

腐殖酸缓效肥料的 NO_3^- -N 田间淋溶及土壤残留

刘方春, 邢尚军*, 段春华, 杜振宇, 马海林, 马丙尧

(山东省林业科学研究院土壤肥料研究所, 济南 250014)

摘要:为探讨腐殖酸缓效肥料对地下水及土壤质量的潜在影响, 分别在砂质(SS)和黏质土壤(CS)中, 利用自制田间淋溶设备研究了不同肥料处理的 NO_3^- -N淋溶及土壤残留特性. 结果表明, 在2种不同质地土壤中, 不同时间施肥处理淋溶液中的 NO_3^- -N浓度比不施氮肥处理高28.1%~222.2%, 但腐殖酸缓效肥料可在一定程度上抑制 NO_3^- -N的向下淋溶, 且在CS土壤中的抑制作用更有持续性. CS土壤淋溶液中 NO_3^- -N的浓度比SS土壤降低41.2%~59.1%, 抑制 NO_3^- -N向下淋失的作用更强. 施肥可造成 NO_3^- -N在土壤剖面中的累积, 腐殖酸缓效肥料处理0~40 cm土壤剖面中 NO_3^- -N所占比例显著高于尿素及复合肥处理, 分别达59.8%和54.4%. SS土壤中 NO_3^- -N的总量显著低于CS土壤, HA缓施肥、尿素及复合肥处理分别降低81.7%、81.1%和47.6%. 同常规施肥处理相比, 腐殖酸缓效肥料处理可不同程度的提高土壤有机质、碱解氮、速效磷及阳离子交换量的含量, 且在黏质土壤中水溶性盐总量比尿素及复合肥处理分别降低24.8%和22.5%. 因此, 施用腐殖酸缓效肥料可有效改善土壤理化性状、降低施肥对地下水、成的潜在污染风险.

关键词:腐殖酸肥料; 土壤剖面; 硝态氮; 淋溶; 残留

中图分类号: X53 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2010)07-1619-06

Nitrate Nitrogen Leaching and Residue of Humic Acid Fertilizer in Field Soil

LIU Fang-chun, XING Shang-jun, DUAN Chun-hua, DU Zhen-yu, MA Hai-lin, MA Bing-yao

(Institute of Soil and Fertilizer, Shandong Academy of Forestry, Ji'nan 250014, China)

Abstract: To elucidate the potential influence of humic acid fertilizer on groundwater and soil quality in clay soil (CS) and sandy soil (SS), nitrate nitrogen leaching and residue of different fertilizers in field soil were studied using a self-made leaching field device. Nitrate nitrogen concentration in leaching water of fertilizer treatments was 28.1%~222.2% higher than that of non-nitrogen treatment in different times, but humic acid fertilizer could prevent nitrate nitrogen leaching both in CS and SS, especially in CS. Nitrate nitrogen concentration of leaching water in CS was 41.2%~59.1% less than that in SS and the inhibiting effect in CS was greater than that in SS. Nitrate nitrogen could be accumulated in soil profile by fertilizer application. The residue of nitrate nitrogen retained in 0~40 cm soil layer of humic acid fertilizer treatment was 59.8% and 54.4% respectively, higher than that of urea and compound fertilizer treatments. Nitrate nitrogen amount of humic acid, urea and compound fertilizer treatments in SS was significantly less than that in CS, being 81.7%, 81.1% and 47.6% respectively. Compared with the conventional fertilizer, humic acid fertilizer treatment improved the contents of organic matter, available nitrogen, phosphorus, and potassium of upper layer soil as well as cation exchange capacity. Besides, total amount of water-soluble salts in humic acid fertilizer treatment was decreased by 24.8% and 22.5% in comparison to urea and compound fertilizer treatments in CS, respectively. In summary, the application of humic acid fertilizer could improve physical and chemical properties of upper layer soil and reduce the risk of potential pollution to groundwater.

Key words: humic acid fertilizer; soil profile; nitrate nitrogen; leaching; residue

提高单产是解决中国粮食问题行之有效的手段之一, 因此, 越来越多的肥料, 尤其是氮素被投入到农田生态系统中. 氮肥过量施用造成了地表水^[1]、地下水^[2~5]的污染以及土壤质量的下降等^[6~8], 给人畜带来直接或潜在的威胁. 中国北方灌溉耕地约有15%~55%的氮肥经淋溶进入地下, 接近30%的地下水 NO_3^- -N含量超标, 部分地区达到50%^[9], 而欧美发达国家地下水 NO_3^- -N超标率大多在3%~15%之间^[10~12]. 基于此, 当今施肥的目的不仅仅在于提高产量, 改善品质, 还在于能否改善土壤环境, 培肥地力, 减轻施肥对土壤及地下水、成的污染等.

施用缓/控释肥料是有效减少 NO_3^- -N淋失的有效途径之一, 各种包膜肥料对减少养分淋失有着良好的效果^[13], 但缓/控释肥料成本很高, 且部分包膜物质残留在土壤中难以降解. 虽然残留物短时间内对土壤没有影响, 但长期施用的风险并没有被正确地评价. 腐殖酸(HA)是一种廉价无污染的有效肥

收稿日期: 2009-09-18; 修订日期: 2009-11-13

基金项目: 山东省中青年科学家科研奖励基金项目(2007BS08013); 山东省科学技术发展计划攻关项目(2007GG2009007); “十一·五”国家科技支撑计划重大专项(2006BAD03A1505-3); 山东省农业科技成果转化资金项目(鲁科农[2009]96-40)

作者简介: 刘方春(1978~), 男, 博士, 主要研究方向为土壤与生态, E-mail: fchliu@126.com

* 通讯联系人, E-mail: xingsj-126@126.com

料基质,广泛存在于褐煤、风化煤、泥炭、草炭中,经过一定强度硝酸活化后的褐煤阳离子交换量(CEC)和可提取性 HA 含量明显提高,对 NH_4^+ 吸附能力增强,而对磷吸附量甚微^[14],理化性质得到大幅改善,但目前还没有关于这种高活性 HA 作为肥料基质使用对 NO_3^- -N 淋失及土壤残留的影响的研究报道. 本实验利用硝酸活化后的 HA 作为基质制成缓释氮肥,利用自制的淋溶设备(图 1)研究了该肥料同当

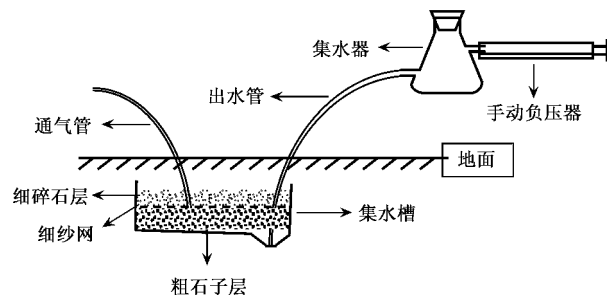


图 1 土壤地下水淋溶试验装置

Fig. 1 Experiment device on leaching water in soil

表 1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Physico-chemical properties of soils used in the experiment

土壤代号	碱解氮 /mg · kg ⁻¹	速效磷 /mg · kg ⁻¹	速效钾 /mg · kg ⁻¹	有机质 /%	pH	阳离子交换量 /cmol · kg ⁻¹	盐分 /‰
CS	80.88	64.25	88.50	1.95	7.02	7.31	1.46
SS	50.72	42.37	80.26	0.91	6.94	3.45	0.81

1.2 试验方法

试验共设 4 个处理,分别为:①自制腐殖酸氮肥、过磷酸钙及氯化钾混合肥料(HA);②尿素、过磷酸钙及氯化钾的混合肥料(UREA);③13-6-14 的复合肥(COM);④过磷酸钙及氯化钾混合肥料(CK). 处理 1、2 和 3 为等养分含量,每棵树每年的 N 、 P_2O_5 、 K_2O 用量分别为 325、125 和 375 g,CK 处理只施等养分含量的 P、K 肥. 每处理 16 棵核桃树,重复 3 次. 于 2007-06-11 和 2008-06-14 施肥,2007-06-11 进行地下淋溶设备的安置,施肥时将称好的肥料与 2.5 kg 土混匀,均匀施与以树基部为圆心,半径为 80 cm 的圆面积中,并翻土混匀(深度 0 ~ 10 cm). 淋溶试验所用设备为自制装置^[15](图 1),从试验点的侧面挖一条沟,将装置 3 及填充物质塞入试验点地下 1 m 处,集水槽 3 的上沿距离地面高度为 1 m,然后将侧面的沟填埋. 分别于 2007-09-23、2007-11-05、2008-08-27 和 2008-10-28 抽取淋溶装置内的淋溶液(根据当地降水状况安排淋溶液的抽取时间,不另外浇水)并于 2008-09-27 用土钻取样,

地习惯施肥(复合肥及尿素)条件下的 NO_3^- -N 淋溶动态差异及土壤剖面分布特性,以此作为该肥料环境风险评价的重要依据,以期作为 HA 肥料的合理施用、维持土壤的可持续利用、控制 NO_3^- -N 对地下水的污染等提供可靠的理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验地点基本状况

试验分别在济南市南部山区仲宫镇核桃园村的山坡和山脚 2 个不同质地土壤的核桃园中进行,其土壤基本理化性质见表 1. 暖温带半湿润区的大陆季风气候,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,冬季寒冷干燥. 年平均气温 10 ~ 20℃,30 年均降雨量为 662.8 mm,雨热同期,降水变率大,大部分集中在 6 ~ 10 月. 土壤主体为褐土,多位于低山丘陵的中上部,土层瘠薄,以中层粗骨土为主,难利用土地多,许多地方为基质裸岩. 土壤质地差别大,不利于植被发育.

每小区取样总深度为 1 m,每 20 cm 为一层次. 测定每层土壤 NO_3^- -N 含量,并测定 0 ~ 20 cm 土层土壤有机质、碱解氮、速效磷、pH、可溶性盐分及阳离子代换量.

1.3 测定方法

土壤质地采用手感判定法鉴定;pH 采用酸度计电位法测定;可溶性盐用电导法测定;土壤中碱解氮采用碱解扩散法测定;速效磷采用钼蓝比色法测定;钾采用火焰光度计法测定;有机质采用 K_2CrO_7 容量法-外加热法测定;土壤 NO_3^- -N 采用酚二磺酸比色法测定^[16];淋溶液中 NO_3^- -N 采用紫外分光光度法测定^[17];阳离子交换量(CEC)采用采用 NH_4OAc 法测定^[16].

2 结果与讨论

2.1 淋溶液中 NO_3^- -N 浓度的变化规律

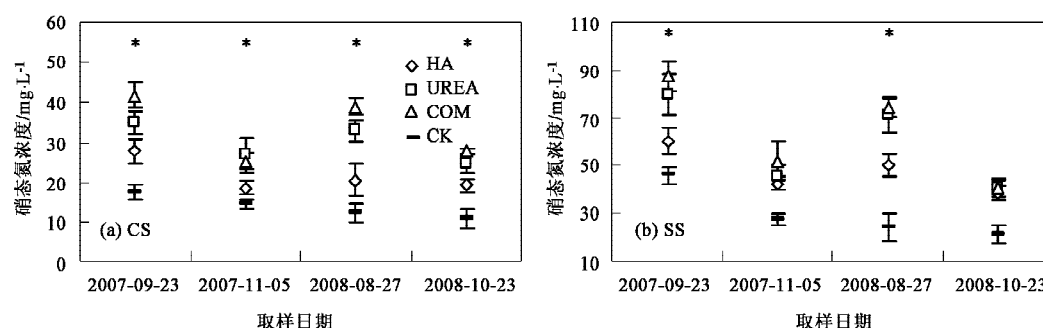
NO_3^- -N 不易被土壤胶体吸附,易随水移动而流失,施肥是影响氮潜在淋失的重要因子^[18]. 图 2 即为不同试验处理在不同时间取样时淋溶液中 NO_3^- -N

浓度的变化规律.可以看出,施肥即可造成 NO_3^- -N的淋失,试验时间内,3种施肥处理淋溶液中 NO_3^- -N浓度比CK高28.1%~222.2%.图2(a)中3等量施肥处理在不同时间取样差异均达显著水平.在2007-09-23和2008-08-27,各施肥处理均高于CK,但HA缓效肥料处理 NO_3^- -N浓度最低,而COM处理最高.在2007-11-15和2008-10-23,3个等量施肥处理的 NO_3^- -N浓度均也显著高于CK,且3个处理间差异显著,HA缓效肥料处理显著低于2个常规施肥处理,但2个常规处理之间差别不大.

比较图2可以看出,在SS土壤中,各处理间 NO_3^- -N浓度变化规律同CS土壤并不完全一致,3个等量施肥处理只是在2007-09-23和2008-08-27取样时差异显著,而其他2次取样时差别不明显,说明在砂质土壤中施肥也可不同程度的导致 NO_3^- -N的淋失,但在不同取样时间,各试验处理的差异性并不一致.其中在2007-09-23和2008-08-27取样时,HA处理 NO_3^- -N浓度最低,分别为60.5和50.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,UREA处理和COM处理之间差异不显著.其原因可能是该阶段离施肥时间比较近(分别为104 d和75 d),此时测定的淋溶液 NO_3^- -N浓度可视为施肥到该

时间段平均值,UREA及COM处理肥料施入土壤后,短时间内溶解,并释放和转化,而HA缓效肥料由于具有吸附态养分,前期并没有大量浓度养分释放,导致在2007-09-23和2008-08-27取样时硝酸盐浓度低于其他2个处理;在2007-11-05和2008-10-23取样时,虽然3种等量施肥处理的 NO_3^- -N浓度均显著高于CK,但各施肥处理间的差异不显著,且均低于同年的上次取样时的浓度.

此外,图2还可以看出CS土壤中淋溶液的浓度明显要低,比SS土壤降低41.2%~59.1%.这说明肥料在不同土壤质地土壤中的淋溶特性是有差异的.在SS土壤中, NO_3^- -N更易于淋溶,原因之一可能是SS土壤的CEC含量很低(表1),仅为CS土壤的47.2%,土壤对 NO_3^- -N的固持能力很差,但其内在关系有待于进一步的研究和探讨.虽然肥料在2Φ同质土壤上淋溶特性有所差异,但HA缓效肥料均能在一定程度上抑制 NO_3^- -N的向下淋溶.同常规肥料相比,在SS土壤中,施肥后的前期抑制效果明显,后期差异并不明显;而在CS土壤中这种抑制作用更有持续性,施肥后期淋溶液中 NO_3^- -N浓度仍然显著低于其他2个等量施肥的常规处理.



* 表示3个等量施肥处理间差异显著, $p < 0.05$, 没有*表示3个等量施肥处理间差异不显著, $p > 0.05$

图2 不同施肥处理土壤淋溶液中 NO_3^- -N的浓度

Fig. 2 NO_3^- -N concentration in soil leaching water of different fertilizer treatments

2.2 土壤剖面中 NO_3^- -N分布规律

在大田开放的土壤环境中,多种环境因子或多或少地影响了土壤 NO_3^- -N的剖面分布.土壤剖面采集的方法虽然不能给出 NO_3^- -N淋洗出某一土层的数量,但是可反映出 NO_3^- -N在不同土层中的累积和移动趋势.有资料显示,低氮处理 NO_3^- -N主要集中在0~100 cm^[19],且试验区土层厚度约为1 m,故取样深度定为1 m.图3即为土壤剖面 NO_3^- -N分布规律图,可视为试验时间内不同处理 NO_3^- -N在土壤中的累计残留.可以看出,2种不同质地的土壤中,无论何种

施肥处理土壤剖面的 NO_3^- -N含量较CK均有不同程度的增加,这说明施肥即可导致 NO_3^- -N在土壤剖面中的累积,也就是说如果施肥过量就可造成 NO_3^- -N的淋失,施用HA肥料同样会造成 NO_3^- -N在土壤剖面中的累积,这与施用有机肥料也会在土壤中造成 NO_3^- -N的累积的结论一致^[20,21].

图3中还可以看出,CK处理各土壤剖面中的 NO_3^- -N含量差别不大,但是同一质地土壤的3个等量施肥处理中, NO_3^- -N在不同土壤剖面层次中含量差异较大.由于试验区土层深度只有1 m,因此可以

把 0~40 cm 看作是土壤表层,土壤表层 NO_3^- -N所占比例越大,淋失的潜在可能性就越小,对地下水的潜在污染也就越小.图 3(a)中可以看出,表层 NO_3^- -N含量为 $56.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,占总量的 59.9%,而 UREA 和 COM 处理分别占 44.4% 和 42.3%,HA 肥料处理表层土壤 NO_3^- -N含量所占比例要明显高于常规施肥处理. SS 土壤中 HA 肥料处理表层土壤所占比例为 54.4% [图 3(b)],也明显高于其他 2 个等量施肥处理.由此可见,HA 肥料处理的 NO_3^- -N在 0~40 cm 土层分布较多,只要是施肥量不过大,仅有少量的 NO_3^- -N能向地下部迁移,对土壤以及地下水环境造成的污染比常规肥料要小的多. HA 肥料的特性可能是引起这种现象的原因之一,HA 缓效肥料是硝酸活化后的褐煤为基质制成的,这种基质具有很强的阳离子代换能力和铵吸附能力^[14],部分吸附的铵

离子具有缓慢释放特点,延缓了土壤中 NH_4^+ 向 NO_3^- 的转化;此外,HA 肥料施用后在一定程度上提高了表层土壤阳离子代换能力(表 2),增加土壤本身对 NO_3^- -N的固持作用,进而阻碍了 NO_3^- -N向地下部迁移,这可能也是重要原因之一.

此外,图 3 中还可以看出不同处理间土壤剖面 NO_3^- -N总量差异,3 种等量施肥处理均有一定量的 NO_3^- -N残留,2 不同质地土壤中,除 CK 处理外,HA 肥料处理均为最低.另外,比较图 3 可以看出,相同肥料处理中,SS 土壤中 NO_3^- -N的含量要明显低于 CS 土壤,4 个不同处理中 NO_3^- -N总量分别低了 81.7%、81.1%、47.6%、66.7%. 2.1 节的试验说明 SS 土壤中 NO_3^- -N更易于淋失,这就直接导致了 NO_3^- -N在 SS 土壤中的累积比 CS 土壤中累积要少.

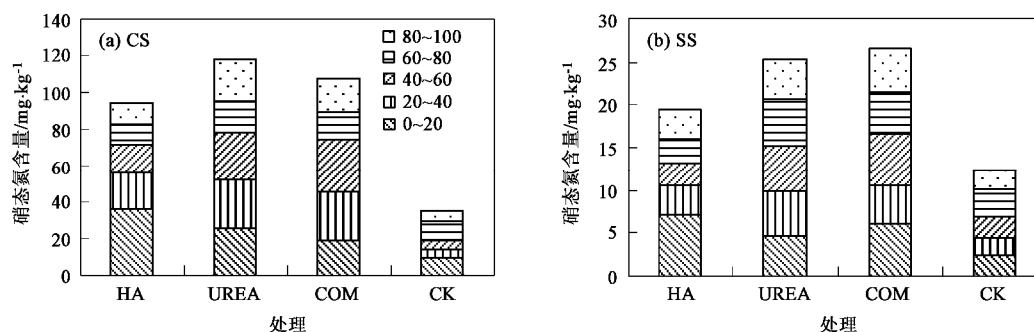


图 3 不同施肥处理的 NO_3^- -N土壤剖面分布

Fig. 3 NO_3^- -N distribution in soil profile of different fertilizer treatments

2.3 不同处理对土壤理化性质的影响

不同试验处理 0~20 cm 土层土壤的理化性质如表 2 所示.可以看出,施肥可以在一定程度上改善土壤的理化性状.尤其是 HA 肥料处理,不同程度地提高了表层土壤有机质、碱解氮、速效磷及 CEC 的含量.从土壤有机质的变化来看,UREA、COM 及 CK 处理有机质含量同试验前基本没有变化,而 HA 肥料处理中均有一定程度的提高,在 2 个不同质地土壤中,分别比 CK 提高了 8.1% 和 10.9%,可见 HA 缓效肥料处理对提高土壤有机质含量具有一定的作用.这一方面可能是 HA 本身带来的有机质含量的增加,另一方面可能是 HA 的存在提高了土壤中微生物及酶的活性,加快了土壤中非有机物质的转化,提高了有机质的含量.对土壤中碱解氮的影响,自制的 HA 缓效肥料表现出了很大的优势,不同处理中,HA 处理的碱解氮含量最高,CS 土壤中分别比尿素

处理和复合肥处理高出了 12.6% 和 14.1%,SS 土壤中高出 22.8% 和 24.7%,这也说明 HA 缓效肥料中部分吸附态的铵离子并没有释放,仍以氨态氮的形式存在.此外,虽然 3 种施肥处理磷施用量完全一致,HA 肥料处理并没有吸附态磷,但 HA 肥料处理土壤中速效磷含量明显高于其他 2 个常规施肥,这说明 HA 肥料处理在一定程度上减少了土壤对磷的固定,对磷起到了活化的作用,使其速效磷含量提高,这与前人研究结果一致^[22,23]. 2 种不同质地土壤中 UREA 及 COM 处理对土壤 CEC 含量基本没有影响,而施用 HA 肥料处理分别比 CK 处理高出 6.92% 和 10.82%.这也是导致 HA 肥料处理对养分的固持能力有所增强的原因之一,Paola 等^[24]的研究认为有机质提高能增强土壤对养分固持能力,HA 缓效肥料基质中含有大量有机质,这与本研究试验结果是一致的. HA 肥料是用硝酸活化后的 HA 为吸

附基质的,这种 HA 分子芳香环缩合度和复杂程度更低,CEC 含量更高^[14],这也导致了土壤中的 CEC 含量也有了一定程度的提高.此外,在 CS 土壤中,虽然 HA 处理的速效养分含量有所增加,但其可溶性盐分含量显著低于其他 3 个处理,分别比 UREA、COM 及 CK 处理降低了 24.8%、22.5% 和 13.4%.这可能是 HA 缓效肥料基质中的含氧官能团释放

NH₄⁺ 后的空位与土壤的可溶性离子相结合,导致土壤可溶性盐分降低,而在 SS 土壤中,4 个处理的盐分差别并不明显,这表明 HA 缓效肥料如果用于黏质盐碱土中可能会有一定的降低土壤盐分的作用.因此自制 HA 缓效肥料对土壤理化性质有一定改善作用,且可能对黏质盐碱土有一定的改良作用,但这有待于进一步的试验加以证明.

表 2 不同施肥处理对土壤理化性质的影响
Table 2 Effects of different fertilizer treatments on the physico-chemical properties of soils

处理	CS					SS				
	有机质 /%	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	盐分 /‰	阳离子交换量 /cmol·kg ⁻¹	有机质 /%	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	盐分 /‰	阳离子交换量 /cmol·kg ⁻¹
HA	2.10a	103.24a	92.83a	1.29a	7.88a	1.01a	71.85a	69.12a	0.88a	3.79a
UREA	1.95b	91.65b	83.40 b	1.61b	7.41b	0.92b	58.52b	61.24b	0.94a	3.44b
COM	1.96b	90.51b	84.51b	1.58b	7.32b	0.91b	57.64b	62.19b	0.92a	3.48b
CK	1.94b	86.88c	67.25c	1.49b	7.37b	0.91b	52.72b	46.37c	0.86a	3.42b

3 结论

(1)施肥即可导致 NO₃⁻-N 的向下淋溶,但 HA 缓效肥料可在一定程度上抑制 NO₃⁻-N 向下迁移.等养分含量的 HA 缓效肥料表层土壤(0~40 cm) NO₃⁻-N 所占的比例显著高于尿素及复合肥处理.

(2)不同质地土壤的淋溶特征并不完全相同,物理性砂砾含量高的土壤有利于 NO₃⁻-N 向下迁移,HA 缓效肥料在黏质土壤中抑制 NO₃⁻-N 向下迁移更有持续性.

(3)施肥可以不同程度地改善土壤理化状况,但 HA 缓效肥料作用更明显,同尿素及复合肥处理相比,很大程度上提高了土壤有机质、碱解氮、速效磷的含量,同时一定程度上提高了土壤阳离子代换能力,降低了黏质土壤中水溶性盐分的含量.因此,HA 缓效肥料可更好地改善土壤理化性质,有效地降低由于施肥对土壤及地下水环境造成的潜在污染,且可能会有一定的黏质盐碱土改良作用.

参考文献:

[1] 陈惟财,陈伟琪,张路平,等. 九龙江流域地表水中硝酸盐来源辨析[J]. 环境科学,2008,**29**(6):1485-1487.
[2] 刘宏斌,李志宏,张云贵,等. 北京平原农区地下水硝态氮污染状况及其影响因素研究[J]. 土壤学报,2006,**43**(3):405-413.
[3] 刘君,陈宗宇. 利用稳定同位素追踪石家庄地下水的硝酸盐来源[J]. 环境科学,2009,**30**(6):1602-1607.
[4] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, *et al.* Investigation of nitrate pollution in groundwater due to nitrogen fertilization in agriculture in north China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,1995, **1**(2):80-87.

[5] 赵新峰,杨丽蓉,施茜,等. 东北海伦地区农村地下饮用水硝态氮污染特征及其影响因素分析[J]. 环境科学,2008,**29**(11):2993-2998.
[6] 陈效民,吴华山,孙静红. 太湖地区农田土壤中铵态氮和硝态氮的时空变异[J]. 环境科学,2006,**27**(6):1217-1222.
[7] Fang Q X, Yu Q, Wang E L, *et al.* Soil nitrate accumulation, leaching and crop nitrogen use as influenced by fertilization and irrigation in an intensive wheat maize double cropping system in the North China Plain[J]. *Plant Soil*,2006,**284**:335-350.
[8] 王晓英,贺明荣,刘永环,等. 水氮耦合对冬小麦氮肥吸收及土壤硝态氮残留淋溶的影响[J]. 生态学报,2008,**28**(2):685-694.
[9] 张云贵,刘宏斌,李志宏,等. 长期施肥条件下华北平原农田硝态氮淋失风险的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2005,**11**(6):711-716.
[10] Power J E. Nitrate contamination of ground-water in north America[J]. *Agr Ecosyst Environ*,1989,**26**:165-187.
[11] Overgaard K. Trends in nitrate pollution of groundwater in Denmark[J]. *Nord Hydrol*,1989,**15**(4):177-184.
[12] Thorburn P J, Biggs J S, Weier K L, *et al.* Nitrate in ground waters of intensive agricultural areas in coastal northeastern Australia[J]. *Agr Ecosyst Environ*,2003,**94**:49-58.
[13] Zheng S X, Nie J, Dai P A, *et al.* Nitrogen recovery and nitrate leaching of controlled release nitrogen fertilizer in irrigated paddy soil[J]. *Agr Ecosyst Environ*,2004,**5**(3):1-10.
[14] 邢尚军,刘方春,杜振宇,等. 硝酸处理对褐煤中可提取性腐殖酸含量及其吸附特性影响[J]. 土壤学报,2009, **46**(3):488-493.
[15] 邢尚军,刘方春,杜振宇. 土壤渗漏水简易采集装置[P]. 中国专利:ZL 200820017408. X, 2009-01-14.
[16] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.
[17] HJ/T 346-2007, 水质硝酸盐氮的测定-紫外分光光度法[S].

- [18] 王琦,李锋瑞,张智慧. 灌溉与施氮对黑河中游新垦沙地农田土壤硝态氮动态的影响[J]. 环境科学,2008,**29**(7):2037-2045.
- [19] 杨学云,张树兰,袁新民,等. 长期施肥对峻土硝态氮分布、累积和移动的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2001,**7**(2):134-138.
- [20] 王艳萍,高吉喜,刘尚华,等. 有机肥对桃园土壤硝态氮分布的影响[J]. 应用生态学报,2008,**19**(7):1501-1505.
- [21] 袁新民,同延安,杨学云. 有机肥对土壤 NO_3^- -N累积的影响[J]. 土壤与环境,2000,**9**(3):197-200.
- [22] Hector G A, Russell D B, Timothy A V, *et al.* Effect of organic amendments and slow-release nitrogen fertilizer on willow biomass production and soil chemical characteristics [J]. Biomass Bioenerg,2003,**25**:389-398.
- [23] Hua Q X, Li J Y, Zhou J M, *et al.* Enhancement of phosphorus solubility by humic substances in ferrosols [J]. Pedosphere, 2008,**18**(4):533-538.
- [24] Paola C, Silvia C. Effects of composting technologies on the chemical and physicochemical properties of humic acids [J]. Geoderma, 2008,**144**:325-333.
-

《环境科学》编辑部关于启用编辑信息管理系统公告

《环境科学》编辑部已经开通本刊网站并启用编辑信息管理系统(网站地址:<http://www.hjkx.ac.cn>). 该系统能实现在线投稿、在线审稿、期刊浏览检索等功能,欢迎广大作者、读者和审稿专家使用. 目前我刊所有来稿都通过网站编辑信息管理系统进行. 作者使用编辑信息管理系统投稿时请先进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面上给出的提示投稿即可. 如果您在使用过程中有问题,请及时与我刊编辑部联系.

邮政地址:北京市海淀区双清路18号《环境科学》编辑部

邮 编:100085

电 话:010-62941102,010-62849343

传 真:010-62849343

E-mail:hjkx@rcees.ac.cn

网 址:www.hjkx.ac.cn