

DOI: 10.5846/stxb201212271888

杨世琦, 王永生, 谢晓军, 韩瑞芸, 杨正礼. 宁夏引黄灌区猪粪还田对稻田土壤硝态氮淋失的影响. 生态学报, 2014, 34(16): 4572-4579.

Yang S Q, Wang Y S, Xie X J, Han R Y, Yang Z L. Effect of nitrate nitrogen leaching of paddy field based on swing manure application in the Yellow River irrigation district of Ningxia. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(16): 4572-4579.

宁夏引黄灌区猪粪还田对稻田土壤硝态氮淋失的影响

杨世琦^{1,2}, 王永生³, 谢晓军⁴, 韩瑞芸^{1,2}, 杨正礼^{1,2,*}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 农业清洁流域团队, 北京 100081;

2. 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081;

3. 中国科学院地理科学与资源研究所生态网络观测与模拟重点实验室, CERN 综合研究中心, 北京 100101;

4. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

摘要:以宁夏引黄灌区稻田为例,探索猪粪还田条件下稻田土壤硝态氮淋失规律。试验设置 3 个处理:常规施肥 300 kg 纯 N kg/hm²(CK)、常规施肥条件下施用 4500kg/hm²(T₁)和 9000 kg/hm²(T₂)猪粪。利用树脂芯法吸附稻田 30cm、60cm 和 90cm 土层的硝态氮流失量。结果表明:在常规施肥的基础上增施猪粪,可以减少稻田生育期内 60cm 与 90cm 处土壤硝态氮淋失量,与 CK 相比,T₁、T₂在两个土层处淋失量的减少比例分别为 4.93%、13.92%与 7.48%、13.77%。同一土层不同处理之间差异显著性比较看($P < 0.05$),30cm 处 T₁、T₂与 CK 相比没有达到显著性差异;60cm 处,T₁与 CK 未达到显著差异,T₂与 CK 达到显著差异;90cm 处,T₁、T₂与 CK 相比达到显著差异;60cm 和 90cm 土层处的 T₂与 T₁之间均达到显著差异。T₁和 T₂在 30cm 处的淋失量高于 CK,但增加不明显,处理之间以及处理与对照相比差异不显著。稻田生育期内不同土层硝态氮淋失量在 13.61—17.77 kg/hm²(纯 N)。硝态氮淋失集中在插秧至分蘖期(5 月中旬—6 月下旬),该阶段的硝态氮淋失量占生育期内总淋失量的 61.62%—72.84%;后期淋失量明显减少。处理 T₁、T₂的水稻产量增产率分别为 15.86%与 12.85%。由此可见,在引黄灌区稻田,一定数量的猪粪还田,不仅能够减少土壤硝态氮向深层淋失,防控地下水污染,还有利于水稻增产。

关键词:宁夏引黄灌区;猪粪还田;硝态氮;淋失;树脂芯

Effect of nitrate nitrogen leaching of paddy field based on swing manure application in the Yellow River irrigation district of Ningxia

YANG Shiqi^{1,2}, WANG Yongsheng³, XIE Xiaojun⁴, HAN Ruiyun^{1,2}, YANG Zhengli^{1,2,*}

1 Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Key Laboratory of Agro-Environment and Climate Change, Ministry of Agricultural, Beijing 100081, China

3 Synthesis Research Center of CERN, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

4 College of Forestry, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

Abstract: The Yellow River irrigation district of Ningxia is an important agricultural area in North China, where the nitrate leaching and water pollution have been an increasing problem in recent year. Water in a number of drainage ditches is of inferior quality, in which the main pollutants are nitrate and ammonium nitrogen. The concentration of ammonium is usually 20—30mg/L and can be much higher up to 70 mg/L in extreme cases, so that downstream water quality is severely affected. The proportion of total nitrogen and ammonia nitrogen from field was up to 61%—66% and 76%—81%, respectively. The concentration of nitrate nitrogen in about half of shallow groundwater was more than 10 mg/L. Content of

基金项目:环保公益性行业科研专项经费(201009017)

收稿日期:2012-12-27; 网络出版日期:2014-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shiqiyang@126.com

soil organic matter, ranging from 9.2 to 14.5g/kg with the mean of 10.2 g/kg, was low; consequently it facilitates the loss of soil nutrient nitrate nitrogen. In this study, we investigated the effect of swine manure application in management of nitrate nitrogen leaching and improvement of soil organic matter in this area. The characters of nitrate nitrogen leaching in paddy fields in the Yellow River irrigation district of Ningxia were explored in the condition of swine manure application. The field experiment was conducted with 3 treatments; tradition fertilization without swine manure (CK), tradition fertilization with swine manure of 4500kg/hm² (T₁) and tradition fertilization with swine manure of 9000 kg/hm² (T₂). Nitrate nitrogen leaching rates were measured for 30, 60, 90 cm depth soil layer with a resin core absorption method. The results are shown as follows: (1) The treatments with swine manure application reduced the nitrate nitrogen leaching loss at 60 and 90 cm depth soil layers in the paddy field during rice growth period. The decreases were 4.93% (60 cm) and 13.92% (90 cm) for T₁ vs. CK and 7.48% (60 cm) and 13.77% (90 cm) for T₂ vs. CK. (2) In comparisons of the statistical significance of nitrogen leaching loss at the same soil layer between different treatments ($P < 0.05$), the variations among T₁, T₂ and CK were not significant at 30 cm depth. In the soil samples from 60 cm depth, T₁ and CK were not significantly different, while T₂ was significantly different from CK. Compared to CK, both T₁ and T₂ caused a significant reduction in nitrogen loss at 90 cm depth. Meanwhile, the difference between T₁ and T₂ were significant at 60 and 90 cm depth. Although the nitrate nitrogen leaching loss of T₁ and T₂ were higher than that of CK at 30 cm depth, the difference did not reach statistical significance among CK and T₁ and T₂. (3) The nitrate nitrogen leaching loss was 13.61—17.77 kg/hm² (pure nitrogen) in different soil layers during rice growth period. The major loss accounting for 61.62%—72.84% of the whole growth period occurred during the time from rice transplantation to tillering, corresponding to the season from middle May to end of June, and the loss was obviously alleviated at the late stage of rice growth. (4) The rice yield in T₁ and T₂ was increased by 15.86% and 12.85%, respectively. Taken together, our study suggests that swine manure application is effective to prevent nitrate nitrogen leaching loss in the Yellow River irrigation district of Ningxia and beneficial to rice production as well.

Key Words: the Yellow River irrigation district of Ningxia; swine manure application; nitrate nitrogen; leaching; resin core

宁夏引黄灌区是我国重要的灌区之一,年农田退水量 25 亿 m³,总氮流失约 1.8 万 t,其污染负荷贡献高达 61%—66%^[1]。主排水沟常年劣 V 类水质,主要污染物 NO₃⁻-N 与 NH₄⁺-N,其中 NH₄⁺-N 浓度 20—30mg/L,最高达 70mg/L。“十一五”期间境内黄河水质达标率仅为 38.3%,国控断面 NH₄⁺-N 浓度 2.57—3.94 mg/L,将近一半的浅层地下水 NO₃⁻-N 浓度超过 10mg/L^[2]。灌区水体污染的主要原因,一是农田退水大;二是施肥量大,氮肥用量 301kg/hm²,是国家平均的 1.6 倍;三是土壤有机质低,保肥性差,试验区周边农田有机质平均 10.2 g/kg,高值 19.04g/kg, 15g/kg 以下占 95%。由于畜禽粪便还田受施用量、土壤理化性质、灌溉等影响,不同地区试验结果有一定差异。本研究通过有机肥(猪粪)还田提升土壤有机质,研究增施有机肥对土壤氮素流失的影响规律,探索有机肥还田控制土壤氮素流失在宁夏引

黄灌区的可行性,目前该区域尚未发现类似试验研究报道。

多数研究结果表明施用有机肥能够控制和减少硝态氮淋失,也有相反结论报道。土壤无机氮的垂直分布特征主要受制于土壤有机质的分布影响,表层土壤的有机质含量丰富,大约 80%—97%的氮存在于有机质中,剖面下层土壤的有机质含量低,无机氮含量就较低^[3]。有机肥施用可有效地控制土壤硝态氮的淋洗深度,有机农业土壤具有较高的反硝化效率和土壤微生物活性,化肥处理的年硝态氮流失是有机肥 4.4—5.6 倍,复合肥介于中间。施用堆肥均能降低硝态氮淋失^[4];林地施用有机肥 7d 截获铵态氮 20%—70%^[5],施用鸡粪 100—200kg/hm²(纯氮)降低了硝态氮淋失量^[6],稻田施用秸秆和秸秆堆肥能够降低田面水和 10—20cm 土层渗漏水硝态氮浓度^[7]。施用氮同位素标记肥料试验表明,不同有

机肥对 30cm 土层氮的去向影响不同,猪粪堆肥小区保留了 25%的 ^{15}N ,废弃物堆肥小区保留了 10%的 ^{15}N ,对照小区保留了不到 10%的 ^{15}N ^[8]。在设施菜地,适宜施用有机肥减少硝态氮的累积和土壤剖面硝态氮的垂直迁移;在同等施氮水平下,有机肥与化肥配施可减少硝态氮向深层土壤的淋溶迁移^[9]。实验室培养条件下添加不同碳形态的有机质能够使土壤无机氮溶出量明显降低(无机氮以硝态氮为主,占无机氮的 81.13%—97.62%),其中小麦秸秆粉降低最多,锯末和褐煤粉的活性都较低^[10]。对 35 条河流的可溶性有机物与硝态氮负相关结果表明,在区域尺度上农田碳不足将导致氮淋失严重增加^[11]。过量有机肥的施用会直接导致硝态氮在土壤的大量积累,当施肥量 60 t/hm²时,不仅对耕层土壤各土层都造成不同程度的积累,而且引起了硝态氮在深层土壤的轻微淋溶^[12]。不排除大量施用有机肥产生的硝态氮淋失对地下水的潜在威胁,因此,欧盟提出了有机肥的限量指标,在硝酸盐敏感地区有机肥的年施用量不应超过 175 kg N/hm²,而洛桑试验站则将 276 kg N/hm²作为有机肥的限量指标^[13]。

采用树脂法研究土壤氮素流失,一般采用树脂袋、树脂芯及树脂膜法^[14-18],过去研究主要针对森林和草原土壤氮素的净矿化速率及氮素有效性,深度限于 20cm 土层以内。本研究采用改进树脂芯法,设置 30、60 和 90cm 土层深度,每层底部放置一定数量的树脂材料,吸附硝态氮淋失数量,揭示灌区稻田不同有机肥水平处理下的硝态氮淋失特征及淋失负荷。

1 研究方法

1.1 试验区概况

试验站位于宁夏灵武农场(106°17'52"E, 38°07'26"N),年均气温 8.9℃,降水量 193mm,蒸发量 1763mm,无霜期 150d。主要种植模式稻旱轮作,种植作物水稻、玉米和春小麦。土壤为灌淤土,肥力中等,0—30cm 土层容重 1.57 g/cm³,有机质含量 14.47 g/kg,土壤全氮 0.87 g/kg,速效氮 96.33 mg/kg。地下水位深度 1.5—2.0m。水稻全生育期的灌水量 1.5—1.8×10⁴ m³/hm²。

1.2 试验设计

试验小区面积为 200m²,水泥埂隔开,沿埂开沟

深 120cm,沟内压塑料膜,以防小区相互干扰。CK 为灌区常规施肥,处理 T₁、T₂是常规施肥下分别施入 4500、9000kg/hm²腐熟猪粪,先一年水稻收获后施入,3 次重复。尿素(纯 N)300 kg/hm²、重过磷酸钙 105 kg (P₂O₅)/hm²、氯化钾 60 kg (K₂O)/hm²。磷钾肥作基肥一次施入,尿素 50%做基肥,剩余 50%按照 3:1:1 的比例作追肥,分 3 次施入,分别在 5 月 31 日(苗期返青期)追施 30%,6 月 25 日(分蘖期)追施 10%,7 月 26 日(孕穗期)追施 10%。2010 年 5 月 13 日插秧,行距 30cm,株距 10cm,9 月 10 日收获,大田生长期 120d。

1.3 试验方法

树脂芯法在用于草原或者表层土壤氮矿化量的测定,与直接采集土壤或测定土壤渗漏水的结果基本一致^[19-23]。本试验采用改进的树脂芯法,由 76mm (直径)×0.82mm (管壁厚度)的不锈钢管(高度根据需要调整)、60 目尼龙网制作的 8×8cm 树脂袋(内装有 15g 氯型,强碱性阴离子树脂)和两片直径为 74mm 的铝塑板(铝塑板上打有 13 个直径为 3mm 的小孔)组成,装置见图 1。树脂袋上下的两片铝塑板以防上下层土壤对树脂袋的污染,铝塑板设置小孔。为减少管内外土壤环境差异,管壁上打孔。把手的功能是方便树脂管提取。采用 001×7 型强酸性苯乙烯系阳离子交换树脂。主要改进之处体现在一是取样深度增加,最深 90cm;二是取样频次增加且不破坏土壤结构,基本上实现原为培养。

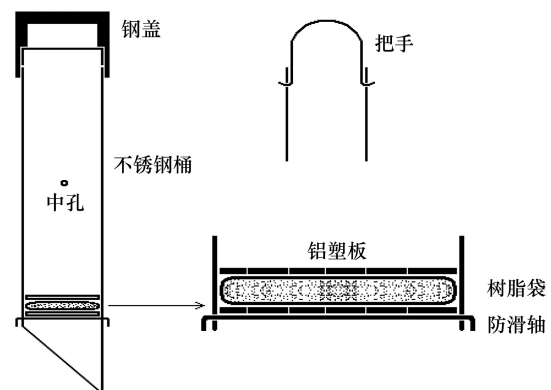


图 1 改进的树脂芯装置图

Fig.1 The improved device figure of the resin-core

试验开始时,先将长度为 42、72、102cm(楔面长 10cm)的树脂管垂直打入小区土壤中,管子上部与地面齐平,管子间隔 2m,小区内沿对角线设置 3 个重

复;然后利用把手将树脂管提出,用螺丝刀剔除管子底部 2cm(楔面以上)厚的土壤,依次安装铝塑板、树脂袋、铝塑板、防滑轴,然后回填楔面土壤,再插回原处进行培养。一段时期后,取出树脂袋在冰箱保存(-4℃);同时,放入新的树脂袋,继续下一阶段试验。水稻生育期树脂取样 7 次。

1.4 测定方法与计算方法

离子交换树脂吸附硝态氮用 1mol/L KCl 溶液浸提^[22-23],硝态氮采用紫外分光光度法测定。不同土壤层次硝态氮淋失量用下面公式计算:

$$\text{硝态氮淋失量 (kg/hm}^2\text{)} = \text{树脂吸附硝态氮含量 (kg)/树脂管面积 (m}^2\text{)} \times 10000 (\text{m}^2)$$

2 结果与分析

2.1 硝态氮淋失总量

水稻大田期不同处理下的 3 个土层硝态氮淋失量如图 2 所示。结果表明,硝态氮(纯 N)淋失量 13.61—17.77 kg/hm²,占氮肥施用量的 4.17%—5.88%。与对照相比,处理 T₁、T₂在 30cm 土层的硝态氮淋失量增加 4.64%、3.22%,60cm 土层减少 4.93%、13.92%,90cm 土层减少 7.48%、13.77%。处理 T₁、T₂与对照 CK 在 60cm 土层的硝态氮淋失量最小,处理小于 CK,且处理 T₂小于处理 T₁;30cm 土层,尽管处理 T₁、T₂较对照淋失量增加,但在 30cm 以下与 60cm 以上的土层中得到储存,所以 60cm 土层的硝态氮淋失量减小。60cm 与 90cm 土层淋失量大小均表现为 CK>T₁>T₂,其中 90cm 土层的 CK 的淋失量最大。30cm 土层硝态氮淋失量,T₁、T₂与 CK 相比没有达到显著性差异(P<0.05,下同);60cm 土层,T₁与 CK 未达到显著差异,T₂与 CK 达到显著差

异;90cm 处,T₁、T₂与 CK 相比均达到显著差异;60cm 和 90cm 土层处,T₂与 T₁之间均达到显著差异。以上结果表明,增施猪粪可以减少稻田深层土壤硝态氮淋失量,在小于 9000kg/hm²情况下,施用量增加,硝态氮淋失量减小。

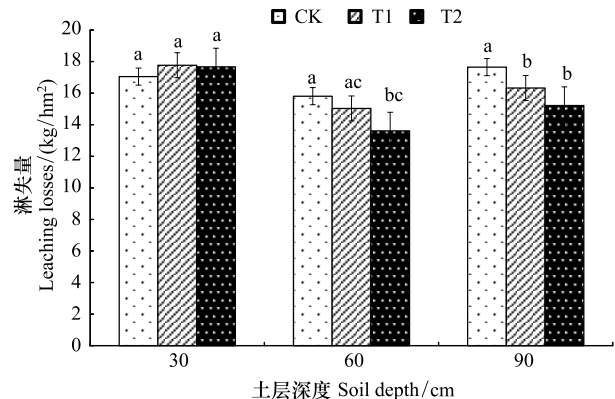


图 2 水稻生育期内硝态氮淋失总量

Fig.2 The total leaching losses of nitrate nitrogen in the rice growth period

2.2 不同生育阶段硝态氮淋失量及变化特征

稻田不同时间段的硝态氮淋失量比例见表 1。可以看出,5 月 30 日与 6 月 12 日的硝态氮淋失量比例明显高于其它时期,6 月 12 日最高,8 月 23 日与 9 月 25 日的淋失量比例明显低于其它时期。5 月 16 日至 6 月 12 日是稻田硝态氮淋失关键时期,占总淋失量的 50.11%—58.70%。主要原因是在水稻生长前期,对养分的需求较弱,但此时 80% 的肥料已经施入稻田,土壤氮素盈余较多,引起硝态氮淋失量增加;后期淋失量比例低的原因是土壤残留减少和晒田因素。

表 1 不同土壤深度硝态氮淋失量比例/%

Table 1 The percentage of nitrate nitrogen leaching losses in different period

日期 Date	CK			T ₁			T ₂		
	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm	30cm	60cm	90cm
05-16	12.27	7.81	6.48	8.56	12.26	11.09	9.17	12.52	12.95
05-30	22.37	19.59	20.24	18.64	21.17	15.62	19.62	18.83	18.73
06-12	24.06	25.41	24.55	29.61	22.91	22.68	26.32	18.90	21.38
06-26	14.14	17.40	19.23	13.48	10.44	12.23	17.89	14.30	13.91
07-25	11.66	12.85	13.88	13.91	13.24	18.32	9.92	13.16	12.25
08-23	8.88	10.35	9.38	8.80	13.02	13.69	10.24	14.70	13.82
09-25	6.63	6.57	6.24	7.00	6.97	6.36	6.82	7.58	6.96

T₁: 常规施肥条件下施用 4500kg/hm² Tradition fertilization with swine manure of 4500kg/hm²; T₂: 常规施肥条件下施用 9000 kg/hm² Tradition fertilization with swine manure of 4500kg/hm²

稻田不同土层各处理的硝态氮淋失量变化情况见图3。在30cm土层,硝态氮峰值出现在分蘖前期(6月12日); T_1 、 T_2 的淋失量高于CK($P>0.05$,下同);泡田至缓苗期(5月30日)CK的淋失量明显高于 T_1 、 T_2 ;分蘖初期、拔节、抽穗、灌浆期(6月12日至8月23日)硝态氮淋失量是 T_1 、 T_2 高于CK;从灌浆末期到收获期,3个处理间淋失量差异不明显。可以看出,前15d(5月30日之前)猪粪对减少硝态氮淋失发挥了作用,中间时期(6月12日至8月23日)却增加了流失量,后期(8月23日以后)失去作用,这种现象有待进一步研究。在60cm土层,硝态氮淋失高峰期出现在6月12日,与30cm土层表现一致;泡田至缓苗期,CK、 T_1 、 T_2 淋失量没有显著差异;分蘖期(6月12至26日),CK的淋失量高于 T_1 、 T_2 ; T_2 在6月26日淋失量高于 T_1 外,其它均低于 T_1 ,反映 T_2 对硝态氮的固持要好于 T_1 ;拔节孕穗至收获(7月25日至9月25日) T_1 、 T_2 与CK淋失量无差异。在

90cm土层,硝态氮淋失高峰期出现在6月12日,与30cm和60cm土层表现一致,CK的淋失量高于 T_1 、 T_2 ,但与 T_1 没有显著差异,仅与 T_2 达到显著差异;泡田期(5月16日) T_1 、 T_2 大于CK;缓苗期(5月30日)CK大于 T_1 、 T_2 ,但 T_1 与CK未达到显著差异;分蘖期(6月26日) T_1 、 T_2 与CK达到显著差异, T_1 、 T_2 无明显差异;拔节至抽穗期(7月25日) T_2 明显低于CK与 T_1 ,但CK与 T_1 没有显著差异;灌浆期(8月23日), T_1 、 T_2 明显高于CK,但 T_1 、 T_2 没有显著差异;烤田期(9月25日) T_1 、 T_2 与CK达到显著差异。可以看出,整个生长期 T_1 与 T_2 硝态氮淋失有显著差异出现在分蘖前期与拔节抽穗期, T_2 低于 T_1 ,其主要原因可能是中后期有机肥发挥了作用。上述分析表明,硝态氮淋失关键期是5月30日至6月26日,该阶段 T_1 、 T_2 与CK相比,30cm土层淋失量增大,60cm和90cm土层淋失量减小,表明猪粪能够储存硝态氮,减少流失。

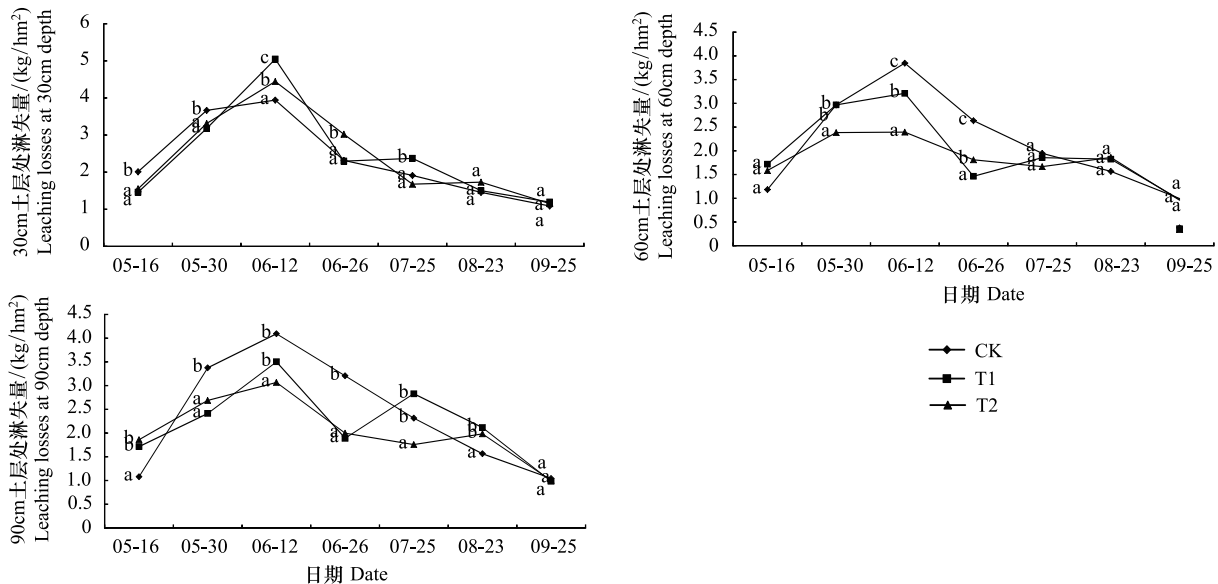


图3 不同土层中硝态氮淋失量的时间变化

Fig.3 The variation of the nitrate nitrogen leaching loss in the different soil layer

2.3 生育期内硝态氮日平均淋失量

稻田硝态氮日平均淋失量见图4。可以看出,3个土层的硝态氮日平均淋失量的变化情况相似,硝态氮日平均淋失量均是在5月30日至6月26日最大,进一步表明该阶段是淋失关键期;30cm土层的日平均淋失量变幅最大,90cm次之,60cm最小,最大值与最小值差距约10倍。30cm土层日平均淋失量是 T_1 、 T_2 大于CK,60cm与90cm均为CK大于 T_1 、

T_2 。处理不同时期的硝态氮日平均淋失量差异显著性($P>0.05$)证明了上述分析。淋失规律总体表现为前期多后期少,具体来说是:分蘖前期是淋失高峰期,泡田期、拔节、抽穗和灌浆是次要时期,收获期的淋失量最小。在不影响水稻对养分需求的前提下,建议采用减少前期施肥量、少量多次或施肥量适当后移等措施,能够控制和减少硝态氮淋失。

2.4 产量情况

从表 2 看,施用猪粪提高了水稻产量,与 CK 相比,增产效果明显 ($P>0.05$); T_1 、 T_2 的增产率分别是 15.86%、12.85%。 T_1 谷草比的降低, T_2 谷草比升高, 差异不显著 ($P>0.05$)。 T_1 、 T_2 千粒重降低, 与 CK 相

比达到了显著差异, 处理之间差异不明显。从产量构成因素分析, T_1 、 T_2 增产的原因主要是亩穗数增加, 后期的田间试验调查结果表明, 对照 28.6 万穗, T_1 达到 32.2 万穗, T_2 达到 31.5 万穗。可见有机肥对提高水稻有效分蘖有很大贡献。

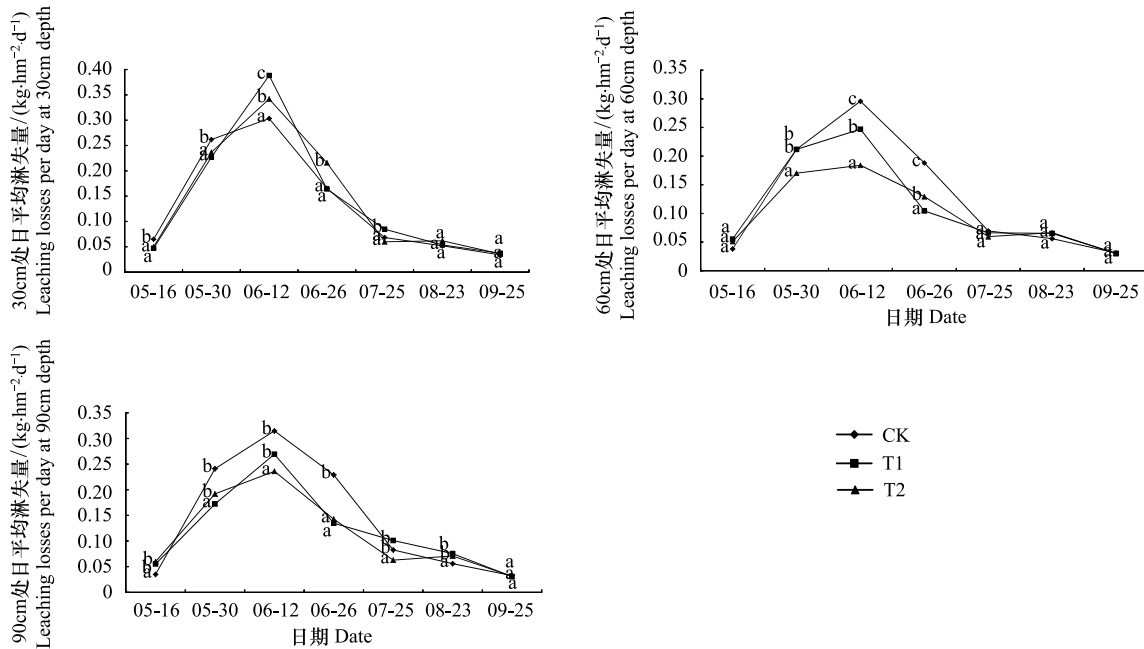


图 4 不同土层硝态氮淋失量日平均变化情况

Fig.4 The variation of the average daily nitrate nitrogen leaching losses in the different soil layer

表 2 水稻产量性状

Table 2 The characters of the rice yield

处理 Treatment	谷草比 Ratio of grain to straw	千粒重/g 1000-grain weight	产量/(kg/hm ²) Yield	增产率/% Yield increase
CK	1.58a	12.85b	7470a	
T_1	1.53a	11.24a	8655b	15.86
T_2	1.60a	10.85a	8430b	12.85

3 讨论

试验结果表明,在宁夏黄灌区增施猪粪能够减少稻田土壤硝态氮向深层淋失, T_1 、 T_2 在 60cm 土层淋失量减少了 4.93%、13.92%; 90cm 土层减少了 7.48%、13.77%; 而 30cm 土层增加了 4.22%、3.64%。土壤硝态氮淋失量减少的原因一般认为是施用猪粪后提升了土壤有机质,进而改善了土壤理化性状,提高粘粒及团聚体的含量,增强了对硝态氮束缚能力,从而减少了淋失量^[23-24]。本试验 T_1 、 T_2 在 60cm 和 90cm 土层内的储存了较多硝态氮,反映施用猪粪能够有效控制土壤硝态氮流失范围,或者降低淋失速

率;同时由于试验施用猪粪 C/N(50.3)较大,激发土壤微生物利用和固定无机态氮,减少硝态氮浓度,降低了淋失量。

有机肥(猪粪)能够提升土壤有机质水平,在一定程度上固持土壤中暂时盈余的氮素,相当于增大了土壤氮素的库容。在土壤有机质含量较低的情况下,对硝态氮的控制效果会更明显。许多研究表明,土壤氮素淋失的控制是一个碳氮平衡过程,合适的碳氮比例有利于减少氮素流失,提高无机氮的利用效率。有机农业也做不到完全避免硝态氮流失。尽管有机农业的土壤有机质含量明显较高,有较好的保肥性,可有效的减少氮素淋失,但仍存在淋失的可

能性^[25]。有机农业的硝态氮流失水平低,对地下水环境潜在的负面效应要远远低于集约农业。为了消除有机肥污染问题,美国科学家 Adams 指出畜禽粪便施用量应该小于 $11.2\text{t}/\text{hm}^2$ ^[26]。欧洲的一些报道也表明地下水中硝态氮并非仅来自化学氮肥,还有有机氮矿化和秋季施于农田的家禽粪尿。

施用猪粪小区试验始于 2008 年,2010 年测定土壤有机质(9 次取样的平均值)结果表明,30cm 土层的 CK、T₁ 和 T₂ 的有机质含量分别为 11.53、13.08 和 13.64g/kg,处理与对照相比增加了 13.4% 和 18.3%。依照传统认识,应该是 30cm 土层处理比对照的硝态氮流失量低,但结果却是差异不显著。由于土壤硝态氮流失是一个复杂过程,土壤性质、类型、水分状况等也是影响硝态氮流失的重要原因。宁夏银南灌区灌溉排水量控制不合理,在下渗水流驱动力作用下,易发生硝态氮淋失^[27]。T₁、T₂ 与 CK 相比,60cm 和 90cm 土层的有机质增幅更加明显,最低 17.4%,最高 75.0%。宁夏引黄灌区土壤有机质偏低,施用有机肥和提升土壤有机质的空间较大,但需要在施用量以及施用年限等方面进一步研究。

树脂芯法在观测稻田土壤硝态氮淋失的主要优点是提高了试验重复性,尽最大可能降低了土壤的扰动,试验结果的准确度与精确度有较大提高,直接得到土层硝态氮淋失量,省去了估算环节。试验不足之处一是树脂材料与土壤存在界面差异,扰动了土壤水分及其溶质的运动过程,这一点与真空抽取法和渗漏计法有共同之处,目前还没有更好的办法克服;二是由于管壁打孔数目有限,形成管内外水分运动环境差异,对试验观测结果有影响;三是管子直径小,没有考虑到作物根系吸收硝态氮这一重要因素。

References:

- [1] Liu G Q, Yang S Q. Analyzed on present situation of subsiding water from cropland in Ningxia irrigation area from the Huanghe River. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2010, 29 (1): 103-107.
- [2] Zhang A P, Yang S Q, Zhang Q Z, Yang S J, Yang Z L. Influencing factors and countermeasures of irrigation return flow pollution in Ningxia Yellow River water irrigation district. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(4): 1037-1042.
- [3] The Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *China Soil*. Beijing: Science Press, 1987: 382-383.
- [4] Kramer S B, Reganold J P, Glover J D, Bohannon B J M, Mooney H A. Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilized soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(12): 4522-4527.
- [5] Wei X Z, Wen W W. Does soil organic matter variation affect the retention of $^{15}\text{NH}_4^+$ and $^{15}\text{NO}_3^-$ in forest ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 2011, 261(3): 675-682.
- [6] Nyakatawa E Z, Reddy K C, Brown G F. Residual effect of poultry litter applied to cotton in conservation tillage systems on succeeding rye and corn. *Field Crops Research*, 2001, 71(3): 159-171.
- [7] Takahashi T, Inagake H, Fukushima T. Increasing nitrate removal at low temperatures by incorporating organic matter into paddy fields. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2010, 56(1): 163-167.
- [8] Nishio T, Oka N. Effect of Organic matter application on the fate of ^{15}N -labeled ammonium fertilizer in an upland soil. *Soil Science & Plant Nutrition*, 2003, 49(3): 397-403.
- [9] Shen L F, Bai L Y, Zeng X B, Wang Y Z. Effects of fertilization on NO_3^- -N accumulation in greenhouse soils. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(7): 1350-1356.
- [10] Yang Z, Yang Y H, Zhi G Q, Bi J. Effect of different carbon sources of organic matter on the soil nitrogen and phosphorus loss. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(S1): 51-54.
- [11] Konohira E, Yoshioka T. Dissolved organic carbon and nitrate concentrations in streams: a useful index indicating carbon and nitrogen availability in catchments // *Forest Ecosystems and Environments*. Tokyo: Springer, 2005, 4: 125-131.
- [12] Zhang D, Niu M F, Wang S J, Zhao M Q, Wang J, Shi Y. Effects of different organic manure fertilization on NO_3^- -N distribution in greenhouse soil. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(Supplement): 156-161.
- [13] Canter L W. *Nitrates in Groundwater*. New York: CRC Press Inc. Lewis Publishers, 1997: 204-204.
- [14] Zhang Q C, Wang G H. Research on effect of temperature on nutrient release of paddy soil by using ion-exchange resin capsules. *Chinese Journal of Rice Science*, 2003, 17(4): 365-368.
- [15] Li Q R, Wang Z Y, Li Z B, Wang H M. Assessment of changes of fertilizer nutrient in soil by ion exchange resin membrane method. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(2): 71-76.
- [16] Liu X R, Dong Y S, Qi Y C, Domroes M. Soil net nitrogen mineralization in the typical temperate grassland. *Environmental Science*, 2007, 28(3): 633-639.
- [17] Mo J M, Brown S, Peng S L, Kong G H. Nitrogen availability in disturbed, rehabilitated and mature forests of tropical China. *Forest Ecology and Management*, 2003, 175(1/3): 573-583.
- [18] Chen F S, Zeng D H, Fan Z P, Chen G S, Singh A N. Comparative nitrogen mineralization and its availability in certain

- woody plantations in Keerqin sand lands, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 341-348.
- [19] Hart S C, Firestone M K. Evaluation of three *in situ* soil nitrogen availability assays. *Canadian Journal of Forest Research*, 1989, 19(2): 185-191.
- [20] Yang X H, Dong Y S, Qi Y C, Geng Y B, Liu L X. Net nitrogen mineralization of different types of temperate grassland soils in the Xilin River Basin. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(12): 179-182.
- [21] Schoenau J J, Huang Z Z. Ion exchange resin strips as plant root simulators // *Proceedings of the 1993 Soil and Crop Workshop*. Saskatoon: University of Saskatchewan, 1999: 392-400.
- [22] Fang Y T, Mo J N, Zhou G Y, Gundersen P, Li D J, Jiang Y Q. The short-term responses of soil available nitrogen of Dinghushan forests to simulated N deposition in subtropical China. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2353-2359.
- [23] Fang Y T, Mo J M, Jiang Y Q, Li D J, Gundersen P. Acidity and inorganic nitrogen concentrations in soil solution in short-term response to N addition in subtropical forests. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2005, 13(2): 123-129.
- [24] Jensen E S. Nitrogen immobilization and mineralization during initial decomposition of ¹⁵N-labelled pea and barely residues. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 24(1): 39-44.
- [25] Li Z F. Nitrogen loss in soil of organic agriculture and its control procedure. *Agro-Environmental Protection*, 2002, 21(1): 90-92.
- [26] Adams P L. Poultry litter and manure contributions to nitrate leaching through the vadose zone. *Soil Society of American Journal*, 1994, 58(4): 1206-1211.
- [27] Yin J, Fei L J, Mian S P. Experiment on the nitrogen leaching in the drainage condition of rice field in Ningxia Yinnan irrigation region. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry; Natural Science Education*, 2006, 34(1): 108-112.
- 排水学报, 2010, 29(1): 103-107.
- [2] 张爱平, 杨世琦, 张庆忠, 杨淑静, 杨正礼. 宁夏灌区农田退水污染形成原因及防治对策. *中国生态农业学报*, 2008, 16(4): 1037-1042.
- [3] 中国科学院南京土壤研究所. *中国土壤*. 北京: 科学出版社, 1978: 382-383.
- [9] 沈灵凤, 白玲玉, 曾希柏, 王玉忠. 施肥对设施菜地土壤硝态氮累积及 pH 的影响. *农业环境科学学报*, 2012, 31(7): 1350-1356.
- [10] 杨赵, 杨育华, 支国强, 毕金. 不同碳形态有机质对土壤氮磷流失的影响. *环境科学与技术*, 2011, 34(S1): 51-54.
- [12] 张迪, 牛明芬, 王少军, 赵牧秋, 王俊, 史奕. 不同有机肥处理对设施菜地土壤硝态氮分布影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(增刊): 156-161.
- [14] 张奇春, 王光火. 应用离子交换树脂球研究温度对水稻土养分释放动态的影响. *中国水稻科学*, 2003, 17(4): 365-368.
- [15] 李清荣, 王正银, 李泽碧, 王慧敏. 离子交换树脂膜测定肥料养分在土壤中的变化. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 71-76.
- [16] 刘杏认, 董云社, 齐玉春, Domroes M. 温带典型草地土壤净氮矿化作用研究. *环境科学*, 2007, 28(3): 633-639.
- [18] 陈伏生, 曾德慧, 范志平, 陈广生, Singh A N. 沙地不同树种人工林土壤氮素矿化过程及其有效性. *生态学报*, 2006, 26(2): 341-348.
- [20] 杨小红, 董云社, 齐玉春, 耿元波, 刘立新. 锡林河流域温带草原土壤的净氮矿化研究. *农业工程学报*, 2005, 21(12): 179-182.
- [22] 方运霆, 莫江明, 周国逸, Gundersen P, 李德军, 江远清. 南亚热带森林土壤有效氮含量及其对模拟氮沉降增加的初期响应. *生态学报*, 2004, 24(11): 2353-2359.
- [25] 李志芳. 有机农业土壤氮素流失与防止措施. *农业环境保护*, 2002, 21(1): 90-92.
- [27] 尹娟, 费良军, 勉韶平. 宁夏银南灌区稻田控制排水条件下氮素淋失的研究. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2006, 34(1): 108-112.

参考文献:

- [1] 刘国强, 杨世琦. 宁夏引黄灌区农田退水污染现状分析. *灌溉*