

# 吉林省半干旱地区春玉米连作体系氮素平衡研究

高 强<sup>1</sup>, 蔡红光<sup>1,2</sup>, 黄立华<sup>1</sup>, 汪涓涓<sup>1</sup>

(1 吉林农业大学 资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

**【摘要】**【目的】为吉林省半干旱地区春玉米科学施用氮肥提供指导。【方法】2004~2005 年, 在吉林省西部半干旱地区进行 2 年田间试验, 研究不同施肥方式(推荐施肥、农民习惯施肥、一次性施肥)对玉米产量、吸氮量及氮素效率的影响, 同时对该地区土壤氮素平衡与运转情况进行评价。【结果】一次性施肥处理受年际间降雨量影响较大, 易产生后期植株脱氮现象, 玉米产量及氮肥利用率年际间不稳定; 农民习惯施肥处理基肥施用量过高, 造成氮肥表观利用率降低; 一次性施肥处理和农民习惯施肥处理下, 氮肥表观残留率较高, 达到了 50% 左右; 这 2 种施肥方式下, 0~90 cm 土层土壤残留  $N_{min}$  分别为 201 和 278 kg/hm<sup>2</sup>, 会对地下水体产生潜在威胁。推荐施肥处理下, 玉米产量、生物量和吸氮量均较稳定, 同时氮素利用率( $RE_N$ )、氮素生理利用率( $PE_N$ )、氮素农学利用率( $AE_N$ )、氮素偏生产力( $PPF_N$ )均较高; 在两季玉米连作后, 0~90 cm 土层土壤残留硝态氮为 128.5 kg/hm<sup>2</sup>, 可以在环境友好的前提下获得较高的产量。【结论】在吉林省西部半干旱地区, 一次性施肥与农民习惯施肥会导致土壤中无机氮高残留, 使氮素损失增加, 对该地区的生态环境造成一定威胁, 而推荐施肥是较合理的施肥方式。

**【关键词】** 春玉米; 淡黑钙土; 施肥方式; 氮素效率; 氮素平衡; 土壤无机氮

**【中图分类号】** S513.062

**【文献标识码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2009)08-0127-06

## Study on soil nitrogen balance of spring maize continuous cropping in semi-arid area of Jilin Province

GAO qiang<sup>1</sup>, CAI Hong-guang<sup>1,2</sup>, HUANG Li-hua<sup>1</sup>, WANG Juan-juan<sup>1</sup>

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China;

2 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** 【Objective】The study was done to guide nitrogen fertilization of spring maize in semi-arid area of west of Jilin Province. 【Method】Two-year field experiments in semi-arid area of west of Jilin province were carried out to study the effect of different fertilization modes on maize yield, nitrogen uptake and nitrogen efficiency. Meanwhile the soil nitrogen balance and translocation were also evaluated. 【Result】The results showed that single-dose application was influenced by annual rainfall amount, and the denitrification was subject to appear, yield and nitrogen efficiency were unstable. The basal fertilizer of traditional application was too high, which caused apparent decline of nitrogen utilization. The apparent residual rates of nitrogen fertilizer were up to 50 percents with single-dose application and traditional application. The residual nitrogen in soil layer from surface to 90 cm were 201 kg/hm<sup>2</sup> and 278 kg/hm<sup>2</sup>, which was a potential threat to the safety of ground water. The yield biomass and nitrogen uptake were stable with fertilizer recommendation treatment and nitrogen apparent recovery efficiency( $RE_N$ ), Physiological Use Efficiency( $PE_N$ ), agronomic efficiency( $AE_N$ ) and partial factor productivity( $PPF_N$ ) were all high. After continuous double cropping, residual nitrogen in soil layer from surface to 90 cm was 128.5 kg/hm<sup>2</sup>, and a higher yield can be obtained under the condition of environmental-friendly. 【Conclusion】Single-dose and traditional ap-

\* [收稿日期] 2008-11-17

[基金项目] 农业部“948”重大国际合作项目(2003-Z53)

[作者简介] 高 强(1966—), 男, 吉林九台人, 副教授, 博士, 主要从事植物营养与肥料研究。E-mail: gyt199962@163.com

plication result in high residual nitrogen in soil layer and increase nitrogen loss. Fertilizer recommendation is reasonable.

**Key words:** spring maize; light chernozem soil; fertilization mode; nitrogen efficiency; nitrogen balance; residual nitrogen

氮素是玉米生长最重要的营养元素之一,施用氮肥后玉米增产效果明显,但同时也出现了氮肥施用方式不合理及氮肥施用过量的现象。因此,氮肥问题一直是近年来研究的热点,其中主要是氮肥施用不合理的问题。如在华北平原和西北黄土高原的冬小麦/夏玉米轮作体系地区,农民的施氮量远高于玉米达到最高产量时的施氮量<sup>[1-2]</sup>,过量施氮现象十分普遍。过量施用氮肥导致氮素在土壤中大量累积,并随降水和灌溉水通过重力和扩散作用等途径向土壤深层移动,或随径流进入地表水,从而污染地下水和地表水<sup>[3-4]</sup>。张维理等<sup>[5]</sup>对京津塘地区 69 个地下水样本的调查表明,浅层地下水的硝酸盐含量超标达 49%。同时,氨挥发及硝化、反硝化作用也是氮损失的主要途径<sup>[6-7]</sup>,这些氮素以气体的形式进入大气,污染大气环境。而目前关于氮肥施用方式的研究主要集中在基施氮肥用量和施用时期方面<sup>[8-9]</sup>。一般情况下,东北玉米施肥主要以分期施肥为主,采用基肥、追肥相结合的方法。近年来,为了省工省力,吉林玉米种植区的农民多采用一次性施肥方式,即将氮、磷、钾以基肥的形式一次性全部施入,俗称“一炮轰”。据调查,在吉林省对玉米采用“一炮轰”施肥方式的农户达 62.5%。但目前对这种施肥方式下氮素的利用效率及土壤氮素平衡状况仍不甚清楚。

吉林省西部半干旱地区耕地面积约 146.7 万  $\text{hm}^2$ , 占全省耕地面积的 36.7%<sup>[10]</sup>, 主要分布在白城、松原等地,是吉林省主要的玉米种植区之一,其土壤类型为黑钙土。为了研究该地区玉米连作体系中几种主要施肥方式下氮素的利用情况、输入输出平衡状况及氮素损失的主要途径,本试验在吉林省半干旱地区选择有代表性的农田土壤,研究近年来该地区几种主要施肥方式对玉米产量、氮素利用效率、氮素平衡及土壤中无机氮累积的影响,以阐明不同施肥方式下玉米对肥料中氮素的利用情况及其对土壤氮素平衡与运转状况的影响,以期为既保证较高的经济效益、同时又兼顾环境友好地指导该地区施肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2004-04—2005-10 在吉林省西部半干旱地区乾安县赞字乡父字村进行,试验田为玉米连作区,土壤类型为淡黑钙土,土壤质地为砂质壤土, pH 值 8.02,有机质含量 22.16 g/kg,全氮含量 1.66 g/kg,有效磷含量 18.83 g/kg,交换性钾含量 117.84 g/kg。试验区 2004 年、2005 年玉米生育期总降雨量分别为 316.5 和 543.5 mm,详见图 1。

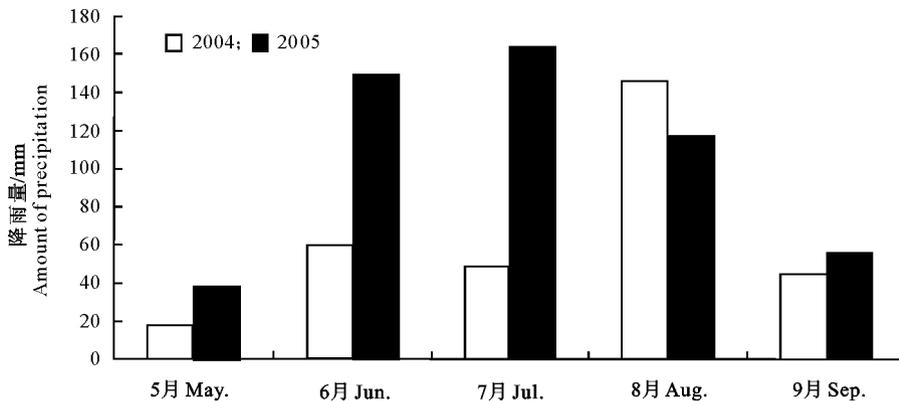


图 1 吉林省乾安县 2004 和 2005 年玉米生育期降雨量分布

Fig. 1 Precipitation in Qian'an during maize development stage in 2004 and 2005

### 1.2 试验设计

试验设置 4 个处理,分别为不施氮肥处理

(CK)、推荐施肥处理(Opt)、农民习惯施肥处理(Tra)和一次性施肥处理(YC)。CK 处理中磷肥采

用过磷酸钙( $P_2O_5$ , 12%),钾肥采用硫酸钾( $K_2O$ , 50%),均作基肥施入。Opt 处理采用氮肥总量控制、分阶段调控技术,而磷钾肥采用恒量监控技术,其中磷肥采用过磷酸钙( $P_2O_5$ , 12%),钾肥采用硫酸钾( $K_2O$ , 50%),均作基肥施入;基施氮肥(尿素 N 46%) $30\text{ kg/hm}^2$ ,拔节期采用硝酸盐田间速测仪测定土壤 0~90 cm 土层  $NO_3^-$ -N 含量,根据土壤无机氮测试推荐施肥技术理论确定追肥量为  $160\text{ kg/hm}^2$ 。Tra 处理的肥料用量是在对当地农户调查的基础上确定的,其中磷钾全部由复合肥(N-15%,  $P_2O_5$ -15%,  $K_2O$ -15%)提供,作基肥施入,其余氮由尿素补足;基肥施入氮肥  $45\text{ kg/hm}^2$ ,追肥施入氮肥  $161\text{ kg/hm}^2$ 。YC 处理中氮磷钾以复合肥的形式一次性施入到土壤中,采用吉林省升华公司生产的六颗星牌高氮复合肥(N-28%,  $P_2O_5$ -15%,  $K_2O$ -10%),施用量为  $500\text{ kg/hm}^2$ 。

每个处理重复 3 次,随机区组排列。小区面积  $40\text{ m}^2$  ( $4\text{ m} \times 10\text{ m}$ )。供试玉米品种均采用当地主栽品种,2004 年为吉单 209,2005 年为四密 21。2004-04-27 播种,10-03 收获;2005-05-04 播种,10-07 收获。播种时坐水种植,各处理田间管理措施同当地大田管理。

表 1 玉米不同施肥处理下的氮磷钾肥施用量

Table 1 Dose of fertilizer N, P, K application in different fertilization treatments

试验处理 Treatment	肥料施用量/( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) The rate of fertilizer		
	N	$P_2O_5$	$K_2O$
CK	0	81	50
Opt	190	81	50
Tra	206	45	45
YC	140	75	50

### 1.3 样品采集与分析方法

每年播种前和收获后在每小区分别取 0~30, 30~60, 60~90 cm 土层的土壤样品,每小区取 2 钻,等层混合,放入冰盒,带回实验室过孔径 4 mm 筛,采用  $0.01\text{ mol/L CaCl}_2$  浸提,TRACCS2000 型连续流动分析仪测定土壤铵态氮与硝态氮含量。

收获时小区产量采用常规方法测定;成熟期每小区取代表性植株 5 株,分为秸秆和籽粒,分别称其鲜质量,烘干后称其干质量,然后全部粉碎,用四分法取出分析样,采用凯氏定氮法测定秸秆及籽粒中含氮量。

### 1.4 数据处理与计算方法

生育期土壤氮素净矿化量 = 不施氮肥区作物吸氮量 + 不施氮肥区土壤残留无机氮含量( $N_{\min}$ ) -

不施氮肥区土壤起始无机氮含量( $N_{\min}$ );

生育期土壤氮素表观损失 = 生育期施氮量 + 土壤起始无机氮含量( $N_{\min}$ ) + 土壤氮素净矿化量 - 作物携出无机氮量 - 收获后土壤残留无机氮含量( $N_{\min}$ );

氮肥表观残留率/% = (施氮区土壤残留  $N_{\min}$  - 无氮区土壤残留  $N_{\min}$ ) / 施氮量)  $\times 100\%$ ;

氮肥表观损失率/% =  $100 - \text{氮肥表观利用率} - \text{氮肥表观残留率}$ ;

氮素利用率( $RE_N$ )/% =  $((U_N - U_0) / F_N) \times 100\%$ ;

氮素生理利用率( $PE_N$ )/( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) =  $(Y_N - Y_0) / (U_N - U_0)$ ;

氮素农学利用率( $AE_N$ )/( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) =  $(Y_N - Y_0) / F_N$ ;

氮素偏生产力( $PFP_N$ )/( $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) =  $Y_N / F_N$ 。

式中: $Y_0$ 、 $U_0$  分别为不施氮处理玉米籽粒产量和氮素吸收量; $Y_N$ 、 $U_N$  代表施氮处理玉米籽粒产量和氮素吸收量; $F_N$  代表施氮处理氮肥用量。

所有数据均采用 Excel 处理后,用 SAS 软件进行系统分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥方式对玉米产量、生物量和吸氮量的影响

从 2004 年和 2005 年 2 年的试验结果(表 2)可知,与对照相比,不同施肥处理显著增加玉米的产量、生物量和吸氮量。2004 年,玉米产量以 Opt 处理的最高,为  $5\ 938\text{ kg/hm}^2$ ,但与 Tra 和 YC 处理差异不显著;生物量和吸氮量则以 YC 处理的最高,分别达到  $13\ 641$  和  $171.8\text{ kg/hm}^2$ ,且处理间差异显著。2005 年连作后,各处理玉米产量均较 2004 年有所降低,YC 处理 2005 年的玉米产量、生物量和吸氮量较 2004 年分别下降了 40.6%, 54.2% 和 55.6%;这是由于 2005 年试验区降雨量较大,YC 处理前期施入的氮肥都被淋洗到下层,导致后期供氮不足、籽粒不能正常灌浆而使产量下降。

### 2.2 不同施肥方式对玉米氮素效率的影响

2004 年,各施肥处理中  $RE_N$ 、 $AE_N$  和  $PFP_N$  均以 YC 处理最高,而 2005 年则大幅下降,其中  $RE_N$  下降幅度高达 70.0%,  $AE_N$  和  $PFP_N$  下降幅度分别为 53.1% 和 32.3%;这主要是由于 2005 年 6 月上旬至 7 月上旬乾安县有 3 次较大的降雨,总降雨量达  $223.9\text{ mm}$ ,使得土壤中的氮素大量淋失引起的。

与 2004 年相比,2005 年 Opt 处理的  $RE_N$  减小,降幅为 7.5%;而  $PE_N$  和  $AE_N$  均明显增高,增幅分别为 66.0%和 50.5%。2005 年,3 种施肥处理相比,均以 Opt 处理的  $RE_N$ 、 $PE_N$ 、 $AE_N$ 、 $PFP_N$  最高;除

$PE_N$  外,Tra 处理的  $RE_N$ 、 $AE_N$ 、 $PFP_N$  均较 2004 年有所下降,下降幅度分别为 20.5%、3.3%和 16.0%。

表 2 不同施肥方式对玉米产量、生物量、吸氮量及氮素效率的影响

Table 2 Effect of different fertilization modes on Yield,biomass,N uptake and N efficiency

年份 Year	处理 Treatment	产量(干质量) /(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield (Dry matter)	生物量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) Biomass	吸氮量/ (kg·hm <sup>-2</sup> ) N uptake	$RE_N$ /%	$PE_N$ / (kg·kg <sup>-1</sup> )	$AE_N$ / (kg·kg <sup>-1</sup> )	$PFP_N$ / (kg·kg <sup>-1</sup> )
2004	CK	4 083 b	8 999 c	57.4 c	—	—	—	—
	Opt	5 938 a	11 161 b	149.7 ab	56.3	18.8	10.1	31.6
	Tra	5 851 a	11 466 b	131.5 b	37.6	24.3	9.1	28.1
	YC	5 867 a	13 641 a	171.8 a	81.7	17.7	14.7	43.9
2005	CK	3 183 c	5 574 b	51.1 d	—	—	—	—
	Opt	5 705 a	10 441 a	150.1 a	52.1	31.2	15.2	31.9
	Tra	5 082 ab	9 919 a	115.4 b	29.9	30.2	8.8	23.6
	YC	3 483 bc	6 247 b	76.3 c	27.0	17.4	6.9	29.7

注:同列数据后标不同字母者表示达到 5%的差异显著水平(LSD 检验)。

Note:In the same column,different letters mean significant difference according to LSD test( $P=0.05$ ).

### 2.3 不同施肥方式对玉米收获后土壤剖面铵态氮和硝态氮累积量的影响

2004 和 2005 年玉米收获后,土壤中无机氮的测定结果见表 3。从表 3 可以看出,2 年土壤铵态氮的累积量均较低,除 CK 外,其他 3 种施肥方式下 0~90 cm 土层土壤铵态氮含量仅占土壤无机氮总量的 15.2%~27.2%,但各处理 0~90 cm 土层的土壤铵态氮含量均无显著差异,说明在半干旱地区土壤中,玉米收获后土壤铵态氮含量受施肥方式影响较小。从表 3 还可以看出,与对照相比,施氮后显著增加了 0~90 cm 土层中硝态氮的累积量。在 2004 年收获后,各施肥处理 60~90 cm 土层中硝态氮累积量占 0~90 cm 土层硝态氮含量的 10.7%~21.2%,2005

年则上升到 16.1%~52.4%,由于 2005 年降雨量较大,导致土壤矿化量增加,所以各处理 0~90 cm 土层硝态氮累积量均高于 2004 年。另外,2005 年除 CK 处理 60~90 cm 土层硝态氮累积量占 0~90 cm 土层硝态氮含量的 16.1%,其余 3 个处理均超过 30%,可见硝态氮明显下移。各处理间比较,2 年试验结果均以 Tra 处理下 0~90 cm 土层硝态氮含量最高,2005 年收获后其硝态氮累积量已达到 235.5 kg/hm<sup>2</sup>,显著高于其他 3 个处理。YC 处理 0~90 cm 土层硝态氮累积量也由 2004 年的 88.1 kg/hm<sup>2</sup> 上升到 2005 年的 153.1 kg/hm<sup>2</sup>,增加幅度达 73.8%。

表 3 玉米收获后不同施肥方式对 0~90 cm 土层铵态氮和硝态氮累积量的影响

Table 3 Effect of different fertilization modes on  $NH_4^+$ -N and  $NO_3^-$ -N accumulation in 0-90 cm soil after harvest

年份 Year	处理 Treatment	铵态氮 Ammonium-N			硝态氮 Nitrate-N		
		0~30 cm	30~60 cm	60~90 cm	0~30 cm	30~60 cm	60~90 cm
2004	CK	7.7	10.2	9.5	6.9	3.0	1.2
	Opt	8.4	10.2	10.0	37.5	29.3	9.6
	Tra	10.6	9.3	10.5	30.4	66.5	21.4
	YC	7.3	8.0	9.0	10.9	58.5	18.7
2005	CK	8.5	7.8	10.2	17.1	13.0	5.8
	Opt	11.2	10.8	10.2	39.1	39.0	50.4
	Tra	10.2	18.6	13.6	69.3	83.4	82.8
	YC	11.8	14.0	11.5	32.1	40.7	80.3

### 2.4 玉米连作体系的氮素平衡

从 2 年玉米连作体系的土壤氮素平衡结果(表 4)来看,在氮总输入量中,施氮量、播前  $N_{min}$  起着主

要作用,且随着施氮量的增加而增加;氮素表观损失量以 Opt 处理最高,残留量以 Tra 处理最高,达到 278 kg/hm<sup>2</sup>,其表观残留率达到了 50.2%。YC 处理

在 2004 年收获后,0~90 cm 土壤中残留的  $N_{\min}$  为 98 kg/hm<sup>2</sup>,而在 2005 年收获后其残留  $N_{\min}$  达 201 kg/hm<sup>2</sup>;这主要是由于 2005 年降雨量增加,特别是 6~7 月份的降雨量增加,施入的氮素被淋洗到土壤下层,作物未能吸收,导致残留量增加。在输出项中,各施肥方式下的作物吸氮量明显高于对照,但不同处理下的作物吸氮量并不随其氮肥投入的增加而增加。在 2004 年的试验中,Tra 处理的施氮量最多

(215 kg/hm<sup>2</sup>),但其作物吸收的量却低于 Opt 和 YC 施肥处理。在 2 年的连作体系中,Tra 处理氮肥的表现利用率也明显低于 Opt 和 YC 施肥处理,只有 32.3%,而 Opt 和 YC 施肥处理均达到了 50%;此外,由 2 年的玉米连作结果可以看出,Opt 处理下的作物吸氮量最高,为 300 kg/hm<sup>2</sup>,且 0~90 cm 土层残留  $N_{\min}$  显著低于 Tra 和 YC 施肥处理。

表 4 玉米连作体系的氮素平衡

Tabel 4 Nitrogen balance in maize succession system

kg/hm<sup>2</sup>

年份 Year	项目 Item	指标 Index	CK	Opt	YC	Tra
2004	氮输入 Nitrogen input	施氮量 Nitrogen fertilizer rate	0	190	140	215
		播前 $N_{\min}$ $N_{\min}$ before sowing	86	86	86	86
		矿化氮 Net mineralization N	13	13	13	13
	氮输出 Nitrogen output	总输入 Total input	98	288	238	313
		作物吸收 N 素量 Crop uptake	57	150	172	131
		N 素残留量 $N_{\min}$ Residual $N_{\min}$	41	121	98	155
		N 素表观损失 Apparent losses N	0	18	-32	27
	氮盈余 Nitrogen surplus	41	139	66	182	
2005	氮输入 Nitrogen input	施氮量 Nitrogen fertilizer rate	0	190	140	215
		播前 $N_{\min}$ $N_{\min}$ before sowing	90	111	165	120
		矿化氮 Net mineralization N	24	24	24	24
	氮输出 Nitrogen output	总输入 Total input	114	325	328	359
		作物吸收 N 素量 Crop uptake	51	150	76	115
		N 素残留量 $N_{\min}$ Residual $N_{\min}$	62	161	201	278
		N 素表观损失 Apparent losses N	0	14	51	-35
	氮盈余 Nitrogen surplus	62	175	252	243	
2004~2005 (合计 Total)	氮输入 Nitrogen input	施氮量 Nitrogen fertilizer rate	0	380	280	430
		播前 $N_{\min}$ $N_{\min}$ before sowing	86	86	86	86
		矿化氮 Net mineralization N	37	37	37	37
	氮输出 Nitrogen output	总输入 Total input	123	503	403	553
		作物吸收 N 素量 Crop uptake	108	300	248	247
		N 素残留量 $N_{\min}$ Residual $N_{\min}$	62	161	201	278
		N 素表观损失 Apparent losses N	-48	43	-46	28
	氮盈余 Nitrogen surplus	15	203	155	306	
2004~2005 (合计 Total)	氮素表观利用率/% Apparent N recovery by crop		50.5	50.0	32.3	
	氮素表观残留率/% Apparent N recovery by soil		26.0	49.5	50.2	
	氮素表观损失率/% Apparent N loss ratio		23.6	0.4	17.5	

### 3 讨 论

2004~2005 年,本试验研究了不同施肥方式(推荐施肥、农民习惯施肥、一次性施肥)对玉米产量、吸氮量及氮素效率的影响,同时对吉林半干旱地区玉米种植区的土壤氮素平衡与运转情况进行了评价。从氮肥施用的方式来看,这几种施肥方式的差异主要表现在基施氮肥的用量及氮肥的施用时期不同。2 年田间条件下玉米产量对施肥方式的反应结果表明,一次性施肥处理的玉米产量受气候因素影响较大,年际变异达 40.6%。2005 年降雨量增加导致基施氮素中有 73% 未被作物吸收,大部分氮素随

降水进入土壤深层,脱离根区,造成植株后期脱氮,籽粒无法正常灌浆。同时,一次性施肥处理土壤中残留  $N_{\min}$  增加,2004 年收获后土壤残留  $N_{\min}$  为 98 kg/hm<sup>2</sup>,而 2005 年残留  $N_{\min}$  增加了 1 倍多,达到 201 kg/hm<sup>2</sup>。虽然土壤中无机氮的适当残留有利于下季作物的吸收利用,但残留量不宜超过 100 kg/hm<sup>2</sup>[11]。

Jemison 等[12] 研究发现,收获后土壤中硝态氮的累积量与土壤溶液中的硝态氮含量呈正相关关系。所以将收获后土壤中残留的硝态氮控制在一定范围,是兼顾产量和环境的一个重要指标[1]。欧盟

在不追求高产的条件下,从环境友好的角度出发,将其定为  $90 \text{ kg/hm}^2$ <sup>[13]</sup>;但钟茜等<sup>[1]</sup>认为,这个指标有悖于我国兼顾高产的国情,并从获得最高产量和考虑环境保护的角度出发,将土壤残留氮限定在  $150 \text{ kg/hm}^2$  左右。从本试验结果可以看出,在 2005 年收获后,农民习惯施肥和一次性施肥处理下,  $0\sim 90 \text{ cm}$  土层土壤残留硝态氮分别为  $235.5 \text{ kg/hm}^2$  和  $153.1 \text{ kg/hm}^2$ ,均超过了  $150 \text{ kg/hm}^2$ ,且农民习惯施肥处理下土壤残留氮较限定值高出 57%,同时作物对氮素利用率降低,这主要是由于农民习惯施肥处理基肥用量过高所致。刘学军等<sup>[8]</sup>研究表明,氮肥基肥用量不宜超过  $75 \text{ kg/hm}^2$ ,否则即可引起土壤氮残留的显著增加,这与本试验结果一致。但是从氮素平衡的角度来看,农民习惯施肥处理下氮素表观损失只有  $28 \text{ kg/hm}^2$ ,且其他处理下氮素表观损失在  $-48\sim 43 \text{ kg/hm}^2$ 。表明施氮量增加并未引起表观损失率的提高<sup>[2]</sup>。

许多国家(尤其是西欧)自 20 世纪 80 年代以来,开始全面推广应用土壤无机氮( $N_{\min}$ )测试技术来推荐施用氮肥<sup>[14]</sup>。本试验中推荐施肥处理下的玉米产量、生物量和吸氮量在年际间变幅较小,仅为  $0.3\%\sim 6.5\%$ ,同时氮肥利用率( $RE_N$ )均保持在 50%以上;2005 年收获后,  $0\sim 90 \text{ cm}$  土层硝态氮含量为  $128.5 \text{ kg/hm}^2$ ,对环境来说是安全的,并且 2004 年和 2005 年的玉米产量均高于其他处理,可以满足农户对产量的要求。

综合以上分析可知,在吉林省西部半干旱地区,由于氮肥施用方式的不合理,导致土壤中无机氮残留量高,这不仅不会被下季作物吸收利用,反而增加了氮素的损失,对该地区的生态环境造成了一定威胁。

## [参考文献]

- [1] 钟茜,巨晓棠,张福锁. 华北平原冬小麦/夏玉米轮作体系对氮素环境承受力分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 285-293.  
Zhong Q, Ju X T, Zhang F S. Analysis of environmental endurance of winter wheat/summer maize rotation system to nitrogen in North China Plain [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(3): 285-293. (in Chinese)
- [2] 王西娜,王朝辉,李生秀. 黄土高原旱地冬小麦/夏玉米轮作体系土壤的氮素平衡 [J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(6): 759-764.  
Wang X N, Wang Z H, Li S X. Soil nitrogen balance in winter wheat and summer maize rotation system on dryland of Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(6): 759-764. (in Chinese)
- [3] 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.  
Lu D Q, Tong Y A, Sun B H, et al. Study on effect of nitrogen fertilizer use on environment pollution [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 8-15. (in Chinese)
- [4] 李世清,李生秀. 半干旱农田生态系统的硝酸盐淋溶损失 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(2): 240-242.  
Li S Q, Li S X. Leaching loss of nitrate from semiarid area agroecosystem [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2): 240-242. (in Chinese)
- [5] Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, et al. Nitrate pollution of groundwater in Northern China [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1996, 59: 223-231.
- [6] Mosier A R, Zhu Z L. Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequences for  $N_2O$  emissions from agricultural systems [J]. Nutr Cyc in Agroecosystems, 2000, 57: 107-117.
- [7] Li Y E, Liu E D. Emissions of  $N_2O$ ,  $NH_3$  and  $NO_x$  from fuel combustion, industrial processes and the agricultural sectors in China [J]. Nutr Cyc in Agroecosystems, 2000, 57: 99-106.
- [8] 刘学军,巨晓棠,张福锁. 基施尿素对土壤剖面中无机氮动态的影响 [J]. 中国农业大学学报, 2001, 6(5): 63-68.  
Liu X J, Ju X T, Zhang F S. Effect of basal application of urea on inorganic nitrogen soil profile [J]. Journal of China Agricultural University, 2001, 6(5): 63-68. (in Chinese)
- [9] 刘学军,赵紫娟,巨晓棠,等. 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响 [J]. 生态学报, 2002, 22(7): 1122-1128.  
Liu X J, Zhao Z J, Ju X T, et al. Effect of N application as basal fertilizer on grain yield of winter wheat, fertilizer N recovery and N balance [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(7): 1122-1128. (in Chinese)
- [10] 吉林统计局. 吉林统计年鉴/2007 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008: 235-238.  
Jilin Statistical Bureau. Jilin statistical yearbook/2007 [M]. Beijing, China Statistics Press, 2008: 235-238. (in Chinese)
- [11] 刘学军,巨晓棠,潘家荣,等. 冬小麦-夏玉米轮作中的氮素平衡与损失途径 [J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 228-237.  
Liu X J, Ju X T, Pan J R, et al. Nitrogen balance and apparent loss in winter wheat and summer maize rotation system [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39 (Supplement): 228-237. (in Chinese)
- [12] Jemison J M, Fox R H. Nitrate leaching from nitrogen fertilized and manured corn measured with zero-tension pan lysimeters [J]. Journal of Environmental Quality, 1994, 7: 258-261.
- [13] Hofma G. Nutrient management legislation in European countries [R]. NUMALEC Report, 1999, Concerted Action, Fair 6-C98-4215.
- [14] Wehrmann J, Scharpf H C. The  $N_{\min}$ -method: an aid to integrating various objectives of nitrogen fertilization [J]. Z Pflanzenernaehr Bodenkd, 1986, 149(3): 428-440.