

灌溉施肥对壤质潮土硝态氮淋溶的影响

范丙全 胡春芳 平建立

(河北省农林科学院, 石家庄 050051)

摘要 在衡水市邓庄乡壤质潮土上进行了以灌水为主处理、氮用量为副处理,各五水平的定位试验。结果表明,氮肥用量是硝态氮淋溶损失的决定因素,冬小麦施氮 $150\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 不发生淋溶,施氮 $225 \sim 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 则硝态氮的淋溶增强。小麦播前基施氮肥量过高会使冬季发生硝态氮的淋溶。小麦拔节期和灌浆期灌溉一般不会引起硝态氮的淋溶损失;尽管一次灌水 $1350\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 硝态氮的淋失量不高,但土壤剖面中的硝态氮含量显著比低灌水量的低。为降低硝态氮的损失,应控制一次灌水量不超过 $1050\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。雨季降水导致大量硝态氮淋溶损失,防治雨季土壤硝态氮的淋溶损失至关重要。

关键词 灌溉施肥 硝态氮淋溶 地下水污染

硝态氮的淋溶是氮素损失的重要途径之一,又是引起地下水污染的主要原因。为减少硝态氮的淋溶损失和对地下水的污染,80年代以来国内外科学家就硝态氮的淋溶规律、影响因素及防治措施等方面进行了大量研究。一些研究指出,长期施用氮肥容易引起地下水污染,硝态氮淋失量与施氮量多少和氮素在土壤中存在时间成正相关^[1~3]。高灌溉量和过量施氮肥导致硝态氮淋溶和减产^[4~8];灌溉与施用氮肥的时间也是诱发硝态氮淋溶损失的重要因素^[9,10]。应用示踪元素Br研究硝态氮淋溶规律发现,土壤溶液中的硝态氮最先淋溶到深层土壤,这意味着灌溉前土壤水分高低决定硝态氮淋溶的数量^[11]。集中降水和春天灌溉使深层土壤硝态氮增加,而硝态氮的淋溶深度取决于土壤物理性质^[6,9,10,12,13]。一些试验表明,施氮 $400\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 可使黄土20米深的地下水硝态氮浓度提高到 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[13]。北京地区由降水引起的氮素损失占施氮量的24.5%~27.9%^[16]。值得注意的是,土壤硝态氮淋溶的同时,也会诱发碱金属离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的大量淋失^[16]。

防止硝态氮淋溶方面研究显示,氮肥用量刚刚满足作物需要时淋溶最少,超过作物需要量则增加^[4,7]。减少肥水投入和采用最好的灌溉施肥技术是减少硝态氮淋溶的有效方法^[17,18]。不同耕作方式对硝态氮淋溶没有显著差异,但低投入的作物轮作系统可减少硝态氮淋溶量^[19,20]。抑制硝化可延缓硝态氮的形成时间,但不影响其淋溶总量^[21];氮磷钾配施有机肥能降低土壤中硝态氮积累^[22];不同氮肥品种对硝态氮淋溶影响差异不大,但冬季填闲作物覆盖能显著降低硝态氮淋溶^[23]。亚表土灌溉法不发生硝态氮淋溶^[24],施用NPK缓效肥料可降低硝态氮的淋溶^[17]。

目前化肥用量历年增加,氮肥的大量或过量施用不仅造成肥料浪费,而且对地下水污染构成威胁。防止硝态氮淋溶和地下水污染,是肥料施用上应着重解决的问题。本研究的目的在于探明河北省低平原水肥运动规律和影响硝态氮淋溶的因素,为选择适宜灌溉与氮肥用量及时间,减少氮素损失,提高氮肥利用率和控制硝态氮污染提供依据。

① 中国—加拿大合作研究项目“河北旱地农业”的部分内容。

1 试验材料与方法

1.1 试验条件

定位试验在1992~1995年于河北省衡水市邓庄乡旱农试验站进行。土壤为轻壤质潮土,地下水位4m,雨季略有升高。土壤理化性状和历年降水量见表1、2。

表 1 基础土壤理化性状
Table 1 Soil physical and chemical properties

土层 Layer	质地 Texture	容重 BD(g·cm ⁻³)	吸湿水 Absorbed moist. (%)	田间持水量 Field capacity (%)	饱和持水量 Saturated moist. (%)	土层 Layer (cm)	有机质 OM (%)	硝态氮 NO ₃ -N (mg·kg ⁻¹)
0~20	轻壤	1.37	4.29	19.80	26.70	0~20	11.86	9.1
20~29	中壤	1.53	4.65	20.81	30.41	20~40	6.50	4.8
29~91	重壤	1.41	6.73	27.07	40.27	40~60	7.19	4.9
91~130	中壤	1.44	4.85	21.55	33.24	60~80	5.98	6.8
130~196	粘土	1.39	15.32	33.88	36.69	80~100	4.92	8.8
						100~120	-	6.5
						120~150	-	6.8

表 2 1991~1995年降水量(mm)

Table 2 Precipitation in 1991~1995

年度 Year	月份 Months								合计 Total
	1~3	4	5	6	7	8	9	10	
1991	36.5	44.4	33.9	105.2	316.6	70.8	14.9	56.5	678.8
1992	4.4	4.0	23.2	30.1	86.9	150.5	7.5	22.8	329.4
1993	8.7	6.9	8.4	104.9	185.1	36.3	37.7	72.6	460.6
1994	2.4	21.4	32.7	44.8	210.5	73.1	22.4	60.7	468.0
1995	20.6	19.4	21.9	65.5	310.2	173.1	78.8	44.7	734.2

注:历年降水量来自设在试验站的气象观测站,离试验地100m左右的数据

1.2 试验设计

试验采用裂区设计,以灌水量为主处理,施氮量为副处理,各五水平(表3)。冬小麦—夏玉米一年两作。小麦品种为5144,夏玉米1993~1995年分别是衡单8号,掖单12号和掖单52号。小麦播前灌底墒水750m³·hm⁻²,春天至麦收期间共灌溉二次,第一次在拔节期(3月底~4月初),第二次在灌浆期(5月10日左右)。小麦播前一次底施磷肥(P₂O₅)150kg·hm⁻²,小麦氮肥用量的50%作底肥,50%追施。夏玉米不灌水,1994年播前灌造墒水750m³·hm⁻²,施氮量为小麦相应处理的二分之一,于大喇叭口期追施并覆土,不施磷肥。每处理3次重复,小区面积32m²。

1.3 样品采集与测定

1993年8月20日至1994年11月29日用中子仪测定土壤水分含量,每2周1次;其他时间用烘干法测定。NO₃-N分别于小麦拔节水后,小麦收获后和集中降雨过后3个时期测定;土样采集深度为150cm,分7层,前6层每20cm取一样品,第7层为30cm。1993年共测4次,1994年共测3次。土样采集后风干,粉碎过2mm筛,用1mol/L的K₂SO₄浸提,自动分析仪测定^[25]。

田间试验在选定的处理上,安装8米深塑料管(直径10cm)地下水观测井。春夏秋三季不定期取地水,自动分析仪测硝态氮。

表 3 试验设计
Table 3 Experiment design

处理 Treat.	作物 Crops	水平 Levels				
		1	2	3	4	5
	小麦	0	450	750	1050	1350
灌溉量($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$) ¹⁾	玉米 ²⁾	0	0	0	0	0
氮用量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	小麦	0	75	150	225	300
	玉米	0	37.5	75	112.5	150

1) 为每次灌溉量。Irrigation rates of each time.

2) 1994年玉米播前浇造墒水 $750\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。Watered $750\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ before planting corn in 1994.

2 结果与讨论

2.1 灌溉与降水对硝态氮淋溶的影响

2.1.1 0~180cm土壤水分动态变化 土壤含水量明显受灌溉和降水的影响,以0~60cm土壤的含水量变化最大;0~120cm是土壤水分的变动层,120~180cm土壤水分含量高且变化比较小(表4)。

降水显著增加0~180cm土壤含水量,特别是120~180cm土层含水量高达35%左右,接近该土层的饱和持水量。而且秋季降水对土壤水分影响的时间比较长。

灌溉对土壤水分的补充作用小于降水,主要影响0~60cm土层。但小麦拔节期灌溉时间的早晚和土壤含水量的高低,其影响的深度有所不同。小麦拔节期灌水晚(1993年4月2日),灌溉水仅入渗到60cm深度;而灌水早(1994年3月25日),灌溉水则入渗到120cm土层。灌溉早可能有较多的硝态氮随水下渗而淋溶到深层土壤。冬小麦灌浆期土壤比较干旱,灌溉水主要影响0~60cm土层,此期灌溉水向深层土壤移动较少。

2.1.2 灌溉对硝态氮淋溶的影响 表5看出,灌溉对冬小麦生育期间土壤硝态氮淋溶作用比较小。冬小麦拔节期追施氮肥,灌溉后硝态氮主要在0~60cm土层积累,60~100cm,100~150cm土层硝态氮含量无明显变化(除1994年处理3,4外)。不灌水处理在拔节期却表现出氮素向下淋溶,1993、1994二年100~150cm土层硝态氮分别达到8.7和8.4 mgkg^{-1} ,这可能是由于不灌溉的处理全部氮肥一次性集中底施,使其在冬春季节降水作用下发生淋溶。冬小麦收获后的土壤分析结果显示,0~60cm土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量随灌水量的增加而降低,这可能灌水量高,小麦生长量大,吸收氮素多的缘故。值得注意的是,最高灌水量(处理5)0~150cm土壤剖面的硝态氮含量都较低,这一方面可能是小麦生长量大吸收氮素多而使土壤硝态氮降低,另一方面由于灌水量大,使土壤有一段时间的土壤通气不良而引起氮的反硝化损失。

以上结果说明,本试验条件下冬小麦生育期间灌2次水一般不会引起硝态氮的淋溶。

表 4 灌溉和降水对土壤水分的影响
Table 4 Effect of irrigation and rainfall on soil moisture(%)

灌水量 Irrigation rate (kg·hm ⁻²)	土层 Layers (cm)	测定日期(月/日)			Determination date(month/day)			
		1993	1994		1993			1994
		4/12	3/30	5/20	8/2	10/12	12/20	2/12
0	0~60	11.1	14.2	6.1	14.5	20.0	18.2	16.0
	60~120	21.0	23.8	16.4	25.9	21.8	24.8	23.6
	120~180	29.6	34.4	33.3	35.1	33.8	34.8	34.5
450	0~60	14.1	21.9	13.5	18.4	20.1	20.2	18.2
	60~120	22.4	28.5	19.6	29.2	25.4	27.2	26.0
	120~180	31.0	35.5	34.4	36.2	35.1	35.6	35.4
750	0~60	14.5	20.6	12.8	17.0	21.6	18.6	17.4
	60~120	19.7	24.7	18.7	27.1	22.5	23.8	23.2
	120~180	31.8	33.9	32.6	35.0	33.6	34.0	33.9
1050	0~60	15.4	22.8	14.7	18.4	21.3	20.9	16.8
	60~120	19.9	28.7	19.6	29.0	21.7	26.3	22.3
	120~180	31.5	34.9	33.7	35.2	34.4	34.8	31.0
1350	0~60	17.1	22.5	13.0	17.3	19.7	21.4	17.1
	60~120	21.1	27.4	20.8	27.7	23.0	24.6	23.8
	120~180	32.9	34.4	32.8	35.0	34.1	34.2	34.0
灌溉时间 Irrigation time		4/2, 1993	3/25, 1994	5/9, 1995				

表 5 灌溉对土壤硝态氮淋溶的影响
Table 5 Effect of irrigation on nitrate leaching (mg·kg⁻¹)

处理号 Code	第一水 First irrigation						第二水 Second irrigation					
	0~60		60~100		100~150		0~60		60~100		100~150	
	93-4	94-4	93-4	94-4	93-4	94-4	93-6	94-7	93-6	94-7	93-6	94-7
1	19.2	17.0	8.8	8.1	8.7	8.4	19.1	25.0	9.5	6.7	7.8	5.8
2	24.2	15.4	7.3	8.7	6.9	6.6	18.4	27.6	7.5	8.4	6.4	7.2
3	16.1	21.6	4.8	12.1	7.7	8.0	18.7	22.8	10.8	12.0	7.7	9.2
4	16.5	22.7	6.3	12.2	8.3	7.3	15.5	22.0	6.3	8.7	7.8	6.1
5	13.3	14.8	5.3	6.2	8.1	7.4	14.0	15.5	7.6	9.7	8.0	5.8

2.1.3 降水对硝态氮淋溶的影响 雨季是硝态氮淋溶发生的重要时期,集中降雨会引起硝态氮的强烈淋溶,而且施氮量越高淋溶到100~150cm土壤中的硝态氮越多。1993年7月30日测定结果表明,0~60cm土壤硝态氮含量显著下降,而100~150cm土层的硝态氮急剧增加。夏玉米施氮量在75kg·hm²以下时,100~150cm土壤的含量受降水影响不大,但当施氮量达到112.5~150kg·hm²时,硝态氮含量为14.5~21.4mgkg⁻¹,是麦收时的2~3倍。其他各期测定结果同样是0~60cm土层低于60~100cm土层。表明土壤硝态氮在雨季淋溶强烈,所以是防止雨季硝态氮大量淋失是减少氮素损失的关键时期。

2.2 施氮量对土壤硝态氮淋溶的影响

氮肥用量显著影响硝态氮向下淋溶的数量,小麦拔节期灌水后,0~60cm、60~100cm和100

~150cm土层硝态氮含量随施氮量增加而提高。施氮 $150\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以下时,100~150cm土壤中未发生硝态氮淋溶;而施氮 $225 \sim 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理100~150cm土层硝态氮含量明显提高,施氮 $300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的100~150cm土壤硝态氮含量达到最高(表6),表明高氮量易引起硝态氮的淋溶。

表 6 不同施氮处理的土壤硝态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 6 $\text{NO}_3\text{-N}$ content of soil in different N levels

处理号 Code	0~60		60~100		100~150		0~60		60~100		100~150	
	93-4	94-4	93-4	94-4	93-4	94-4	93-6	94-7	93-6	94-7	93-6	94-7
1	5.0	3.5	5.3	2.8	5.4	3.2	4.8	9.1	4.3	4.5	5.8	5.8
2	8.9	6.4	4.1	4.2	6.2	4.5	6.4	11.3	3.6	5.3	6.2	5.3
3	17.2	18.4	5.7	9.8	6.0	6.8	18.4	17.2	3.7	7.5	6.0	4.8
4	25.9	28.3	6.5	11.8	9.8	8.8	26.1	26.7	8.4	12.4	9.8	9.9
5	28.2	34.9	11.2	17.5	10.3	10.7	28.2	33.9	19.8	17.0	10.1	11.7

参 考 文 献

- 宝德俊 张鸿程等. 潮土硝态氮层分布对夏玉米利用氮素的影响. 现代农业中的植物营养与施肥, 中国农业科技出版社, 1995, 141~143.
- Hubburt RK et al. Nitrate leaching into shallow groundwater in Georgia Coastal Plain as affected by N management. Presented at 192nd Am. Chemical Soc. National Meeting, Anaheim, CA, USA, 1986, 10.
- Richards JE et al. Intensive potato production effects on nitrate-N concentrations of rural New Brunswick well water. Can. Agri. Engineering, 1990, 32(2):189~196.
- 易秀 薛澄泽. 氮肥在壤土中渗漏污染研究. 农业环境保护, 1993, 12(6):250~253.
- Cadahia C et al. Pre-plant slow release fertilization of strawberry plants before fertilization. Fertilizer Research, 1993, 34(3): 191~195.
- Schepers JS et al. Effect of yield goal and residual soil nitrogen consideration on nitrogen-fertilizer recommendation for irrigated maize in Nebraska. J. Fert. Issues, 1986, 3(4):133~139.
- Simon JC et al. Effect of pastures on the drainage of nitrate to groundwater. Forages, 1989, 119:227~241.
- Theocheropoulos SP et al. Nitrogen leaching from soil in the Kopains area of Greece. Soil Use and Management, 1993, 9 (2):76~84.
- 黄元仿 李韵珠. 不同灌水条件下土壤氮素淋洗渗漏的研究. 现代土壤科学研究, 中国农业科技出版社, 1994, 243~247.
- Narang RS and Singh S. $\text{NO}_3\text{-N}$ profile in relation to irrigation and nitrogen levels in India. India J. Agri. Res., 1989, 23 (2):101~108.
- Jabro JD et al. A field study of macropore flow under saturated condition using a bromide tracer. J. Soil Water Conservation, 1991, 46(5):376~380.
- Li YC et al. Adsorption and transport of nitrate and bromide in a spodosol. Soil Sci., 1995, 160(6):400~404.
- Skokart P, Guns M and Meeus-Verdinne K. Lysimeter study of nitrate leaching in a three years rotation: wheat/barley/maize. Revue de L' Agriculture, 1992, 45(2):427~433.
- Heyder D. Nitrate translocation and soil water in a 12m loess profile. Mitteilungen der Deutschen Boden Kundlichen Gesellschaft, 1989, 51(1):379~382.
- 孙昭荣 刘秀奇等. 北京降雨和土壤下渗水中的氮素研究. 土壤肥料, 1993, 2, 8~11.
- Cahn MD et al. Cation and nitrate leaching in an oxisol of Brazilian Amazon. Agron. J. 1993, 85:334~340.
- Bonwer H. Linkages with groundwater. Nitrogen management and ground water protection (Edited by Follett RF), Amsterdam

- Netherlands, 1989, 362~372.
- 18 Ferguson RB et al. Water and nitrogen management in central Platte Valley of Nebraska. *J. Irrigation and Drainage Engineer*, 1990, 16(4):557~565.
 - 19 Angel JS et al. Nitrate concentration in percolate and groundwater conventional and no-till *Zea Mays* watersheds. *Agriculture, Ecosystem Environment*, 1989, 25(4):279~286
 - 20 Craig JP and Weil RR. Nitrate leaching to a shallow mid-Atlantic coastal Plain aquifer as influenced by conventional no-till and low input sustainable grain production system, *Water Sci. and Tech.*, 1993, 28(3~5):691~700.
 - 21 Walters DT and Malzer GL. Nitrogen management nitrification inhibitor effects on nitrogen-15 urea: II. Nitrogen leaching and balance. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1990, 54:122~130.
 - 22 Stevens PA et al. Nitrate leaching from a Sitka spruce plantation and the effect of fertilization with phosphorus and potassium. *Forest Ecology and Management*, 1993, 58:(3~4):233~247.
 - 23 Daniel V MaCrachen et al. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1994, 58:1476~1484.
 - 24 Chieng ST. Nitrate leaching in agricultural lands with subsurface drainage and subirrigation. *Am. Soc. Agri. Engineers*, 1988, 88-2607:11.
 - 25 Maynard DG and Kalura YP. Nitrate and exchangeable ammonium nitrogen. in Cater MR (ed.) *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Soc. of Soil Sci., 1993, 25~28.

EFFECT OF IRRIGATION AND FERTILIZATION ON NITRATE LEACHING IN LOAMY FLUVO-AQUIC SOIL

Fan Bingquan Hu Chunfang Ping Jianli

(Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051)

Abstract Nitrate leaching is not only main reason of low utilization efficiency of nitrogen, but also cause serious environment pollution. So determining nitrate movement and affecting factor in soil profile is the essential prerequisite of preventing nitrate leaching. Therefore long-term location field experiment for reducing $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching was conducted in winter wheat-corn rotation system in Hengshui, irrigation as main treatment and N fertilizer as subtreatment were five levels. The results showed that N application rate was the main factor of $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching, there was no $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching when N application was below $150\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, but N use at a rate of $225\sim 300\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ increased $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching in winter wheat. There was evident $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching during winter when N rate of basal dressing was high in treatment of without irrigation. There was no nitrate leaching irrigated for two times both at jointing stage and milk stage of winter wheat. Rainfall in rainy season resulted in more $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching. Although irrigation at rate of $1350\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ had a low $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching to the $100\sim 150\text{cm}$ depth, the $\text{NO}_3\text{-N}$ content of soil reduced seriously in the whole profile, it meant that there was more N loss. So irrigation amount should be controlled at a rate of $450\sim 1050\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ for each time. Delay irrigation at elongation stage in spring should reduce $\text{NO}_3\text{-N}$ loss. TO prevent soil $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching in rainy season is very important for reducing $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching and pollution to groundwater.

Key words Irrigation and fertilization $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching Ground-water pollution