

施用保水剂对土壤氮素淋溶及脲酶活性的影响

车明超¹, 黄占斌^{1,2}, 王晓茜^{1,2}, 李文颖¹, 锅 圆¹, 吴 鹏¹,
谢 娜¹

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 为了分析保水剂对土壤氮素淋溶效应和土壤脲酶活性影响, 通过模拟试验, 对施用同量尿素条件下, 三种不同类型高分子保水剂(聚丙烯酸钠保水剂、有机-无机复合保水剂、腐植酸型保水剂)对尿素淋溶和土壤脲酶活性进行比较。多次灌水淋溶实验表明, 三种保水剂都明显降低了土壤尿素淋失, 保肥效果明显。在前三次灌水淋溶中, 三种保水剂施用的土壤脲酶活性略高于未施尿素的对照, 之后灌水时基本相同, 说明保水剂对脲酶活性有一定促进作用, 有利于植物更好的吸收氮素。随灌水次数增加, 所有处理的土壤脲酶活性都有明显减少, 与淋溶液氮素淋出量趋势相同。其中施用聚丙烯酸钠盐保水剂降低氮素流失, 提高肥料利用效率效果较优。

关键词: 保水剂; 氮素; 尿素; 淋溶; 脲酶

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2010)增刊-0093-05

Effects of SAP Application on Nitrogen Eluviations and the Urease Activity of Soil

CHE Ming - chao¹, HUANG Zhan - bin^{1,2*}, WANG Xiao - qian^{1,2}, LI Wen - ying¹, GUO Yuan¹, WU Peng¹, XIE Na¹

(1. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. The State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry - land Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling 712100, China)

Abstract: Chemical agent application is an important way to decrease nitrogen fertilizer losing and raise the use efficiency. In order to analyze the inference of super absorbent polymer (SAP) on nitrogen eluviations and the urease activity of soil, it was used simulation experiment to study the effects of three kinds of SAP, including polyacrylic acid SAP, organic - inorganic hybrid SAP and humic acid - contained SAP, on urea eluviations and the urease activity of soil. Under same level of urea fertilizer application, multiple irrigation eluviations experiment was shown that three kinds of SAP all strongly restrained the leaching loss of urea in soil, and effect of fertilizer maintaining is clear. In the former three times, the activity of urease in soil applying WRA slightly higher than the sample's, while after that it almost same. It means that SAP has enhance effect on activity of urease, which is good for plants to absorb nutrient. The activities of urease of all the samples are lower with the time, and the trend is the same as the Leaching Loss of Urea. And effect of nitrogen maintain and inhibition of activity of Urease on the sample applying the polyacrylic acid SAP is the most obviously.

Keywords: super absorbent polymer(SAP); nitrogen; urea; urease; eluviations

土壤酶参与土壤中各种生物化学过程, 对土壤中有机质的分解和植物营养元素的循环起着非常重要

的作用, 也与环境质量和作物生产力等相关^[1-2]。因此, 土壤酶活性常作为表征土壤微生物活性、土壤肥力和土壤质量的指标而被使用^[1,3-5]。

土壤脲酶是 Rotini 于 1935 年发现的, 土壤脲酶的催化作用是尿素在土壤中转化分解的关键因素。尿素是最简单的有机化合物, 施入土壤后在硝化细菌以及土壤尿素分解酶——脲酶的作用下分解成为更简单的无机离子, 脲酶是尿素分解的催化剂。尿素在

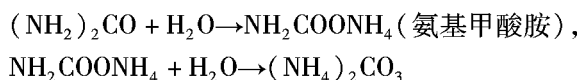
收稿日期: 2009-09-22

基金项目: 国家自然科学基金(40971164); 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金课题(10501-258)

作者简介: 车明超(1985—), 辽宁人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境生物技术。E-mail: Juge9999@yahoo.com.cn

通讯作者: 黄占斌 E-mail: zbhuan2003@163.com

脲酶的作用下水解为氨基甲酸铵,氨基甲酸铵进一步水解为碳酸铵:



碳酸铵再进一步分解为氨和碳酸氢铵:



尿素在脲酶的作用下迅速水解生成氨和碳酸氢铵,氨在浅土层和地表层容易以气态挥发进入大气。土壤脲酶一直受到人们的关注,这是由于在农业系统中,脲酶对促进尿素分解具有重要作用^[6-7],是陆地和水体系统中促进氮矿化的一个重要因素^[8-9]。

保水剂(Super Absorbent Polymer, SPA)又称土壤保水剂是利用强吸水性树脂制成的一种具有超高吸水能力的高分子聚合物。它能迅速吸收比自身重百倍甚至上千倍的去离子水,数十倍至近百倍的含盐水分,吸水后膨胀为水凝胶,可缓慢释放水分供作物吸收利用,从而增强土壤保水性,改良土壤结构,减少水的深层渗透和土壤养分流失,提高水分利用率,成为植物干旱时的“小水库”。在农、林、水等领域中,对抗干旱保苗,改良土壤,防风固沙,水土保持,增产增收有重要作用^[10-11]。

本研究从土壤学和土壤酶学相结合角度出发,采用盆栽模拟试验比较不同类型的保水剂对土壤保水保肥的效应。根据保水剂的化学组成和功能特点,我国农用保水剂一般分为高分子聚丙烯酸盐类保水剂,有机-无机复合类保水剂,以及含有功能成分的多功能类保水剂,如腐植酸型保水剂。通过以一次应用保水剂后不同时间范围浇水淋溶过程中的氮素淋溶和土壤脲酶活性的变化,揭示保水剂施用对提高氮肥肥料利用效率及其生物化学机制,建立保水剂影响土壤环境质量的酶活性指标体系,为保水剂与肥料的配合和合理施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验选取三种不同类型保水剂:保水剂A为高分子聚丙烯酸盐类保水剂,唐山博亚科技集团有限公司提供;保水剂B为有机-无机复合类保水剂,山东胜利油田长安集团聚合物公司提供;保水剂C为腐植酸型多功能类保水剂,中国矿业大学(北京)自行研制。实验土壤沙壤土,取自北京通州北京市水科所实验站的田间表土,土壤容重 $1.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水量 19.3%,pH 值 7.50。样土经风干、过筛、装盆,拌底肥

化肥,肥料为尿素(含氮 46%)。

1.2 实验方法

实验采取室内土柱模拟方法。选用口径 13 cm、深 20 cm 塑料盆,盆底垫 200 目滤布封底,盆下面刻有直径 5 cm 的小孔为土壤淋溶液和水分漏出;在土盆下面安置一个收集淋溶液容器,用来收集土壤溶液。每盆装干土 1 kg;尿素用量为 $1 \text{ g 纯氮} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土,编号见保水剂处理。保水剂的使用量按照土壤干重的 0.2% 施用,采用全施方式进行^[12]。

实验设 5 个处理,以土壤施尿素但不施保水剂(CK1)为对照,土壤施腐植酸型保水剂为处理 A,施有机无机复合保水剂为处理 B,施腐植酸型保水剂为处理 C。每个处理 3 个重复,共计 15 盆。

实验以一次应用保水剂后多次浇水,分析每次浇水后的淋溶液氮素变化和土壤脲酶活性,揭示保水剂对氮素保持及其与土壤脲酶活性变化关系。每次供水分 2 步进行,第一步向土柱中加水,使土壤达到饱和田间持水量,这时土盆的重量相同,静置 1 d 使水肥充分融合;第二步向土盆中加 300 mL 水进行淋溶,收集 48 h 内淋溶液,测定淋溶液的氮素变化;土柱在室温下培养 5~6 d,测定每日水分蒸发变化,待水分降低到田间持水量 60% 左右时取土壤样品测定土壤脲酶;当土壤水分降到田间持水量 40% 时再进行下一次浇水处理。分别选取第 1、4、5、6、8 次浇水后的土样进行土壤脲酶含量测定。

1.3 测定指标与方法

土壤淋溶液含 N 量测定采用碱性过硫酸钾氧化-紫外线分光光度法^[14]。土壤脲酶活性采用苯酚钠比色法^[15]测定,土壤脲酶活性以 100 g 土壤中 NH_3 -N 克数表示。

2 结果与讨论

2.1 保水剂对土壤氮素淋溶的影响

氮素淋溶是氮素损失的一个主要途径,也容易引起地下水和地表水污染。图 1 是肥料氮在土壤中的氮素累积淋出量,图 2 是每次浇水后的氮素淋溶量曲线。实验结果表明,保水剂处理的土壤氮素淋容量都明显小于对照,随浇水次数的增加,而减小土壤氮素淋溶效果明显作用是在第一、二次浇水(见表 1)。

第一次浇水后,各处理的淋溶氮量明显低于对照,A、B、C 处理分别比对照降低 57.15%、53.32%、54.35%。第二次浇水后,保水剂处理的土壤氮素淋溶量与对照的差异明显减小,A、B、C 3 个处理淋溶氮

量分别为对照中 56.53%、76.14%、65.1%。此后几次浇水,施加保水剂处理之间氮的淋出量相差不大。其中施用高分子聚丙烯酸盐类保水剂的土壤的氮素流失相对最少,其他两种保水剂土壤的氮素保持效果大致相同。第八次浇水后,对照处理的氮累积淋失量 1 295.05 mg,3 种保水剂处理淋溶后氮的累积淋失量分别为 810.13、867.33 和 885.09 mg,施用保水剂的处理氮的累积氮的淋失量分别比对照减少 37.44%、33.05%、31.66%。证明保水剂有较强的保肥固氮作用^[16],不同保水剂对氮肥保持效果有差异,相对而言,聚丙烯酸盐类保水剂的土壤的氮素保持效果较大。

多次浇水后保水剂保对氮素淋溶的效应和不同处理的氮素淋失量氮素累积淋失量呈明显增加趋势,每次浇水后,施加保水剂处理的淋溶氮量均明显小于未施用保水剂的对照处理。

2.2 保水剂对土壤脲酶活性的影响

土壤脲酶是一种直接参与尿素形态转化的酰胺酶,酶促有机质分子中肽键水解,其活性通常与微生物数量、土壤有机质、全 N 和速效氮相关。

表 2 表明,随着时间推移,各处理土壤脲酶活性都明显减少,这与氮素流失与尿素水解有关。在第 1 次浇水后,保水剂处理的土壤脲酶活性都高于对照,可能是对照土壤第 1 次氮淋溶量高于保水剂组(图 2),相对施用保水剂减少了脲酶反应的底物浓度,保水剂有保肥固氮作用,致使施加保水剂组的脲酶催化反应的底物量相对较高,脲酶活性略高。在第 4 次浇水后,A、B、C 3 个处理的脲酶活性与对照土壤活性之间差异减小,但始终高于对照土的脲酶活性,说明保

水剂的施用可以使脲酶的活性长期维持在一个较高的状态,使氮肥中的尿素向铵态氮的转化更高效,更持久,有利于植物的吸收。第 8 次浇水以后,施用有机无机复合保水剂的土壤的脲酶活性最小,为 8.58 mg·kg⁻¹,施用腐植酸型多功能类保水剂的土壤的脲酶活性最高,为 9.05 mg·kg⁻¹,与其他施用不同保水

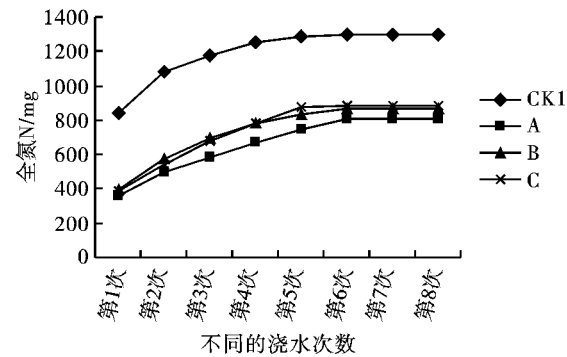


图 1 氮肥在土壤中的氮素累积淋出量曲线

Figure 1 Curves of cumulative N leaching amount from soil

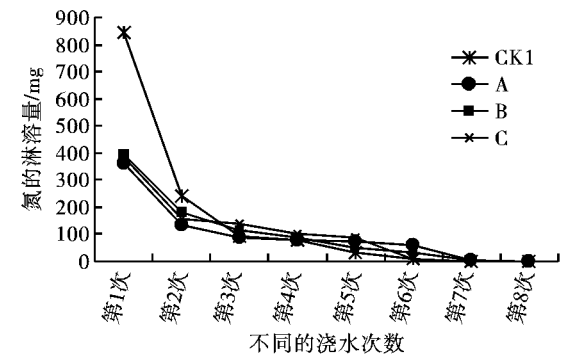


图 2 每次浇水氮的淋溶量

Figure 2 Curves of N leaching amount in different times

表 1 不同浇水次数下各处理的氮素淋溶量及其与对照的对比

Table 1 The compared of nitrogen leaching amount in different watering times under different SAP treatments

处理 Treatment	第 1 次 1 st leaching	第 2 次 2 nd leaching	第 3 次 3 rd leaching	第 4 次 4 th leaching	第 5 次 5 th leaching	第 6 次 6 th leaching	第 7 次 7 th leaching	第 8 次 8 th leaching
对照 CK1/mg	844.41	239.60	91.64	80.34	30.17	7.31	1.55	0.03
处理 A/mg	361.77	135.45	90.23	80.34	75.23	60.32	5.34	1.44
相对对照增减/mg	-482.64	-104.15	-1.00	0.00	+45.06	+53.01	+3.79	+1.41
相对对照/%	-57.15	-43.46	-1.53	0.00	+149.35	+725.17	+242.95	+4 700
处理 B/mg	394.13	182.44	116.42	90.23	50.70	30.64	2.43	0.35
相对对照增减/mg	-450.28	-57.16	+24.78	+9.89	+20.53	+23.23	+0.88	+0.32
相对对照/%	-53.32	-23.87	+27.34	+12.31	+68.05	+319.15	+58.67	+10 667
处理 C/mg	385.37	156.00	140.39	100.45	90.44	10.39	0.64	1.43
相对对照增减/mg	-300.96	-83.60	+48.75	+20.11	+60.23	+3.08	-0.91	+1.4
相对对照/%	-54.35	34.89	+53.20	+24.89	+199.64	+42.13	-60.67	+4 667

表 2 在不同浇水次数下各处理的土壤脲酶活性比较

Table 2 The compared of urease activity of soil under different SAP at different times

处理 Treatment	土壤脲酶活性 Urease activity of soil/mg · kg ⁻¹				
	第 1 次 1 st leaching	第 4 次浇水 4 th leaching	第 5 次浇水 5 th leaching	第 6 次浇水 6 th leaching	第 8 次浇水 8 th leaching
CK1	25.39A	15.32A	13.37A	12.98A	7.42A
A	30.48B	18.99A	16.52B	14.54A	8.74A
B	37.49B	24.08B	15.97B	14.35A	8.58A
C	31.17B	18.29A	14.08A	13.01A	9.05B

注:大写字母代表 5% 水平显著性差异

剂的两组及对照组在 95% 置信区间上差异明显。施用聚丙烯酸钠保水剂的土壤的脲酶活性前期始终低于其他两种保水剂的土壤,从第五次浇水开始与其他两组基本持平。图 1 证明施用聚丙烯酸保水剂的土壤氮的淋出量最小,为对照 31.66%,说明施用聚丙烯酸保水剂的施用使铵态氮很好的保持在土壤中,更好的供植物吸收。因此施用聚丙烯酸钠保水剂对于保肥固氮,提高肥料利用效率效果显著。

2.3 施用保水剂下土壤氮素淋溶与脲酶活性的关系

总体来看,随着浇水次数增加,土壤理化性质得以改善,土壤中氮素淋溶流失减小,同时土壤脲酶活性呈现明显的递减趋势。相关分析表明,各处理的土壤脲酶活性与氮素淋溶量达到了显著正相关。综合图 1 及表 1 看出,保水剂对于土壤中氮素的保持效果是显著的,氮素淋出量远低于未施用保水剂的处理。在保肥固氮的过程中,大量的尿素及其他形式的氮素被保水剂所吸附,固定在土壤中,延长尿素肥料的施用周期,提高了肥料的利用率,从脲酶活性上得出相同的结论。

3 结论与讨论

多次灌水淋溶实验表明,在施用同量尿素条件下,3 种保水剂都明显降低了土壤尿素的淋失,保肥效果明显。在前 3 次灌水淋溶试验中,3 种保水剂施用的土壤脲酶活性高于未施尿素处理,之后灌水时脲酶活性略高于对照组,说明保水剂对脲酶活性有一定促进作用,使尿素更有效更持久地分解为能被植物吸收的铵态氮,有利于植物的生长。相对而言,施用有机无机复合保水剂后的土壤脲酶活性在前期明显高于其他两种保水剂,因此浇水次数较少,生长期较短的作物,不宜施用有机无机保水剂;由于施用腐植酸保水剂的土壤脲酶活性最低,这些作物可施用腐植酸保水剂。对于生长期长的植物可以施用聚丙烯酸钠保水剂,尿素的作用效果较其他两种更持久。

本试验结论与国内外近几年的文献结论基本一致,与李昌满,赵小平^[17]等对于肥料对于脲酶活性影响的观点一致。肥料在土壤中的微观反应变化过程还有待进一步深入研究。

参考文献:

[1] Dick R P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality [A]//Doran J W, Coleman D C, Bezdicek D F, et al. ed. Defining Soil Quality for a Sustainable Environment [M]. Madison: American Society of Agronomy, 1994:107 - 124.

[2] Tabatabai M A. Soil enzymes [A]//Page A L, Miller R H, Keeney D R ed. Methods of Soil Analysis [M]. Madison: American Society of Agronomy, 1994:775 - 833.

[3] Kumar J D, Sharma G D, Mishra P R. Soil microbial population numbers and enzyme activities in relation to altitude and forest degradation [J]. *Soil Bio Biochem*, 1992, 24: 761 - 767.

[4] Dick W A, Tabatabai M A. Potential uses of soil enzymes [M]//Metting F B ed. Soil Microbial Ecology Applications in Agricultural and Environmental Management. New York: Marcel Dekker, 1992:95 - 127.

[5] Anna K B, Richard P D. Field management effects on soil enzyme activities [J]. *Soil Bio Biochem*, 1999, 31:1 471 - 1 479.

[6] Bremner J M, Mulvancy R L. Urease activity in soil [M]//Burns R G ed. Soil Enzymes. New York: Academic Press, 1978:149 - 197.

[7] Xiaobin W, Jingfeng X, Grant C A, et al. Effects of placement of urea with a urease inhibitor on seedling emergence, N uptake and dry matter yield of wheat [J]. *Candian Journal of Plant Science*, 1995, 75:449 - 452.

[8] Leftly J W, Syrett P J. Urease and ATP :Urea amidolyase activity in unicellular algae [J]. *Journal of General Microbiology*, 1973, 77:109 - 115.

[9] Kandeler E, Stemmer M, Klimanek E M. Response of soil microbial biomass, urease and xylanase within particle size fraction to long - term soil management [J]. *Soil Biol Biochem*, 1999, 31:261 - 273.

[10] 王一鸣. 保水剂在我国农业中的试验研究与应用 [J]. *中国农业气象*, 2000, 21(1):49 - 56.

WANG Yi - ming. Utilization of the water absorbent in agriculture [J]. *Chinese Journal of Agricultural Meteorology*, 2000, 21(1):49 - 56.

[11] 黄占斌, 夏春良. 农用保水剂作用原理研究与发展趋势分析 [J].

- 水土保持研究, 2005, 12(5):104-106
- HUANG Zhan-bin, XIA Chun-liang. A study on impact principles and development trend of agricultural super absorbent[J]. *Soil and Water Conservation Research*, 2005, 12(5):104-106.
- [12] 黄占斌, 张国桢. 保水剂特性测定及其在农业中应用[J]. 农业工程学报, 2002(1):22-26
- HUANG Zhan-bin. Determination of characteristics of SAP and application on agriculture[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2002(1):22-26.
- [13] 杜建军, 苟春林, 崔英德, 等. 保水剂对氮肥挥发和氮磷钾的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(4):1296-1301
- DU Jian-jun, GOU Chun-lin, CUI Ying-de, et al. Effects of water retaining agent on ammonia volatilization and nutrient leaching loss from N, P and K fertilizers[J]. *Journal of Agro-environment Science*, 2007, 26(4):1296-1301.
- [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: 科学出版社, 1983:3.
- Agricultural Specialty Committee of Soil Science Society of China. Soil agrochemistry conventional analysis method[M]. Beijing: Science Press, 1983:3.
- [15] 严昶升. 土壤肥力研究方法[M]. 北京: 农业出版社, 1988.
- YAN Chang-sheng. Research method of soil fertility[M]. Beijing: Agriculture Press, 1988.
- [16] 侯彦林, 王曙光, 郭伟. 尿素施肥量对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2004(6):303-306
- HOU Yan-lin, WANG Shu-guang, GUO Wei. Effect of urea application amount on microbes and enzymes in soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004(6):303-306.
- [17] 李昌满, 赵小平, 何士敏, 等. 不同施肥水平对茎瘤芥土壤脲酶活性的影响[J]. 西南农业学报, 2007(1):81.
- LI Chang-man, ZHAO Xiao-ping, HE Shi-min, et al. The effect of fertilizer application on the activity of urease in soil[J]. 2007(1):81.