

文章编号: 1004-8227(2009)11-1063-04

控制排水条件下土壤氮素的运移

杨琳, 黄介生, 李好文, 黄志强

(武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室, 湖北 武汉 430072)

摘要: 为研究暗管控制排水与非控制排水条件下, 不同排水出口控制高度对土壤中氮素分布和迁移的影响, 在湖北省荆州市四湖工程管理局丫角排灌试验站进行了野外试验。试验结果表明, 无论采取控制排水与否, 土壤垂直剖面上硝态氮浓度均有一致的变化规律: 20 cm 处浓度最高, 在 40~60 cm 浓度急剧减小, 60~80 cm 浓度值很小(1 mg/kg 左右); 控制排水对土壤硝态氮的减小率有显著影响, 表现在控制水位越高, 土层间硝态氮减小率最大; 控制排水能降低表层土壤硝态氮的迁移; 铵态氮与硝态氮迥然不同, 无论采取控制排水与否, 铵态氮在土壤垂直剖面上的含量变化不大; 控制排水对铵态氮的含量也有一定的影响, 表现在控制排水位越低, 土壤中铵态氮的含量越小。

关键词: 控制排水; 硝态氮; 铵态氮; 排水出口控制高度

文献标识码: A

农田控制排水技术开始于 20 世纪 70 年代, 被认为是农田最佳管理措施之一。国外学者通过大量的研究表明, 控制排水能有效减少农田排水量、降低排水中氮磷浓度改善排水水质、提高农作物产量等^[1~5]。国内农田控制排水研究起步较晚, 可查阅的研究成果不多^[6~9]。目前农田控制排水的研究工作主要集中在排水量和水质对环境的影响上, 即控制排水可减少的排水量和排水中氮、磷排放量。而野外试验条件下, 采用控制排水后土壤养分分布情况的研究甚少。本文对旱地实施暗管控制排水, 以棉花和油菜为供试作物, 通过控制不同的排水出口高程, 研究不同控制水位影响下, 土壤中硝态氮和铵态氮在土壤剖面上的时空分布规律, 探索控制排水对提高旱地土壤养分有效性的作用。

1 试验简介

1.1 试验区概况

试验在湖北省荆州市四湖工程管理局丫角排灌试验站进行, 该试验站位于四湖水系中区, 具有典型的平原湖区特性。多年平均气温 16.5℃, 多年平均降雨量 1 122.0 mm, 多年平均水面蒸发量为 977.4 mm, 多年平均日照时数为 1 552.0 h, 无霜期 280 d

左右。场区地势平坦, 土壤肥沃, 土质为中壤粘土, 田间持水量 0~15 cm 土层内为 47.3%, 16~40 cm 土层内为 30.7%。

1.2 实验设计

旱地试验总面积 2 400 m², 由 1.2 m 深 20 cm 宽的水泥墙加防渗膜分割成相对独立的 3 块田, 其中 A 和 B 每块田大小为 20 m × 50 m, 为控制排水处理, C 田块大小为 8 m × 50 m, 为常规排水处理, 作为对比田块。暗管埋设深度 1 m, 排水沟深度 1.5 m。控制排水措施是将各田块的暗管出口接波纹管, 在排水沟中竖立水位标尺来精确设置波纹管出口高程, 进而起到控制排水的目的。试验从 2007 年 8 月初开始, 各田块排水出口高程见图 1 所示, 试验期间各暗管排水控制高度固定。经过一个多月的控制处理, 9 月 21 日开始取土测定, 分析不同控制水位对土壤氮素含量的影响。根据作物生长需求于 8 月 17 日施尿素, 各田块单位面积施肥量相同(按 250 kg/hm² 施肥)。供试作物为棉花和油菜轮作。

1.3 试验内容及方法

土壤有效氮中硝态氮和铵态氮能够反映土壤氮素养分的供应情况, 是本次试验主要测定的两项指标, 分别采用紫外分光光度法和纳氏试剂比色法测定^[10]。距地表以下 20、40、60 和 80 cm 4 个深度土

收稿日期: 2009-02-17; 修回日期: 2009-03-20

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题“灌区农田排水与再利用关键技术研究”(2006BAD11B06)

作者简介: 杨琳(1979~), 女, 辽宁省本溪人, 博士生, 主要从事农田排水与水环境研究, E-mail: ylw1979@126.com

层取土, 每层取土按 S 型在各田块里取 5~ 10 个土壤样品混匀后用于测定土壤硝态氮及铵态氮的含量。每次试验制成混合土样 12 个, 每个土样均做 3 次平行测定, 结果取其均值。本文采用了从 2007 年 9 月至 2008 年 3 月间所做的 5 次试验数据。

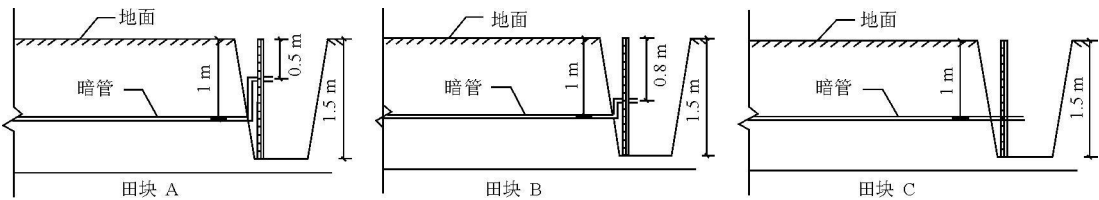


图 1 各田块暗管出口剖面图
Fig. 1 Profile Map of Drainage Outlets

2 试验结果与分析

2.1 试验田块氮素初始含量

试验前测定氮素含量, 表示土壤氮素的初始状态, 结果见表 1。由表 1 可知, 3 块田硝态氮浓度沿垂直剖面向下逐渐减小, 4 个深度浓度之和相近; 3 块田不同深度上铵态氮没有明显的分布规律, 4 个深度浓度之和是 C> B> A。

表 1 土壤氮素初始值 (mg/kg)
Tab. 1 Initiative Nitrogen Contents in Soil

田块	项目	20 cm	40 cm	60 cm	80 cm	各层之和
A	NO ₃ -N	3.26	1.96	0.57	0.29	6.08
	NH ⁺ -N	1.39	5.01	6.18	8.00	20.58
B	NO ₃ -N	2.99	2.14	0.47	0.22	5.82
	NH ⁺ -N	8.06	7.53	3.90	5.59	25.08
C	NO ₃ -N	2.34	2.36	0.46	0.24	5.40
	NH ⁺ -N	6.35	4.40	7.48	8.54	26.77

2.2 不同控制水位下土壤硝态氮的时空分布

对控制排水与非控制排水处理下, 5 次试验测

定的 4 个不同深度上硝态氮浓度值、各层浓度 5 次均值和 4 层均值之和列于表 2。

(1) 从每次的试验数据可以看出, 无论采取控制排水与否, 土壤垂直剖面上硝态氮浓度均有一致的变化规律: 20 cm 处浓度最高, 在 40~ 60 cm 浓度明显减小, 60~ 80 cm 浓度值很小 (1 mg/kg 左右)。此分布规律产生的原因之一是由于试验作物施用铵态化肥, 土壤中的硝态氮主要来源于尿素水解成的铵态氮, 在适宜的温度、水分和通气条件下, 土壤微生物和酶的作用下, 铵态氮经硝化作用转化成硝态氮。4 个土层中, 20 cm 处铵态氮的含量大, 硝化作用强, 故硝态氮浓度大; 在 60 cm 以下接近地下水位, 土壤含水量较高、含氧量较低、通气条件差, 造成硝化作用受抑制, 故硝态氮浓度很小。

(2) 从层平均值来看, A、B、C 田块 20 与 40 cm 土层间硝态氮浓度减小率依次是 52.9%、46.25%、45.2%; 20 与 60 cm 土层间硝态氮浓度减小率依次是 91.9%、83.1% 和 76.6%; 20 与 80 cm 土层间硝态氮浓度减小率依次是 95.6%、94% 和 94.8%。各

表 2 试验田土壤硝态氮浓度 (mg/kg)

Tab. 2 Nitrate Nitrogen Contents in each Plot

田块编号	土层深度 (cm)	实 验 时 间					各层平均	总平均
		9 月 21 日	10 月 31 日	11 月 25 日	1 月 3 日	3 月 14 日		
A	20	4.72	9.64	11.80	2.96	2.42	6.31	10.07
	40	2.56	5.99	4.03	0.95	1.35	2.97	
	60	0.30	0.32	0.65	0.52	0.75	0.51	
	80	0.76	0.35	0.00	0.00	0.31	0.28	
B	20	1.13	3.02	12.42	3.67	1.42	4.33	7.65
	40	1.83	1.76	3.90	1.95	2.24	2.33	
	60	0.62	0.00	1.43	0.60	1.01	0.73	
	80	0.14	0.00	0.00	1.02	0.15	0.26	
C	20	9.03	5.85	14.94	7.60	3.81	8.25	15.13
	40	5.63	1.00	9.53	3.54	2.89	4.52	
	60	0.44	0.84	4.51	3.51	0.34	1.93	
	80	0.28	0.21	1.39	0.29	0.00	0.43	

土层间的浓度减小率均为 $A > B > C$, 且在 40 和 60 cm 处是各田块浓度减小率差距较大的土层, 由此可见控制排水位对土层间硝态氮减小率有直接影响, 即控制排水位越高, 土层间硝态氮减小率越大。其原因可能是排水出口高程分别为地面下 0.5、0.8 和 1 m, 各田块随控制水位的降低, 硝化条件有利, 硝化作用增强所致。

(3) 从层均值之和来看, A、B、C 分别是 10.07、7.65、15.13 mg/kg。经过半年多的控制排水处理, 在相同单位面积施肥量的条件下, 3 块田 4 个深度浓度之和从初始状态时的数值相近变化到有较大的差距, 可见实施控制排水对土壤硝态氮的含量有显

著影响, 且控制排水田块硝态氮含量较正常排水的田块低。同为控制排水处理的 A、B 田块, 各土层间的浓度减小率均为 $A > B$, 而硝态氮 4 个深度浓度之和为 $A > B$, 主要因为 20 cm 处硝态氮浓度 $A > B$, 说明了控制排水对表层土壤硝态氮的“滞留”作用, 即随控制排水位抬升, 降低了排水流速和排水流量, 进而降低硝态氮随排水的流失量。

2.3 不同控制水位下土壤铵态氮的时空分布

对控制排水与非控制排水处理下, 5 次试验测定的 4 个不同深度上铵态氮浓度值、各层浓度 5 次均值和 4 层均值之和列于表 3。

表 3 试验田土壤铵态氮浓度(mg/kg)
Tab.3 Ammonium Nitrogen Contents in each Plot

田块编号	土层深度 (地表以下 cm)	实 验 时 间					各层平均	总平均
		9 月 22 日	10 月 29 日	11 月 24 日	1 月 4 日	3 月 13 日		
A	20	15.95	7.41	6.71	8.12	8.25	9.29	36.64
	40	15.23	7.75	4.95	6.03	2.93	7.38	
	60	19.89	8.28	4.73	15.81	4.32	10.61	
	80	13.23	7.90	5.41	15.69	4.60	9.36	
B	20	19.44	9.11	4.91	4.35	8.54	9.27	33.06
	40	13.63	12.32	3.97	4.44	5.42	7.96	
	60	15.40	7.02	5.04	6.96	5.97	8.08	
	80	8.63	6.44	4.32	6.62	12.72	7.75	
C	20	11.84	11.91	5.29	8.31	12.82	10.04	34.68
	40	18.17	8.69	4.62	6.95	6.98	9.08	
	60	11.41	5.85	4.44	6.50	9.72	7.59	
	80	10.46	5.57	7.92	5.81	10.08	7.97	

(1) 从 5 次的试验数据可以看出, 9 月 22 日所测土壤铵态氮浓度值最大, 后随时间呈减小趋势。主要是因为 8 月 17 日施肥, 尿素先水解为铵态氮, 故 9 月铵态氮浓度出现峰值, 随着一部分铵态氮转化为硝态氮, 一部分被作物吸收和一部分吸附和固持于土壤胶体表面和胶体晶格中, 土壤中铵态氮逐渐消耗减少。

(2) 从层平均值来看, 铵态氮的分布规律不同于硝态氮, 其在土壤垂直剖面上含量比较稳定, 控制排水与正常排水的田块 60 和 80 cm 深处没有出现浓度锐减的情况。

(3) 从层均值之和来看, 经过半年时间的控制排水处理, 三块田铵态氮的浓度值由初始时 $C > B > A$ 变化成为 $A > C > B$, 说明控制排水对铵态氮含量也有影响, 主要表现在控制水位越低, 铵态氮含量越小, 原因是随控制水位的降低, 硝化条件有利, 铵态氮因硝化作用增强消耗量增大。

4 结 论

氮素中的硝态氮和铵态氮是作物可以直接吸收利用的养分, 硝态氮主要存在于土壤溶液中, 移动性大, 容易随水流失, 污染水环境。在本试验条件下, 从试验的测定结果和计算结果中可以得出: 无论采取控制排水与否, 土壤垂直剖面上硝态氮浓度均有一致的变化规律: 20 cm 处浓度最高, 40~60 cm 浓度明显减小, 60~80 cm 浓度值很小(1 mg/kg 左右), 没有污染地下水的状况发生。不同的排水出口水位对土壤硝态氮的减小率有显著影响, 表现在控制水位越高, 土层间硝态氮减小率越大。另外控制排水能降低表层土壤硝态氮的迁移。

铵态氮易吸附于土壤胶体表面, 移动性小。本试验肥料为尿素, 铵态氮来源于尿素水解, 硝态氮由铵态氮经硝化反应生产。试验的测定结果和计算结果得出: 土壤剖面上铵态氮的分布情况与硝态氮迥

然不同, 无论采取控制排水与否, 土壤垂直剖面上铵态氮的含量比较稳定。控制排水对铵态氮的分布有一定的影响, 即控制水位越高, 土壤湿度越大, 土壤通气条件越差, 硝化作用受抑制, 反硝化作用增强, 故土壤中铵态氮含量越大。

旱地采取控制排水措施能降低表层硝态氮的迁移, 也一定程度上抑制硝化作用, 减少硝态氮的含量, 进而减小硝态氮的淋失量, 起到保肥增墒的效果。

参考文献:

- [1] WESSTR M I, MESSING I. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops [J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 87: 229~ 240.
- [2] NG H Y F, TAN C S, DRURY C F, et al. Controlled drainage and subirrigation influences tile nitrate loss and corn yields in a sandy loam soil in Southwestern Ontario[J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 90: 81~ 88.
- [3] WESSTR M I, MESSING I, LINN R H, et al. Controlled drainage——effects on drain outflow and water quality [J]. *Agricultural Water Management*, 2001, 47: 85~ 100.
- [4] AMATYA D M, SKAGGS R W, GREGORY J D. Effects of controlled drainage on the hydrology of drained pine plantations in the North Carolina coastal plain[J]. *Journal of Hydrology*, 1996, 181: 211~ 232.
- [5] LALONDE V, MADRAMOOTOO C A, TRENHOLM L, et al. Effects of controlled drainage on nitrate concentrations in subsurface drain discharge [J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 29: 187~ 199.
- [6] 郭相平, 张展羽, 殷国玺. 稻田控制排水对减少氮磷损失的影响 [J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2006, 24(3): 307~ 310.
- [7] 殷国玺, 张展羽, 郭相平, 等. 地表控制排水对氮质量浓度和排放量影响的试验研究[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2006, 34(1): 21~ 24.
- [8] 王少平, 俞立中, 许世远, 等. 上海青紫泥土壤氮素淋溶及其对水环境影响研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2002, 11(6): 554~ 558.
- [9] 张瑜芳, 张蔚榛, 沈荣开, 等. 排水农田中氮素转化运移和流失 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997.
- [10] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

EXPERIMENTAL STUDY ON NITROGEN TRANSPORT AND TRANSFORMATION OF CONTROLLED DRAINAGE

YANG Lin, HUANG Jie-sheng, LI Da-wen, HUANG Zhi-qiang

(State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: A field experimental project was carried out in Jingzhou City, Hubei Province to assess the effects of controlled drainage on the distribution and the content of nitrogen in the soil. The study has draw conclusions as following: 1) The controlled drainage system had a remarkable effect on the diminishing ratios of nitrate nitrogen between neighboring layers. It was presented that the diminishing ratio increased with the raising height of drain outlet. Controlled drainage system also reduced the transference of nitrate nitrogen in topsoil. 2) Different from nitrate nitrogen, the content of ammonium nitrogen was stable, the effect of controlled drainage system on it was not obvious, it was indicated that the content of ammonium nitrogen decreased according to the lowering of controlling height of drain outlet.

Key words: controlled drainage; nitrate nitrogen; ammonium nitrogen; controlling height of drain outlet