

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2011.01.022

淹水条件下渗漏强度对稻田 NO_3^- -N 质量浓度的影响

孙雪梅^{1 2}, 俞双恩^{1 2}, 邵园园^{1 2}

(1. 河海大学南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098 ;
2. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘要 : 基于蒸渗仪淹水稻田不同渗漏强度控制试验结果, 研究了稻田施肥后和各生育阶段不同渗漏强度条件下地表水及地下水中 NO_3^- -N 质量浓度 ($\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$) 的变化特性. 结果表明 : 分蘖肥施用后, 地表水和地下水中 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 都有不同程度的升高, 地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 短暂升高后便回落, 地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 上升明显, 5 d 上升了 462.3% . 稻田补水会扰动土壤, 促进土壤表层吸附的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的硝化进程, 使地表水中 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高, 随着淹水时间的增加, $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 会随之降低. 水稻各生育期, 不同渗漏强度对地表水中 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 影响不显著, 对地下水中 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 的影响显著, 渗漏强度大的地下水中 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高明显.

关键词 : 水稻 ; 渗漏强度 ; NO_3^- -N 质量浓度

中图分类号 : S143.1 S274.3 **文献标志码 :** A **文章编号 :** 1000-1980(2011)01-0109-06

水稻是我国主要粮食作物之一, 也是消耗氮素较多的作物^[1], 氮肥的施用有利于水稻高产稳产, 同时氮肥也是造成农业面源污染的重要因素. 研究发现, 农田氮素淋失是农业面源污染的主要贡献者^[2-4], 也是地表水和地下水水质恶化的主要污染源^[5-7]. 为了给合理制订农田排水方案和控制面源污染提供科学依据, 笔者基于蒸渗仪淹水稻田不同渗漏强度控制试验结果, 研究了稻田施肥后和各生育阶段不同渗漏强度条件下地表水及地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 的变化特性.

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2008 年 5—10 月在河海大学节水园区的节水与农业生态试验场内进行. 河海大学节水园区位于北纬 31°86′, 东经 118°60′. 节水与农业生态试验场共有 32 个固定式蒸渗测坑, 其中有底 28 个, 无底 4 个. 每个蒸渗测坑的规格为 2.5 m × 2 m × 2 m (长 × 宽 × 高), 中间设地下廊道及地下设备间, 地面设移动式雨棚, 有底测坑可以实现水位自动控制. 蒸渗测坑内 0 ~ 30 cm, 土壤田间持水率(质量分数) 为 25.28% , 总孔隙度为 44.97% , pH 值为 7.78. 试验土壤质地为黏土, 土壤有机质质量分数为 2.40% , 全氮含量为 0.90 g/kg, 速效氮含量为 27.65 mg/kg, 全磷含量为 0.32 g/kg, 速效磷含量为 12.50 mg/kg.

1.2 试验设计及测试方法

1.2.1 试验设计

分别在水稻分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期 4 个生育阶段进行淹水条件下不同渗漏强度的控水试验, 控水前后及其他生育阶段按浅湿灌溉要求进行水位管理, 试验处理设计见表 1.

供试验的水稻品种为镇稻 99, 5 月 4 日泡种, 5 月 6 日育秧, 6 月 26 日移栽, 10 月 7 日收割. 水稻生长期共施肥 2 次, 基肥为复合肥, N、P 和 K 的质量分数均为 15% , 施肥时间为 6 月 25 日, 施肥量为 1200 kg/hm². 分蘖肥为尿素, 含氮质量分数为 46.4% , 施肥时间为 7 月 10 日, 施肥量为 130 kg/hm². 除灌水外, 各处理农技措施保持一致.

1.2.2 水样提取及分析

分蘖肥施肥前后及每次控水过程中,按照规定的时间间隔,分别采集蒸渗测坑地表水样和地下水样.地表水用 50 mL 医用注射器,不扰动土层,随机小心地抽取蒸渗仪内 6 处表层水样,注入塑料瓶,地下水取自地下廊道中测坑排水口的渗漏水,放入塑料瓶内.水样取后即在实验室进行水质分析. $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 采用麝香草酚分光光度法^[8]测定,测定仪器采用岛津紫外分光光度仪 UV2800.

2 结果与分析

2.1 分蘖肥施用后稻田 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化

7月10日施分蘖肥(尿素),施肥前后地表水及地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 见图1.从图1可以看出,施肥后2~3 d 地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 呈缓慢上升趋势,并在第3天达到峰值,之后开始下降.原因是尿素在水中首先转化成 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸附在稻田表层土壤上,在硝化细菌的作用下转化为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$.硝化细菌的活跃程度受温度影响,在分蘖期,水温不高,硝化作用较弱,水中较高的 $\rho(\text{NH}_4^+ - \text{N})$ 对硝化作用也具有一定的抑制作用,因此 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 没有在施肥后立刻达到峰值,而是缓慢上升^[9-13].因为 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 可以被植物直接吸收,又极易溶于水,几乎不被土壤吸附,此时测坑保持 2 mm/d 的渗漏强度,使 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随地表水淋失进入地下水,因此地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 经过 3 d 的短暂上升后,呈现逐渐下降的趋势.地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 始终呈上升趋势,5 d 上升了 462.3%.这是因为被田面吸附的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 硝化成 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 后,一部分溶于地表水使地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 升高,另一部分则随入渗水流淋溶到地下水, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的不断淋失使地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 不断上升.

2.2 水稻各生育期不同处理地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化

水稻各生育期不同处理地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化如图2所示.

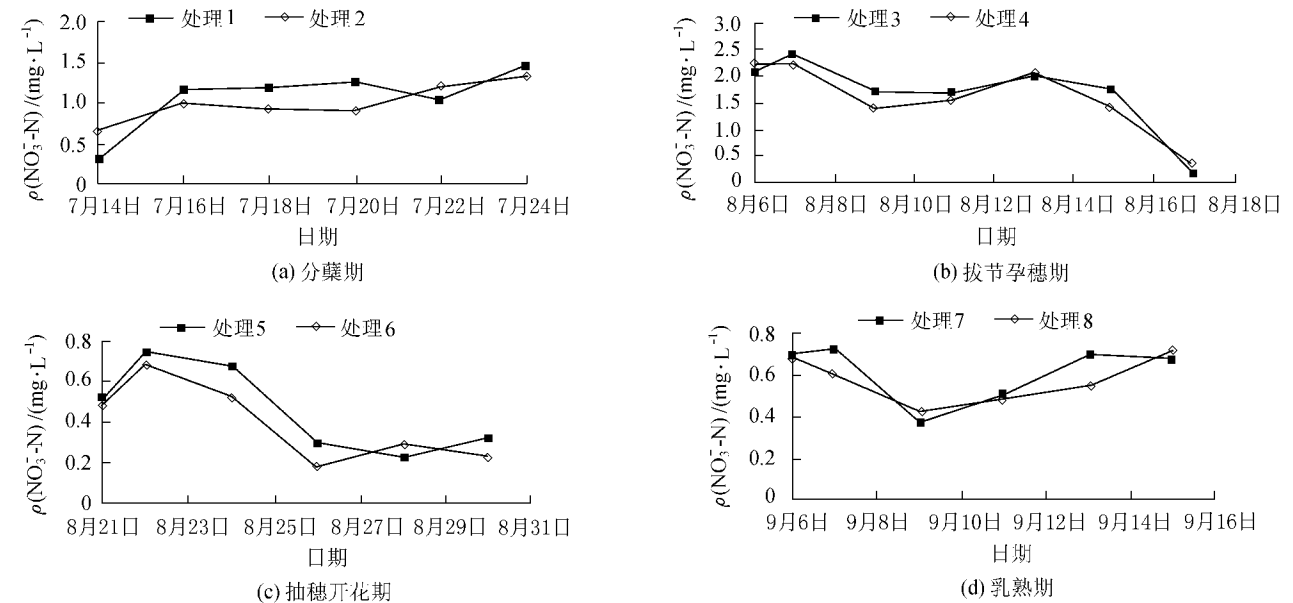


图2 各生育期地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化

Fig. 2 Variations of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration in surface water during various growth stages of paddy rice

表1 淹水条件下不同渗漏强度方案

Table 1 Different seepage rate schemes under flooding				
生育期	处理号	淹水深度/ mm	渗漏强度/ (mm·d ⁻¹)	控水日期
分蘖期 (7月7日—8月4日)	1	120	2	7月15—24日
	2	120	4	
拔节孕穗后期 (8月5日—8月18日)	3	250	2	8月6—15日
	4	250	4	
抽穗开花期 (8月19日—9月2日)	5	250	2	8月21—30日
	6	250	4	
乳熟期 (9月3日—9月21日)	7	250	2	9月6—15日
	8	250	4	

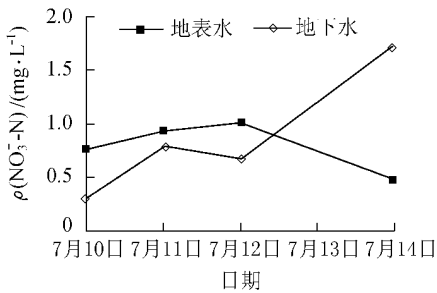


图1 施肥后 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化

Fig. 1 Variations of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration after fertilizer application

分析图 3a 可知:处理 1 和处理 2 在控水前地表水的 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 不同,这与控水前测坑水层深度不同有关。灌水到设计淹水深度后,地表水的 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 很快上升,在淹水的 5~7 d 内缓慢下降,形成这种现象的原因是灌水扰动了田面土层,使吸附于土壤表层的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 随着土壤颗粒溶于水中,在有氧的环境下, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 很快经硝化作用转化为 $\text{NO}_3^- \text{-N}$,因而 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 快速上升,随着时间的推移,地表水中的土壤颗粒逐渐沉淀,经硝化作用转化的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 少于作物吸收和反硝化损失掉的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$,因此地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 逐渐降低。处理 2 在 7 月 22 日、处理 1 在 7 月 24 日出现 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 上升的现象,是由于 2 个处理经过 5~7 d 的渗漏和水稻需水,田面水层深度低于设计的淹水深度而进行了补水,新一轮的补水又使田面土壤受到扰动,因而 2 个处理的地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 又有所上升。

分析图 3b 可知:在灌水到设计淹水深度后的第 2 天 2 个处理 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 达到最高,原因是灌水扰动了田面土壤,使得地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高。随着淹水历时的增加,悬浮的颗粒下沉到田表面,同时作物吸收和反硝化作用使得地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 迅速下降,到 1.6 mg/L 左右趋于稳定,在中途补水后,又出现短暂升高。到淹水后期,水稻生长已转向生殖生长,生长旺盛,对氮素的需求量增加,对土壤氮的吸收能力增强^[14],所以地表水的 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 快速下降。

分析图 3c 可知:8 月 21 日灌水至设计淹水深度,第 2 天地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 达到最大值,原因同样是灌水扰动了田面土壤,使地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高,但到此生育期,土壤表面由于经过前期的干干湿湿,已经形成了一个稳定保护层,灌水使得悬浮颗粒明显减少,因此 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 总体较低。之后随着淹水历时的增加,悬浮颗粒逐渐下沉,加上植物吸收及反硝化作用,地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 逐渐下降并趋于稳定。

分析图 3d 可知:控水前 2 个处理地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 相近,灌水到设计淹水深度后,地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 有减小趋势,原因是地表面已经形成比较稳定的保护层,灌水对田表土壤的扰动不足以使地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高,相反由于地表水量的增加,稀释了原有地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$,同时由于作物的吸收以及反硝化作用使得地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 降低。随着淹水历时的增加,淹没在水中的枯叶逐渐腐烂而会分解释放一部分氮素^[15],导致后期 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 有所增加。

从以上分析可以得出如下结论:灌水扰动了稻田表层土壤,吸附于土壤颗粒的 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 溶于水中,在硝化作用下使得地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高,随着淹水历时的增加,悬浮的颗粒逐渐下沉,加之作物的吸收和反硝化的损失,地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 逐渐下降;由于施肥集中在水稻生长的前期,所以地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 前期较高,后期较低;由于较大的渗漏强度会增加土壤中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的流失,所以渗漏强度 4 mm/d 的处理地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 均低于 2 mm/d 的处理。

2.3 水稻各生育期不同处理地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 变化

水稻各生育期不同处理地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 变化如图 3 所示。

分析图 3a 可知:2 个处理在控水前地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 接近,控水后随着历时的增加, $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高,到控水处理后期有下降趋势。在这一时期,地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 增加较为明显,在控水处理第 8 天(施肥后 13 d)处理 1 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 上升 108.4%,处理 2 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 上升 248.6%,这是由于灌水扰动了地表土壤,加速了土壤中 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的硝化,表层土壤中的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 随水不断向下淋失并不断积累所致,渗漏强度越大, $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 越高;到控水后期,由于长时间淹水使土壤缺氧,抑制了硝化作用,一部分 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 经反硝化作用分解,因此 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 有所下降。

分析图 3b 可知:控水前期 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 变化比较平稳,中期略有升高,后期快速下降到较低水平,这与地表水变化趋势基本一致。处理开始由于地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 较高,因此通过渗漏淋失到地下的 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 一直保持较高水平。随着淹水时间的增加,土壤的还原作用增强,一部分 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 经反硝化作用损失,加之作物的吸收和地表水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 下降,因而地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 迅速下降。整个控水过程处理 3 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 下降了 73.9%,处理 4 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 下降了 77.9%。

分析图 3c 可知:2 个处理在增加渗漏强度后的第 2 天地下水 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 升高,之后随着控水历时的增加而下降,变化趋势和地表水基本一致。整个控水过程 $\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$ 变化幅度都很小,这是由于该生育阶段水

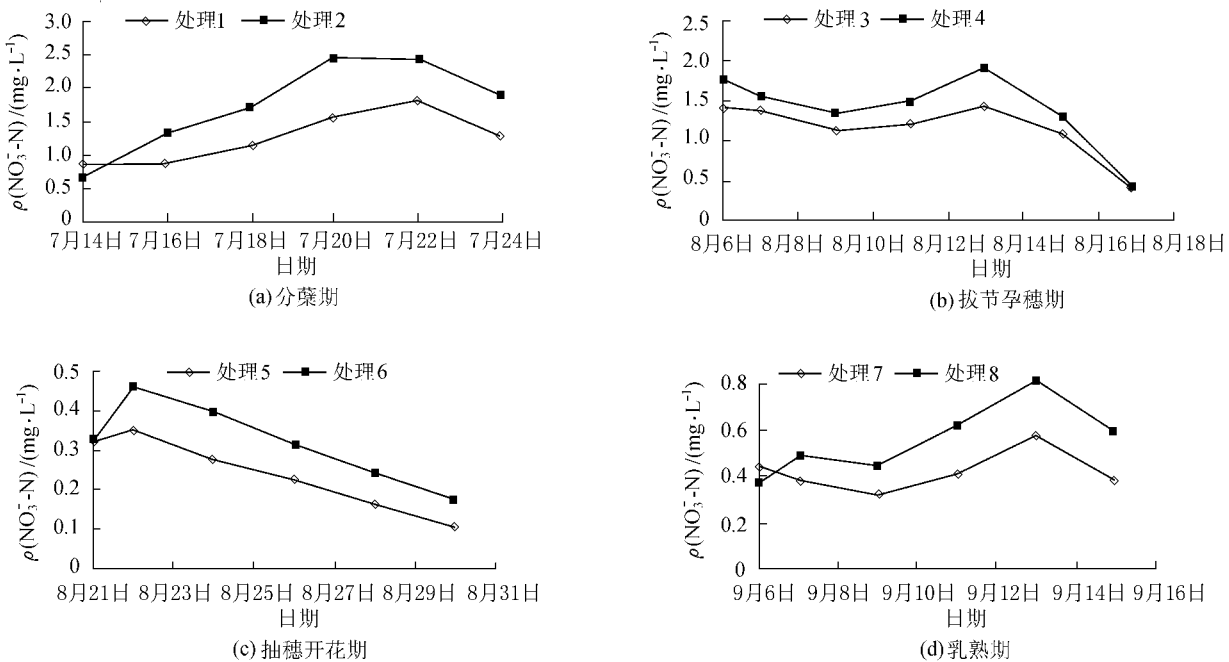


图3 各生育期地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化

Fig. 3 Variations of $\text{NO}_3^- - \text{N}$ concentration in ground water during various growth stages of paddy rice

稻生长旺盛,根系吸氮能力强,同时土壤水及地表水中的 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 均较低,淋失到地下的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 较少.整个控水过程处理 5 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 下降了 30.9%,处理 6 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 下降了 33.5%.

分析图 3(d) 可知,控水前期 2 个处理地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 保持平稳,中后期略有上升,然后下降.原因是水稻乳熟初期,其根系吸水吸肥能力较强,此时水稻吸收的氮素主要来源于土壤,尽管有一定的渗漏强度,但 2 个处理的地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 变化不大.到后期水稻对氮素的吸收减少,同时地表水中 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 由于枯叶腐烂而升高,因此淋失到地下水中的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 也有所增加,但长期淹水使土壤处于还原状态,促进了反硝化作用,因此 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 不会一直增加,到后期有下降趋势.

上述现象说明,渗漏强度对排出的地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 有影响,并且渗漏强度越大,地下水的 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 越高.也就是说,较大的渗漏强度会加速土壤中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的流失.

2.4 不同渗漏强度对 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 的影响

表 2 列出了水稻各生育期各处理地表水、地下水的起止含量、平均含量以及不同渗漏强度对 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 的影响分析结果.从表 2 可以看出,在灌水到设计淹水深度的 10 d 内,各生育期地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 是拔节孕穗期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 分蘖期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 乳熟期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 抽穗开花期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$,地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 是分蘖期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 拔节孕穗期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 乳熟期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N}) >$ 抽穗开花期 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$.用 SPSS 软件进行不同渗漏强度对 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 影响的单因素方差分析得出,水稻各生育期不同渗漏强度对地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 影响的显著性水平均大于 0.05,表明不同渗漏强度对地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 的影响没有显著差异.地下水除抽穗开花期外,不同渗漏强度对 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 影响的显著性水平均小于 0.05,表明不同渗漏强度对地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 的影响显著.抽穗开花期末达显著水平可能与作物生长旺盛,即吸氮能力强有关.

3 结 论

a. 分蘖肥(尿素)施用后,地表水和地下水的 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 都有不同程度的升高,由于尿素溶于水后先转换成 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 易被土壤吸附,因此地表水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 短暂升高后便回落,但地下水 $\rho(\text{NO}_3^- - \text{N})$ 上升明显,5 d 上升了 462.3%.因此,施肥后要尽量控制田间渗漏,减少氮素流失对地下水的污染.

表 2 不同生育期 ρ(NO₃⁻-N)变化及不同渗漏强度对 ρ(NO₃⁻-N)影响分析结果

Table 2 Variations of NO₃⁻-N concentration during various growth stages of paddy rice and analytic results of influence of different seepage rates on NO₃⁻-N concentration

水稻 生育期	处理号	地表水				地下水			
		控水开始 ρ(NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	控水结束 ρ(NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	$\bar{\rho}$ (NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	显著性	控水开始 ρ(NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	控水结束 ρ(NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	$\bar{\rho}$ (NO ₃ ⁻ -N)/ (mg·L ⁻¹)	显著性
分蘖期	1	1.15	1.72	1.16	0.734	0.95	2.50	1.67	0.047
	2	1.00	2.03	1.15		1.33	2.03	1.75	
拔节孕 穗期	3	2.42	0.20	1.70	0.754	1.39	0.44	1.24	0.038
	4	2.24	0.34	1.61		1.55	0.29	1.36	
抽穗开 花期	5	0.74	0.33	0.47	0.624	0.37	0.23	0.28	0.565
	6	0.69	0.23	0.40		0.41	0.17	0.30	
乳熟期	7	0.73	0.68	0.62	0.630	0.42	0.44	0.46	0.050
	8	0.61	0.72	0.58		0.49	0.60	0.52	

 b. 稻田补水都会扰动土壤 ,促进土壤表层吸附的 NH₄⁺-N 的硝化进程 ,使地表水中 ρ(NO₃⁻-N)升高 ,随着淹水时间的增加 ,硝化作用受到抑制 ,ρ(NO₃⁻-N)也随之降低 .因此 ,稻田在降雨或外来水引起积水时 ,应即时进行地表排水 .

 c. 不同生育期 ,稻田地表水 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)是拔节孕穗期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 分蘖期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 乳熟期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 抽穗开花期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N) ,地下水 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)是分蘖期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 拔节孕穗期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 乳熟期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)> 抽穗开花期 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N) .分蘖期和拔节孕穗期的地表水和地下水的 ρ(NO₃⁻-N)显著高于抽穗开花期和乳熟期 ,因此 ,从减少面源污染的角度来看 ,水稻营养生长期尽量减少排水 ,生殖生长期可以适当排水 .

 d. 水稻各生育期 ,渗漏强度小的地表水 ρ(NO₃⁻-N)略高 ,但不同渗漏强度对地表水 ρ(NO₃⁻-N)影响不显著 ,渗漏强度大的地下水 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)升高明显 ,除抽穗开花期外 ,不同渗漏强度对地下水 $\bar{\rho}$ (NO₃⁻-N)的影响显著 .

参考文献 :

[1] 张士贤 . 中国土地资源保护与平衡施肥技术对策 [C] / / 施肥与环境学术讨论会论文集 . 北京 : 中国农业科技出版社 , 1994 : 1-10 .

[2] 朱兆良 . 农田中氮素的损失与对策 [J] . 土壤与环境 2000 9 (1) : 1-6 . (ZHU Zhao-liang . Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction [J] . Soil and Enviromental Sciences , 2000 9 (1) : 1-6 . (in Chinese))

[3] 王少丽 , PRASHER S O , YANG C C , 等 . 排水氮运移模型对地表和地下排水量和硝态氮损失的模拟评价 [J] . 水利学报 2004 (9) : 111-117 . (WANG Shao-li , PRASHER S O , YANG C C , et al . Field evaluation of DRAINMOD-N model for surface runoff subsurface drainage and nitrogen los [J] . Journal of Hydraulic Engineering 2004 (9) : 111-117 . (in Chinese))

[4] 高效江 , 胡雪峰 , 王少平 , 等 . 淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究 [J] . 农业环境保护 2001 20 (4) : 196-198 . (GAO Xiao-jiang , HU Xue-feng , WANG Shao-ping , et al . Loss of nitrogen in rice field and its influence on water environmen [J] . Agro-environmental Protection , 2001 20 (4) : 196-198 . (in Chinese))

[5] LOGAN T J , ECKERT D J , BEAK D G . Tillage , crop and climate effects on runoff and tile drainage losses of nitrate and four herbicides [J] . Soil and Tillage Reacher , 1993 30 (1) : 75-103 .

[6] RANDALL G W , IRAGAVARAPU T K . Impact of long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainag [J] . Journal of Environmental Quality , 1995 24 (2) : 360-366 .

[7] RADALL G W , HUGGINS D R , RUSSELL M P , et al . Nitrate losses through subsurface tile drainage in conservation reserve program , alfalfa , and row crop systems [J] . Journal of Environmental Quality , 1997 26 (5) : 1240-1247 .

[8] 刘圣昔 , 李斌 . 麝香草酚分光光度法的应用 [J] . 中国现代医药杂志 2006 8 (4) : 57-59 . (LIU Sheng-xi , LI Bing . The application of thymol spectrophotometry method [J] . Modern Medicine Journal of China 2006 8 (4) : 57-59 . (in Chinese))

[9] 朱兆良 , 文启孝 . 中国土壤氮素 [M] . 南京 : 江苏科技出版社 , 1992 : 94-185 .

[10] BERNARD T N . Nitrate behavior in ground waters of the southeastern USA [J] . Journal of Environmental Quality , 1999 28 (5) : 1518-1527 .

[11] 冯绍元 , 郑耀泉 . 农田氮素的转化与损失及其对水环境的影响 [J] . 农业环境保护 , 1996 , 15 (6) : 277-280 . (FENG Shao-yuan ,

- ZHENG Yao-quan. Transformations and losses of the agricultural nitrogen and its effects on water quality[J]. Agro-environmental Protection, 1996, 15(6): 277-280. (in Chinese))
- [12] MAHENDRA S. Transformation of urea and $(\text{NH}_2)_2\text{SO}_4$ in different soil[J]. Plant and Soil, 1981, 63: 511-515.
- [13] 司友斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮、磷的流失与水体富营养化[J]. 土壤, 2000, 32(4): 188-193. (SI You-bing, WANG Shen-qiang, CHEN Huai-man. Loss of nitrogen and phosphorus in field and water eutrophication[J]. Soil, 2000, 32(4): 188-193. (in Chinese))
- [14] 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[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 108-112. (YIN Juan, FEI Liang-jun, MIAN Shao-ping. Experiment on the nitrogen leaching in the drainage condition of rice field in Ningxia Yinnan irrigation region[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest: Natural Science Edition, 2006, 34(1): 108-112. (in Chinese))
- [15] 顾久君, 金朝晖, 刘振英. 乌梁素海沉水植物腐烂分解试验研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(4): 181-184. (GU Jiu-jun, JIN Zhao-hui, LIU Zhen-ying. Experimental studies on decomposition process of submerged macrophytes from Wuliangsuhai Lake[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(4): 181-184. (in Chinese))

Influence of seepage rate on NO_3^- -N concentration in flooding paddy field

SUN Xue-mei^{1,2}, YU Shuang-en^{1,2}, SHAO Yuan-yuan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agriculture Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Through the experimental tests on flooding paddy field under different seepage rates by use of lysimeter, the variation characteristics of NO_3^- -N concentration ($\rho(\text{NO}_3^- \text{-N})$) in surface and ground water of the paddy field were studied after fertilizer application and during various growth stages of the paddy rice. The results show that, NO_3^- -N concentration in surface and ground water both increase to some extent after tiller and fertilizer application, that in surface water quickly falls after a short increase, but that in ground water obviously increases, with an increase of 462.3% in 5 days. The water compensation will disturb the soil and accelerate the variation of NH_4^+ -N to NO_3^- -N in the soil surface and result in the increase of NO_3^- -N concentration in the surface water. With the increase of flooding time, the NO_3^- -N concentration will decrease. During various growth stages of the paddy rice, the influence of different seepage rates on the NO_3^- -N concentration in the surface water is not obvious, but that in the ground water is obvious. The NO_3^- -N concentration in the ground water with high seepage rate has obvious increase.

Key words: paddy rice; seepage rate; NO_3^- -N concentration