砂土淋洗液中钾浓度的影响
Fig.1 Effect of SAP to potassium concentration in eluent of sandy soil

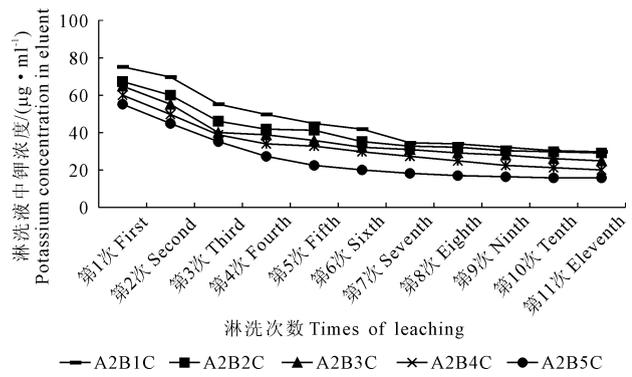


图2 保水剂对壤土淋洗液中钾浓度的影响
Fig.2 Effect of SAP to potassium concentration in eluent of loam soil

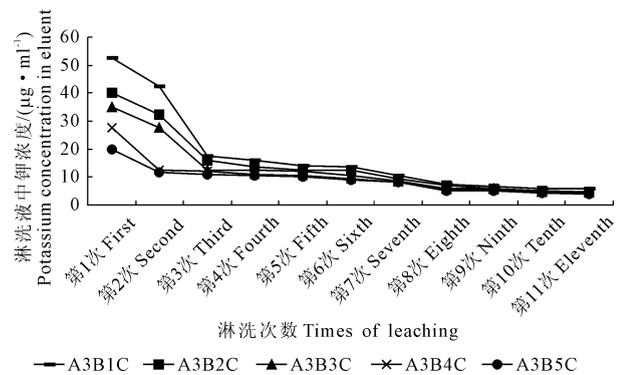


图3 保水剂对粘土淋洗液中钾浓度的影响
Fig.3 Effect of SAP to potassium concentration in eluent of clay soil

从图1、图2和图3还可以看出,保水剂对三种质地土壤保持钾素的能力都有不同程度的提高,表现为随着保水剂施用量的增加,淋洗液中的钾浓度随之显著降低。但降低幅度因不同质地土壤而有所差异,砂土从处理1到处理5变化幅度达 $\pm 50 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,壤土达 $\pm 17 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$,粘土达 $\pm 30 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ (前四次测定淋洗液中钾浓度)和 $\pm 2 \mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$ (后五次测),粘土变化趋势较小也可能是因粘土本身也具有一定的保肥性。土壤对肥料元素离子的吸附是提高其抗淋溶效果的内在因素,而保水剂可以通过创建和稳定水稳性团粒结构以及对肥料元素的吸附两方面作用来加强土壤对肥料的吸附和保持,减少了肥料进入土壤液相,抑制肥料元素的流失^[17]。同时水分也是影响土壤钾素释放和固定的重要因素,这种不断淋洗土壤,造成的干湿交替也会对土壤的固钾作用有一定影响^[18]。

2.2 保水剂对不同质地土壤累计淋洗液中钾含量的影响

由图4可知,不同质地中,保水剂用量对三种质

地土壤保持钾素效果不同,影响大小顺序为砂土 > 壤土 > 粘土。随着保水剂用量的增加,砂土累计淋洗液钾含量较对照分别减少了 9.62%、16.79%、25.96% 和 30.83%;壤土分别减少 10.54%、12.47%、17.61% 和 18.12%;粘土较对照分别减少了 7.17%、7.57%、8.26% 和 9.63%。砂土的减少幅度最大,说明混剂土提高了土壤对钾素的保持能力,随着保水剂用量的增加,钾素淋溶损失呈明显减小的趋势,这可能与土壤质地、阳离子交换量和土壤总盐含量有关。砂土因粘粒含量较少,故阳离子交换量较小,土壤的保肥能力较弱,养分易于淋失,因而不同用量保水剂对该土壤保持养分的影响最明显;粘土由于粘粒含量高且阳离子交换量大,而且它本身对养分有较强的吸附保持能力,不致受淋洗而损失,因此对养分的保持效果在不同用量保水剂处理之间的影响较小;壤土的粘粒含量、阳离子交换量都处于砂土和粘土之间,故保水剂对壤土保持养分能力的影响也处于砂土和粘土之间。

2.3 淋洗后不同质地土壤的硫酸钾残留量变化

为了比较不同质地土壤淋洗后的肥料损失,根据淋洗液体积和淋洗液中钾浓度计算出不同处理后土壤中的硫酸钾残留量,淋洗结束时,在 0 g、1 g、

3 g、5 g 和 10 g 用量保水剂下,砂土较对照分别节钾 9.43%、16.26%、21.71%、25.51%,壤土分别节钾 1.60%、2.46%、3.36%、4.70%,粘土分别节钾 0.85%、1.24%、1.85%、2.06%。砂土在不同处理之间差异性较显著,壤土只有 B5 和对照之间具有显著差异性,而粘土各处理之间没有显著差异性。可以看出,同一土壤质地下,随保水剂用量的增加,节钾量增加,而且在相同用量保水剂下,砂土节钾效果较壤土和粘土变化明显。说明加入保水剂可以增加对钾肥的吸附作用,减少肥料的淋失。

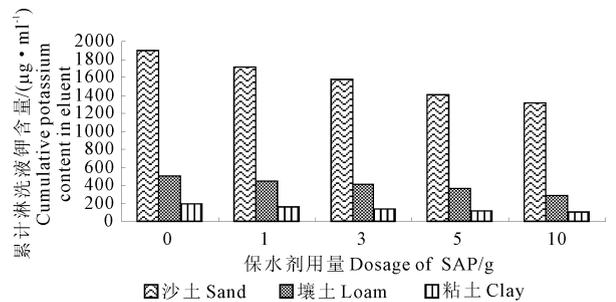


图 4 保水剂对土壤累计淋洗液钾含量的影响

Fig.4 Effect of SAP to cumulative potassium content in eluent of different soils

表 2 不同处理后硫酸钾残留量对比

Table 2 Residue of potassium sulfate under different treatments

| 试验处理 Treatment | 硫酸钾残留量/g K ₂ SO ₄ residue | 与对照变化/g Change amount | 试验处理 Treatment | 硫酸钾残留量/g K ₂ SO ₄ residue | 与对照变化/g Change amount | 试验处理 Treatment | 硫酸钾残留量/g K ₂ SO ₄ residue | 与对照变化/g Change amount |
|----------------|---|-----------------------|----------------|---|-----------------------|----------------|---|-----------------------|
| A1B1C | 1.049 | 0 | A2B1C | 1.628 | 0 | A3B1C | 1.732 | 0 |
| A1B2C | 1.148 | 0.099 | A2B2C | 1.655 | 0.026 | A3B2C | 1.747 | 0.015 |
| A1B3C | 1.220 | 0.171 | A2B3C | 1.669 | 0.040 | A3B3C | 1.754 | 0.021 |
| A1B4C | 1.277 | 0.228 | A2B4C | 1.683 | 0.055 | A3B4C | 1.764 | 0.032 |
| A1B5C | 1.317 | 0.268 | A2B5C | 1.705 | 0.077 | A3B5C | 1.768 | 0.036 |

表 3 硫酸钾残留量变化显著性分析

Table 3 Significance analysis of potassium sulfate residue

| 土类 Soil texture | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
|-----------------|---------|----------|----------|----------|---------|
| 砂土 Sand | 1.049eD | 1.148dC | 1.220cB | 1.277bA | 1.317aA |
| 壤土 Loam | 1.629bA | 1.655abA | 1.669abA | 1.683abA | 1.705aA |
| 粘土 Clay | 1.732aA | 1.747aA | 1.754aA | 1.764aA | 1.768aA |

注:小写字母代表 5% 水平差异性显著,大写字母代表 1% 水平差异性极显著,下同。

Note: Lower-case and capital letters mean significant difference at 5% and 1%, respectively, hereinafter the same.

2.4 处理前后保水剂对不同质地土壤基础养分含量的影响

由表 4,表 5 可以看出,在不栽培植物的情况

下,通过 11 次淋洗,三种质地土壤的有机质、氮、磷含量均呈现小幅变化,均没有显著性差异,只有速效钾含量在处理前和试验后出现极显著性差异。

表4 处理前后土壤基础养分含量变化

Table 4 The basic soil nutrient content before and after treatments

| 试验处理 Treatment | pH 值 pH value | | 有机质/(g·kg ⁻¹) Organic matter | | 碱解氮/(mg·kg ⁻¹) Available nitrogen | | 有效磷/(mg·kg ⁻¹) Available phosphorus | | 速效钾/(mg·kg ⁻¹) Available potassium | |
|-------------------|------------------|--------------|---|--------------|--|--------------|--|--------------|---|--------------|
| | 处理前 Before | 试验后 After | 处理前 Before | 试验后 After | 处理前 Before | 试验后 After | 处理前 Before | 试验后 After | 处理前 Before | 试验后 After |
| A1B1C | 7.29 | 7.59 | 6.86 | 6.81 | 38.15 | 38.05 | 24.13 | 24.00 | 453.66 | 179.96 |
| A1B2C | 7.11 | 7.19 | 6.86 | 6.59 | 37.95 | 37.93 | 23.80 | 23.72 | 452.66 | 217.46 |
| A1B3C | 7.18 | 7.20 | 6.90 | 6.49 | 37.80 | 37.79 | 25.40 | 25.35 | 467.41 | 222.46 |
| A1B4C | 7.17 | 7.19 | 6.80 | 6.36 | 37.85 | 37.81 | 25.36 | 25.28 | 457.41 | 234.95 |
| A1B5C | 7.11 | 6.85 | 6.85 | 7.24 | 37.99 | 38.09 | 25.32 | 25.43 | 458.41 | 334.93 |
| A2B1C | 8.20 | 8.91 | 17.89 | 17.88 | 62.10 | 62.01 | 35.90 | 35.79 | 504.90 | 367.42 |
| A2B2C | 8.38 | 8.42 | 17.85 | 18.02 | 62.45 | 64.95 | 35.45 | 35.55 | 494.90 | 372.42 |
| A2B3C | 8.26 | 8.55 | 17.88 | 17.99 | 63.63 | 64.85 | 34.20 | 35.02 | 499.91 | 377.42 |
| A2B4C | 8.32 | 7.81 | 17.82 | 18.57 | 63.02 | 63.45 | 34.86 | 35.65 | 496.37 | 392.42 |
| A2B5C | 8.34 | 7.81 | 17.82 | 18.05 | 63.65 | 63.88 | 35.12 | 35.32 | 498.54 | 407.43 |
| A3B1C | 6.59 | 6.94 | 19.35 | 19.34 | 88.17 | 88.11 | 48.44 | 48.46 | 632.35 | 379.92 |
| A3B2C | 6.62 | 6.71 | 19.65 | 19.83 | 89.8 | 89.95 | 47.96 | 48.32 | 624.65 | 384.93 |
| A3B3C | 6.64 | 6.02 | 19.88 | 19.99 | 88.90 | 89.13 | 46.40 | 47.01 | 632.38 | 389.92 |
| A3B4C | 6.57 | 6.04 | 19.86 | 19.97 | 88.2 | 88.61 | 46.98 | 47.59 | 628.32 | 397.42 |
| A3B5C | 6.67 | 6.11 | 19.69 | 21.88 | 89.98 | 90.08 | 46.88 | 47.37 | 633.12 | 454.91 |

表5 处理前后土壤基础养分变化显著性分析

Table 5 Significance analysis of changes of soil nutrients before and after treatments

| 土壤质地 Soil texture | 处理 Treatment | pH 值 pH value | 有机质 Organic matter | 碱解氮 Available nitrogen | 有效磷 Available phosphorus | 速效钾 Available potassium |
|----------------------|-----------------|------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 砂土 Sand | 处理前 Before | 7.172Aa | 6.854Aa | 37.948Aa | 24.802Aa | 457.910Aa |
| | 试验后 After | 7.204Aa | 6.698Aa | 37.934Aa | 24.756Aa | 237.952Bb |
| 壤土 Loam | 处理前 Before | 8.300Aa | 17.852Aa | 62.971Aa | 35.106Aa | 498.924Aa |
| | 试验后 After | 8.295Aa | 18.102Aa | 63.830Aa | 35.466Aa | 383.422Bb |
| 粘土 Clay | 处理前 Before | 6.618Aa | 19.686Aa | 89.010Aa | 47.332Aa | 630.164Aa |
| | 试验后 After | 6.364Aa | 20.202Aa | 89.176Aa | 47.750Aa | 401.420Bb |

3 讨论与结论

从保水剂对土壤质地保钾试验分析,保水剂对不同质地土壤具有保钾作用,而且保钾效果在砂土中影响最大,壤土次之,粘土最低,这与苟春林、曲东、杜建军^[19]等人的研究效果相似。施用 10 g 用量的保水剂保钾效果最明显。

从保水剂对不同质地土壤钾素保持效果表明,随着淋洗次数的增加,淋洗液中钾浓度呈下降趋势,当土壤中加入保水剂后,淋洗液中钾浓度较对对照明显降低,而且在同一质地土壤中,随着淋洗次数的增加,保水剂用量与淋洗液中钾浓度呈负相关,表明保水剂对三种质地土壤保持养分的能力都有不同程度的提高,处理为 10 g 用量的保水剂对钾肥的保持能力明显高于其它处理和对照。从保水剂对土壤累计

淋洗液钾素含量变化表明,保水剂对三种土壤的影响顺序为:砂土>壤土>粘土。淋洗结束后,土壤中的硫酸钾残留量也出现一定程度的变化,表现为在同一土壤质地下,随保水剂用量的增加,硫酸钾残留量增加;而且在相同用量保水剂下,砂土节肥效果较壤土和粘土变化明显,在砂土、壤土和粘土中,用量 10 g 保水剂的处理较对照分别节钾 25.51%、4.70% 和 2.06%,表明保水剂具有显著的保钾效果,可以提高土壤的保钾能力,在一定程度上减少了离子态养分的淋溶损失。

参考文献:

- [1] 李庆远,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] 赵其国. 我国现代农业发展中的若干问题[J]. 土壤学报,1997,

- 34(1):1-9.
- [3] Keeney D. Sources of nitrate to ground water[J]. In CRC Critical Reviews in Environmental Control, 1983, 16(3):257-304.
- [4] Hallberg G R. Agricultural chemicals in ground water: extent and implications[J]. America Journal of Alternative Agriculture, 1987, 2(12):3-15.
- [5] Kumazawa K. Nitrogen fertilization and for sustainable agriculture nitrate pollution in groundwater in Japan: Present status and measures for sustainable agriculture[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2/3):129-137.
- [6] 许秀成, 王好斌, 李茵萍, 等. 包裹型缓释/控制释放肥料专题报告[J]. 磷肥与复肥, 2000, 15(6):7-11.
- [7] 杜太生, 康绍忠, 魏 华. 保水剂在节水农业中的应用研究现状与展望[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(5):317-320.
- [8] 李开扬, 任天瑞. 高吸水性树脂在农业中的应用[J]. 过程工程学报, 2002, 2(1):91-96.
- [9] 黄占斌, 张国桢, 李 秧, 等. 保水剂特性测定及其在农业中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(1):22-26.
- [10] 关雅贤. 适合中国国情的高科技抗旱产品—保水剂[J]. 防汛与抗旱, 1999, (2):22-33.
- [11] 蔡典雄, 赵兴宝. 浅谈保水剂在南方果树区的应用及前景[J]. 中国南方果树, 2000, 29(2):50.
- [12] 陈学仁. 保水剂在农村水利领域开发和应用的探索[J]. 中国农村水利水电, 2000, (6):19-24.
- [13] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥氨挥发和氮磷钾养分淋溶损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4):1296-1301.
- [14] 杜建军, 廖宗文, 冯 新, 等. 高吸水性树脂在赤红壤及砖红壤上的保水保肥效果研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2):138-140.
- [15] 李世坤, 毛小云, 廖宗文. 复合保水剂的水肥调控模拟及其肥效研究[J]. 水土保持学报, 2007, 21(4):113-116.
- [16] 鲍士旦. 土壤化学分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 苟春林. 聚丙烯酰胺型保水剂与化学肥料的相互作用及其应用[D]. 陕西, 2006.
- [18] 丛日环, 李小坤, 鲁剑巍. 土壤钾素转化的影响因素及其研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(6):907-913.
- [19] 贞学峰, 吴普特, 汪有科, 等. 添加 PAM 条件下土壤养分淋溶试验研究[J]. 水土保持通报, 2003, 23(2):26-28.

(上接第 98 页)

参 考 文 献:

- [1] 孙志海, 武志杰, 陈利军, 等. 农业生产中的氮肥施用现状及其环境效应研究进展[J]. 土壤通报, 2006, 37(4):782-786.
- [2] Subbarao G V, Ito O, Sahrawat K L, et al. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems—Challenges and opportunities[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 2006, 25(4):303-335.
- [3] 吕殿青, 同延安, 孙本华, 等. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1):8-15.
- [4] 高祥照, 马文奇, 杜 森, 等. 我国施肥中存在问题的分析[J]. 土壤通报, 2001, 32(6):258-261.
- [5] 劳秀荣, 孙伟红, 王 真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):618-623.
- [6] 武志杰, 张海军, 许广山, 等. 玉米秸秆还田培肥土壤的效果[J]. 应用生态学报, 2002, 13(5):539-542.
- [7] 董印丽, 樊慧敏, 王建书, 等. 玉米秸秆还田培肥效果研究[J]. 广东农业科学, 2010, (2):77-78, 85.
- [8] 高利伟, 马 林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, (7):173-179.
- [9] 王 丽, 李雪铭, 许 妍. 中国大陆秸秆露天焚烧的经济损失研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(2):170-175.
- [10] 冯 伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2010, 27(6):350-354.
- [11] 王得焕, 田世忠, 严有花. 小麦间作玉米套种大豆的高产高效栽培术[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(18):4543.
- [12] 孙云毅, 马振勇, 杨 琳. 小麦间作玉米套种大豆的高产高效栽培术探究[J]. 农业与技术, 2012, (1):31.
- [13] Blankenau K, Olf H W, Kuhlmann H. Effect of microbial nitrogen immobilization during the growth period on the availability of nitrogen fertilizer for winter cereals[J]. Biology and Fertility of Soils, 2000, 32:157-165.
- [14] Makumba W, Akinnifesi F, Janssen B, et al. Optimization of nitrogen released and immobilization from soil-applied prunings of Sesbania sesban and maize stover[J]. Scientific Research and Essay, 2007, 2:400-407.
- [15] Choi W, Lee S, Han G, et al. Available organic carbon controls nitrification and immobilization of ammonium in an acid loam-textured soil[J]. Agricultural Chemistry and Biotechnology, 2006, 49:28-32.
- [16] Lu Caiyan, Zhang Xudong, Chen Xin, et al. Fixation of labeled ($^{15}\text{NH}_4$) $_2\text{SO}_4$ and its subsequent release in black soil of Northeast China over consecutive crop cultivation[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 106:329-334.