

污水灌溉对草坪土壤与植株氮含量影响的试验研究

黄冠华, 杨建国, 黄权中
(中国农业大学)

摘 要: 污水灌溉是污水资源化利用的一个重要途径。该研究以草坪草的污水灌溉为例, 选用了高羊茅、黑麦、早熟禾等 3 种典型的冷季型草坪草为主要试验草种, 以地下滴灌和渗灌为 2 种灌水方式, 以城市居民小区的生活污水经过沙过滤和沉淀处理的出水和自来水为 2 种灌溉水源, 共设 12 个试验处理, 进行了污水灌溉和清水(自来水)灌溉的田间对比试验研究, 探讨了污水灌溉对土壤与植株氮含量的影响。实验结果表明, 污水灌溉使草坪草根系层(0~30 cm 土层)土壤中的全氮、速效氮和铵态氮的含量低于清水灌溉; 与此相反, 污水灌溉可使草坪草根系层及其以下土层硝态氮明显高于清水灌溉。污水灌溉也导致草坪草的植株中全氮的含量比清水灌溉平均高 48%。两种污水灌溉方式下, 土壤全氮、速效氮和铵态氮的含量差异不明显。但与滴灌相比, 污水渗灌的土壤硝态氮的含量高于污水滴灌的情况, 尤其是 15~30 cm 和 30~45 cm 土层, 二者硝态氮含量差异显著。

关键词: 污水灌溉; 草坪草; 土壤含氮量; 植株含氮量
中图分类号: S273.5; S153.6 文献标识码: A 文章编号: 1002-26819(2002)03-0022-04

近年来, 随着人民生活水平的提高, 对城市环境改善的要求也越来越高, 我国许多城市以发展草坪草的种植来绿化环境。由于草坪草的需水量大, 灌溉要求高, 使干旱缺水地区水资源的供需矛盾进一步加剧。利用污水作为灌溉的有效资源, 已在国际上越来越受到重视^[1~7]。污水灌溉是污水资源化利用的重要方面之一, 其优点在于污水可为作物生长发育提供相应的营养元素, 氮是二级及其以下处理后污水出流的主要营养元素之一。由于随污灌水土壤中的氮的浓度基本处于稳定状态, 当氮的量超过作物生长的需要量时, 就可能导致土壤中氮的累积, 如利用污水灌溉后的土壤中硝态氮的含量明显高于利用清水灌溉的土壤^[4]。由于在一定条件下硝态氮的相对稳定性与可移动性, 在不适当的灌溉管理条件下, 就有可能导致其淋失, 甚至造成对地下水的污染^[8]。

本研究以园林草地污水灌溉为主要对象, 研究污水灌溉对土壤和作物中氮的变化的影响。

1 材料与方法

1.1 试验处理布置

试验采用 3 因素试验设计, 因素 A 为灌溉水源, 分生活饮用水、生活污水 2 个水平; 因素 B 为灌水方法, 分地下滴灌、渗灌 2 个水平; 因素 C 为冷季型草坪草, 分早熟禾、黑麦、高羊茅 3 个水平; 试验共设 12 个处理。

试验在中国农业大学(东校区)现代设施农业基地进行, 采用测坑试验, 测坑的深度为 60 cm, 小区面积为 4 m² (2 m × 2 m), 小区与小区之间用水泥墙隔开, 坑内填过筛土。供试土壤为褐土, 其化学性状和质地分类分别见表 1、2。供试草坪采用播种法建坪, 2001 年 5 月 11 日播种, 播前施膨化鸡粪 90 g/m², 早熟禾、黑麦、高羊茅播种量分别为 15、30、30 g/m², 其出苗期分别为 5 月 26 日、5 月 18 日、5 月 21 日。自 6 月 30 日始, 每 10 d 修剪一次, 其他管理同城市草坪。

供试污水是来自北京市海淀区车道沟家属小区化粪池的生活污水, 污水预处理装置修建在试验小

表 1 供试土壤化学性状

Table 1 Chemical properties of tested soils

土层/cm	全 N/%	全 P/%	有机质/%	速效 N/mg · kg ⁻¹	速效 P/mg · kg ⁻¹	速效 K/mg · kg ⁻¹	pH 值
0~15	0.0583	0.0743	1.4456	39.36	39.90	151.5	7.67
15~30	0.0562	0.0773	1.5613	33.73	41.10	143.1	7.64
30~45	0.0377	0.0709	1.4688	25.30	17.11	82.2	7.63
45~60	0.0358	0.0608	1.2742	18.27	9.86	67.5	7.62

收稿日期: 2002-01-09
基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999045706); 国家自然科学基金项目(59879028)
作者简介: 黄冠华(1966-), 博士, 副教授, 主要从事灌排理论与污水资源化利用研究。北京市海淀区清华东路 17 号 中国农业大学水利与土木工程学院, 100083

区旁边, 由一个 2 m × 1.5 m × 2.2 m 的砂过滤池和一个 2 m × 1.5 m × 1.4 m 的沉淀池(兼蓄水池)组成, 砂过滤池装填 3 层滤料, 下层为直径 2 cm 左右的大石子, 滤料厚度为 25 cm; 中层为直径 0.5 cm

表 2 供试土壤质地分类

Table 2 Texture classifications of tested soils

土层/cm	含量/%						质地名称 (中国制)
	1~ 0.25 mm	0.25~ 0.05 mm	0.05~ 0.01 mm	0.01~ 0.005 mm	0.005~ 0.001 mm	< 0.001 mm	
0~ 15	5.44	28.56	39.00	9.00	10.60	7.40	砂壤土
15~ 30	6.00	23.00	42.00	9.00	9.60	9.40	砂粉土
30~ 45	12.20	23.80	41.00	7.00	8.60	7.40	砂粉土
45~ 60	15.16	22.84	38.00	8.00	7.60	8.40	砂壤土

左右的小石子, 滤料厚度为 25 cm; 上层为河砂, 滤料厚度为 50 cm。污水处理前后的水质见表 3, 基本满足滴(渗)灌对水质的要求。每个试验小区内铺设 7 条毛管, 毛管长 2 m, 毛管间距 30 cm, 毛管滴头间距 30 cm, 滴灌系统毛管进口压力为 10 m 水头, 渗灌系统毛管进口压力为 6 m 水头。滴灌管埋深 10 cm, 渗灌管埋深 15 cm, 以 0~ 40 cm 土层的 70% 田间持水量为下限进行灌溉, 每个试验小区灌水定额为 0.144 m³, 观测期内共灌水 3 次(06215, 07226, 09215)。

表 3 污水预处理系统污染物去除效果

Table 3 Effectiveness of waste water disposal system

指 标	COD _{cr}	BOD ₅	SS	TDS	TN	TP	NH ₄ ⁺ N	K ⁺	pH 值
原污水	5 290	2 640	1 140	1 380	2 680	65.4	1 830	107	7.62
处理后污水	1 660	1 050	25	1 300	785	10.1	540	93.8	7.43
去除率/%	68.6	60.2	97.8	5.8	70.7	84.6	70.5	12.3	—

1.2 试验观测内容与方

植株全氮用 H₂SO₄-2H₂O₂ 消煮—蒸馏法, 共测定 2 次。土壤全氮用半微量凯氏法, 每 20 d 测定一次, 共测定 6 次。土壤铵态氮(NH₄⁺ N): 1M KCl 浸提—流动分析仪测定, 每 20 d 测定一次, 共测定 3 次。土壤硝态氮(NO₃⁻ N): 1M KCl 浸提—流动分析仪测定, 每 20 d 测定一次, 共测定 3 次。土壤速效氮: 碱解—扩散法, 每 20 d 测定一次, 共测定 6 次。

数据处理的主要分析方法为方差分析、邓肯(Duncan)检验和基于成对数据的 t 检验。

2 结果分析与讨论

2.1 灌溉水源对土壤与植株氮的分布的影响

图 1 是 0~ 60 cm 土层中, 污水灌溉与清水灌溉土壤全氮、速效氮随时间的变化。可以看出相对 5 月初的土壤含氮的初始值, 两种灌溉水源都使土壤全氮、速效氮呈增加的趋势, 清水灌溉中土壤氮的增加可能是由于膨化鸡粪使用的结果, 而污水灌溉氮的增加还包括污水中带入的氮, 两种灌溉水源土壤全氮、速效氮含量变化趋势十分接近(图 1)。在土层的空间上看, 0~ 30 cm 土层平均全氮含量高于 30~ 60 cm 土层的全氮含量(表 4)。在 0~ 30 cm 土层中, 污水灌溉草地的土壤全氮含量略低于清水灌溉草地的结果, 但差异并不十分明显。造成这种现象的原因是: 由于 0~ 30 cm 土层是草地的主要根系层, 污水中氮的含量较高促进了根系层中土壤有机质被草坪草充分吸收利用并加快草坪草生长, 反过来草坪草

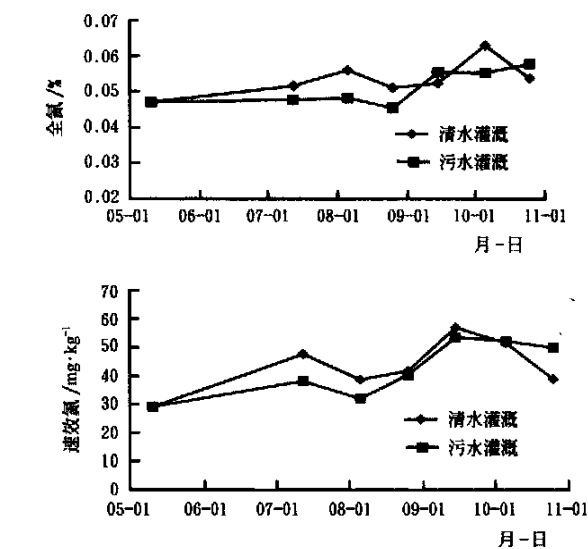


图 1 不同灌溉水源条件下 0~ 60 cm 土层土壤全氮与速效氮含量随时间变化

Fig. 1 Total nitrogen and available nitrogen versus time at the soil layer of 0~ 60 cm with two kinds of irrigation water

生长速率的增加又促进对土壤氮的吸收利用的增加。0~ 30 cm 土壤中(表 4)的速效氮和 NH₄⁺ N 也有类似的情况。30~ 60 cm 土层中, 土壤全氮和速效氮的含量在两种灌溉水源条件下十分接近, 但清水灌溉 NH₄⁺ N 的含量明显高于污水灌溉的情况。从整个土壤剖面看清水灌溉土壤全氮、速效氮、NH₄⁺ N 的含量高于污水灌溉的情况。这说明通过污水加入土壤中的氮大部分已被草坪草吸收利用。

从 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 在空间上的分布看(表 4), 污水灌溉条件下土层中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的含量远高于清水灌溉时 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的含量, 尤其是污水灌溉时 0~ 45 cm 土层

中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的含量是清水灌溉的 5 倍多, 这说明污水灌溉在一定程度上有导致土壤中 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 累积的现象, 并有可能通过淋洗而影响地下水。

表 4 两种灌溉水源对土壤含氮量的影响

Table 4 Effect of irrigation water quality on nitrogen contents of soils

深度/cm	清水灌				污水灌			
	0~ 15	15~ 30	30~ 45	45~ 60	0~ 15	15~ 30	30~ 45	45~ 60
全氮/%	0.0740A a	0.0642A a	0.0423A a	0.0348A a	0.0660A a	0.0584A a	0.0460A a	0.0365A a
速效氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	63.13A a	46.50A a	40.34A a	31.86A a	60.85A a	45.52A a	38.07A a	33.05A a
$\text{NO}_3^- \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.14A a	1.39A a	1.01A a	2.26A a	6.38A a	7.77A a	5.31A a	3.25A a
$\text{NH}_4^+ \text{N}$ / $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.42A a	1.45A a	1.08A a	1.37A a	1.43A a	1.20A a	1.06A a	1.04A a

注: 凡有一个相同标记字母的即为差异不显著, 凡具有不同标记字母的即为差异显著。小写字母表示 0.05 显著水平, 大写字母表示 0.01 显著水平。

从草坪草植株全氮含量的情况看(图 2), 污水灌溉条件下高羊茅、黑麦、早熟禾的全氮含量分别比清水灌溉时高 51%、29% 和 65%, 进一步说明通过污水灌溉进入土壤中的 N 大部分被草坪草吸收利用。

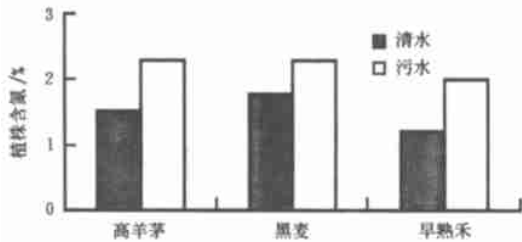


图 2 不同灌溉水源条件下植株全氮含量的差异

Fig. 2 Nitrogen contents in plants with two kinds of irrigation water

经 t 检验, 在 0~ 15、15~ 30、30~ 45、45~ 60 cm 4 个观测土层中, 污水灌溉土壤全氮、速效氮、 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 的平均含量与清水灌溉相比差异均不显著。虽然污水灌溉带入土壤大量的氮, 但并没有使之产生明显的富聚。说明土壤—微生物—植物系统对污水中氮具有一定的净化作用。

2.2 灌水方法对土壤含氮的影响

不同灌溉方法时, 0~ 60 cm 土层中土壤全氮(图 3)随时间呈增加的趋势。在剖面上呈现上高下低的趋势(表 5), 即靠近地表土壤全氮含量高, 随土层深度的增加而降低。不同的灌溉方式下, 土壤全氮含量的分布十分接近。但硝态氮的时空分布与全氮的分布具有一定的差异, 尤其是污水渗灌条件下土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的含量远高于污水滴灌的结果(图 4), 且在污水渗灌条件下 15~ 30 cm 处有 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的累积现象。

在整个观测期内, 不同土层 2 种污水灌溉方法

下土壤中全氮、速效氮、硝态氮与氨态氮的平均含量见表 5。除 15~ 30、30~ 45 cm 土层中, 土壤硝态氮含量污水渗灌分别比污水滴灌高 1.4 倍和 1.7 倍, 差异均达显著水平外, 其它指标在不同的土层中的差异均不十分明显。

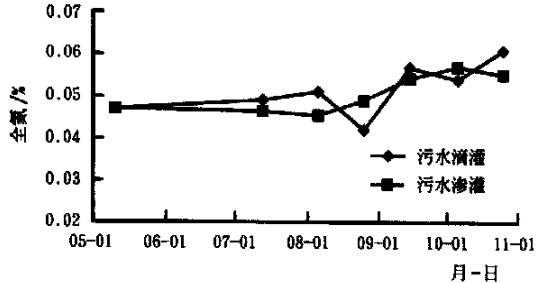


图 3 不同灌溉方法条件下 0~ 60 cm 土层土壤全氮含量随时间变化

Fig. 3 Total nitrogen contents versus time at the soil layer of 0~ 60 cm with two kinds of irrigation methods

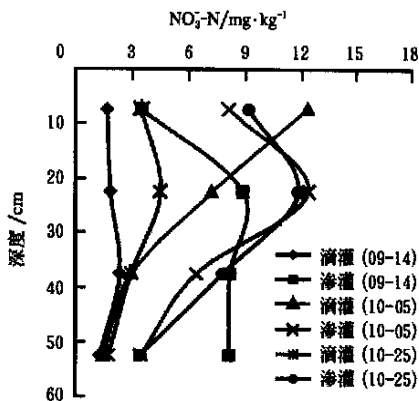


图 4 不同灌溉方法时土壤硝态氮在 09214、10205、10225 的空间分布

Fig. 4 The spatial distribution of nitrate nitrogen contents along the soil profile on September 14th, October 5th and 25th with two different irrigation methods respectively

表 5 两种污水灌溉灌水方法对土壤含氮量的影响

Table 5 The effect of different irrigation methods on soil nitrogen content

深度öcm	污水渗灌				污水滴灌			
	0~ 15	15~ 30	30~ 45	45~ 60	0~ 15	15~ 30	30~ 45	45~ 60
全氮ö%	0 0658A a	0 0619A a	0 0417A a	0 0353A a	0 0663A a	0 0548A a	0 0503A a	0 0377A a
速效氮ömg · kg ^{- 1}	68 05A a	47 70A a	35 73A a	33 50A a	53 65A a	43 34A a	40 41A a	32 60A a
NO ₃ 2N ömg · kg ^{- 1}	6 94A a	11 02A a	7 46A a	5 00A a	5 82A a	4 53A b	2 76A b	1 50A a
NH ₄ 2N ömg · kg ^{- 1}	1 69A a	1 18A a	1 08A a	1 33A a	1 18A a	1 21A a	1 05A a	0 75A a

注: 凡有一个相同标记字母的即为差异不显著, 凡具有不同标记字母的即为差异显著。小写字母表示 0 05 显著水平, 大写字母表示 0 01 显著水平。

3 结 论

1) 污水灌溉条件下的草坪草根系层土壤的土壤全氮、速效氮和NH₄ 2N 略低于清水灌溉的结果, 但二者差异并不明显。污水灌溉条件下的草坪草根系层及其以下土层的土壤中氮含量明显高于清水灌溉的结果。

2) 污水灌溉的草坪草植株中氮含量平均比清水灌溉的结果高近 50%。

3) 两种污水灌溉方式土壤全氮、速效氮和NH₄ 2N 没有差异, 但污水渗灌条件下土壤NO₃ 2N 含量明显高于污水滴灌的情况, 说明污水滴灌有利于控制土壤中NO₃ 2N 的累积。

[参 考 文 献]

[1] 董克虞, 杨春惠, 林春野. 北京市污水农业利用区划的研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994 51~ 125

[2] Friedler E, Juanico M. Treatment and storage of wastewater for agricultural irrigation [J]. International Water and Irrigation Review. 1996, 16(4): 26~ 30

[3] Feigin A , Ravinna I, Shalhevet J. Irrigation With Treated Sewage Effluent [M]. Springer2verlag Berlin: Heidelberg, Gemany, 1991.

[4] Hayes A R, Mancino C F, Pepper IL. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: É. Soil and Leachate Water Quality[J]. Agron J, 1990, 82: 939~ 943

[5] Hayes A R, Mancino C F, Forden W Y, et al Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent: °. Turf quality[J]. Agron J 1990, 82(5): 943~ 946

[6] Mara D D. Treating wastewater for reuse in irrigation[J]. World Agriculture, 1993 99~ 101.

[7] ZekriM M , Koo R C J. Treated municipal wastewater for citrus irrigation[J]. Journal of Plant Nutrition 1994, 17(5): 693~ 708

[8] Farid, M S, Atta S, Rashid M , et al Impact of the reuse of domestic wastewater for irrigation on groundwater quality [J]. Water Science and Technology 1993, 27(9): 147~ 157.

Effect of Irrigation of Turfgrass With Treated Domestic Effluent on Nitrogen Contents in Soil and Plant

Huang Guanhua, Yang Jianguo, Huang Quanzhong

(Faculty of Hydraulic and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Irrigation with treated effluent is one of the most important aspects of utilization of effluent as an available water resources. Experiment was conducted for investigating the effect of irrigation with treated effluent on nitrogen contents in soil and turfgrass. Three typical different turfgrass species and two irrigation methods (subsurface drip irrigation and subsurface irrigation with porous pipe) were adopted in the experiment with treated effluent and potable water, which was 12 treatments totally. Before the irrigation, the source of domestic effluent is treated by a special facility which includes a sand filter with volume of 2 m × 1.5 m × 2.2 m and a settlement pond with scale of 2 m × 1.5 m × 1.4 m. Results indicate that the contents of total nitrogen (TN), ammonium nitrogen (NH₄ 2N) and available nitrogen (AN) in soil of root zone (0~ 30 cm below the soil surface) after irrigation with effluent are slightly lower than those after irrigation with potable water. However, the nitrate nitrogen (NO₃ 2N) content in and below the root zone soil is much higher than that after irrigation with potable water, and average content of TN in plant after irrigation with effluent is approximately 50% higher than that after irrigation with potable water. The contents of NO₃ 2N in soil layers especially in the layers of 15~ 30 cm and 30~ 45 cm below surface with subsurface drip irrigation of effluent are higher than that after subsurface irrigation with porous pipe with effluent, but there are no differences in contents of TN, NH₄ 2N and AN in soil between the two irrigation methods.

Key words irrigation with effluent; turfgrass; total nitrogen content of soil; nitrogen content of plant