

# 氮肥施用对环境污染影响的研究

吕殿青 同延安 孙本华

(陕西农业科学院土壤肥料研究所, 杨陵 712100)

Ove Emteryd

(瑞典农科大学森林生态系)

**摘要** 通过田间试验和野外调查对陕西三个主要农业生态区的施氮情况及其对土壤和地下水污染的影响进行了研究。结果表明,有些高产地区由于过量施氮已在0~4米深的土层中积累了大量 $\text{NO}_3\text{-N}$ ,并使地下水和地表水受到不同程度的污染;在当季作物生长期,土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失深度和淋失量与施氮量、施氮技术、地面接水性和土壤质地有密切关系。

**关键词** 氮肥  $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失 环境污染

环境污染是一个全球性的严重问题,已引起各国政府的重视。过量施用氮肥是引起环境污染的重要因素之一<sup>[1]</sup>。在一些发达国家由于过量施氮,土壤和水质已受到严重污染<sup>[2]</sup>。中国从70年代初开始大量施用氮肥,作物产量不断增加。但近几年来,作物产量并未随着施氮量的增加而增加,而是保持在稳定的水平<sup>[3]</sup>;氮肥利用率只有30%~40%<sup>[4]</sup>,大部分氮素从不同途径损失掉了<sup>[6]</sup>。有些地区的地下水、地表水和土壤也已受到不同程度的污染<sup>[6]</sup>。为了减少氮素损失,提高氮肥利用率,防止环境污染,我们在不同农业生态区进行了施氮对环境污染影响的研究;并结合试验,进行了田间调查,取得了一些结果,为合理施肥提供了科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 田间试验

田间试验分别在陕北米脂无定河谷地沙质土壤、关中杨陵新灌区瘠土和陕南汉中盆地粘质水稻土上进行。

试验在PK与无PK处理基础上进行。在米脂点尿素(N)施用量设0、50、150、250 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,在杨陵点尿素(N)设0、60、120、180、240 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,在汉中点尿素(N)设0、60、90、120、180、360、720 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 等处理,重复3次,随机排列。在氮肥用量处理中选择若干处理进行<sup>15</sup>N标记。

为探讨影响土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失的原因还设置了一些辅助试验。在渭河二级阶地黑垆土上进行了氮肥用量试验。在相同PK用量基础上,设氮素用量为0、112.5、187.5、262.5 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 等4个处理,供试作物为小麦和玉米。在米脂沙质土壤上进行了相同施氮量下不同灌水量试验。灌水量设0、500、1000、2000和4000 $\text{m}^3/\text{hm}^2$ 等5个处理,供试作物为春玉米,在拔节期、喇叭口期和灌浆期分3次灌溉。同时,还对杨陵头道塬的肥料长期定位试验地上,于1992年小麦收获后测定了不同肥料(CK、N、NP和NPK)处理土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量。

### 1.2 田间调查

结合田间试验在不同农业生态区进行了河谷地土链剖面调查(catena study),即在河谷内从一边最高位农田沿河谷向另一边最高位农田逐步采取土样进行土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量测定,土壤取样深度为0~4m。并对生态区内的地下水(井水)和地表水(主要是河水、沟水、渠水等)取样测定 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量。同时调查访问了农民实际施氮

情况和作物产量情况。

### 1.3 分析方法

$\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 均用流动注射仪测定<sup>[7]</sup>,  $^{15}\text{N}$ 由欧20~20质谱仪测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 积累

根据不同农业生态区的土链调查,在0~4m深的土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量均随地形部位、氮肥用量、土壤水分和土壤质地的变化而变化。米脂无定河谷地土链调查(图1)表明,土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量在灌溉和施氮量较高的一级阶地和二级阶地上都大大高于水土流失严重和施氮量较小的丘顶和坡地;一级阶地施氮量虽比二级阶地多,但由于一级阶地土壤质地较粗,土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量则明显低于二级阶地。

在关中渭河谷地土链调查结果(图2)看出,土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量在三级阶地低于二级阶地,主要原因是三级阶地历来是旱作农业,20年前才开始灌溉,施氮量又较低,土壤中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量积累较低;而二级阶地是老灌区,施氮量一直较高,并有三级阶地含 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的深层水向二级阶地侧渗,故使土壤中积累了较高 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量。一级阶地虽然也是老灌区,施氮肥也较多,但由于土壤质地较粗, $\text{NO}_3\text{-N}$ 容易淋失,因此土壤中只贮存较少 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。

在汉中盆地土链调查结果(图3)表明,由于三级阶地是旱作农业,施氮量较少,地面径流较大;二级阶地为新灌溉农地,为粘质水稻土,施氮量较高;三级阶地是老灌区农地,为壤质水稻土,施氮量较高,种植粮食作物和蔬菜等。由于这些条件的差异,明显影响了土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的分布。土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量顺序是一级阶地>二级阶地>三级阶地。由此可知, $\text{NO}_3\text{-N}$ 的分布和积累具有明显的地域性。

土壤利用情况不同对土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的移动和积累也有明显影响。据调查,在0~4m深土层内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 积累量在8年以上苹果园达 $3414\text{kg}/\text{hm}^2$ ,15年以上菜地达 $1362\text{kg}/\text{hm}^2$ ,高产农田土壤达 $537\text{kg}/\text{hm}^2$ ,一般农田土壤为 $255\text{kg}/\text{hm}^2$ 。在2~4m土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量分别为1812、681、214和

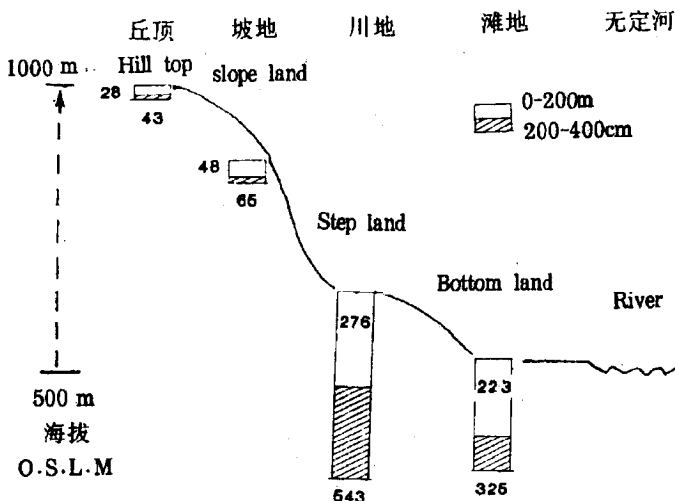


图1 陕北米脂无定河谷地0~4m土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量分布( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

Fig.1  $\text{NO}_3\text{-N}$  in 0~4m soil profile in Wuding River valley in Mizhi of Shaanxi

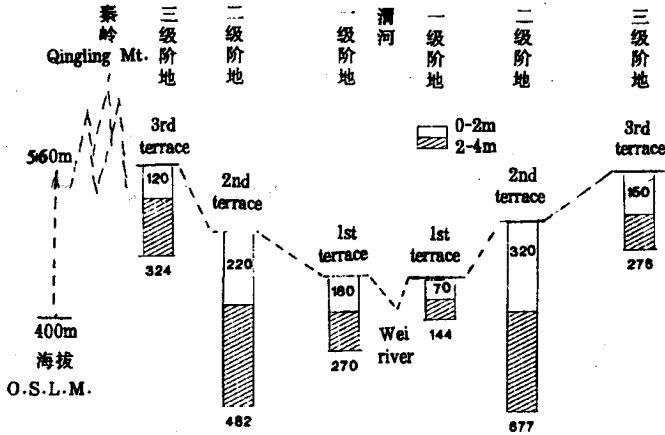


图2 陕西省关中渭河谷地0~4m土壤剖面中NO<sub>3</sub>-N含量分布 (kg/hm<sup>2</sup>)  
 Fig.2. NO<sub>3</sub>-N contents in 0~4m soil profile in Wei River valley in mid Shaanxi

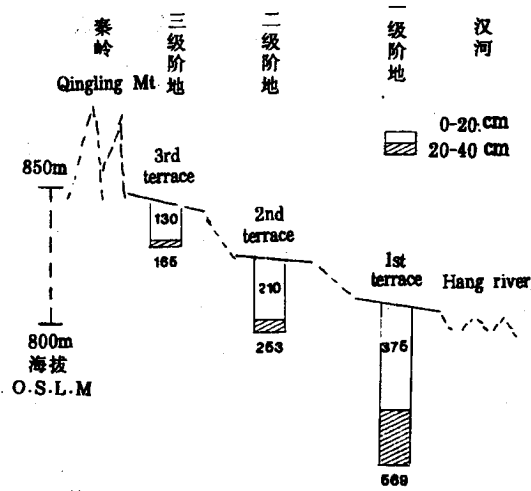


图3 关中盆地0~4m土壤剖面中NO<sub>3</sub>-N含量分布 (kg/hm<sup>2</sup>)  
 Fig.3 NO<sub>3</sub>-N contents in 0~4m soil profile in Hangzhong Basin in southern Shaanxi

102kg/hm<sup>2</sup>(表1)。2~4m土层中NO<sub>3</sub>-N对作物来说是难以利用的,这将会淋移到地下水和地表水,污染环境。

据估算,以上各类农田全省约有215万多公顷(陕北丘陵沟壑区和其他山区土地均未估算在内),在这些土地上从2~4m土层中可能淋失的NO<sub>3</sub>-N就达到46万吨。

### 2.2 地下水和地表水的NO<sub>3</sub>-N污染

由于土壤中NO<sub>3</sub>-N大量积累和淋失,有些地区地下水和地表水已受到不同程度的污染(表2)。在绥德到榆林间沿公路两侧共调查93个井水,大部分为饮、灌两用水井。NO<sub>3</sub>-N含量>11

表 1 陕西关中黄土区不同土地利用条件下不同土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量  
Table 1  $\text{NO}_3\text{-N}$  contents in different soil layer under the different  
land use in loess plateau of mid part of Shaanxi

土地利用 Land use	$\text{NO}_3\text{-N}$ (kg/hm <sup>2</sup> )			施N量 N rate (kg/(hm <sup>2</sup> ·a))
	0~4m	0~2m	2~4m	
8年以上苹果园	3414	1602	1812	900
15年以上菜园	1362	680	681	750
高产农田	537	323	214	500
一般农田	255	153	102	280

mg/L的占21.5%; 5~11mg/L的占18.2%, <5mg/L的占60.2%; 在关中灌区和渭北旱塬地区共调查24个县74口井, 大部分为新打农用井水, 少部分为村边饮、灌共用水井, 井水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量>11mg/L的占29.73%, 5~11mg/L的占25.6%, <5mg/L的占44.6%。饮用水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量标准为11.4mg/L<sup>[8]</sup>, 因此已有许多井水是不能被人畜饮用。70个地表水水样中, $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量>11mg/L的占15.7%; 5~11mg/L的占11.4%; <5mg/L的72.9%。同时还发现, 在陕西境内黄河水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量为2.36mg/L, 黄河主要支流渭河水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量为8.32mg/L, 而靠西安的渭河支流河水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量已高达16.57mg/L。由此可以认为在过量施氮与大水漫灌的高产农业区和工业废水及有机废物影响的城镇地区, 是引起地下水和地表水 $\text{NO}_3\text{-N}$ 污染的主要地区。

表 2 井水和地表水中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量  
Table 2  $\text{NO}_3\text{-N}$  contents in well water and surface water

水源 Water resources	地点 Place	总样数 Samples	$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)					
			>11		5~11		<5	
			n	%	n	%	n	%
井水	陕北	93	20	21.50	17	18.28	56	60.22
	关中	74	22	29.73	19	25.67	33	44.60
地表水	陕西	70	11	15.70	8	11.40	51	72.90

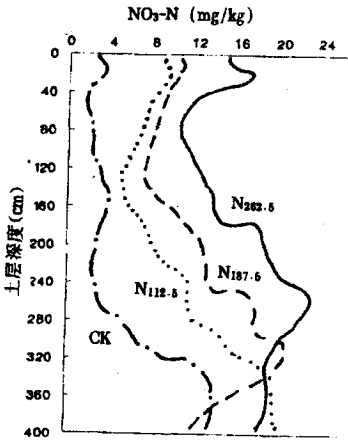
### 2.3 不同农业生态区当季作物生长期土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失深度和淋失量

由<sup>15</sup>N和氮肥田间试验结果表明, 在当季作物生长期,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失深度随土壤条件不同而不同。在无定河谷地有灌溉条件的沙质土壤上, 春玉米地 $\text{NO}_3\text{-N}$ 可淋至200cm以下; 在杨陵新灌区的重壤质垆土上小麦地 $\text{NO}_3\text{-N}$ 可淋至100cm以下; 在陕南汉中盆地的粘重水稻土, 小麦生长期间 $\text{NO}_3\text{-N}$ 只淋至60cm左右。由此看出, 土壤质地越重,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋移深度就越小。

$\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失决定于氮肥用量、地面接受量和土壤物理特性。一般作物根系主要分布在0~40cm土层中, 当季作物生长期,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 从0~40cm土层中的淋失量在米脂为41%, 杨陵为31%, 汉中为15%(表3)。杨陵渗漏池试验, 垆土施氮后从0~40cm土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失量是一次施的为24.7%, 分三次施为29.01%<sup>[9]</sup>, 这与本研究结果基本接近。

表 3 不同农业生态区当季作物生长期NO<sub>3</sub>-N从0~40cm土层中的淋失量Table 3 Amount of NO<sub>3</sub>-N leakage from 0~40cm soil layer during the one crop growing season in different agro-ecological regions

地点 Place	利用情况 Land use	土壤质地 Soil texture	施N量 N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	NO <sub>3</sub> -N淋失量 Leakage(kg/hm <sup>2</sup> )	占施入量(%) % of N applied
米脂	灌溉春玉米	细沙土	250	102.5	41.5
杨陵	灌溉冬小麦	重壤	250	77.5	31.2
汉中	灌溉冬小麦	粘土	250	37.5	15.0

图4 不同施N量与壤土中NO<sub>3</sub>-N淋失关系Fig. 4 Relationship between N rate applied and NO<sub>3</sub>-N leakage

## 2.4 影响土壤NO<sub>3</sub>-N淋失的主要因素

**2.4.1 施氮量** 在渭河二级阶地黑垆土上进行的氮肥用量试验表明,在灌溉条件下,玉米收获后0~4m土壤剖面中NO<sub>3</sub>-N总淋失量随施氮量的增加而增加(图4)。但玉米产量在施量(N) 112.5、187.5和262.5kg/hm<sup>2</sup>时,分别为8250、8300和8350kg/hm<sup>2</sup>,基本接近。说明过多施氮,并不能增加更多的产量,而是浪费了大量肥料,污染了环境。

**2.4.2 灌水量** 在米脂沙质土壤上进行的相同施氮量不同灌水量条件下春玉米试验,于玉米收获后测定0~20cm土层中遗留的NO<sub>3</sub>-N含量,结果看出有明显差异(图5)。据统计,0~20cm土

层中NO<sub>3</sub>-N存留量与灌水量之间可以指数曲线方程表达:

$$Y = 0.009e^{0.034982X}$$

式中Y为0~20cm中NO<sub>3</sub>-N存留量,X为灌水量。复相关系数R<sup>2</sup> = 0.8624。说明土层中NO<sub>3</sub>-N存留量是随灌水量的增多而减少。

当然,这不是说农田灌水越少越好,而是要适时适量地灌溉,避免一次灌水过多而引起NO<sub>3</sub>-N淋失的危险。在干旱地区促进作物的增产,保证足够的灌水量是必要的。

在陕北沙质土壤上,春玉米产量是随灌溉量的增加而增加。最大灌水量(3990m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>)的玉米产量比不灌的增加1950kg/hm<sup>2</sup>,效果十分明显。但当灌水量过大时,增产效果并没有达到最高水平。灌水量为3990m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>时,玉米产量仅比灌溉量1995m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,增产480kg/hm<sup>2</sup>,还抵偿不了水费的支付。显然这与灌水量过大,引起土壤养分淋失有密切关系。

**2.4.3 平衡施肥** 一般在黄土高原地区土壤普遍缺氮和缺磷,增施氮磷肥或再补加适量的钾肥可作为当地平衡施肥的主要形式。在已进行了三季作物(即小麦—玉米—小麦)的长期定位试验地测定结果(表4)看出,氮磷配合或氮磷钾配合都比不施或单施氮有明显的增产作用。

平衡施肥一方面能增加作物对土壤氮磷吸收利用,提高产量,另一方面能促进根系发育,形成根系密集层,阻止NO<sub>3</sub>-N淋移,减少NO<sub>3</sub>-N淋失。测定结果(图6)表明,NO<sub>3</sub>-N从土层中的淋失深度和淋失量是N<sub>353</sub> > N<sub>353</sub>P<sub>204</sub> > N<sub>353</sub>P<sub>204</sub>K<sub>176</sub>(下标数字为施肥量,kg/hm<sup>2</sup>)。这就证明平衡施肥是减少NO<sub>3</sub>-N淋失的一项重要措施。

表 4 不同施肥处理对作物产量的影响

Table 4 Effect of different fertilizer treatments on yield of crops

处理 Treat.	总施N量 Total N rate (kg/hm <sup>2</sup> )	作物产量 Yield(kg/hm <sup>2</sup> )			增产 Increase (%)
		小麦 Wheat	玉米 Corn	总产 Total	
CK	-	2808	2649	5457	
N	517.5	4530	4657	9187	68.35
NP	517.5	8394	6205	14599	167.55
NPK	517.5	8437	6250	14687	169.14

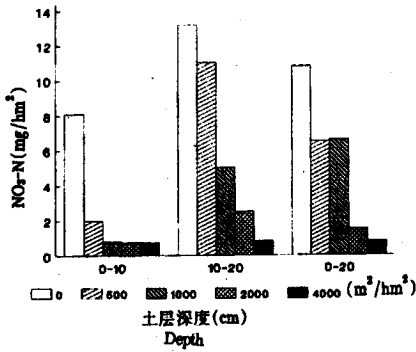


图5 灌水量与土壤NO<sub>3</sub>-N淋失关系

Fig. 5 Relationship between irrigation water and NO<sub>3</sub>-N leakage from soil

影响土壤NO<sub>3</sub>-N淋失因素很多,以上所列仅是其中的主要几种。根据研究和实践,减少土壤NO<sub>3</sub>-N淋失,提高氮肥利用率的主要对策可归纳为以下几点:控制氮肥用量,实行氮肥与其它肥料配合施用,特别与有机肥料配合施用;控制灌水量,改进灌溉方法,采用节水灌溉技术;改进施肥方法,在灌溉高产地区采用分次施用氮肥,并研究应用包衣缓释缓效氮肥;实行豆科和禾本科作物合理轮作,采用生物养地与用地相结合;改良土壤理化特性,增加土壤有机胶体,形成上松下紧的土体构型,减少土壤的下层渗漏性等,这些措施都是行之有效的途径。如果在实践中进行综合应用,一定可以收到良好的效果。

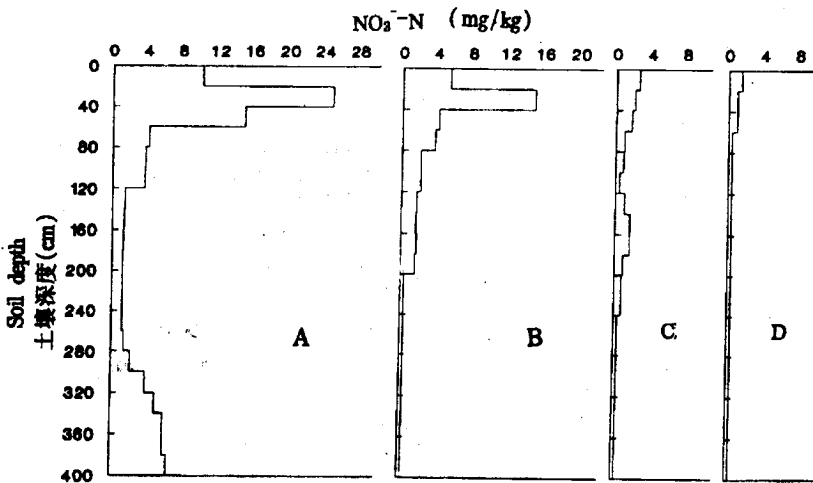


图6 不同施肥处理下土壤剖面中NO<sub>3</sub>-N分布

Fig. 6 Distribution of NO<sub>3</sub>-N contents in soil profile with different treatment of fertilizers

### 3 小结

在灌溉高产农区和城镇地区,由于过量施用氮量和工业废物与有机废物的影响,在0~4m土层中,尤其是在2~4m土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 已有大量积累,地下水和地表水已受到不同程度的污染。当季作物生长期间土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在米脂沙质土壤、杨陵重壤质瘠土和汉中粘质水稻土中分别淋移至200cm以下、100cm以下和60cm左右; $\text{NO}_3\text{-N}$ 从0~40cm土层中的淋失量分别占施入氮量的41%、31%和15%。土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 淋失深度和淋失量与施氮量、施氮技术、地面接水量、土地利用和土壤质地等有密切关系。因此,采用最佳施氮量、NPK配合施用、控制灌水量等是减少氮素损失,防止环境污染,提高氮肥利用率的重要措施。

### 参 考 文 献

- 1 Flipse WJ and Katr BG. Source of nitrate ground water in a sewered housing development, Central Long Island, New York. *Groundwater*, 1984, 22:57~65.
- 2 日本机械工业联合会,日本产业机械工业会编著,杨桢奎胡保林译. 水域的富营养化及其防止对策. 中国环境科学出版社,1987.
- 3 张世贤. 中国农村. 1995,9:25~29.
- 4 中国农业科学院土壤肥料研究所主编. 中国肥料. 上海科学技术出版社,1994. 3~5.
- 5 朱兆良,文启孝主编. 中国土壤氮素. 江苏科学技术出版社,1992.
- 6 张维理、田哲旭、张宁、李晓齐. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查. 植物营养与肥科学报,1995,1(2):80~87.
- 7 Ove Emteryd. Chemical and physical analysis of inorganic nutrients in plant, soil, water and air. Stencil No. 10 Umea Sweden, 1989, 156~159.
- 8 吉林省图书馆. 国外环境标准选编. 中国标准出版社,1984,11~14.
- 9 吕殿青、杨学云等. 陕西瘠土中硝态氮运移特点及影响因素. 植物营养与肥科学报, 1996,2(4):289~297.

# STUDY ON EFFECT OF NITROGEN FERTILIZER USE ON ENVIRONMENT POLLUTION

Lu Dianqing Dong Yanan Sun Benhua

*(Institute of soil and Fertilizer, Shaanxi AAS, Yangling 712100)*

Ove Emteryd

*(Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Ecology)*

**Abstract** In this paper the effect of nitrogen fertilizer use on the soil and ground water pollution was studied through the field survey and field experiments in three agro-ecological regions in Shaanxi Province. The results showed that a large amount of  $\text{NO}_3\text{-N}$  has been accumulated in 0~4m soil profile and moved down to the ground water and surface water, which were polluted to different extent in some places due to more nitrogen fertilizer was applied. The amount and depth of  $\text{NO}_3\text{-N}$  leakage during one crop season related to the application rates of N- fertilizer, techniques of fertilization, amount of received water and soil texture. Adopting the optimum rate of N fertilizer, balanced fertilization, optimum rate of irrigation water are important practices for minimizing  $\text{NO}_3\text{-N}$  leakage, improving N use efficiency and preventing the environment from pollution.

**Key words** Environment pollution Nitrogen fertilizer  $\text{NO}_3\text{-N}$  leakage.