

# 不同施肥条件下农田硝态氮迁移的试验研究

赵允格, 邵明安

(中科院水利部水土保持研究所)

**摘 要:**  $\text{NO}_3^- \text{N}$  的淋失是旱地农田氮素损失的重要途径之一,也是引起地下水污染的一个主要原因。在黄土高原地区,夏玉米生长正逢雨季,是 $\text{NO}_3^- \text{N}$  淋失的主要时期。该研究基于阻水层理论和黄土高原地区传统的垄作习惯,在手工模拟机具成垄压实施肥的基础上研究了该施肥法与传统的平地施肥、垄沟施肥(成垄不压实)条件下土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  的迁移动态,结果表明,在供水量相同条件下,由于平地 and 垄沟条件下水分分布的差异,导致平地土壤中的 $\text{NO}_3^- \text{N}$  较垄沟耕作易于迁移。在生育前期,由于作物根系对 $\text{NO}_3^- \text{N}$  的吸收和拦截,成垄压实与成垄不压实施肥对阻止 $\text{NO}_3^- \text{N}$  随水下移差异不大;生育后期,当作物需肥量减小时,成垄压实施肥能够阻止 $\text{NO}_3^- \text{N}$  向深层土壤迁移累积。玉米收获后,3 种施肥方式下土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  迁移深度为平地( $> 60 \text{ cm}$ ) $>$  垄沟施肥( $> 45 \text{ cm}$ ) $>$  成垄压实施肥( $< 35 \text{ cm}$ )。

**关键词:** 成垄压实施肥; 垄沟施肥; 平地施肥;  $\text{NO}_3^- \text{N}$  迁移

中图分类号: S143.1

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)040037204

氮肥在农业生产中发挥着重要的作用,20 世纪 60 年代以来,过量的化肥进入农田,加上农业管理措施不当,导致氮肥以氨挥发、硝态氮淋溶以及反硝化等形式损失,氮肥利用率降低,其中硝态氮的淋溶被认为是旱地农田氮素损失的重要途径。同时也是引起地下水污染的一个重要原因<sup>[1~9]</sup>。20 世纪 70 年代我国北方曾将含较多 $\text{NO}_3^- \text{N}$  的井水(肥水)作为一项农业资源进行了一次普查,发现富肥水井占调查井数 10% 左右,甚至部分水样的 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量已达到  $100 \sim 500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。研究发现,富肥水井中的氮主要来源于在人类长期活动影响下含氮有机物矿化所产生的硝酸盐<sup>[1]</sup>。近期,吕殿青等对陕西农用水井和一些饮、灌共用水井调查发现井水中 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量超过饮用水 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量标准的水井已分别占到调查井数 20% 以上。在黄土高原地区,调查发现高产农田 2~4 m 土壤中硝态氮的累积量为  $214 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,一般农田 2~4 m 土壤中硝态氮的累积量亦可达到  $102 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,对于其它农用地甚至高达  $1000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上,这些累积在 2~4 m 土层中的氮素对作物来说是难以利用的<sup>[2]</sup>,这不仅造成资源的浪费,而且对地下水体构成一种潜在的威胁。

目前,我国已成为世界上氮肥的主要消费国之一。深入了解田间条件下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  的迁移机理,防止

$\text{NO}_3^- \text{N}$  的在深层土壤中的累积或淋失在理论和实践上均有重要意义。为此,本研究以阻水层理论为基础结合我国传统的垄作生产采用氮肥施用的成垄压实法,在手工模拟机具成垄压实施肥的基础上,对该施肥方法与传统的平地施肥、垄沟施肥(成垄不压实)条件下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  的迁移动态进行研究,以揭示该施肥法在黄土高原地区对防止氮素淋移的作用。

## 1 试验设计

小区设在中科院水保所的试验场,土壤为塬土,其基本理化性状见表 1。小区面积  $15 \text{ m}^2$ ;种植玉米,品种为高农一号;播种量为  $48000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,每区 72 株。

表 1 供试土壤基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

项 目	含量 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	项 目	含量
$\text{NO}_3^- \text{N}$	4 894	全磷 $\%$	0.78
$\text{NH}_4^+ \text{N}$	3 744	pH 值	8.2
速效磷	15.27	有机质	11.80

当年生育期内降雨量(包括灌水量)  $322.64 \text{ mm}$ 。

试验设不起垄、起垄不压实(土壤容重为  $1.10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )和成垄压实施肥(压实后土壤容重为  $1.39 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )、垄坡度为  $30^\circ$  试验设 3 次重复,田间随机排列。氮肥选择尿素,施氮量为  $240.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。采用追肥的方式手工模拟机具施肥法施入,其它田间管理按常规进行,其间补充灌溉 2 次(一次在出苗后,一次在施肥后 35 d),保证玉米正常生长所需的

收稿日期: 2001210210 修订日期: 2002206207

基金项目: 973 计划(G2000018605); 国家杰出青年基金资助项目(40025106), 西北农林科技大学科研专项基金

作者简介: 赵允格(1971-),女,助研,博士生,主要从事土壤溶质运移方面的工作。陕西杨凌 中科院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室,712100

水分条件。

施肥前取基础样,用土钻分层取 0~ 200 cm 土样,其中 0~ 100 cm 每 10 cm 取一样,100~ 200 cm 每 20 cm 取一样。施肥后,每月挖剖面取样一次,测定土壤含水率和 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 含量。

土壤含水率,烘干法测定; $\text{NO}_3^- \text{N}$ 、 $\text{NH}_4^+ \text{N}$ 含量测定用新鲜土样, $2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{KCl}$  5 : 1 液土比浸提, $\text{NO}_3^- \text{N}$  双波长紫外比色法<sup>[10]</sup>, $\text{NH}_4^+ \text{N}$  靛酚蓝比色法测定。

2 结果与分析

2.1 基础样 $\text{NO}_3^- \text{N}$  剖面分布

因所用实验地前茬为匀地作物(小麦),未施肥,

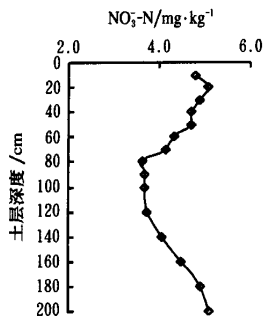


图 1 剖面初始分布

Fig. 1 Initial $\text{NO}_3^- \text{N}$  distribution

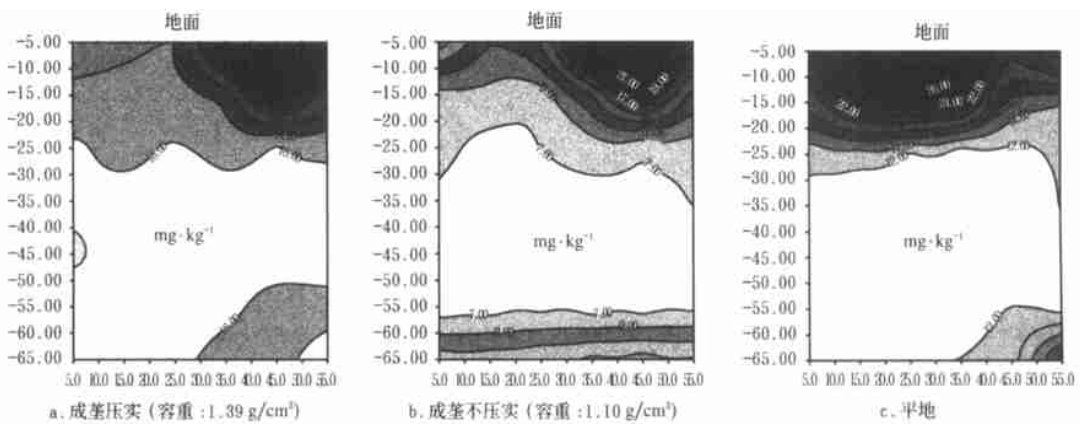


图 2 施肥后 43 d 不同施肥方式下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  剖面分布

Fig. 2  $\text{NO}_3^- \text{N}$  distribution at 43 d after fertilization with different fertilizer methods

在后续的 25 d(8 月 13 日~ 9 月 6 日)内降雨量较前期增多(92.91 mm),这一时期不同处理土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  均较前期明显向下层土壤迁移,平地施肥与两个垄沟施肥相比较,平地施肥处理的 $\text{NO}_3^- \text{N}$  向深层土壤迁移幅度较大(见图 3),至地下 45 cm 处其 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量可达  $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,而且 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量最高点已下移至地下 30 cm 左右。而起垄压实与不压实两个处理相比较,压实条件下土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  迁移深度较不压实的大,这可能是因为这一时期作物

因此,土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  含量较低( $3 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) (图 1),其剖面分布以 10~ 20 cm 略高,向下随深度增加而渐减,70~ 100 cm 之间基本稳定,至 100 cm 后又略有升高的趋势。

2.2 不同施肥条件下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  迁移动态

农田生态系统中,影响土壤氮素状况及其去向的因素较多,其中降雨和土壤水分状况是重要的因子。在干旱半干旱地区,由于自然降水或灌溉水的入渗,土壤中的 $\text{NO}_3^- \text{N}$  随水分向下层土壤迁移。已有的研究表明, $\text{NO}_3^- \text{N}$  在土壤中的迁移深度与降水量有密切关系<sup>[3]</sup>。在本试验年份(2000 年)内,玉米生长前期气候较干旱,在施肥后的前 43 d(7 月 1 日~ 8 月 12 日)内,自然降雨量仅有 24.98 mm,加上补充灌溉的 26.67 mm ( $0.4 \text{ m}^3 \cdot \text{亩}^{-1}$ ) 水,这一时期地面来水量也只有 51.67 mm,因此,三个处理土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  均未发生明显迁移,主要集中于 0~ 20 cm 土层内,且以距地表 5 cm (施肥带)处含量最高,两种垄沟施肥条件下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  在剖面上分布的变化趋势基本一致,无明显差异(图 2)。但平地施肥条件下 $\text{NO}_3^- \text{N}$  较前二者分布略深一些,且在同一土层范围内的分布也略较前二者大。表明在水分相同条件下,由于平地 and 垄沟条件下水分分布的差异,导致平地土壤中的 $\text{NO}_3^- \text{N}$  较垄沟耕作易于迁移。

处于旺盛生长期,对肥水的需求较高,另一方面这一时期气温较高,土壤微生物活性较大,土壤氮素处于一个比较活跃的动态平衡状态下,而成垄压实改变了土壤的土体结构,土壤的物理、生物特性随之改变,进而使得土壤氮素转化与成垄不压实不同。关于这一点还有待于进一步研究证实。

而到后期降雨量又较少(53.76 mm,其中的 42 mm 雨为取样前一天所降),土壤水分以向上运动为主,因此这一时期和中期比较,土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$  向下迁

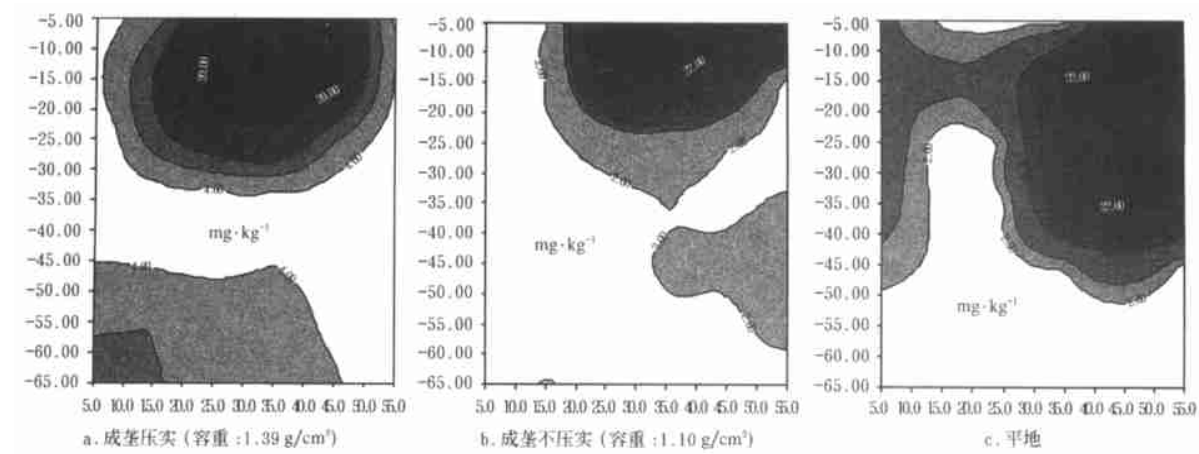


图 3 施肥后 68 d 不同施肥方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$  剖面分布

Fig 3  $\text{NO}_3\text{-N}$  distribution at 68 d after fertilization with different fertilizer methods

迁移较少(见图 4),特别是成垄压实施肥条件下,土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 与中期相比,几乎没有迁移,成垄不压实施肥条件下土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 较中期略有迁移。平地施肥土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 较中期向下层土壤仍有较大迁移,特别是0~10 cm 土层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量降低幅度还比较大(见图 4)。在3种不同处理中,平地施肥条件下土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 下移深度最大,直至地下60 cm

左右土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量仍可达 $6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,表明在生育后期,即使有少量降雨,也可引起成垄不压实和平地施肥土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 向深层土壤迁移,特别是平地0~15 cm 土层 $\text{NO}_3\text{-N}$ 向深层土壤的迁移,而成垄压实施肥法通过压实形成阻水层,减少了通过施肥区的入渗水流,从而可防止 $\text{NO}_3\text{-N}$ 向深层土壤的迁移累积。

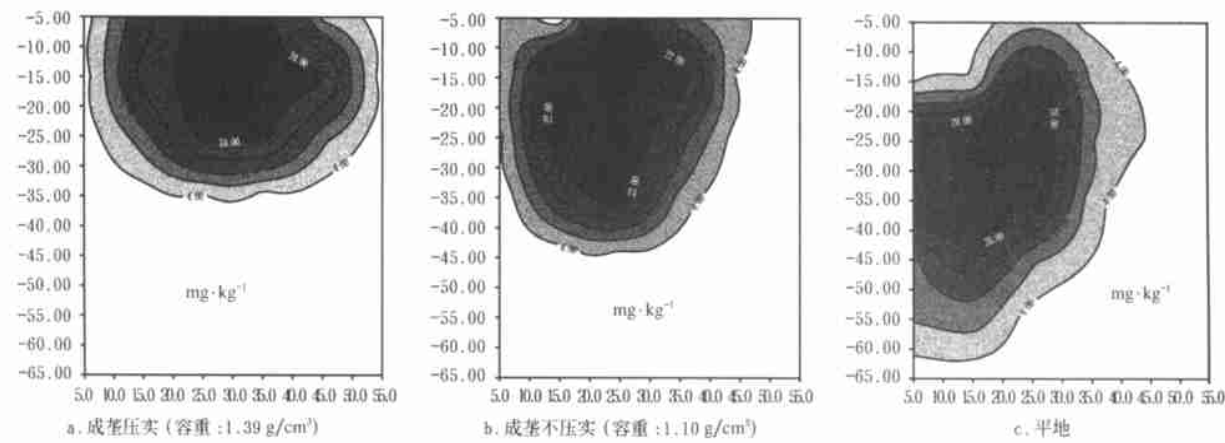


图 4 施肥后 95 d 不同施肥方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$  剖面分布

Fig 4  $\text{NO}_3\text{-N}$  distribution at 95 d after fertilization with different fertilizer methods

2.3 同一施肥条件下 $\text{NO}_3\text{-N}$  迁移动态

不同的耕作对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的淋失影响不同,有资料表明,耕作方式对氨水淋失的影响程度为: 犁耕<铧式犁<免耕<耧式犁<sup>[6,7]</sup>。在本试验条件下,不同施肥方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 迁移动态趋势是:在前期,3种不同施肥方式土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 均主要集中分布于0~15 cm 土层,至中期,由于降雨量增加,平地施肥条件下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 较前期向下层有一较大幅度的迁移,而两种垄沟施肥方式下 $\text{NO}_3\text{-N}$ 下移幅度明显较平地小,表明垄沟与平地条件下土壤水分分布的差异

导致 $\text{NO}_3\text{-N}$ 迁移的不同。到后期,成垄压实施肥条件下土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 迁移明显较成垄不压实、平地施肥小,可见,生育后期作物需肥量减少时,成垄压实施肥能够明显阻止 $\text{NO}_3\text{-N}$ 向下层土壤迁移。后期两种垄沟施肥条件下0~20 cm 土层,平地15~35 cm 土层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量较中期略高,这可能是后期气候干旱,土壤水分以向上运动为主,导致 $\text{NO}_3\text{-N}$ 向上迁移,即土壤氮素的“淋吸效应”<sup>[4,5]</sup>,但也可能是由于后期作物需肥量减小,土壤有机质矿化分解有关,关于这一点还需进一步研究。

### 3 结 论

在相同水分条件下, 垄沟施肥因其与平地水分分布的差异, 与平地施肥相比较, 可阻止 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 向深层土壤的迁移。而成垄压实与成垄不压实施肥, 在生育前期对阻止 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 随水下移差异不大, 这可能与作物根系对 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 的吸收和拦截有关。但到生育后期, 当作物需肥量减小时, 成垄压实施肥能够明显阻止 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 向深层土壤迁移累积, 玉米收获后, 3种施肥方式下土壤 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 在剖面上的分布深度为平地( $> 60 \text{ cm}$ ) $>$  垄沟施肥( $> 45 \text{ cm}$ ) $>$  成垄压实施肥( $< 35 \text{ cm}$ )。表明该施肥法通过压实形成阻水层而减少了通过施肥区的入渗水流, 从而防止了生育后期 $\text{NO}_3^- \text{N}$ 向深层土壤的淋溶。这将对防止土壤氮素淋失和提高氮肥利用率具有重要的实际意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 中国科学院西北水土保持生物研究所. 肥水[M]. 北京: 科学出版社, 1973. 8~36
- [2] 吕殿青, 同延安, 孙本华等. 氮肥施用对环境污染影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 8~15
- [3] Shuford J W, Fritton D D, Barer E. Nitrate-nitrogen and chloride movement through undisturbed field soil[J]. J Environ Qual, 1977, 6(3):
- [4] 吕殿青, 杨进荣, 马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋吸效应影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(4): 307~315
- [5] 范丙全, 胡春芳, 平建立. 灌溉施肥对壤质潮土硝态氮淋溶的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 16~21
- [6] Randall G W, Iragavarapu T K. Impact of Long-term tillage systems for continuous corn on nitrate leaching to tile drainage[J]. J Environ Qual, 1995, 24: 360~366
- [7] Kanwar R S, Colvin T S, Karlen D L. Ridge, moldboard, chisel and no-tillage effects on tile water quality beneath two cropping systems[J]. Prod Agric, 1997, 10: 227~234
- [8] 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): 277~279
- [9] Kitchen N R, Blanchard P E, Hughes D F, et al. Impact of historical and current farming systems on ground water nitrate in northern Missouri[J]. Soil Water Conserv, 1997, 54: 272~277.
- [10] Norman R J, Edberg J C, Stucki J W. Determination of nitrate in soil extracts by dual-wavelength ultraviolet spectrophotometry[J]. Soil Sci Soc Am J, 1995, 49: 1182~1185

## Experimental Study on Nitrate Transport for Different Fertilization Methods

Zhao Yunge, Shao Ming'an

(State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,  
Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Northwest  
Sci-Tech University of Agriculture & Forestry, Yangling 712100, China)

**Abstract:** Nitrate leaching to groundwater is one of the major nitrogen losing ways in dryland farming system. The major season of nitrate leaching is rainy season in summer as corn growing, with strong intensity of rainfall (from July to September) in the Loess Plateau region. Localized compaction ridge fertilization method is a nitrogen fertilizer application that has theoretical basis on the water flow barrier and local ridge tillage, and it is assumed that less fertilizer leaching would occur. In this paper, the nitrate transports under localized compaction ridge (which made by hand), ridge without compaction and plate fertilization method are studied. Results of the experiment show that under the same amount of supply water, nitrate of plate fertilization method is easier to move than that of ridge fertilization method as water distribution difference. In prophase of growth period, there is no notable difference in nitrate movement among localized compaction, ridge and ridge without compaction fertilization method for roots of plant absorbing and holding up the nitrate. In the later stage, the corn needs little fertilizer, nitrate can be held up in the upper soil with localized compaction ridge fertilization method. In the corn harvested season, depth of nitrate leaching under plate fertilization method is the largest ( $> 60 \text{ cm}$ ), while that under ridge without compaction fertilization method is mediate ( $> 45 \text{ cm}$ ), and that under localized compaction and ridge is the smallest ( $< 35 \text{ cm}$ ).

**Key words:** localized compaction and ridge fertilization; ridge without compaction fertilization method; flat fertilization method; nitrate-nitrogen transport