

文章编号:2095-0411(2017)01-0027-08

城市污泥施入土壤后对氮素淋溶影响的初步研究

申荣艳, 许 溢, 许 霞
(常州大学 环境与安全工程学院, 江苏 常州 213164)

摘要:通过土柱淋溶实验,研究不同淋溶液对城市污泥土壤利用后氮素溶出的影响及对周围环境的影响。通过 3 种不同淋溶液自来水、酸、十二烷基苯磺酸钠(LAS)对 2 种污泥(常州马杭污水处理厂污泥和常州江边污水处理厂污泥)和 2 种土壤(草坪土和树林土)混配形成的土柱系统进行淋溶,每 4h 收集一次淋溶液,共收集 48h,对收集的淋溶液进行氮素测定。结果表明,随着时间推移,氮素淋出的量逐渐增多,但单个时间段淋出的氮素量逐渐降低并趋于稳定。3 种淋溶液中 LAS 对土壤-污泥系统中氮素溶出的影响最大,其次是酸,最小的是自来水。最后通过氮磷指数法对淋出的氮素总量进行风险评价,评价结果显示为中等危险等级。

关键词:城市污泥;土壤利用;土柱淋溶;氮素;氮磷指数法

中图分类号:X 705

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2017.01.005

Preliminary Study of the Nitrogen Leaching after the Municipal Sludge Application in Soil

SHEN Rongyan, XU Yi, XU Xia

(School of Environmental and Safety Engineering, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: The nitrogen leaching was studied after municipal sludges were applied in the soils by soil column leaching experiment. Three different leaching solutions (tap water, acid and sodium dodecyl benzene sulfonate) were used to leach the column systems mixed by two kinds of sludges (from Mahang sewage treatment plant and Jiangbian sewage treatment plant) and two kinds of soils (lawn soil and forest soil). The leaching solutions were collected for twelve times every four hours. And the nitrogen contents of the leaching solution were determined and analyzed. The results showed that the amount of nitrogen leaching gradually increased along with the extended time. But the nitrogen concentration gradually decreased and tended to be stable in single period. The LAS leaching solution obviously effected the leaching of nitrogen in the sludge-soil systems. Moderate influence was produced by the acid and the least influence was the tap water. The risk assessment of the total nitrogen was evaluated by the nitrogen and phosphorus index method. And the evaluation results showed that the risk grade was medium.

Key words: municipal sludge; soil application; soil column leaching; nitrogen; nitrogen and phosphorus index

近年来,随着中国城市化进程的不断推进,污水处理厂建设进度也在不断加快,到 2010 年底,中国已建

收稿日期:2016-05-16。

基金项目:江苏省高校自然科学研究面上项目资助(16KJB610001)。

作者简介:申荣艳(1977—),女,黑龙江佳木斯人,博士,副教授,主要从事城市污泥资源化利用及污水处理研究。

成污水处理厂 2800 多座,处理污水的日能力已达到 300 多亿 m^3 ,剩余污泥达到3 000万吨。随着大量污水处理厂建成及处理污水效率不断提高,处理污水能力将大大增加,因而产生的污泥也将大大增加。据初步估计,每年全国干污泥产量应该在1 200万吨左右,湿污泥6 000万吨左右^[1]。但在中国污水处理中往往出现“重水轻泥”现象,污泥处理和处置问题亟需有效解决。目前污泥处理处置方法主要有:填埋、焚烧、海洋倾倒等^[1-3],由于这几种处理方式都存在各自的缺点^[2-5],因此寻找新的处理方式已迫在眉睫。

污泥土地利用越来越受到人们关注^[6-8],污泥中含有农作物和其他植物生长发育所需的 N、P、K 等^[9-12]。施用污泥可改善土壤理化性质,明显提高土壤肥力,使作物产量提高,有利于土壤改良^[13-15]。所以现在把污泥土地利用作为污泥处理的热点方法,越来越多的污泥被利用到土壤环境中^[16-19]。为衡量污泥土地利用方式的安全性,必须考虑到污泥中某些物质在土壤中的去向问题,其中氮素是引起水体富营养化的主要元素,污泥中氮素过多会导致氮素残留和淋溶,进而污染浅层地下水。地下水为重要资源,一旦受污染,将难以更新与恢复^[20-23],因此污泥土壤利用后氮素的去向及风险研究至关重要。

1 材料和方法

1.1 材料

供试污泥取自常州市江边污水处理厂和马杭污水处理厂,分别简称为江边污泥和马杭污泥。草坪土和树林土取自常州科教城体育馆前的草地和树林。土壤和污泥的基本性质见表 1。

表 1 供试污泥和土壤的基本性质

样品	有机质/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	全氮/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	全磷/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	全钾/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	pH
江边污泥	293.46	40.50	12.10	7.80	6.55
马杭污泥	269.25	37.30	10.50	12.40	6.87
草坪土	12.30	—	—	—	6.23
树林土	14.70	—	—	—	6.85

将污泥和土壤放在阴凉处自然风干、研磨后过 10mm 筛子,按照江边污泥和马杭污泥施入草坪土(质量比 4%)、江边污泥和马杭污泥施入树林土(质量比 4%)、江边污泥和马杭污泥施入草坪土(质量比 6%)、江边污泥和马杭污泥施入树林土(质量比 6%)分别编号为 1~8。

1.2 实验装置

实验装置分为 3 部分:上层是进水系统,中层是土柱,下层是接收部分,用来收集淋溶液。上层由矿泉水瓶子和输液器组成,在矿泉水瓶子上打 3mm 的小孔接上输液器作为进水系统,便于控制淋溶速度。中层为直径 50mm、高 50cm 的透明塑料管。管底铺一层 5cm 砂石层,石英砂用纱布包住,便于淋溶液收集,土柱最底端用铁丝网兜住,起到固定和过滤作用。砂石层上面就是污泥和土壤混配后的土层,高度为 15cm,最上面是薄薄的一层砂石,厚度为 3mm,起保护土壤不被淋溶液破坏的作用。

模拟土柱淋溶实验共用到 3 种淋溶液,包括自来水、pH 调节到 3.5 的自来水(模拟酸雨)和表面活性剂(1 500mg/L 的十二烷基苯磺酸钠,LAS)。由于常州地区多降酸雨,所以用酸配制酸性用水模拟酸雨。表面活性剂的大量使用和使用后直接排入环境是考虑用 LAS 淋溶的主要原因。这 3 种淋溶液都是生活中最常见的,也是比较容易进入土壤的。淋溶时控制淋溶速度为 50mL/h,连续淋溶 48h,每处理共收集2 400mL 淋溶液。

1.3 总氮的测定

取 25mL 水样到 50mL 的比色管中,再加氧化剂(100g 过硫酸钾+15g 氢氧化钠+5L 蒸馏水)25mL 到 50mL 刻度线,加塞摇匀,并用脱脂棉捆绳系好管口,放入高温灭菌锅内,于 121℃下氧化 30min。待冷却到室温后开塞,用分光光度计于 210nm 处测定吸光度,先标样后水样,且标样由低到高浓度进行测定,以无氮

水作参比,用紫外分光光度计进行总氮测定^[24]。

2 结果与分析

2.1 不同淋溶液对污泥-土壤系统中氮素淋溶的影响

3 种淋溶液对不同污泥-土壤系统中氮素淋溶的影响结果如图 1~图 8 所示。从图 1 可以看出,除了自来水淋溶曲线波动较大,其他 2 种淋溶液淋出的曲线变化较平稳且较正常。自来水淋出在 0~16h 内还比较正常,减少后出现较长时间稳定,但 16~32h 内变化较特殊,4h 增长和 4h 降低相互交替,这可能由于实验过程中其他因素的影响导致实验结果有异常。酸淋溶在 0~20h 内都保持逐渐降低趋势,20~24h 内出现略微增长,最后 8h 出现一个长时间稳定,和预期结果很相近。在整个时间段内,LAS 淋溶曲线出现在其他两根曲线上端,0~16h 内氮素的淋出均处在逐渐降低的状态,16~24h 内呈现上升,最后 8h 出现快速降低。这可能是由于土层被破坏,氮素溶出出现快速降低。但总体能看出,LAS 对土壤-污泥系统的影响大于酸且大于自来水(如图 1 所示)。

图 2 是江边污泥-草坪土(质量比 4%)系统氮素淋溶的动态曲线图。其中 LAS 的变化曲线较特殊,呈现起伏状,0~12h 内氮素的淋出呈现上升,12~20h 内氮素淋出呈现降低,20~28h 内曲线又出现上升,最后 4h 曲线呈现下降趋势。起初的 12h 出现上升,可能是由于土壤润湿较慢,污泥和土壤混合后融合较慢,土柱中氮素的淋出需要一个过程。而后期的波动可能是因为实验在冬天进行,夜晚温度低,LAS 在低温下会有所析出,导致进水系统的流速降低,从而氮素的溶出会急剧下降。其他 2 种淋溶液的变化趋势相似,0~16h 氮素的淋出都呈现下降,16~20h 都会有短暂轻微上升。在最后 8h 里酸的淋溶出现一个略微的降低和 4h 的平稳变化。自来水淋溶 20~24h 下降,24~28h 上升,28~32h 又下降,但下降和上升幅度都不大,均在正常范围之内。

从图 3 可以看出,自来水淋出的氮素含量都较低,较稳定。0~12h 急剧下降,12~24h 内氮素淋出都较稳定,没有大幅变化,在 24~28h 内出现小幅上升后又恢复到稳定状态。总体来说,自来水的淋溶都处在较稳定状态。酸的淋溶则是一直在降低,只是在 0~16h 内氮素溶出速度较快,16~24h 变化较平稳,没有什么波动,在最后的 8h 又出现相对较慢的溶出。LAS 的淋溶曲线则波动较大,0~16h 氮素溶出速度较快,变化较大,16h 后每个点溶出氮素质量浓度都有很小增加,可认为是一个稳定过程。16~20h 内有一个突然增加,可能是由于某处污泥堆积造成。但总体看来,3 条曲线总体趋势相似,前期急剧下降,然后缓慢降低并逐渐趋于稳定。

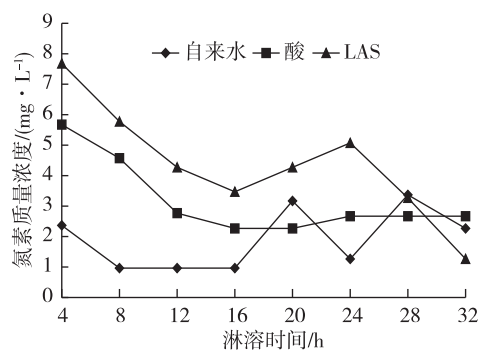


图 1 江边污泥-草坪土(质量比 4%)处理系统中氮素淋出动态图

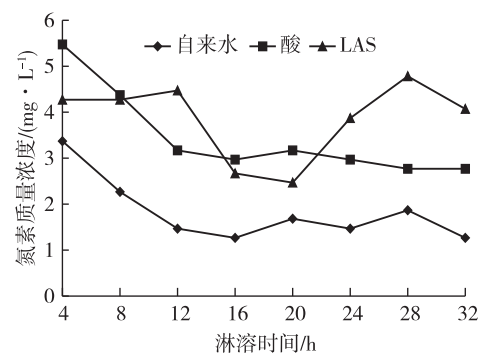


图 2 江边污泥-树林土(质量比 4%)处理系统中氮素淋出动态图

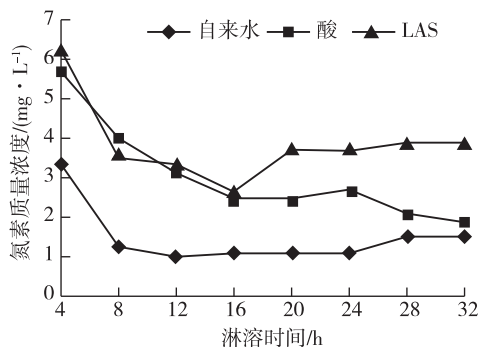


图 3 江边污泥-草坪土(质量比 6%)处理系统中氮素淋出动态图

图 4 是江边污泥-草坪土(质量比 6%)系统中氮素淋出曲线图。从图中可以看出,酸和 LAS 作用下土柱溶出的氮素质量浓度较相近,自来水则处于最下方,对氮素溶出影响较小,波动性也不是很大,0~4h 淋出氮素质量浓度逐渐增加,4~24h 氮素质量浓度逐渐降低,24~28h 快速增加,最后 4 h 快速降低。0~12h 内 LAS 淋出内氮素质量浓度快速降低,12~16h 内快速上升,4h 后又下降,4h 后又上升,总体看来,每 4h 出现一个变化趋势,波动较频繁。酸作用下氮素淋出变化则较平稳,0~20h 都处在降低状态,20~32h 内增加,不过变化范围都不大,在 3.17~4.17mg/L 之间,说明此土柱的淋出变化较为平稳(图 4)。

从图 5 可以看出,3 条曲线的重合度很高,浓度的变化和趋势大体上都很相似,3 条曲线都逐渐降低。自来水作用下的曲线先有一个上升的过程然后一直下降,只是在 16~20h 内的消减速度比其他时间段慢一些。随着氮素的逐渐溶出,土壤中的氮素越来越少,因此呈现一个逐渐降低的状态。酸作用下的氮素淋溶在 0~16h 内都逐渐降低,且降低量比较大,从 5.88mg/L 降至 2.47mg/L。16~20h 曲线出现短暂上升,20~24h 的曲线又有一个短暂下降,最后 8h 内曲线一直上升,但质量浓度不高,最后质量浓度是 2.67mg/L。一段时间的上升很有可能是温度变化导致的。LAS 作用下的淋溶曲线也是在 0~4h 内有一个短暂上升,4~12h 是快速溶出的过程,12~16h 稍微上升,16~20h 曲线呈现下降状态,20~28h 溶出氮素的质量浓度持续上升,最后 4h 内氮素质量浓度较为稳定,仅稍微降低(图 5)。

图 6 是马杭污泥-树林土(质量比 4%)的混合土柱系统氮素淋出变化图,该图中酸的淋溶曲线处在最下方,溶出的氮素含量比较低,主要是因为淋溶初期 0~8h 内,淋溶液洗出了土壤-污泥系统中的大部分氮素,导致了氮素质量浓度的迅速降低,这可能是导致后期溶出的氮素质量浓度比自来水还要低的原因。在 0~20h 内氮素的质量浓度一直降低,且在 0~8h 内变化比较快,8~20h 内也处在降低的阶段,不过变化速度比较慢,在 20~32h 内,前 8h 氮素质量浓度有略微上升,之后 4h 是一个相对稳定的时期。自来水和 LAS 的淋溶曲线相互交织在一起,淋溶的起点和终点几乎重合,自来水溶出的氮素质量浓度在 2.07~4.27mg/L 变化,LAS 溶出的氮素质量浓度在 2.80~4.27mg/L 之间变化,但自来水和 LAS 各时间段的变化不同。自来水溶出的氮素在 0~8h 内降低,8~12h 内溶出的氮素增加,12~16h 内溶出的氮素含量出现短暂降低,随后的 16~28h 内溶出的氮素质量浓度都增长,最后 4h 氮素质量浓度却出现一个很快的降低过程。LAS 的淋溶曲线在 0~4h 内溶出的氮素质量浓度逐渐降低,在 8~12h 内氮素的溶出质量浓度升高,12~16h 内氮素质量浓度不断升高,16~24h 内氮素质量浓度又出现增长,24h 后氮素质量浓度基本不变(图 6)。

从图 7 可以看出,3 种淋溶液在起始处淋出的氮素质量浓度相差不大,但在随后的淋溶过程中表现出差异,酸淋出的氮素最终质量浓度要比其他两种淋溶液淋出的氮素质量浓度要高,为 3.16mg/L,其他 2 种淋溶液淋出的都在 2mg/L 以下。自来水作用下的氮素溶出质量浓度在 16~20h 内一直降低,且 20~24h 内氮素淋出质量浓度变化较快,从 2.78mg/L 降到 1.46mg/L,在随后的淋溶过程中显示平稳变化。出现突然

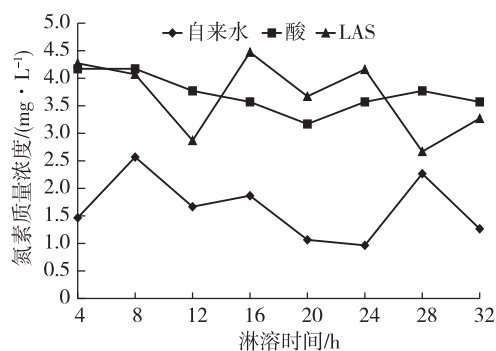


图 4 江边污泥-树林土(质量比 6%)处理系统中氮素淋出动态图

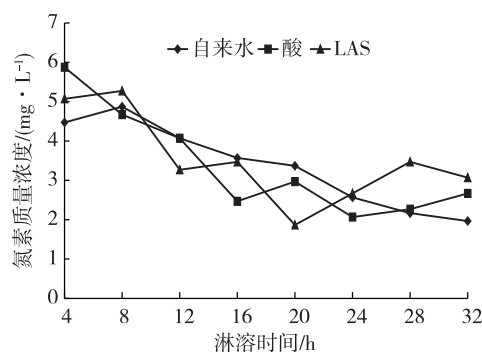


图 5 马杭污泥-草坪土(质量比 4%)处理系统中氮素淋出动态图

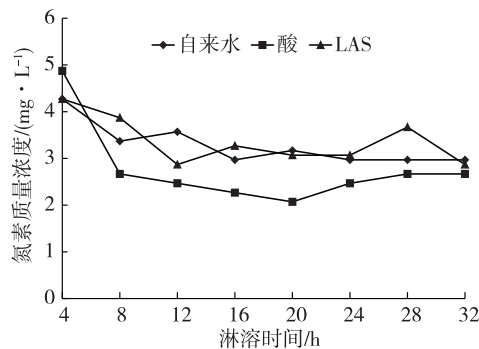


图 6 马杭污泥-树林土(质量比 4%)处理系统中氮素淋出动态图

变化有可能是由于土柱某部分被破坏或进水系统受到温度或其他因素影响造成的。酸淋出的氮素浓度在 0~24h 内都呈现降低趋势,其中 12~24h 内先出现短暂稳定变化,之后平稳下降,最后又趋于稳定变化。24~32h 内氮素溶出浓度先上升较快,随后趋于稳定下降。LAS 的氮素淋出质量浓度曲线在淋溶过程中没有出现上升情况,0~8h 下降速度较快,8~24h 下降速度较缓慢,24~28h 内氮素的溶出变化较平稳,28~32h 内溶出氮素浓度很低,表明该污泥-土壤系统中已没有或少有可溶出的氮素。

图 8 显示的是马杭污泥-树林土(质量比 6%)土柱系统经过 3 种不同淋溶液淋溶的结果图。从图中可以看出,自来水的淋溶曲线很大一部分处在图的最下方,在 0~20h 内都一直保持降低趋势,20~24h 内溶出氮素质量浓度略微上升,最后 8h 内氮素溶出质量浓度仍然在降低,最后的质量浓度是 1.97mg/L。相比其他两条曲线,酸的淋溶曲线波动较大,0~8h 内溶出氮素浓度降低,8~16h 内氮素溶出浓度则上升,16~24h 内氮素溶出浓度又降低,24~28h 内溶出的氮素浓度又上升。最后 4h 溶出氮素质量浓度将近降到最低点,达到 2.66mg/L。LAS 的氮素溶出曲线波动较小,几乎都是在降低,且最大值和最小值相差比较大,说明溶出的氮素量比较多,对土壤的影响较大。0~8h 内溶出氮素质量浓度一直上升,8~24h 内氮素浓度一直在下降,且下降速度较快,24~28h 内氮素浓度略有上升,最后降到最低值 0.97mg/L,表明土壤中可淋出氮素几乎很少(图 8)。

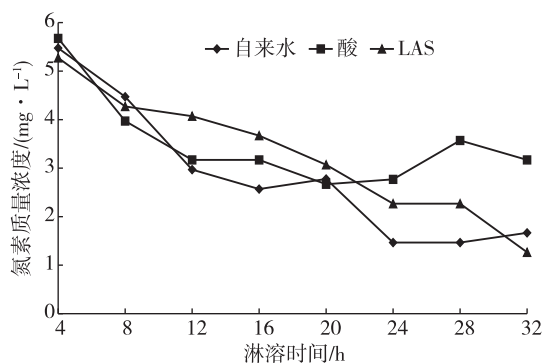


图 7 马杭污泥-草坪土(质量比 6%)处理系统中氮素淋出动态图

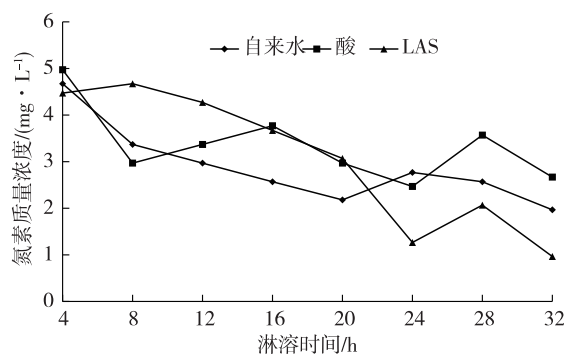


图 8 马杭污泥-树林土(质量比 6%)处理系统中氮素淋出动态图

从图 1~图 8 可综合看出,3 种淋溶液中酸和表面活性剂显著增加氮素的溶出。3 种淋溶液的浸出结果虽然有些波动,不过趋势大致相同,都呈现递减。LAS 的淋溶曲线一般都处在其他 2 种淋溶液上方,酸的淋溶曲线在中间,自来水的淋溶曲线一般在图下方。这说明,LAS 作用下淋溶出的氮素总量较大,相同量的 LAS 比酸和自来水淋溶出的氮素多。由此可看出,本实验中 LAS 对土壤氮素的溶出影响大于酸,酸对土壤氮素溶出的影响大于自来水。

分析其原因,主要是因为表面活性剂对土壤的物理、化学性质有显著的影响^[25-26]。表面活性剂会降低土壤水的界面张力,即使表面活性剂的浓度很低。这会导致颗粒可湿性的增加,就会改变土壤团聚体持水性、导水率、稳定性等。表面活性剂吸附到粘土矿物质、腐殖质上,导致了聚集稳定性的提高,会引起水土流失的加快和土壤腐蚀加速。表面活性剂会对土粒分散作用产生较大影响,且非离子表面活性剂的影响大于阴离子型。土壤颗粒的电性吸附和配位吸附会引起土粒的分散作用,最直接的影响就是当表面活性剂进入土壤环境后土粒会变分散,流动性增强,水土流失会因此而加重,水环境也会因此而污染严重。本实验所用的 LAS 会降低土壤中脲酶的活性,显著降低土壤的硝化和反硝化,对土壤氮素循环利用不利^[27]。日常生活中的表面活性剂会对污泥土壤利用后的污泥-土壤系统中氮素产生消极影响,研究表明,LAS 会让更多氮素淋出到地下水中进而污染地下水。

酸会引起土壤的酸化,土壤颗粒表面上吸附的盐离子会和酸中的氢离子进行交换反应被吸附在土壤颗粒的表面上,被交换下来的盐离子则进入土壤,土壤颗粒表面的氢离子又自发与矿物晶格表面的铝迅速转化成交换性铝。土壤酸化后,土壤中微生物的活性显著降低,有机质因此分解缓慢,二氧化碳产生量也减少,土

壤氮的固定和矿化能力也显著下降^[28]。本研究表明,酸淋出的氮素会较自来水淋出的多,也就是说,酸雨对城市污泥的土地利用也存在着严重的威胁,酸雨会让更多的氮素进入到地下水中进而污染地下水。

2.2 氮素淋出总量

从不同淋溶液淋出氮素质量浓度随时间的变化可以看出土柱淋溶过程中氮素淋溶的速度变化,但要分析氮素对地下水及周边环境的影响还要分析氮素淋溶总量。图 9 是 3 种淋溶液淋出的氮素总量图。

从图 9 可以看出,5 号土柱自来水淋出的氮素总量最大,3 号土柱自来水淋出的氮素总量最低。5、6、7、8 这 4 个土柱的自来水氮素淋溶总量都比 1、2、3、4 这 4 个土柱氮素总量要高。这说明,马杭污泥自来水氮素淋出的总量比江边污泥淋出的氮素总量多。两种污泥的氮素含量差别不大(表 1),但施用到土壤后被自来水淋溶出的氮素总量却有差别(图 9),这说明,氮素淋溶受很多因素影响,如土壤类型、污泥用量等。

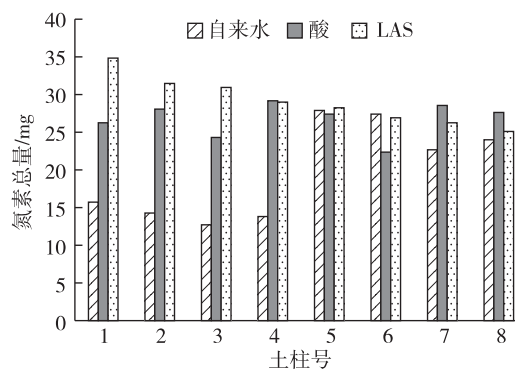


图 9 自来水、酸、LAS 淋溶的氮素总量

图 9 中 8 个土柱酸淋溶的氮素总量由高到低排序:4、7、2、5、8、1、3 和 6。污泥的土地利用会增加土壤氮素含量,这也是城市污泥土地利用后会提高土壤肥力的主要原因。但加的污泥量越多淋出的氮素总量也越多,7、8 两个土柱酸淋出的氮素总量比 5、6 两个土柱的氮素总量要高(图 9)。污泥中的氮素淋失到土壤中,如果不能被植物利用将很有可能随着降雨流失到地下水中,将会明显影响到地下水中氮素的平衡,进而引起地下水污染。

从图 9 可以看出,1 号土柱表面活性剂 LAS 作用下淋出的氮素总量最高。污泥比例高的土柱 LAS 氮素淋出的总量比污泥比例低的土柱淋出的氮素总量要低,溶出的氮素总量由高到低的顺序是 1、3、2、4、5、6、7 和 8(图 9)。出现这样的原因可能是污泥含量较多的土柱土壤与污泥结合比较紧密,氮素淋出比较缓慢等原因造成的。

2.3 淋出氮素潜在环境风险评价

2.3.1 评价方法

土壤氮素的淋失受到很多因素的影响,但都可归纳为源因子和迁移因子这 2 类。氮磷指数法就是根据这 2 类因素中各因子测定值的大小来评价土壤中氮磷流失风险的一种评价方法^[29-31]。该方法根据各个因子对流失过程影响程度的大小赋予相应的权重,进而计算氮磷流失的风险^[30-31]。公式为:

$$I = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot W_i) \times \prod_{j=1}^n (T_j \cdot W_j) \quad (1)$$

式中: I 是氮指数; S_i 是源因子评价指标对应的等级分值; W_i 是源因子评价指标对应的权重; T_j 是迁移因子评价指标对应的等级分值; W_j 是迁移因子评价指标对应的权重。其中源因子包含了全氮的含量、施肥因子(施用量、施用时间、使用方式)等;迁移因子包含土壤的侵蚀量、氮素流失距离、收纳水体的距离等。

2.3.2 氮素风险评价

源因子和迁移因子对于氮磷流失的贡献和重要性存在一定差异,各因子权重见表 2。由于淋出的氮素含量比较低,所以,源因子中土壤全氮的因子权重定位 0.4。此外按照可能带来的风险将迁移因子和源因子划分为较低、低、中等、高和较高 5 个等级,并且将源因子的分值赋予为 1、2、4、8、10 等 5 个分值,把迁移因子的分值赋予为 0.6、0.7、0.8、0.9、1.0 这 5 个分值。不同等级代表氮素流失的风险不同。

根据公式(1)、表 2 和不同淋溶液淋出的氮素总量(图 9),可计算出不同淋溶液作用下的氮素指数值,见表 3。

表 2 不同迁移因子下氮素风险评价

迁移因子	权重	等级值				
		较低	低	中	高	较高
土壤侵蚀	1	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
		<2	2~10	10~25	25~50	>50
距河距离/ km	1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
		>3	2~3	1~2	0.5~1	<0.5
距湖泊的距离/ km	0.5	>20	15~20	10~15	5~10	<5

表 3 氮素指数值

淋溶液	柱号							
	1	2	3	4	5	6	7	8
自来水	2.73	2.67	2.44	2.55	3.66	3.60	3.33	3.35
酸	3.54	3.71	3.45	3.88	3.66	3.27	3.75	3.64
LAS	4.31	3.97	3.95	3.86	3.75	3.66	3.59	3.46

氮素的等级划分标准是:氮指数<1 时,影响极低;氮指数在 1~2 时,影响程度为低;氮指数在 2~5 时,影响程度为中等;氮指数>5 时,影响程度为高。对比表 3 数据可以发现,所有数据均处在 2~5,也就是说,对周围环境的影响全部定级在中等。

3 结 论

通过 3 种淋溶液自来水、酸和 LAS 对树林土-污泥系统、草坪土-污泥系统进行淋溶,探究氮素淋出的规律,计算氮素淋出的总量,对淋出的氮素进行了风险评价。主要得出如下结论:

- 1)氮素淋出的基本规律是:淋出的氮素总量逐渐增加,但各个时间段淋出的氮素浓度逐渐降低并趋于平稳。
- 2)3 种淋溶液中对土壤-污泥系统中氮素淋出影响比较大的是 LAS,其淋出的氮素总量比较多,且各个时间段淋出的氮素浓度基本上比其他 2 种淋溶液淋出的氮素浓度要高。酸淋出的氮素浓度要比自来水高。影响最小的是自来水。也就是说,普通生活用水相比于酸雨对污泥利用后的土地中氮素的淋出影响较小。生活中含有表面活性剂的污水对污泥利用后的土壤中的氮素淋出的影响较大。
- 3)用氮磷指数法对氮素淋出的总量进行风险评价,对周围环境的影响等级均为中等。

参考文献:

[1]荣绍辉,梁亦欣,于鲁冀. 河南省城镇污水处理厂污泥处理处置技术路线分析[J]. 江西农业学报,2012,24(1):162-165.

[2]胡佳佳,白向玉,刘汉湖,等.国内外城市剩余污泥处置与利用现状[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2009,2(1):45-49.

[3]毛焕.污水厂污泥处置方法综合评价研究[D].合肥:合肥工业大学,2010.

[4]刘琳,陆冬.桂林市污水处理厂污泥处置现状与展望[J].广西城镇建设,2013,9(2):128-131.

[5]张增强,孟昭福,孙西宁,等. 西安市城市污泥处理与处置对策分析[J]. 水工业市场,2011(4):54-61.

[6]崔伟莎,曹秀芹.我国城镇污水处理厂污泥农用的发展潜力分析[J].绿色科技,2013(8):223-227.

[7]张增强,殷宪强.污泥土地利用对环境的影响[J].农业环境科学学报,2004,23(6):1182-1187.

[8]刘鑫,江家骅,时舜涛.城市污水处理厂污泥土地利用的可行性研究[J].安徽农业科学,2010,38(7):3679-3681.

[9]刘强,陈玲,黄游,等.施用污泥堆肥对土壤环境及高羊茅生长的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(1):199-203.

[10]赵晓莉,徐德福,李泽宏,等.城市污泥的土地利用对黑麦草理化指标和品质的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(增刊):59-63.

[11]戴亮,任瑶,陶玲一,等. 兰州市城市污泥施用对玉米生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(1):133-139.

- [12]严中琪,林林,张琪晓,等.生活污水浓度对作物种子发芽及幼苗生长的影响[J].浙江农业科学,2012,(12):1642-1643,1652.
- [13]丘锦荣,刘雯,郭晓方,等.植物处理后的城市污泥农用对玉米生长的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(5):990-994.
- [14]梁丽娜,黄雅曦,杨合法,等.污泥农用对土壤和作物重金属累积及作物产量的影响[J].农业工程学报,2009,25(6):81-86.
- [15]陈彩云,白莉萍,龙健,等.堆肥污泥对杨树幼苗主要抗逆生理动态变化的影响[J].生态环境学报,2012,21(10):1763-1770.
- [16]自莉萍,宋金洪,辛涛,等.施用城市污泥对小叶黄杨光合特性和生长的影响[J].应用生态学报,2010,21(4):1026-1030.
- [17]周海浩.城市污泥对植物、土壤及水体的影响研究[D].北京:北京林业大学,2011.
- [18]王开强.污泥对白菜、生菜和番茄种子发芽率的影响[J].安徽农业科学,2012,40(13):7689-7698.
- [19]杨涛,林逢凯,陈秀荣,等.城市污泥对黑麦草和高羊茅生长的影响[J].环境污染与防治,2014,36(5):33-39.
- [20]STADLER S, OSENBURCK K. Understanding the origin and fate of nitrate in groundwater of semi-arid environments[J]. Journal of Arid Environments, 2008, 8(72):1830-1842.
- [21]CHEN J Y, TANG C Y, SHEN Y J, et al. Nitrate pollution of groundwater in a wastewater irrigated field in Hebei Province, China[C]//Wastewater and Groundwater Quality. Sapporo:[s.n.], 2003.
- [22]LIU G D, WU W L. Regional differentiation of nonpoint source pollution of agriculture derived nitrate nitrogen in groundwater in northern China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2005, 5(107):211-220.
- [23]张晶.蚯蚓处理对城市污泥氮素矿化特征及相关因素的影响研究[D].兰州:兰州交通大学,2013.
- [24]吕伟仙,葛滢,吴建之,等.植物中硝态氮、氨态氮、总氮测定方法的比较研究[J].光谱学与光谱分析,2004,24(2):501-502.
- [25]匡丽,张学佳,王宝辉,等.表面活性剂在土壤中的环境行为及其危害性分析[J].东北林业大学学报,2008,36(2):53-55.
- [26]姜霞,高学晟,应佩峰,等.表面活性剂的增溶作用及在土壤中的行为[J].应用生态学报,2003,14(11):2072-2076.
- [27]潘根兴,韩永镜. LAS 对土壤环境理化性状和生物活性的影响[J].环境科学,2001,22(1):57-61.
- [28]杨昂,孙波.中国酸雨的分布、成因及其对土壤环境的影响[J].土壤,1999(1):13-18.
- [29]张平,高阳昕,刘云慧,等.基于氮磷指数的小流域氮磷流失风险评价[J].生态环境学报,2011,20(6/7):1018-1025.
- [30]BECHMANN M, STLNACKE P, KVRN S, et al. Integrated tool for risk assessment in agricultural management of soil erosion and losses of phosphorus and nitrogen[J].Science of the Total Environment, 2009, 407(2): 749-759.
- [31]GBUREK W J, SHARPLEY A N, HEATHWAITE L, et al. Phosphorus management at the watershed scale:a modification of the phosphorus index[J]. Journal of Environmental Quality, 2000(29): 130-144.

(责任编辑:李艳)