

春玉米化学氮肥投入阈值研究

官 亮, 邢月华, 隽英华, 刘 艳, 孙文涛

(辽宁省农业科学院植物营养与环境资源研究所, 沈阳 110161)

摘 要: 通过田间试验, 研究不同氮素水平(0、150、200、250、300、400 kg/hm²)对春玉米植株地上部分吸氮量、农田矿质氮平衡和玉米产量的影响。结果表明, 土壤中矿质氮随土层深度的增加逐渐降低, 硝态氮在 20~40 cm 和 100~120 cm 各有 1 个积累峰值。在 0~40 cm 土层深度内, N0 和 N150 处理铵态氮含量低于其他处理。当施氮量 < 264.16 kg/hm² 时, 玉米植株吸氮量与施氮量呈正相关; 当施氮量 ≥ 264.16 kg/hm² 时, 施氮量对玉米植株吸氮量增加不显著 ($p < 0.01$)。0~120 cm 土壤氮素表观损失量和施氮量呈正相关, 当施氮量 < 221.36 kg/hm² 时, 氮肥供应不足。本试验条件下, 化学氮肥施用阈值为 221.36~264.16 kg/hm², 最高产量施氮量为 252.93 kg/hm²。

关键词: 玉米; 氮素; 矿质氮平衡; 植株吸氮量

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Threshold of Chemical Nitrogen Fertilizer Input to Spring Maize

GONG Liang, XING Yue-hua, JUAN Ying-hua, LIU Yan, SUN Wen-tao

(Institute of Plant Nutrition and Environmental Resources,

Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: The field experiment was conducted to investigate effects of nitrogen application on spring maize in yield, crop nitrogen uptake and mineral nitrogen(N min) balance, that designed to 6 levels of nitrogen application rates(0, 150, 200, 250, 300 and 400 kg/ha). The results showed that, N min content with increasing soil depth was gradually reduced, which ammonium nitrogen(NH₄⁺-N) and nitrate nitrogen(NO₃⁻-N) had two peaks in the soil depth of 20-40 cm and 100-120 cm, respectively. N0 and N150 treatment NH₄⁺-N content was lower than the others on the soil depth of 0-40 cm. There was positive correlation between the crop nitrogen uptake and nitrogen fertilizer application < 264.16 kg/ha ($p < 0.01$), there was not significant while N application ≥ 264.16 kg/ha. There was positive correlation between the apparent nitrogen loss and N application in the soil depth of 0 - 120 cm, namely, nitrogen fertilizer was short supply in field when N application < 221.36 kg/ha. In conclusion, a reasonable nitrogen application rate should be about 221.36-264.16 kg/ha, nitrogen application rate of the highest yield was 252.93 kg/ha.

Key words: Maize; Nitrogen; Mineral nitrogen balance; Crop nitrogen uptake

施用化肥作为最快、最有效的增产措施已被世界农业发展的实践所证实。化肥对我国粮食增长的贡献率约为 46.3%^[1]。我国从 70 年代末开始使用化

肥, 到 2005 年我国化肥消费总量超过 4 766 万 t, 单位土地面积肥料投入量远高于世界平均水平。研究表明, 2001~2005 年我国玉米氮肥利用率平均只有 26.1%, 过量使用氮肥导致主要农田每年氮素盈余保持在 24~35 kg/hm², 土壤 pH 值较 20 年前下降 0.5 个单位, 大气活性氮污染已引起全球普遍关注^[2~7], 粮食安全和环境安全的矛盾日益突出。但从我国国情来看, 不能采用降低粮食产量以控制氮肥总用量的方法, 因此, 研究既能保证作物产量又能在最大限度上减轻环境压力的氮肥施用量是农业生产的重点。

已有研究主要集中在氮肥施用的农学效应方面^[8,9], 有关环境效应方面的研究较少。本文通过对

收稿日期: 2015-06-19

基金项目: 农业部行业专项经费项目“主要农区农业面源污染监测预警与氮磷投入阈值研究”(201003014-4)、科技部科技支撑计划“环渤海辽宁增粮技术集成与示范”(2013BAD05B07-02)

作者简介: 官 亮(1981-), 男, 辽宁本溪人, 硕士, 副研究员, 主要从事植物营养与环境研究工作。

E-mail: gongliang1900@sina.com

孙文涛为本文通讯作者。E-mail: wentaow@163.com

春玉米氮素吸收利用、矿质氮平衡开展研究,探讨东北地区春玉米生产合理氮肥投入阈值,为提高玉米产量、降低环境污染风险、合理施氮提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验地点位于辽宁省昌图县老城镇(42°46'33" N, 123°57'39" E),属于中温带亚湿润季风大陆性气候,年均日照时数2 775.5 h,作物生长期有效日照时数1 748.8 h。年平均降雨607.8 mm,年平均气温7.0℃,无霜期148 d。供试土壤为黄土母质发育的棕壤,0~20 cm土壤的理化性质为pH值为6.1、有机质18.5 g/kg、全氮1.23 g/kg、全磷1.08 g/kg、全钾13.8 g/kg、碱解氮114.0 mg/kg、有效磷18.2 mg/kg、速效钾156.0 mg/kg。播前测定0~200 cm土层硝态氮和铵态氮含量,每20 cm为1个层次,硝态氮分别为7.66、6.10、6.01、3.65、3.11、6.15、3.89、4.30、3.48、2.67 mg/kg,铵态氮含量分别为4.49、4.75、3.14、2.92、2.93、3.25、2.55、1.75、0.92和0.64 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置0、150、200、250、300和400 kg/hm²共6个氮肥用量水平,分别用N0、N150、N200、N250、N300和N400表示,随机区组排列,3次重复。各处理磷肥(磷酸二铵)、钾肥(氯化钾)施用量相同,分别为P₂O₅ 90 kg/hm²和K₂O 90 kg/hm²。50%氮肥和全部磷钾肥以基肥形式施入,剩余氮肥于玉米大喇叭口期追肥。试验小区面积为50 m²。玉米品种为当地主栽品种铁研120,种植密度为45 000株/hm²。

1.3 样品采集与分析

播种前和收获后每小区随机采取3点土壤样品,采样深度200 cm,每20 cm为1层,同层次的土壤混合为1个土样。用烘干法测定新鲜土壤水分含

量,用连续流动分析仪测定新鲜土壤样本NO₃⁻-N和NH₄⁺-N含量。收获时测定各小区玉米生物产量,选取具有代表性的5穗玉米和5株秸秆用烘干法测定含水量,用半微量凯氏法分别测定茎、叶、子粒和穗轴全氮含量。

1.4 数据处理

根据氮素平衡模型计算氮的表观损失量^[10]。不考虑降大气沉降、微生物固定和灌溉等因素输入的氮素,仅把化肥施入氮素和土壤矿化氮作为氮素输入来源。土壤矿化氮的计算不考虑氮肥激发效应,假设施氮处理与不施氮处理土壤氮矿化量相同。氮肥输出仅考虑作物吸收氮素,不考虑挥发和淋溶等因素损失的氮素。

(1)土壤氮素净矿化量=不施氮处理作物吸氮量+不施氮处理土壤残留矿化氮-不施氮处理土壤起始矿化氮;

(2)土壤氮素表观损失量=生育期施氮量+土壤起始矿化氮+土壤氮素净矿化量-作物携出量-收获后土壤残留矿化氮;

(3)土壤剖面中各土层矿质氮(硝态氮或铵态氮)累积量=d×Pb×C×0.1。

式中,d为土层厚度(20 cm),Pb为土壤容重(g/cm³),C为土壤中硝态氮或铵态氮含量(N,mg/kg),0.1为换算系数。

剖面矿质氮累积量为各层硝态氮和铵态氮累积量之和。0~20 cm土层容重为1.25 g/cm³,21~40 cm土层容重为1.36 g/cm³,下层土层容重为1.45 g/cm³。

试验数据均采用Microsoft Excel 2003软件进行处理,采用SAS 9.1软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤剖面中矿质氮分布

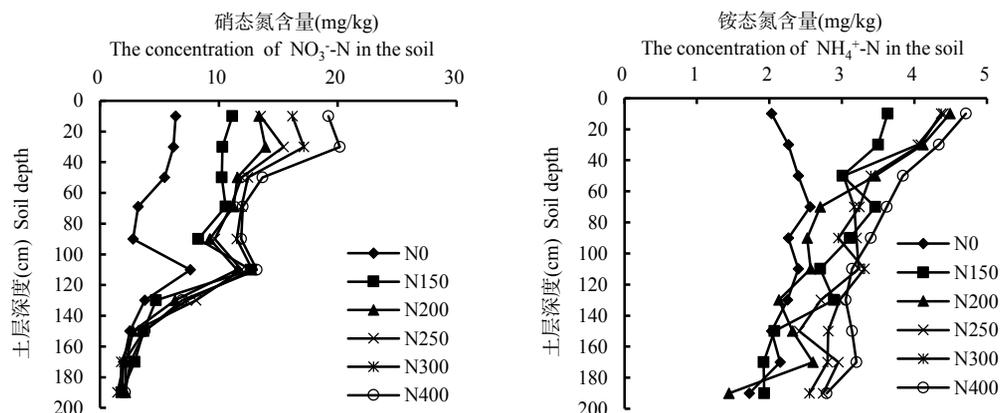


图1 0~200 cm土壤剖面中硝态氮、铵态氮分布

Fig.1 The NO₃⁻-N and NH₄⁺-N concentrations in soils of 0-200 cm

玉米收获后0~200 cm土壤剖面中矿质氮分布见图1。由图1可知,0~80 cm深度各土层中N200、N250、N300和N400处理硝态氮含量均高于N0和N150两个减氮处理,且在40 cm深度处出现一个峰值,之后随着深度的增加硝态氮含量逐渐降低;N300和N400两个处理在81~100 cm处硝态氮含量明显高于其他处理。不同处理在101~120 cm深度处都出现第2个硝态氮积累峰值;121~200 cm土层中的硝态氮含量随深度增加呈现逐渐下降的趋势,各处理变化规律一致且处理间差异不明显。

铵态氮含量随土层加深逐渐降低,各处理间比较,N0处理在0~60 cm土层深度内及N150处理在0~40 cm土层深度内铵态氮含量低于其他处理;61~200 cm土层深度,各处理间铵态氮含量差异不

明显。

土壤剖面中矿质氮残留量受施氮量、施氮时期、土壤类型及降雨量等因素影响。已有研究表明^[11,12],施氮是导致土壤硝态氮累积的主要原因。攀军等^[13]研究发现,连续多年施用氮肥,土壤剖面中残留矿质氮累计增加。铵态氮易被土壤胶粒吸附而很难被淋洗是造成60 cm土层以下各处理铵态氮含量差异不明显的主要原因。

2.2 土壤氮素平衡

在120 cm深度以下,各处理土壤无机氮残留量差异不明显,并且玉米根系最深为1.2 m,因此,计算0~120 cm土壤在春玉米整个生育期矿质氮表观平衡(表1)。试验地块肥力均一,播种前土壤中矿质氮量相同,玉米生育期内土壤净矿化氮量相同。

表1 春玉米全生育期矿质氮平衡

Table 1 Mineral N balance during the growth period of spring crop

kg/hm²

处 理 Treatment	生育期氮投入 Available N input at growing stage			收获后氮支出 Available N expend after harvesting		
	施氮量 N application rate	播前矿质氮 N _{min} before sowing	净矿化氮 N net mineralization	作物吸收 N uptake by crop	残留矿质氮 Residual N _{min}	表观损失氮 N apparent loss
	N0	0	150.24	57.85	91.08 A	117.01
N150	150	150.24	57.85	148.60 B	231.18	-21.69
N200	200	150.24	57.85	173.71 C	252.61	-18.23
N250	250	150.24	57.85	191.95 D	263.35	2.79
N300	300	150.24	57.85	191.78 D	280.48	35.84
N400	400	150.24	57.85	203.77 D	304.46	99.85

注:同列中不同字母表示差异达显著水平($p < 0.01$)。下表同。-表示作物吸氮量大于生育期氮投入。

Note: Values with the different lowercase letters in the same column mean significant difference ($p < 0.01$). The same below. - represents that compared with uptake N by crop, total available N is lack.

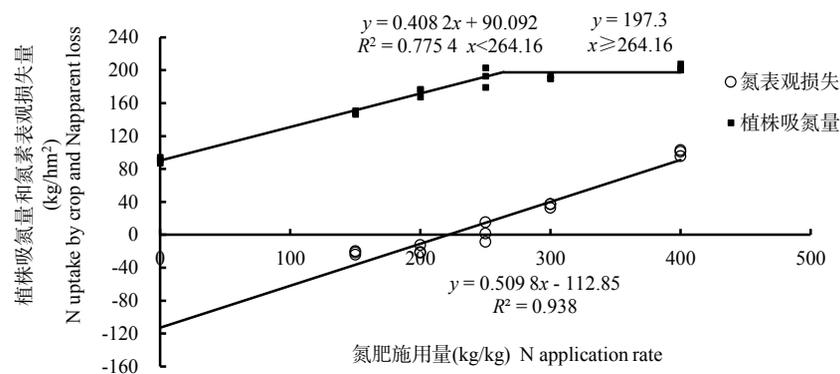


图2 植株吸氮量和氮素表观损失量与施氮量之间关系拟合

Fig. 2 Simulation of the relationship between N uptake by crop and N apparent loss and N application rate

氮支出项中,作物吸氮量与施氮量符合线性加平台的相关性(图2)。当施氮量 < 264.16 kg/hm²时,其线性回归方程为 $Y = 0.4082X + 90.092$ ($R^2 = 0.7754$),作物吸氮量与施氮量呈线性相关;当施氮量 \geq

264.16 kg/hm²时,其回归方程为 $Y = 197.3$ ($R^2 = 0.7754$),此时,随着施氮量的增加,作物吸氮量增加不显著 ($p < 0.01$)。

N0处理土壤矿质氮残留量低于播种前土壤矿

质氮含量,说明土壤中盈余的氮素可被后季作物吸收利用,因此,计算氮肥施用量时有必要考虑土壤自身供氮能力,减少氮素残留的同时也要尽量避免作物耗竭土壤氮库;其他处理土壤矿质氮残留量随施氮量增加而增加。氮素表观损失量和施氮量呈线性相关,其线性回归方程为 $Y=0.5098X-112.85(R^2=0.938)$,当氮肥施用量为 221.36 kg/hm^2 时,氮肥表观损失量为0;当施肥量小于 221.36 kg/hm^2 时,由于氮肥供应不足,氮素表观损失量为负值;当氮肥施用量为 $221.36\sim 264.16\text{ kg/hm}^2$ 时,氮素处于最小表观损失量和最大作物吸收量之间,既能满足作物生长,又

能减少氮素损失,可作为试验区氮肥合理投入范围。

2.3 玉米产量

玉米收获后将小区产量折合成公顷产量,进行方差分析(表2)。N250、N300和N400处理产量差异不显著,但显著高于N200、N150和N0处理($p<0.05$)。用线性加平台模型对施氮量与产量进行拟合,当施氮量 $x<252.93\text{ kg/hm}^2$ 时,施氮量与产量呈线性相关,其方程为 $y=22.383x+4930.6$;当施氮量 $x\geq 252.93\text{ kg/hm}^2$, $y=10592.07$,施氮增产效果不显著。因此,最佳产量施氮量为 252.93 kg/hm^2 (图3)。

表2 不同施氮水平春玉米产量

Table 2 Grain yield of spring maize as affected by N application rate

处 理 Treatment	多重比较 Multiple comparisons(Duncan)			方差分析 Analysis of variance			
	平均值 Average	显著水准 Significance level		变异来源 Variation source	自由度 df	F值 F value	p值 p value
		5%	1%				
N0	4 970.01	a	A	处理间	5	111.942*	0.000
N150	8 271.53	b	B	重复间	2	2.047	0.180
N200	9 443.28	c	C	误 差	10		
N250	10 267.58	d	CD	总变异	18		
N300	10 512.99	d	D				
N400	10 371.13	d	D				

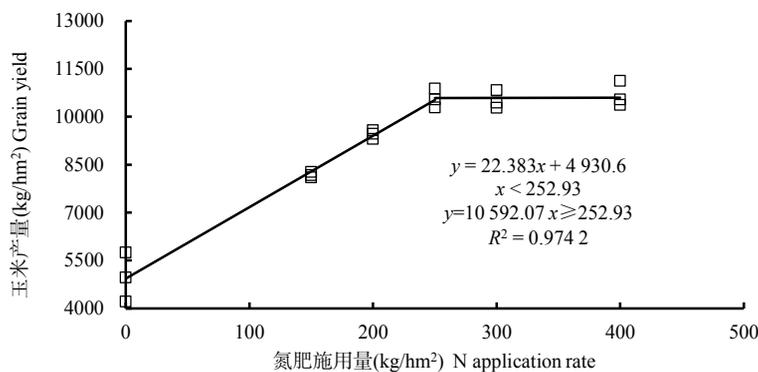


图3 氮肥施用量与玉米产量的关系

Fig.3 Relationship between N application rate and grain yield

3 结 论

施氮水平明显影响0~120 cm土壤剖面中矿质氮分布。过量施用氮肥,不但导致土壤剖面中硝态氮累计峰值在21~40 cm和81~100 cm较浅层次出现,而且提高了0~40 cm土层中铵态氮含量。当施氮量小于 264.16 kg/hm^2 时,作物吸氮量随和施氮量呈正相关,此后,随着施氮量的增加,作物吸氮量增

加不显著($p<0.01$)。氮素表观损失量和施氮量呈正相关,当氮肥施用量小于 221.36 kg/hm^2 时,氮素表观损失量为负值,作物可能对土壤氮库进行耗竭。试验区氮肥合理投入范围为 $221.36\sim 264.16\text{ kg/hm}^2$,最高产量施氮量为 252.93 kg/hm^2 。

参考文献:

- [1] 彭琳. 中国化肥施用粮食生产的进程、前景与布局[J]. 农业现代化研究, 2000, 21(1): 14-18.

- Peng L. Progressive process, prospects and distribution of fertilizer use and grain production in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2000, 21(1): 14-18. (in Chinese)
- [2] 张福锁,王激清,张卫峰,等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement [J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [3] 王志勇,红 梅,杨殿林,等. 供氮水平和有机无机配施对夏玉米产量及土壤硝态氮的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(6): 11-14.
Wang Z Y, Hong M, Yang D L, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate and combined application of organic manure and chemical fertilizer on yield in summer maize and on soil NO_3^- -N[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008 (6): 11-14. (in Chinese)
- [4] Ju X T, Xing G X, Chen X P, et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems [J]. PNAS, 2009, 106(9): 1-7.
- [5] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327: 1008.
- [6] 张福锁,巨晓棠. 对我国持续农业发展中氮肥管理与环境问题的几点认识[J]. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 41-55.
Zhang F S, Ju X T. Discussion on nitrogen management and environment in agro-ecosystems of sustained development of agriculture[J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(S): 41-55. (in Chinese)
- [7] Rabalais N. Nitrogen in aquatic ecosystems[J]. Ambio, 2002, 31: 102-112.
- [8] 赵 营,同延安,赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006(2): 30-33.
Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effect of different N rates on yield of summer maize, fertilizer recovery and N balance[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2006(2): 30-33. (in Chinese)
- [9] 王西娜,王朝辉,李生秀. 施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(1): 197-204.
Wang X N, Wang Z H, Li S X. The effect of nitrogen fertilizer rate on summer maize yield and soil water-nitrogen dynamic[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 197-204. (in Chinese)
- [10] 张树兰,同延安,梁东丽,等. 氮肥用量及施用时间对土体中硝态氮移动的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(2): 270-276.
Zhang S L, Tong Y A, Liang D L, et al. Nitrate-N movement in the soil profile as influenced by rate and timing of nitrogen application [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 270-276. (in Chinese)
- [11] 高亚军,李生秀,李世清,等. 施肥与灌水对硝态氮在土壤中残留的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 61-64.
Gao Y J, Li S X, Li S Q, et al. Effect of fertilization and irrigation on residual nitrate N in soil[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2005, 19(6): 61-64. (in Chinese)
- [12] 栗 丽,洪坚平,王宏庭,等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1358-1365.
Li L, Hong J P, Wang H T, et al. Effects of nitrogen application and irrigation on soil nitrate accumulation, nitrogen balance and use efficiency in summer maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(6): 1358-1365. (in Chinese)
- [13] 樊 军,邵明安,郝明德,等. 黄土旱塬塬面生态系统土壤硝酸盐累积分布特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 8-11.
Fan J, Shao M A, Hao M D, et al. Nitrate accumulation and distribution in soil profiles in ecosystem of upland on the Loess Plateau [J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 2005, 11(1): 8-11. (in Chinese)

(责任编辑:高 阳)