

污水土地处理中水田氮素的迁移特征*

刘忠翰 彭江燕

(云南省环境科学研究所, 昆明 650034)

REMOVAL CHARACTERISTICS OF NITROGEN ELEMENT OF PADDY FIELD IN WASTEWATER LAND TREATMENT

Liu Zhong-han Peng Jiang-yan

(Yunnan Institute of Environmental Science, Kunming 650034)

关键词 污水土地处理, 水田, 氮素迁移

中图分类号 S153.61

污水中含有有益于作物生长的氮磷和微量元素, 故污水土地处理会给作物产量和质量带来好处^[1], 但使用的水力负荷率、污染负荷率(即投配水量)过高的话, 会引起氮磷等元素迁移, 对水环境产生二次污染。在过去同类研究中虽有许多关于土壤除氮效果的报导^[2~4], 但绝大多数报导仅限于整个处理系统的去除效果上, 很难查寻到有关污水中氮素在不同土壤和土层中氮素迁移的特征, 因而影响土地处理场排水暗管设计的性能和采取有效调控方法提高土壤脱氮能力。本文通过对作物型污水土地处理实际运行过程氮的时空分布监测, 深入了解水作条件下土壤不同形态氮素迁移特征, 为进一步改进污水土地处理设计和提高处理系统的脱氮效果提供基础数据和科学依据。

1 试验材料与方法

1.1 供试土壤和污水

三种土壤分别为采自昆明市北郊和楚雄市东北郊的水稻土、红壤和紫色土。水稻土和红壤都发育于第四纪红色粘土, 紫色土的成土母质为紫色砂页岩。水稻土土质属重壤土-轻粘土, 红壤为轻壤土-重壤土, 紫色土为中壤土-重壤土; 土壤有机质、全氮、铵态氮、硝态氮和阳离子交换量都呈现表层土最高, 随土层深度增加其浓度逐渐降低, 至心土层(160~180cm)最低, 其含量范围有机质 0.39%~4.97%、全氮 0.036%~0.217%、铵态氮 0.03~18.00mg/kg、硝态氮 22.64~174.82mg/kg、CEC 8.50~31.56mmol/100g,

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49661005)

收稿日期: 1998-11-16; 收到修改稿日期: 1999-05-11

通常各层含量均表现为水稻土 > 红壤 > 紫色土; 水稻土和紫色土的 pH 为中性, 在 6.50~7.57 之间变化, 红壤 pH 为酸性, 由表土的 pH5.65 向底土的 pH4.42 变化。

试验污水取自昆明市的一条主要纳污河道(即下水道), 取水口位于昆明市第一污水处理厂进水上游。污水的污染物年均含量为: BOD₅ 73.4mg/L、COD_{cr} 135.2mg/L、SS 58.3mg/L、TN 22.82mg/L、NH₃-N 14.42mg/L、NO₃-N 0.133mg/L、NO₂-N 0.047mg/L、TP 1.468mg/L。污染物含量水平符合我国农灌水水质标准^[5]和城市污水土地处理进水水质标准。

1.2 研究方法

污水土地处理氮素在水田土壤中迁移研究采用了一种特殊的人工模拟土壤—地下水的试验装置。装置的主体构造为直径 2.0m 的人工模拟土柱(厚 1.8m)和含地下水的砂石层(厚 0.5m); 整个装置的池壁为钢筋混凝土, 池壁超高 0.3m, 在不同深度的土层和砂石层中设置有采水装置, 依靠土壤重力水的重力作用使不同深度土壤溶液可自然(正压)排出。为控制地下水的水平补给状况, 装置设计有地下水进水池和出水池, 还设置有潜水位调节池来调控土壤潜水位。

在土柱模拟过程, 采用按自然土壤的容量和体积分层采集、运输和回填的方法, 通过数次灌水浸泡和松土落实作用恢复原状。试验装置完全克服了作物在小容器、浅土层模拟条件中对土壤养份反复吸收的弊端。试验过程对投配污水、排水等进行计量, 定期监测污水、不同土层排水、地下水 and 土壤的各种形态 N 含量。

2 试验结果与讨论

2.1 污水 N 素对水田地表淹水的影响及变化规律

污水慢速土地处理的预处理去除氮磷的量通常很低, 在每次投配周期内, 一开始会使地表淹水层的氮浓度有很大的提高(见表 1), 其含量高低与土壤类型很少有牵联, 主要受污水自身含量的影响, 也与上一投配周期残存的水量有关。

表1 城市污水进入水田后对表层水N素含量的影响

土壤类型	土壤铵态N (mg/kg)	城市污水			水田地表淹水		
		K-N ¹⁾	NH ₃ -N	NO ₃ -N	K-N ¹⁾	NH ₃ -N	NO ₃ -N
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
水稻土	14.01	23.23	15.23	0.116	21.13	12.80	0.115
红壤	20.41	20.16	12.75	0.098	16.46	9.83	0.069
紫色土	14.60	19.66	14.21	0.116	17.11	11.00	0.091

1) K-N为凯氏(Kjedahl)氮

一旦污水进入水田地表淹水层后, 不同形态的 N 素都会发生变化, 最显著的变化规律是投配污水 NH₃-N 含量在水田淹水层随停留时间增加, 地表淹水的 NH₃-N 含量急剧消减, 8 天后已接近 1.00mg/L(见图 1、表 2), 其去除力已优于污水好氧塘夏秋季 NH₃-N 去除率(40%~80%)^[6]。有机含量也有降低的趋势, 但硝态氮无明显变化。

2.2 污水 N 素对水田不同土层溶液的影响及变化规律

城市污水含有人粪尿等有机物质, 在污水土地处理过程, 有机氮经土壤物理性截留后, 大多数被残留在上层 1.1m 的土壤中, 只有可溶性有机氮化合物随入渗水进入土层底部(见表 3)。随着污水投配的累积数量增加和淹水还原时间延长, 有机 N 在不同土层溶液中均有不同程度的增加, 并随着土层深度作递减的变化。污水的 NH₃-N 在土层中也

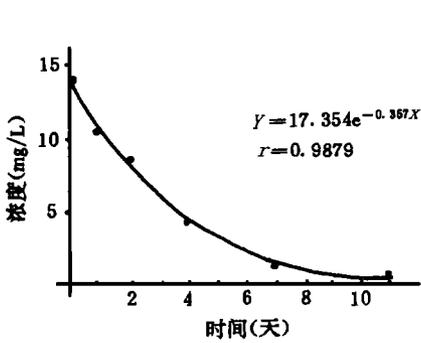


图1 淹水层NH₃-N含量随时间的变化

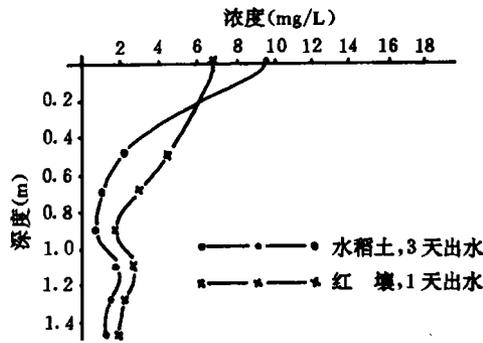


图2 土壤溶液NH₃-N随深度变化

有类似的变化,图2中的二条变化曲线仅表示不同工艺条件下污水NH₃-N在土壤中的变化状况,虽然进入水稻土的污水NH₃-N浓度较高,因水稻土在水作期间土壤垂直渗透速率K_s变化幅度在0.11~0.67cm/h,小于红壤的0.21~2.13cm/h,使各层土壤溶液的NH₃-N含量都低于红壤的。通常0.7m以上土层中土壤溶液NH₃-N浓度下降幅度较大,0.7~1.8m土层中NH₃-N含量呈波浪变化,其浓度为0.57~2.79mg/L,与中试工程现场测得的水田1.3~1.5m处理出水NH₃-N浓度为1.07~2.84mg/L结果接近。

表2 水田投配污水后淹水层NH₃-N变化

停留时间 (天)	NH ₃ -N平均浓度 (mg/L)	NH ₃ -N浓度范围 (mg/L)
0	13.73±3.60	8.86—17.42
1	10.85±1.20	8.96—11.57
3	8.21±1.55	6.68—9.78
4	4.12±0.91	3.48—4.76
5	3.55±0.58	3.14—3.96
11	0.29±0.40	0.00—0.57

水稻种植系统常被认为是湿地系统,有机氮被微生物分解成氨氮,而无机氮去除如同吴晓磊的看法,是湿地植物根毛输氧及传递特性,使其中连续呈现好氧、缺氧及厌氧状态,相当于许多串联或并联的A/A/O(Anaerobic-Anoxic-Oxic工艺的简称,其实质为厌氧-缺氧-好氧工艺,具有脱氮除磷的功能)处理单

表3 污水中有机N在土层中迁移状况(mg/L)

累计淹水 时间 (天)	污水累积 投配水深 (cm)	停留时间 (天)	采样深度 (m)							地下水 (m)
			>0.0	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	
9	5.30	3	1.66	1.32	1.11	0.62	1.48	0.92	0.53	0.03
50	33.70	1	7.10	5.18	7.09	6.08	5.05	2.35	1.81	0.78
60	33.70	10	—	6.16	6.07	2.49	1.97	1.09	2.68	1.51

元,使硝化作用和反硝化作用可以在湿地系统中同时进行^[7]。本项试验研究的不同土层溶液NH₃-N含量依然偏高的事实证明,水稻根系泌氧性能和微生物氧化能力还是有限的,要继续降低各层土壤溶液NH₃-N含量水平只有依靠延长停留时间和调节土壤饱气带厚度才有可能实现。在二年中监测土壤溶液NO₃-N含量水平时发现,水田条件下经1周的淹水后,旱作期间产生的NO₃-N浓度已有很大降低,继续淹水产生越来越强的还原厌氧状态,使NO₃-N很难在水田土壤中长期存在(见表4)。已有的研究表明^[2],慢速渗透土地处理系统测量出的脱氮过程的除氮效果可达3%~70%;作者在废水人工湿地中试工程和

表4 三种土壤不同土层和不同时期土壤溶液NO₃-N变化(mg/L)¹⁾

土壤类型	采样时间 (年.月.日)	淹水层 (>0.0m)	采样土层深度					
			0.5m	0.7m	0.9m	1.1m	1.3m	1.5m
水稻土	1998.5.13	5.957	12.182	3.257	1.751	0.032	0.043	0.031
红壤	1998.5.13	0.401	13.682	5.078	5.167	0.179	0.093	0.097
水稻土	1998.6~7月	0.235	0.065	0.045	0.059	0.075	0.026	0.020
红壤	1998.6~7月	0.071	0.060	0.033	0.024	0.034	0.029	0.173

1) 98年6~7月的NO₃-N浓度为平均值。

盆栽实验研究测得的脱氮效果达 61.8%~68.7%，证实本试验研究结果的可靠。

2.3 污水 N 素对地下水的影响及防治对策

本模拟装置的试验证明,在低水力负荷率(2.46m/a)条件下,模拟地下水氮含量状况取决于地下水侧向补给的水平流速,即补给量大小。当水平流速 0.096m/d,补给量约占总水量的 6%时,地下水 NH₃-N 含量在 0.29~0.62mg/L 之间变化、有机氮含量变幅为 0.02~0.62mg/L、NO₃-N 变幅为 0.032~0.110mg/L;当实验条件控制在缺乏地下水补给时,模拟地下水中的 NH₃-N 由背景含量的 0.74mg/L 上升至 1.21~2.36mg/L、有机 N 含量也增加了 0.75~1.48mg/L,但 NO₃-N 含量仍维持在一个低水平(0.036~0.089mg/L)状态。结果表明在缺乏地下水补给的水文地质环境,慢速污水土地处理依然存在对地下水污染潜在危险。为防治对地下水的污染,在慢速土地处理场地埋设地下排水暗管回收一定比例的渗滤水是必要措施,同时选择恰当的投配周期(>4~5天)以便让作物吸收和微生物的除氮功能被充分利用。

3 结 论

污水慢速土地处理过程氮素在土层中的迁移变化规律很相似一种很低施肥量的氮化肥的变化行为,虽污水进入土壤初期会使地表淹水层的有机氮和 NH₃-N 有一定程度提高,但经 1 周停留时间后,水中各种形态氮含量可降至排入地表水的安全水平。土壤—作物系统有很高的氮去除能力,经 1.5m 土层渗滤和土壤微生物作用后,土壤溶液 NH₃-N 和有机 N 含量可降至 0.53~2.48mg/L,但 NO₃-N 很难在水田土壤溶液中长期存在。即使在缺乏水平向补给情况下,污水土地处理过程仅存在对地下水的轻度污染,但比同期试验的中、低施肥量的氮化肥的污染程度低,证明污水慢速土地处理技术是一种资源化利用和处理的可行技术,只要采取地下排水技术,严格慢速渗滤的设计参数,选择有地下水补给的水文地质条件好的场地,可将这种负面环境影响降至最小的程度,使这种污水处理工艺更安全。

参 考 文 献

1. 刘忠翰. 污水处理和资源化过程作物产量和质量研究. 中国西南地区土壤肥料论文集. 昆明: 云南科技出版社, 1995. 200~204
2. U. S. Environmental Protection Agency, Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater.

Cincinnati: U. S. EPA Center for Environmental Research Information, 1981, 4~7

3. 孙铁珩, 曲向荣, 韩淑华等. 城市污水慢速渗滤土地处理系统净化功能的研究. 水污染防治及城市污水资源化技术. 北京: 科学出版社, 1993. 279~290
4. 刘忠翰. 慢速渗滤土地处理设计参数的研究. 环境科学, 1991, 12(4): 57~62
5. 国家环境保护局、国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准农田灌溉水质标准(GB5084—92). 北京: 中国标准出版社, 1992
6. 杨宝林, 林荣忱. 华北中试好氧塘的试验研究和设计. 水污染防治及城市污水资源化技术. 北京: 科学出版社, 1993. 481~488
7. 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理. 环境科学, 1995, 16(3): 83~86