

文章编号:1005—0906(2011)05—0119—05

施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响

孙占祥, 邹晓锦, 张鑫, 安景文

(辽宁省农业科学院环境资源与农村能源研究所, 沈阳 110161)

摘要: 采用田间试验研究不同施氮量对两个玉米品种子粒产量、土壤硝态氮累积量及氮素利用率的影响。结果表明, 玉米产量随施氮量增加显著提高, 当施氮量高于 200 kg/hm² 时玉米产量不再增加, 高氮处理地上部分秸秆生物量出现下降趋势。0~100 cm 土层硝态氮累积量随氮素输入量的增加显著增加。不同玉米品种对氮素的吸收利用影响硝态氮在土壤中的累积, 植株氮积累量存在差异。密植型玉米先玉 335 总吸氮量高于平展型玉米辽单 28, 土壤硝态氮的累积量也显著低于后者。不同氮肥水平的氮肥利用率为 28.38%~35.33%, 高氮处理氮肥利用率最低。本试验条件下, 中氮处理水平基本能够满足作物生长的需求。综合产量、氮肥利用效率和土壤硝态氮累积情况, 确定合理施氮量应控制在 200 kg/hm² 左右。

关键词: 玉米; 施氮量; 产量; 土壤硝态氮; 氮素利用率

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effects of Maize Yield and N Application on N Utilization and Content of Soil Nitrate

SUN Zhan-xiang, ZOU Xiao-jin, ZHANG Xin, AN Jing-wen

(Rural Energy Environmental and Resources Research Institute,

Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161, China)

Abstract: Field experiment was carried out to investigate N application on yield, soil nitrate accumulation, plant N uptake and utilization of two kinds of maize. The results showed that maize yield increased significantly with the increment of nitrate application rate, but the biomass of maize decreased and the yield of grain of maize didn't increase when the nitrogen application rate was higher than 200 kg/ha. Nitrogen application significantly increased nitrate content in all layers of soil profile and hyper-accumulation of nitrate was found in 0—100 cm soil layer in the treatment of 200 kg/ha nitrogen application. There were differences in the yield and plant total amount of N absorption among 2 types of maize. Total amount of N absorption and the content of soil nitrate in the high dose treatment which planted density-tolerance maize Xianyu 335 were higher than density no-tolerance maize Liaodan 28. High nitrogen using efficiency was found in the treatment whose nitrogen fertilizer rate was 200 kg/ha. Under the experimental conditions, with the consideration of yield, nitrogen utilization and soil nitrate accumulation, a reasonable amount of nitrogen application should be controlled at about N 200 kg/ha.

Key words: Maize; N application; Yield; Soil nitrate; Nitrogen utilization efficiency

收稿日期: 2011-01-14

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07425-004)、“十一五”国家科技支撑计划重点项目(2008BA D95B01)

作者简介: 孙占祥(1967-), 男, 博士, 研究员, 从事旱地农业研究。

现代集约化农业应用氮肥提高作物产量, 作物高产的同时带来氮肥不合理应用问题, 过量施用的氮肥是造成农田污染主要原因之一^[1,2]。玉米作为

我国东北平原最重要的粮食作物之一,在国家粮食安全中具有举足轻重的地位^[3,4]。增加水肥特别是氮肥的投入是该地区 30 年来玉米产量不断提高的重要措施。近年来研究表明,东北平原玉米生产中氮肥施用的增产效果趋于降低,而氮肥对环境的污染渐趋严重。施入土壤的氮素只有 30%~40% 被粮食作物利用^[5],约 20% 被土壤微生物固定进入土壤,而 40%~50% 被雨水淋失或分解进入空气中。土壤硝态氮的淋溶是氮素损失的重要途径之一,是导致地下水硝酸盐污染的重要原因,引起地下水和饮用水污染日趋严峻。前人研究多集中在氮肥和土壤体系中,而不同施氮量条件下栽培不同玉米品种对土壤无机氮的淋失动态规律以及不同玉米品种对氮素利用效率的综合研究少有报道^[6,7]。本研究选用两个东北农区主栽品种辽单 28 和先玉 335,研究不同施氮条件对两个玉米品种的产量、土壤硝态氮含量及氮素利用效率的影响,在保证作物产量的同时探讨过量氮肥对地下水污染问题,为生产实践中氮肥的合理调控提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

田间试验于 2009~2010 年在辽宁省清源县进行。该地区属中温带大陆性季风气候,年平均气温 5.3℃。年平均降雨量 806.5 mm,主要集中在 7~9 月份,占全年总降雨量的 60% 以上。

1.2 试验设计与管理

供试土壤类型为草甸土,质地为轻沙壤土,播种前试验地 0~20 cm 耕层土壤容重 1.30 g/cm³,有机质 26.4 g/kg,全氮 1.23 g/kg,速效磷 5.2 mg/kg,速效钾 21 mg/kg,碱解氮 71 mg/kg。试验设 0、120、200 和 240 kg/hm² 4 个氮肥用量水平,分别用 CK、LN、MN 和 HN 表示。玉米品种选用当地主栽品种辽单 28(平展型)和先玉 335(密植型),种植密度分别为 60 cm×40 cm 和 60 cm×30 cm,用序号 1 和 2 表示。各处理磷肥施用磷酸二铵(含 N 18%、P₂O₅ 46%),钾肥施用氯化钾(含 K₂O 60%),磷、钾肥均施 60 kg/hm² 全部以基肥形式施入。氮肥用尿素,其中 1/3 作基肥,2/3 在拔节期作追肥施用。试验按随机区组排列,每处理 3 个重复,小区面积 66.55 m²。2009 年 4 月 30 日播种,2009 年 9 月 27 日收获,生长期 125 d,试验区田间管理同大田。

1.3 样品采集与测定方法

土壤样品分别于玉米拔节期、大喇叭口期、成熟

期按土壤剖面 0~20 cm、21~40 cm、41~60 cm、61~80 cm、81~100 cm 分 5 层采于农田,每小区随机取 2 点,同层次的土壤混合为一个土样。用 0.05 mol/L CaCl₂ 溶液浸提,震荡 40 min 过滤,用瑞士产 Foss 流动分析仪测定硝态氮含量,并根据各层土壤容重将硝态氮含量换算成 0~100 cm 土体硝态氮累积量,测定硝态氮含量的同时测定土壤含水量。玉米成熟期采集植株样品风干后计算秸秆生物量及子粒产量。玉米植株样品全氮含量采用国际 GB2905-82 方法,用半微量凯氏定氮法测定。

1.4 计算方法

氮肥利用效率是指施入的氮肥被当季作物吸收利用的百分率,采用差值法计算,公式为:

氮肥利用效率=(施氮肥区地上部分氮积累量-不施氮肥区地上部分氮积累量)/施氮量×100%;
土壤硝态氮累积量=土层厚度×土壤容重×土壤硝态氮含量/10;
氮收获指数=子粒氮积累量/植株总氮积累量;
氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮肥区产量-不施氮肥区产量)/施氮量^[8]。

所有数据采用 SPSS11.0 和 Excel2003 进行处理并统计分析。

2 结果与分析

2.1 施氮量对不同土层土壤硝态氮含量的影响

从图 1 可以看出,玉米拔节期,土壤硝态氮主要集中在 0~40 cm 的土层,高氮处理的两个玉米品种土壤硝态氮含量均显著高于低氮和中氮处理。说明玉米营养生长前期植株小,对氮肥需求量少,过多施用的氮肥远远大于玉米植株的营养生长需要,富余部分积累在土壤表层,施氮量对土壤硝态氮影响明显。41~100 cm 土层土壤硝态氮在各处理间差异不明显,表明富余硝态氮还未向下淋溶进入 40 cm 以下的深层土壤。

与拔节期相比,大喇叭口期表层土壤硝态氮含量降低,一方面随玉米植株的生长,对氮肥需求量增大;另一方面可能由于硝态氮向下移动,从而降低了氮素在土壤中的残留。两个高氮处理表现出与拔节期相似的规律,土壤硝态氮含量均显著高于其他处理。高氮处理辽单 28 在 61~80 cm 土层出现土壤硝态氮的累积高峰,先玉 335 土壤硝态氮的累积高峰出现在 41~60 cm 土层。表明两个玉米品种高氮处理时的氮肥已经以硝态氮的形态由表层进入深层土壤,增加了污染地下水的风险。

玉米进入成熟期,0~60 cm 土层各处理土壤硝

态氮含量均明显降低,处理间差异变小,但追肥处理明显高于CK处理,处理间也随追氮量的增加显著增加。高氮处理两个玉米品种在61~80 cm 土层硝

态氮的积累升高,在81~100 cm 土层硝态氮的积累继续上升。这表明过多的氮肥在玉米收获期已淋溶累积在61~80 cm 土层,并且有继续下移的趋势。

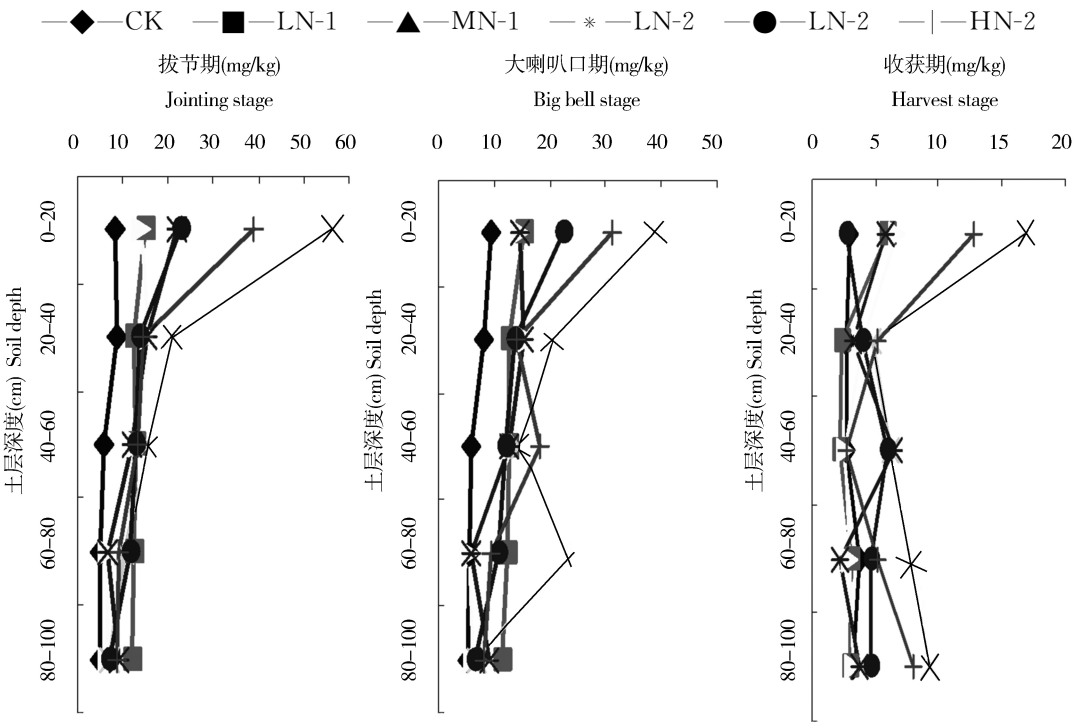


图 1 玉米不同生育期 0~100 cm 土层硝态氮含量

Fig. 1 The content of nitrate-nitrogen in 0~100 cm soil layers at different growth stages of maize

2.2 施氮量对不同土层土壤硝态氮累积量的影响

由表 1 可以看出,在玉米 3 个生育时期,增施氮肥处理在 0~100 cm 土层土壤硝态氮累积量均显著高于对照处理,高氮处理的辽单 28 在拔节期、大喇叭口期和收获期土壤硝态氮累积量分别是对照处理的 1.93、1.86、2.34 倍。这表明硝态氮在土壤中累积量随氮肥用量增加而显著升高。玉米拔节期,辽单 28 和先玉 335 低氮处理和中氮处理在 0~40 cm、41~100 cm 和 0~100 cm 土层的硝态氮累积量

均无显著差异,高氮处理的累积量在各个土层均显著高于其他处理。玉米大喇叭口期和收获期,辽单 28 和先玉 335 低氮与中氮处理土壤硝态氮累积量在各个土层无显著差异,且明显低于高氮处理。这表明施氮量大于 200 kg/hm² 时显著增加土壤硝态氮的累积量,增加淋溶的可能性。两个玉米品种相比,辽单 28 在高氮处理下土壤硝态氮的累积量显著高于先玉 335,表明不同玉米品种对氮素的吸收利用影响硝态氮在土壤中的累积。

表 1 施氮量对玉米不同生育时期土壤硝态氮累积量的影响											
Table 1 Effects of N rate on soil nitrate-nitrogen accumulation at different stages											kg/hm ²
处理代号 Treatment code	施氮 N	密度(cm×cm) Density	拔节期 Jointing stage			大喇叭口期 Big bell stage			收获期 Harvest stage		
			0~40	41~100	0~100	0~40	41~100	0~100	0~40	41~100	0~100
CK			67.60 d	35.24 c	102.84 e	60.20 e	36.95 d	107.15 e	12.62 d	21.31 c	33.93 d
LN-1	低氮	60×40	60.43 d	62.07 ab	122.50 d	60.89 d	59.95 c	120.85 d	18.31 cd	18.07 c	36.38 cd
MN-1	中氮	60×40	66.13 d	58.84 b	124.97 d	67.13 cd	55.00 c	122.13 d	23.64 c	19.17 c	42.81 c
HN-1	高氮	60×40	168.85 a	72.39 a	241.25 a	130.96 a	97.04 a	228.00 a	47.86 a	52.12 a	99.98 a
LN-2	低氮	60×30	82.52 c	61.42 ab	143.94 c	65.80 cd	60.94 c	126.74 d	19.88 cd	27.13 bc	47.01 c
MN-2	中氮	60×30	80.45 c	68.93 a	149.37 c	79.26 c	64.50 c	143.76 c	14.69 d	33.31 b	48.00 c
HN-2	高氮	60×30	117.79 b	67.89 a	185.68 b	99.04 b	79.40 b	178.44 b	39.37 b	35.10 b	74.47 b

注:同一列数字不同小写字母表示差异达 5% 显著水平。下表同。

Note: Values without same letters in the same column are significant at 5% level. The same as the following tables.

以上结果表明,随玉米生育时期的推移,土壤硝态氮向下层淋溶量增加,且随施氮量的增加而增加。种植密植型玉米品种对氮的吸收较多,各土层硝态氮含量明显低于平展型玉米品种,说明种植密植型玉米品种可降低硝态氮对地下水污染的风险。

2.3 施氮量对地上部分生物量及产量的影响

辽单 28 和先玉 335 在各施氮水平的地上部分生物量及子粒产量见图 2。结果表明,与低氮处理相比,中氮和高氮处理辽单 28 子粒产量分别增加了 20.6% 和 19.1%;先玉 335 产量增加幅度明显,分

别增加了 26.2% 和 25.5%。增加氮肥用量显著提高了玉米产量,但中氮处理和高氮处理无显著性差异,高氮处理甚至有玉米产量降低的现象,玉米地上部分生物量表现尤其明显。辽单 28 和先玉 335 随氮肥用量增加地上部分生物量呈先增加后降低的趋势。说明当氮肥用量超过 200 kg/hm² 时,再增加氮肥用量不能提高玉米产量。因此,从降低成本、提高效益、减少氮素流失以及防止污染地下水等方面综合考虑,供试的两个玉米品种的经济安全施氮量不宜过高。

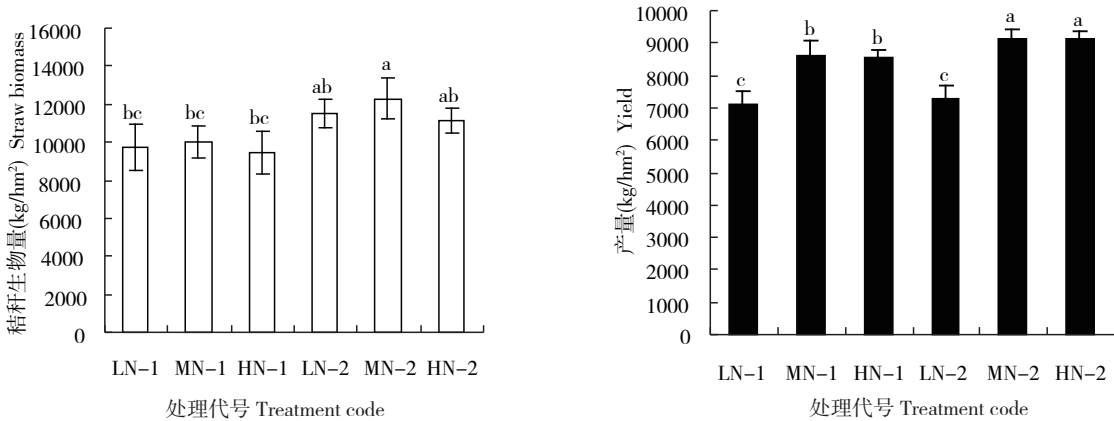


图 2 玉米产量及地上部分秸秆生物量

Fig. 2 Maize yield and biomass on the ground part of the straw

2.4 施氮量对氮素利用效率的影响

从表 2 可以看出,随施氮量的增加,两个玉米植株总吸氮量均呈增加趋势。辽单 28 中氮处理和高氮处理植株总吸氮量比低氮处理分别增加了 22.3% 和 24.9%;先玉 335 分别增加了 27.6% 和 28.2%。中氮处理和高氮处理植株吸氮量显著高于低氮处理,中氮处理和高氮处理间无显著差异。两个玉米品种中氮处理氮收获指数均显著高于相应的低氮处

理和高氮处理。氮肥利用效率和氮肥农学利用率表现出相似的规律,3 个不同施氮水平氮肥利用率为 28.38%~35.33%,低氮处理与中氮处理氮肥利用效率均显著高于高氮处理。以上结果表明,中氮处理的氮肥施用量可充分满足作物生长发育需求,过多施用的氮肥导致了玉米植株无效耗氮的发生,增加了无机氮进入土壤污染地下水的可能性。

表 2 施氮量对氮素利用效率的影响

Table 2 Efficiency of N fertilizer

处理代号 Treatment code	总吸氮量(kg/hm ²) Total N absorption	氮收获指数 N harvest index	氮肥利用效率(%) N utilization efficiency	氮肥农学利用率(kg/kg) Agro-efficiency of N
LN-1	161.48 a	60.54 a	32.15 b	7.96 ab
MN-1	197.03 b	66.38 c	35.27 b	8.25 a
HN-1	201.54 b	61.91 ab	28.38 a	6.19 c
LN-2	177.80 a	61.73 ab	34.46 b	8.06 ab
MN-2	226.33 c	67.19 c	35.33 b	8.34 a
HN-2	227.28 c	63.22 b	29.09 a	7.63 b

3 结论与讨论

土壤硝态氮浓度是决定氮素淋溶的重要因素,

过量施用氮肥能显著增加土壤硝态氮浓度,引起硝态氮在土壤中累积,从而增加氮素淋溶的潜在风险。许多研究指出,农田土壤长期大量施用氮肥会造成

硝态氮在土壤中的累积,土体硝态氮含量随施氮量的增加显著增加^[9~11]。本研究结果显示,土壤剖面硝态氮含量的变化因施氮量和玉米不同生育时期的不同而表现出差异。在玉米的 3 个生育时期土壤硝态氮在 0~100 cm 土层的累积量均表现为随氮肥用量增加而显著升高。拔节期,41~100 cm 土层低、中、高氮肥处理土壤硝态氮的累积量无显著差异;进入大喇叭口,高氮处理辽单 28 和先玉 335 分别在 61~80 cm 土层和 41~60 cm 土层出现积累高峰;进入收获期,中氮处理和高氮处理辽单 28 和先玉 335 硝态氮积累高峰出现在 61~80 cm 土层,且在 81~100 cm 土层均呈继续上升趋势。本研究结果与王西娜研究结果相似,表明土壤中硝态氮累积量因生育期和施氮量而异^[12]。杨玉慧研究表明,氮肥施用量显著影响土壤硝态氮的含量与累积,但对土壤硝态氮的移动深度没有影响^[13],这与本研究结果有所不同。本研究结果显示,过量氮肥施用不但影响土壤硝态氮在土壤中累积量,也影响其移动深度。高氮处理过多的氮肥以硝态氮的形态由土壤表层进入深层,增加了污染地下水的风险。

利用高产及氮肥利用效率高的品种是合理利用资源、减少环境污染的重要途径。颜军和杨德光对郑单 958、农大 108、京单 28、京科 308 研究结果表明,4 个玉米品种产量、总吸氮量存在一定差异,但氮肥利用效率差异不显著^[14]。卢艳丽对 31 种糯玉米的研究结果表明,不同品种间氮肥利用效率有极显著差异^[15]。本研究结果显示,密植型玉米与平展型玉米总吸氮量和氮肥利用效率存在显著差异。与平展型玉米辽单 28 相比,密植型玉米先玉 335 更能充分有效的利用光能,在生理上具有叶绿素含量高、二氧化碳同化强度大、根系吸收强大的特点^[16]。因此,辽单 28 高氮处理氮素迁移速度快于先玉 335,先玉 335 对氮肥的吸收能力强,总吸氮量增加,氮肥在 0~100 cm 土层中累积量较少,减少了过量施用的氮肥随水分淋溶引起的环境风险。

王友华研究表明,施用氮肥对玉米产量及其构成因素有显著影响,施氮量在 0~270 kg/hm² 范围内产量、行粒数和千粒重随施氮量的增加而增加,施氮量达 270 kg/hm² 后有所下降,这表明过量施氮不利于玉米产量的提高及其产量构成因素的改善^[17]。本研究结果显示,施氮量为 200 kg/hm² 范围内,玉米及秸秆生物量随施氮量增加而增加,当施氮量达 240 kg/hm² 后,玉米子粒产量不再增加,且

玉米秸秆产量呈下降趋势。本试验条件下,中氮处理基本能够满足玉米生长的需求,综合产量、氮肥利用效率和土壤硝态氮累积情况,确定合理施氮量应控制在 200 kg/hm² 左右。

参考文献:

[1] 邓 雄. 农业非点源污染的研究进展、存在的问题及发展[J]. 中山大学学报(自然科学版),2007,46(2):244—247.

[2] 陶 春,高 明,徐 畅,等. 农业面源污染影响因子及控制技术的研究现状与展望[J]. 土壤,2010,42(3):336—343.

[3] 徐志刚,习银生,张世煌. 2008/2009 年度国家玉米临时收储政策实施状况分析[J]. 农业经济问题,2010(3):16—23.

[4] 李 兴,程满金,王 勇,等. 极度缺水条件下玉米穗部性状对产量的影响[J]. 中国农业大学学报,2010,15(4):8—12.

[5] 串丽敏,赵同科,安志装,等. 土壤硝态氮淋溶及氮素利用研究进展[J]. 中国农学通报 2010,26(11):200—205.

[6] 范亚宁,李世清,李生秀. 半湿润地区农田夏玉米氮肥利用率及土壤硝态氮动态变化[J]. 应用生态学报,2008,19(4):799—806.

[7] 赵士诚,裴雪霞,何 萍,等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(2):492—497.

[8] Liu L J, Sang D Z, Yang J C, et al. Effects of real time and site specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. Scientia. Agricultura Sinica, 2003, 36(12): 1456—1461.

[9] 袁新民,杨学云,同延安,等. 不同施氮量对土壤硝态氮累积的影响[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(1):7—13.

[10] 刘宏斌,李志宏,张维理,等. 露地栽培条件下大白菜氮肥利用率与硝态氮淋溶损失研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(3):286—291.

[11] 蒋会利,温晓霞,廖允成. 施氮量对冬小麦产量的影响及土壤硝态氮运转特性[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):237—241.

[12] 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.

[13] 杨玉惠,张仁陟. 氮肥施用对黄土高原中部雨养农业区土壤硝态氮分布与累积的影响[J]. 土壤通报,2007,38(4):672—676.

[14] 颜 军,杨德光. 4 个玉米品种氮素利用效率的比较研究[J]. 玉米科学,2010,18(2):91—95.

[15] 卢艳丽,陆卫平,刘小兵,等. 糯玉米氮肥利用效率的基因型差异[J]. 作物学报,2006,32(7):1031—1037.

[16] 云 鹏,高 翔,陈 磊,等. 冬小麦—夏玉米轮作体系中不同施氮水平对玉米生长及其根际土壤氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3): 567—574.

[17] 王友华,许海涛,许 波,等. 施用氮肥对玉米产量构成因素及其根系生长的影响[J]. 中国土壤与肥料,2010(3):55—57.