

不同追氮方式对寒地玉米氮素吸收·分配及利用率的影响

朱宝国, 张春峰*, 贾会彬, 孟庆英, 王囡囡, 张立波, 高雪冬

(黑龙江省农业科学院佳木斯分院, 黑龙江佳木斯 154007)

摘要 [目的]利用¹⁵N示踪技术,研究不同追氮方式对寒地玉米不同器官氮素积累、吸收、分配及氮素利用率的影响,为指导寒地玉米合理施肥提供理论依据。[方法]以玉米品种德美亚3号为试材,在盆栽条件下设置不施氮肥(PK)、基肥+追肥浅追1次(NPK+SD1)、基肥+追肥深追1次(NPK+DD1)、基肥+追肥深追2次(NPK+DD2)4个处理,分析不同追氮方式对寒地玉米氮素吸收、分配特征的影响。[结果]追氮提高了寒地玉米不同器官干物质积累量、氮素含量及氮素积累量。与浅追相比,氮肥深追¹⁵N标记氮素利用率分别提高26.00和14.08个百分点;土壤¹⁵N残留率分别降低2.10和1.19个百分点;¹⁵N损失率分别减少23.90和12.90个百分点;土壤¹⁵N贡献率分别提高3.57和0.64个百分点;提高了寒地玉米穗长、穗粗、轴粗,与PK相比显著提高寒地玉米产量,提高幅度为36.24%~50.72%。氮肥深追与浅追相比产量分别提高10.63%和6.35%,差异达到显著水平。[结论]寒地玉米种植中,氮肥深追好于氮肥浅追,2次深追好于1次深追。

关键词 追氮方式;寒地玉米;氮素吸收与分配;氮肥利用率;产量

中图分类号 S506.2 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)26-0079-04

Impacts of Different Nitrogen Topdressing Methods on Absorption, Distribution and Utilization of Nitrogen by Maize in a Cold Area
ZHU Bao-guo, ZHANG Chun-feng*, JIA Hui-bin et al (Jiamusi Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi, Heilongjiang 154007)

Abstract [Objective] To study impacts of different nitrogen topdressing methods on accumulation, absorption, distribution and utilization of nitrogen by maize in a cold area by using ¹⁵N tracing technology to provide theoretical references for the reasonable fertilization of maize in a cold area. [Method] Maize variety Demeiya No. 3 was as the experimental material, and different nitrogen topdressing treatments, namely PK (no nitrogen fertilizer applied), NPK (applying base fertilizer, similarly hereinafter) + SD1 (shallowly topdressing nitrogen fertilizer once), NPK + DD1 (deeply topdressing nitrogen fertilizer once), and NPK + DD2 (deep topdressing nitrogen fertilizer twice), were set in pot experiments. The effects of various nitrogen topdressing methods on absorption and distribution of nitrogen by maize in the cold area were analyzed. [Result] Nitrogen topdressing improved the accumulation of dry matter, nitrogen content and amount of accumulated nitrogen in different organs of maize. Compared with shallow topdressing of nitrogen fertilizer, after deep topdressing of nitrogen fertilizer, the use efficiency of ¹⁵N labeled nitrogen increased by 26.00 and 14.08 percentage points respectively; the residual rate of ¹⁵N in soil reduced by 2.10 and 1.19 percentage points respectively; the loss rate of nitrogen reduced by 23.90 and 12.90 percentage points respectively; the contribution rate of ¹⁵N in soil increased by 3.57 and 0.64 percentage points respectively; ear length, ear diameter, and axis diameter of maize in cold area improved, and maize yield increased significantly compared with PK, rising by 36.24%~50.72%. Compared with shallow topdressing of nitrogen fertilizer, after deep topdressing of nitrogen fertilizer, maize yield increased significantly by 10.63% and 6.35% respectively. [Conclusion] In the planting of maize in a cold area, deep topdressing of nitrogen fertilizer is better than shallow topdressing of nitrogen fertilizer, and topdressing nitrogen fertilizer twice is better than topdressing nitrogen fertilizer once.

Key words Topdressing nitrogen methods; Maize in a cold area; Absorption and distribution of nitrogen; Utilization rate of nitrogen fertilizer; Yield

氮素是限制作物生长发育和籽实产量的首要因素^[1]。近年来,为了提高玉米单产,化肥施用量逐年增加,肥料的过量施用,导致投入生产成本过高,土壤质量下降,环境污染严重等问题^[2-5]。玉米需氮量较大^[6],特别是生育后期对氮素的需求量较大,而农民习惯追肥1次,且追肥以表施为主,这就容易造成后期玉米出现脱肥现象,产量降低,肥料利用率低。因此,明确玉米不同生育时期各器官对氮素的吸收、积累特性,可为玉米施肥提供理论基础。¹⁵N标记示踪技术在水稻、小麦、果树等农作物上应用广泛^[7-9]。茹德平等^[10]研究认为,小麦、玉米对追加¹⁵N化肥的吸收利用率为28.42%~46.28%,向籽粒运转量为54.00%~68.00%,追施氮的有效期可持续3茬作物,累计利用率为52.07%~60.39%。苏正义等^[11]进行¹⁵N示踪研究,结果表明,氮肥深施10~15 cm能显著提高玉米、水稻产量和肥料利用率。笔者以¹⁵N标记

氮肥为基础,拟在玉米生育的关键时期追施¹⁵N标记尿素,研究氮素在玉米不同器官的吸收与积累动态,揭示玉米追氮后氮素吸收及积累利用的规律,旨在为玉米氮肥的合理施用提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 于2014~2015年在黑龙江省农业科学院佳木斯分院网室内进行,光照充足,通风良好,有遮雨和灌溉设施设备,土壤类型为草甸黑土。土壤基本养分指标:有机质35.3 g/kg,碱解氮147.8 mg/kg,有效磷47.0 mg/kg,速效钾351.4 mg/kg,pH 6.4。

1.2 试验材料 供试玉米品种为德美亚3号。氮肥为普通尿素(含N 6%,大庆生产),¹⁵N标记尿素(丰度为10.21 g/kg,含N 46%,上海化工研究院提供),磷肥为过磷酸钙(含P₂O₅ 43%),钾肥为氯化钾(含K₂O 60%)。

1.3 试验设计 设4个处理,即T₁:不施氮肥(PK);T₂:基肥+追肥浅追1次(NPK+SD1);T₃:基肥+追肥深追1次(NPK+DD1);T₄:基肥+追肥深追2次(NPK+DD2)。每处理6次重复。试验采用盆栽法,塑料盆直径30 cm,高40 cm,

基金项目 国家公益性行业(农业)科研专项(201503116-1)。

作者简介 朱宝国(1982-),男,黑龙江依兰人,助理研究员,硕士,从事土壤肥料与作物营养研究。*通讯作者,研究员,博士,从事土壤肥料与低产土壤改良研究。

收稿日期 2016-07-20

桶底侧面有 2 cm 通气孔 1 个,每桶用土 14 kg,每桶播种 3 穴,每穴 2 粒,深度 5 cm,出苗后定苗 1 株。肥料用量按测土配方施肥量计算,尿素:底肥用量 0.12 g/kg,一次追肥在拔节期用量 0.30 g/kg,二次追肥用量分别为拔节期 0.10 g/kg,大喇叭口期 0.20 g/kg;施过磷酸钙 0.16 g/kg,氯化钾 0.06 g/kg。追肥深度:浅追 0~5 cm,深追 10~15 cm。

1.4 测定项目与方法 每年春季取土样,测定基础肥力。在玉米成熟期取连续 5 株分别测定根、茎、叶、轴、籽粒干物质量。土壤基础肥力采用常规分析方法测定^[1];干物质量(地下部和地上部)于 105℃下杀青 30 min 后于 80℃烘干至恒重,待测;植株各器官氮素含量采用 ATN-300 全自动凯氏定氮仪测定,标记 N 丰度采用 MAT271 型气体同位素质谱仪检测;原子百分超=实测丰度值-自然丰度值;植物吸收肥料氮量占植株总氮量百分率(NDFP)=样品中氮原子百分超/肥料中氮原子百分超×100;氮素积累量=干物质积累量×氮素含量;肥料氮积累量=氮素积累量×(测定样品标记氮丰度-自然界中标记氮丰度)/肥料标记氮丰度;植株某一器官标记氮积累量=该组织或器官的全氮×该组织或器官的 NDFP;植株氮素利用率(%)=植株 NDFP×植株吸氮量/

施氮量×100;肥料氮土壤残留率(%)=(土样干重×土壤全氮%×土壤全氮原子百分超)/(施标记肥量×肥料 N%×肥料氮原子百分超)×100;氮肥贡献率(%)=植株吸收肥料氮量/植株全氮×100。

1.5 数据处理与分析 采用 DPS 7.05 软件进行数据统计与分析。用 Microsoft Excel 2003 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 不同追氮方式对寒地玉米不同器官干物质积累的影响 由表 1 可知,NPK+DD1 和 NPK+DD2 处理玉米各器官干物质量高于其他处理,NPK+DD2 处理与其他处理差异显著;除叶和籽粒外,NPK+DD1 和 NPK+DD2 处理与 NPK+SD1 处理差异显著。玉米不同器官干物质积累量以籽粒最大,说明生育后期不同器官干物质转移到籽粒中,以满足籽粒的营养需要。从植株干物质积累总量看,各处理干物质积累量从大到小依次为 NPK+DD2、NPK+DD1、NPK+SD1、PK。这说明在氮素总量不变的条件下,玉米在拔节期追施氮肥深追好于浅追,而从深追次数分析,在玉米拔节期和大喇叭口期分 2 次深追好于在拔节期 1 次深追,且显著好于氮肥浅追。

表 1 不同追氮方式下寒地玉米不同器官干物质量

处理 Treatment	根 Root	茎 Steam	叶 Leaf	轴 Axis	籽粒 Seed	总量 Total
PK	30.35±1.92 c	47.58±2.48 b	39.74±4.34 c	28.63±2.73 c	85.90±2.49 c	232.20±5.60 d
NPK+SD1	33.90±3.68 b	48.91±2.71 b	42.04±2.44 b	44.21±1.01 b	132.62±7.02 b	301.67±12.27 c
NPK+DD1	44.79±3.47 a	51.39±2.19 a	44.53±4.33 b	48.08±1.18 a	144.24±8.63 ab	333.02±10.62 b
NPK+DD2	44.91±2.11 a	50.13±3.33 a	66.52±7.92 a	49.58±2.28 a	148.73±5.93 a	359.87±14.17 a

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note:Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

2.2 不同追氮方式对寒地玉米不同器官氮素含量的影响 由表 2 可知,NPK+DD2 和 NPK+DD1 处理玉米各器官对氮素的吸收量高于其他处理,且 NPK+DD2 处理高于 NPK+DD1 处理,PK 处理最低;除茎和 NPK+DD1 的轴外,NPK+DD2 处理与其他处理相比各器官氮素含量差异显著;NPK+DD1 与 NPK+SD1 相比,叶和籽粒氮素含量差异显著,其

他器官氮素含量虽有提高,但差异不显著。NPK+SD1 与 PK 相比,除籽粒氮素含量差异显著外,其他器官氮素含量差异不显著。这说明在氮素总量不变的条件下,在玉米拔节期或大喇叭口期追施氮肥能够促进不同器官对氮素的吸收,氮肥深追好于氮肥浅追,以氮肥深追 2 次效果最好。

表 2 不同追氮方式下寒地玉米不同器官氮素含量

处理 Treatment	根 Root	茎 Steam	叶 Leaf	轴 Axis	籽粒 Seed
PK	2.70±0.17 c	1.67±0.10 a	3.39±0.11 c	3.21±0.18 b	10.60±0.71 d
NPK+SD1	2.94±0.16 bc	1.80±0.05 a	3.42±0.12 c	3.31±0.13 b	11.58±0.13 c
NPK+DD1	3.28±0.26 ab	1.76±0.17 a	5.52±0.20 b	3.50±0.15 ab	13.80±0.32 b
NPK+DD2	3.60±0.11 a	1.80±0.07 a	5.76±0.20 a	3.56±0.21 a	14.30±0.24 a

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note:Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

2.3 不同追氮方式对寒地玉米不同器官氮素积累量的影响 由表 3 可知,不同追氮处理均提高了玉米不同器官成熟期氮素积累量,各处理与 PK 处理相比各器官积累量显著提高,NPK+DD2 和 NPK+DD1 处理各器官氮素积累量高于 NPK+SD1 处理,除茎和轴差异不显著外,根、叶和籽粒氮素积累量均达到差异显著水平。不同器官氮素积累量不同,籽

粒的氮素积累量高于其他器官,且不同处理间差异显著。说明成熟期氮素主要被籽粒吸收利用。从不同追氮方式来看,NPK+DD2 和 NPK+DD1 有利于玉米对氮素的吸收积累,且 NPK+DD2 处理好于 NPK+DD1 处理,说明氮肥分次深施有利于玉米对氮素的吸收。各处理不同器官氮素积累量从大到小依次为 NPK+DD2、NPK+DD1、NPK+SD1、PK。

表 3 不同追氮方式下寒地玉米不同器官氮素积累量

Table 3 Amount of N accumulated in different organs of maize in the cold area under different nitrogen topdressing methods						mg/株
处理 Treatment	根 Root	茎 Steam	叶 Leaf	轴 Axis	籽粒 Seed	
PK	81.95 ± 5.41 d	79.46 ± 3.90 b	134.72 ± 7.16 c	91.91 ± 4.35 b	910.49 ± 8.16 d	
NPK + SD1	99.67 ± 6.14 c	88.04 ± 4.48 a	143.78 ± 7.89 c	164.00 ± 4.45 a	1 535.68 ± 17.36 c	
NPK + DD1	146.91 ± 5.35 b	90.45 ± 4.77 a	201.28 ± 7.96 b	168.27 ± 5.72 a	1 990.44 ± 19.91 b	
NPK + DD2	161.68 ± 5.28 a	90.23 ± 3.88 a	383.16 ± 7.98 a	176.49 ± 7.66 a	2 126.84 ± 21.10 a	

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

2.4 不同追氮方式对寒地玉米不同器官 ¹⁵N 积累量的影响 由表 4 可知,不同追氮方式下寒地玉米不同器官 ¹⁵N 标记氮素积累量不同,NPK + DD2、NPK + DD1 处理显著高于 NPK + SD1 处理,NPK + DD2 处理高于 PK + DD1。除轴外,其余器官各处理间的 ¹⁵N 标记氮素积累量差异达到显著水

平。¹⁵N 标记氮素积累量以籽粒最大,茎最小。说明氮肥不同追肥方式和追施次数能够提高玉米不同器官 ¹⁵N 积累量,各处理不同器官 ¹⁵N 积累量从大到小依次为 NPK + DD2、NPK + DD1、NPK + SD1。

表 4 不同追氮方式下寒地玉米不同器官 ¹⁵N 积累量

Table 4 Amount of ¹⁵ N accumulated in different organs of maize in the cold area under different nitrogen topdressing methods						mg/株
处理 Treatment	根 Root	茎 Steam	叶 Leaf	轴 Axis	籽粒 Seed	
NPK + SD1	32.11 ± 3.55 c	28.90 ± 2.49 c	75.14 ± 2.54 c	68.52 ± 3.12 b	640.06 ± 2.48 c	
NPK + DD1	53.61 ± 3.96 b	41.20 ± 2.28 b	94.26 ± 2.36 b	77.84 ± 3.15 a	849.86 ± 3.50 b	
NPK + DD2	71.66 ± 2.87 a	45.04 ± 2.60 a	112.94 ± 3.04 a	81.46 ± 2.81 a	1 035.82 ± 6.86 a	

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

2.5 不同追氮方式对寒地玉米不同器官 ¹⁵N 分配率的影响 由表 5 可知,不同追氮条件下寒地玉米各器官 ¹⁵N 分配不同,根和籽粒 ¹⁵N 分配率表现为 NPK + DD2 和 NPK + DD1 高于 NPK + SD1,叶和轴表现为 NPK + SD1 处理高于 NPK + DD1 和 NPK + DD2 处理,茎表现为 NPK + DD1 高于 NPK +

SD1 及 NPK + DD2 低于 NPK + SD1 处理,不同处理籽粒 ¹⁵N 分配率从大到小依次为 NPK + DD2、NPK + DD1、NPK + SD1。说明氮肥深追降低了氮素在茎、叶、轴中的分配比例,提高了氮素在籽粒中的分配比例,从而提高了籽粒对氮素的吸收利用。

表 5 不同追氮方式下寒地玉米不同器官 ¹⁵N 分配率

Table 5 Distribution rate of ¹⁵ N in different organs of maize in the cold area under different nitrogen topdressing methods						%
处理 Treatment	根 Root	茎 Steam	叶 Leaf	轴 Axis	籽粒 Seed	
NPK + SD1	3.80	3.42	8.90	8.11	75.77	
NPK + DD1	4.82	3.70	8.47	6.99	76.34	
NPK + DD2	5.40	3.39	8.51	6.14	78.06	

2.6 不同追氮方式对寒地玉米植株 ¹⁵N 利用率的影响 由表 6 可知,氮素深追提高了 ¹⁵N 标记氮素利用率,与 NPK + SD1 相比,NPK + DD2、NPK + DD1 分别提高 26.00 和 14.08 个百分点,差异达显著水平,NPK + DD2 与 NPK + DD1 相比差异也达到显著水平;降低了土壤 ¹⁵N 残留率,NPK + DD2 和 NPK + DD1 分别较 NPK + SD1 降低 2.10 和 1.19 个百分

点,NPK + DD2 与 NPK + SD1 差异显著;减少了¹⁵N 损失率,NPK + DD2 和 NPK + DD1 处理分别较 NPK + SD1 处理减少 23.90 和 12.90 个百分点,差异达显著水平;提高了¹⁵N 贡献率,NPK + DD2 和 NPK + DD1 分别较 NPK + SD1 处理提高 3.57 和 0.64 个百分点,NPK + DD2 与 NPK + SD1 相比达差异显著水平。

表 6 不同追氮方式下寒地玉米植株 ¹⁵N 利用率

Table 6 Use efficiency of ¹⁵ N in plants of maize in the cold area under different nitrogen topdressing methods					%
处理 Treatment	¹⁵ N 利用率 ¹⁵ N use efficiency	¹⁵ N 残留率 ¹⁵ N retention rate	¹⁵ N 损失率 ¹⁵ N loss rate	¹⁵ N 贡献率 ¹⁵ N contribution rate	
NPK + SD1	43.72 ± 2.40 c	15.76 ± 1.87 a	40.52 ± 1.63 a	41.59 ± 1.38 b	
NPK + DD1	57.80 ± 2.41 b	14.57 ± 1.90 a	27.62 ± 1.08 b	42.23 ± 1.67 b	
NPK + DD2	69.72 ± 3.79 a	13.66 ± 1.77 b	16.62 ± 1.09 c	45.16 ± 1.96 a	

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note: Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

2.7 不同追氮方式对寒地玉米穗部性状及产量的影响 由表 7 可知,不同追氮方式提高了寒地玉米穗长、穗粗、轴粗,氮肥深追好于氮肥浅追,NPK + DD2、NPK + DD1 处理与 NPK + SD1 处理相比差异达到显著水平,而 NPK + DD2 和 NPK + DD1 处理之间差异不显著。与 PK 相比,不同追氮方式可显

著提高寒地玉米产量,增幅为 36.24% ~ 50.72%。NPK + DD2、NPK + DD1 处理的产量分别较 NPK + SD1 处理提高 10.63% 和 6.35%,差异达到显著水平,说明氮肥追施方式促进了玉米不同器官对氮素的吸收利用,促进籽粒形成,从而提高寒地玉米产量。

表 7 不同追氮方式下寒地玉米穗部性状及产量
Table 7 Ear characters and yield of maize in the cold area under different nitrogen topdressing methods

处理 Treatment	穗长 Ear length cm	穗粗 Ear diameter cm	轴粗 Axis diameter cm	产量 Yield kg/hm ²	增产率 Increasing rate//%	
					与 PK 相比 Compared with PK	与 NPK + SD1 相比 Compared with NPK + SD1
PK	16.35 ± 0.23 c	4.06 ± 0.05 b	2.04 ± 0.06 b	7 892.86 ± 250.32 c	—	—
NPK + SD1	17.46 ± 0.33 b	4.17 ± 0.15 b	2.06 ± 0.06 b	10 753.57 ± 233.59 b	36.24	—
NPK + DD1	19.72 ± 0.30 a	4.43 ± 0.18a	2.28 ± 0.16 a	11 436.73 ± 250.16 a	44.90	6.35
NPK + DD2	19.98 ± 0.62 a	4.54 ± 0.21a	2.32 ± 0.13 a	11 896.54 ± 237.22 a	50.72	10.63

注:同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平差异显著。
Note:Different lowercase letters values in the same column mean there are significant differences between different treatments at 0.05 level.

3 讨论

(1)研究表明,在寒地玉米追氮能够显著提高不同器官干物质积累量,增加籽实氮素含量,增产幅度为 36.42% ~ 50.72%;氮肥深追好于浅追,增产幅度为 6.35% ~ 10.63%,且氮肥在拔节期和大喇叭口期 2 次深追显著好于在拔节期 1 次深追,说明氮肥深追后移有利于寒地玉米不同器官对氮素的吸收,改善寒地玉米相关性状,最终提高产量。易镇邪等^[12]研究表明,氮肥后移可以提高产量;王云奇等^[13]研究表明,施氮能够改善夏玉米产量因子,提高产量,氮肥适当后移每 1 kg 氮可多生产 0.56 kg 玉米。这与笔者研究得出的结果相类似。在氮素总量不变的条件下,氮肥深追和分次深追能够促进不同器官对¹⁵N 的积累量,减少¹⁵N 在叶和轴中分配率,提高在籽粒中的分配率。这也与前人研究结果类似^[14-16]。

(2)李伟波等^[17]研究认为,氮肥深施并增加追肥次数,肥料氮的总损失量为 16% ~ 27%,土壤残留率为 34% ~ 54%;王宜伦等^[18]研究表明,氮肥后移能够提高夏玉米氮肥利用率和农学效率,晚收条件下氮肥利用率提高了 3.52% ~ 6.87%,氮肥农学效率提高了 0.82 ~ 1.60 kg/kg。笔者研究表明,与 NPK + SD1 相比,NPK + DD2、NPK + DD1 降低了土壤¹⁵N 残留率和¹⁵N 损失率,土壤¹⁵N 残留率降低 2.10 个百分点和 1.19 个百分点,¹⁵N 损失率降低 23.90 个百分点和 12.90 个百分点;氮肥 2 次深追显著降低¹⁵N 损失率;提高了土壤¹⁵N 利用率和¹⁵N 贡献率,¹⁵N 利用率提高 26.00 个百分点和 14.08 个百分点,¹⁵N 贡献率提高 3.57 个百分点和 0.64 个百分点。这说明氮肥在总量不变的条件下,合理分次深追能够显著提高追肥氮素的利用率,减少追肥氮素在土壤中的残留,因此,氮肥后移是比较好的施用方式。

4 结论

氮肥深追显著提高了不同器官¹⁵N 积累量,提高了籽粒中¹⁵N 分配率。在氮肥总量不变的条件下,氮肥深追对寒地玉米¹⁵N 残留率为 13.66% ~ 14.57%,¹⁵N 损失率为 16.62% ~ 27.62%,¹⁵N 利用率提高 14.08 ~ 26.00 个百分点,¹⁵N 贡献

率提高 0.64 ~ 3.57 个百分点。氮肥深追改善了玉米穗部性状,提高产量,与不施氮肥相比,产量提高 36.24% ~ 50.72%,与浅追相比,产量提高 6.35% ~ 10.63%。可见,氮肥 2 次深追是较好的施氮方法。

参考文献

[1] 陆景陵.植物营养学:上册[M].北京:中国农业大学出版社,2003.
[2] 朱兆良.农田中氮肥的损失与对策[J].土壤与环境,2000,9(1):1-6.
[3] MOSIER A R,ZHU Z L.Changes in patterns of fertilizer nitrogen use in Asia and its consequences for N₂O emissions from agricultural systems[J].Nutrient cycling in agroecosystems,2000,57(1):107-117.
[4] LI Y E,LIU E D.Emissions of N₂O,NH₃ and NOX from fuel combustion, industrial processes and the agricultural sectors in China[J].Nutrient cycling in agroecosystems,2000,57(1):99-106.
[5] NOVOA R,TEJEDA H R.Evaluation of the N₂O emissions from N in plant residues as affected by environmental and management factors[J].Nutrient cycling in agroecosystems,2006,75:23-29.
[6] 米国华,陈范骏,春亮,等.玉米氮高效品种的生物学特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):155-159.
[7] 王德建,林静慧,孙瑞娟,等.太湖地区稻麦高产的氮肥适宜量及其对地下水的影响[J].土壤学报,2003,40(3):426-432.
[8] 孟维伟,王东,于振文,等.¹⁵N 示踪法研究不同灌水处理对小麦氮素吸收分配及利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(4):831-837.
[9] 李晶,姜远茂,魏靖,等.不同氮水平下不同中间砧苹果幼树的生长及氮吸收、利用、分配特性[J].植物营养与肥料学报,2015,21(4):1088-1094.
[10] 茹德平,赵彩霞,李习军,等.¹⁵N 示踪技术研究高产小麦、玉米的施氮规律[J].核农学报,2005,19(2):151-154.
[11] 苏正义,韩晓日,李春全,等.氮肥深施对作物产量和氮肥利用率的影响[J].沈阳农业大学学报,1997,28(4):292-296.
[12] 易镇邪,王璞,张红芳,等.氮肥类型与施用量对夏玉米生长发育及氮肥利用的影响[J].华北农学报,2006,21(1):115-120.
[13] 王云奇,陶洪斌,黄收兵,等.施氮模式对夏玉米氮肥利用和产量效益的影响[J].核农学报,2013,27(2):219-224.
[14] 谢佳贵,韩晓日,王立春,等.不同施氮模式对春玉米产量、养分吸收及氮肥利用率的影响[J].玉米科学,2013,21(2):135-138.
[15] 高飞,李威,逢研,等.不同氮肥处理对春玉米氮吸收分配及产量的影响[J].作物杂志,2015(4):97-101
[16] 张总正,秦淑俊,李娜,等.深松和施氮对夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):790-798.
[17] 李伟波,李运东,王辉.用¹⁵N 研究吉林黑土春玉米对氮肥的吸收利用[J].土壤学报,2001,38(4):476-482.
[18] 王宜伦,张许,李文菊,等.氮肥后移对晚收夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].玉米科学,2011,19(1):117-120.