

# 缓释尿素对土壤和玉米植株氮素及干物质和产量的影响

武 鹏,杨克军,王玉凤,张翼飞,张文超,吴 琼,陈天宇,  
张鹏飞,庞 晨,王怀鹏,尹雪巍,杨 丽

(黑龙江八一农垦大学农学院/黑龙江省现代农业栽培技术与作物种质改良重点实验室,黑龙江 大庆 163319)

**摘 要:**试验在等量普通尿素、磷、钾肥(纯 N 60、 $P_2O_5$  120、 $K_2O$  90  $kg \cdot hm^{-2}$ )作种肥一次性施入玉米种下 8 cm 基础上,在拔节期前施入不同类型缓释尿素(纯 N 记 160  $kg \cdot hm^{-2}$ ),采用随机区组设 4 个施氮处理:树脂包膜尿素(A);硫包膜尿素(B);植物油包膜尿素(C);普通尿素(CK)。测定玉米整个生育期 0~20 cm 土层中硝态氮、铵态氮和全氮含量,测定植株不同器官干物质和氮含量。结果表明缓释尿素可以提高玉米生育后期土壤硝态氮和铵态氮含量,与普通尿素相比处理 A、B、C 灌浆期分别提高硝态氮 20.37、29.76、5.18  $mg \cdot kg^{-1}$  和铵态氮 8.19、2.31、1.85  $mg \cdot kg^{-1}$ ,成熟期分别提高硝态氮 5.50、5.93、2.04  $mg \cdot kg^{-1}$  和铵态氮 7.12、3.39、1.02  $mg \cdot kg^{-1}$ ;土壤全氮含量灌浆期提高 0.22、0.11、0.05  $mg \cdot kg^{-1}$ ,成熟期提高 0.20、0.20、0.01  $mg \cdot kg^{-1}$ ;与对照相比树脂包膜尿素(A)、硫包膜尿素(B)、植物油包膜尿素(C)干物质积累量和氮素积累量分别提高 89.41、60.92、48.97  $g \cdot 株^{-1}$  和 73.12、51.60、34.84  $kg \cdot hm^{-2}$ ,成熟期籽粒氮素吸收量提高 56.98、43.58、29.36  $kg \cdot hm^{-2}$ ;缓释尿素处理较普通尿素处理增产 2.22%~18.82%。三种缓释尿素处理相比较,树脂包膜尿素施用有效提高了生育后期土壤氮素含量、植株干物质积累、氮素积累和产量,施用效果最佳。

**关键词:**缓释尿素;玉米;土壤氮素;干物质;氮素吸收

**中图分类号:**S513 **文献标志码:**A

## The effects of slow-release urea on soil and plant nitrogen content, dry matter and yield of maize

WU Peng, YANG Ke-jun, WANG Yu-feng, ZHANG Yi-fei, ZHANG Wen-chao, WU Qiong, CHEN Tian-yu, ZHANG Peng-fei, PANG Chen, WANG Huai-peng, YIN Xue-wei, YANG Li

(College of Agronomy, Heilongjiang Bayi Agricultural University/Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Modern Agricultural Cultivation and Crop Germplasm Improvement, Daqing, Heilongjiang 163319, China)

**Abstract:** The field experiment based on the identical fertilizer, urea (pure N 60  $kg \cdot hm^{-2}$ ), phosphorus ( $P_2O_5$  120  $kg \cdot hm^{-2}$ ) and potassium ( $K_2O$  90  $kg \cdot hm^{-2}$ ) into 8 cm soil below the maize seed as seeding-fertilizer and fertilized various types of slow-release urea (pure N 160  $kg \cdot hm^{-2}$ ) into the soil before jointing stage. Four treatments, I (resin coated urea, A), II (sulfur coated urea, B), III (vegetable oil coated urea) and IV (common urea, CK) were set in the experiment. The spatial-temporal variations of soil  $NO_3^-N$ ,  $NH_4^+N$  and total N in depth of 0~20 cm and the dry matter and nitrogen content of the Plant organs were measured. Comparing to common urea of the same N application rate, the slow-release urea (A, B, C) could increase the content of soil  $NO_3^-N$ ,  $NH_4^+N$  in later days. The slow-release urea (A, B, C) increased soil  $NO_3^-N$  by 5.50, 5.93 and 2.04  $mg \cdot kg^{-1}$  respectively, increased soil  $NH_4^+N$  by 8.19, 2.31 and 1.85  $mg \cdot kg^{-1}$  respectively and increased soil total nitrogen by at maize filling stage. Similarly, they increased soil  $NO_3^-N$  by 5.50, 5.93 and 2.04  $mg \cdot kg^{-1}$  respectively, increased

收稿日期:2017-08-22

修回日期:2017-11-19

**基金项目:**国家科技支撑计划项目(2015BAD23B05-04);“十二五”农村领域国家科技计划(2013BAD07B01-07);黑龙江省农垦总局科技攻关项目(HNK135-02-03, HNK125B-07-12);校博士启动基金(校启 DB2011-16)

**作者简介:**武鹏(1993-),男,山西省灵丘县人,硕士,主要从事玉米栽培生理研究。E-mail:815320741@qq.com

**通信作者:**杨克军(1968-),男,山东省莒县人,教授,主要从事玉米高产栽培理论与技术研究。E-mail:byndykj@163.com

王玉凤(1978-),女,副教授,主要从事作物逆境生理与生态研究。E-mail:wangyf0918@163.com

soil  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  by 7.12, 3.39 and 1.02  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectively at maize harvesting stage. Soil total N was increased by 0.22, 0.11 and 0.05  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectively at maize filling stage and was increased by 0.20, 0.20 and 0.01  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  respectively at maize harvesting stage. The slow-release urea (A, B, C) increased the dry matter 89.41, 60.92 and 48.97  $\text{g}/\text{individual}$  respectively and the accumulation of nitrogen was increased by 73.12, 51.60 and 34.84  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  respectively at harvesting stage. The accumulation of N on maize grain increased by 56.98, 43.58 and 29.36  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  respectively. The maize yield were increased by 2.22% ~ 18.82%. Comparing to the other slow-release urea, resin coated urea had a better efficiency.

**Keywords:** slow-release urea; maize; soil nitrogen; dry matter; N uptake

玉米是我国重要粮食产物,其产量高低影响国家粮食安全和玉米产业的发展<sup>[1]</sup>,土壤中无机态的氮是作物可以直接吸收利用的矿质态氮,主要以硝态氮和铵态氮为主,其含量多少反映土壤短期内的供氮能力<sup>[2]</sup>。玉米生长对氮素需求量较大<sup>[3]</sup>,大多数农田中,土壤自身氮素储量不能有效满足玉米高产优质的需求,生产中需要施入氮肥满足这种需求<sup>[4-5]</sup>,普通氮肥主要为速溶性肥料,施入土壤后可在短期内溶解,但在短期内不能全部被植物吸收利用<sup>[6]</sup>,导致氮肥利用率较低<sup>[7]</sup>。缓释肥料是采用各种机制延缓或控制养分的释放,使肥料养分释放时间和强度与作物养分吸收规律相吻合,协调植物养分需求、保障养分供给和提高作物产量的新型肥料<sup>[8]</sup>,被认为是促进作物生长,降低氮素损失,提高氮肥利用率和作物产量的有效途径<sup>[9-11]</sup>。有研究者提出将缓释尿素作追肥在玉米生长时期施入土壤<sup>[12]</sup>,目的在于调节作物速效和缓效氮素供应,同时减少追肥次数,降低经济成本,提高经济效益。因此缓释肥料作追肥技术的研究与应用对于21世纪中国推动资源节约型和环境友好型绿色农业的发展具有重要意义。前人研究发现不同缓释包膜尿素在不同生态条件下释放速率不同<sup>[13]</sup>,对于作物影响也不同。刘敏<sup>[14]</sup>和李伟<sup>[15]</sup>研究认为缓释尿素能够降低苗期和提高灌浆期和成熟期的土壤硝态氮含量,与普通尿素处理相比提高玉米各生育期的土壤铵态氮含量,肖强<sup>[16]</sup>认为施用缓释肥能够提高春玉米植株和籽粒的全氮含量,陈艳萍<sup>[17]</sup>研究认为施用缓释肥提高植株和籽粒氮素积累量是提高玉米产量的关键。前人研究主要集中于一种缓释尿素与普通尿素以不同比例混施或单独作基肥一次

性施用于土壤对作物生长期土壤氮素含量和作物产量的影响效果,但是缓释尿素一次基施容易导致作物生育前期植株生长缓慢、干物质积累较低、价格成本过高等系列问题<sup>[18]</sup>,同时一次性施肥也易导致供肥时间难达玉米生长所需时长,造成后期脱肥<sup>[19]</sup>。试验数据表明后期追肥能够促进玉米生长发育,提高玉米产量<sup>[20-23]</sup>。但是对于比较不同缓释尿素对玉米影响的文献较少,普通尿素作基肥,不同缓释尿素作追肥应用于东北盐化草甸土地地区玉米的研究更是鲜有报道。本试验通过研究普通尿素作基肥不同缓释尿素作追肥探索适合东北盐化草甸土地的缓释肥料类型和施肥方式,以期为本地区制定高产高效的配方施肥及新型配方肥的生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验条件

试验于2016年5月20日至10月18日在黑龙江八一农垦大学农学院试验基地(大庆,46°62'N 125°19'E)进行。供试土壤为盐化草甸土,0~20 cm土层土壤基础肥力见表1。供试玉米品种为庆单3号,供试肥料为树脂包膜尿素(A,含氮量 $\geq 45\%$ ,山东茂施生态肥料有限公司生产);硫包膜尿素(B,含氮量 $\geq 37\%$ ,山东明泉缓释肥料有限公司生产);植物油包膜尿素(C,含氮量 $\geq 55\%$ ,中化化肥有限公司生产);普通尿素(CK,含氮量 $\geq 46\%$ ,中国石油天然气股份有限公司——昆仑尿素);硫酸钾( $\text{K}_2\text{O} \geq 50\%$ ,国投新疆罗布泊钾盐有限公司——罗布泊农业用硫酸钾);磷酸二铵( $\text{N} \geq 18\%$ , $\text{P}_2\text{O}_5 \geq 46\%$ ,中化化肥有限公司)。

表1 土壤基础地力

Table 1 Soil fertility

有机质	硝态氮	铵态氮	全氮	碱解氮	速效磷	速效钾	pH
O. M.	$\text{NO}_3^--\text{N}$	$\text{NH}_4^+-\text{N}$	Total N	Alk-hydro N	Available P	Available K	
$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	
28.12	4.4	0.5	1.16	114.56	18.21	106.16	8.09

## 1.2 试验设计

供试玉米品种为由大庆市庆发种业有限责任公司选育的庆单 3 号,根据当地需肥规律,试验在等量普通尿素、磷、钾肥(纯 N 60、 $P_2O_5$  120、 $K_2O$  90  $kg \cdot hm^{-2}$ )作种肥一次性施入种下 8cm 基础上,在拔节期前侧施入垄沟不同类型缓释尿素(纯 N 记 160  $kg \cdot hm^{-2}$ ),采用随机区组设 4 个施氮处理:树脂包膜尿素(A);硫包膜尿素(B);植物油包膜尿素(C);普通尿素(CK)。每个处理 3 次重复,共 12 个小区,每小区 6 行,行长 10 m,行距 0.65 m,面积 39  $m^2$ ,种植密度 60 000 株  $\cdot hm^{-2}$ ,区组两边各设 4 行保护行。2016 年 5 月 30 日播种,10 月 18 日收获,按照常规大田试验进行田间管理。

## 1.3 样品采集与测定

**1.3.1 土壤指标测定** 2016 年试验田施基肥前取 0~20 cm 耕层土壤,按常规法测定土壤基本理化性质<sup>[24-25]</sup>。在玉米拔节期、吐丝期、灌浆期、成熟期分 4 次在每个小区玉米株间距植株 10 cm 处取 0~20 cm 土层新鲜土样,每小区 3 个样点的土壤混合均匀后放入冰盒迅速带回实验室,新鲜土样过 5 目筛后,采用紫外分光光度法测定土壤硝态氮<sup>[24]</sup>,采用 KCl 浸提—靛酚蓝比色法测定铵态氮<sup>[24]</sup>。各时期新鲜土样自然风干后过 0.25 mm 孔径筛,采用半微量开氏法测定土壤全氮含量<sup>[25]</sup>。

**1.3.2 植株指标测定** 在玉米拔节期、吐丝期、灌浆期、成熟期分 4 次在每个小区采集有代表性的植株样品 3 株,带回实验室清洗干净按叶、茎、鞘、籽粒等器官分解植株,于 105℃ 下杀青 30 min,80℃ 下烘干至恒重,将称重后的样品磨碎后充分混合,采用  $H_2SO_4-H_2O_2$  湿灰化法消煮处理样品,用凯氏定氮仪(KjelFlex K-360, BÜCHI)测定全氮含量,计算植株吸氮量<sup>[26]</sup>。

## 1.4 数据处理与分析

参照 Moll 等<sup>[27]</sup>的方法,氮积累总量( $g \cdot plant^{-1}$ )=植株含氮量(%) $\times$ 生物量。

采用软件 Exce2003 对数据进行处理, DPS7.05

统计软件进行方差分析和 LSD 法多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同尿素处理对土壤氮素的影响

#### 2.1.1 不同尿素处理对土壤硝态氮含量的影响

旱田土壤中氮素主要以硝态氮为主,硝态氮含量的高低直接反映土壤中氮素的丰缺<sup>[3]</sup>。不同包膜尿素对春玉米不同生育时期 0~20 cm 耕层土壤硝态氮含量的影响不同。随着生育时期的推进,所有试验处理中的硝态氮含量均呈现先升高后降低的趋势。拔节期和吐丝期处理 CK 极显著高于其它处理 1.77~3.79  $mg \cdot kg^{-1}$  和 5.76~10.37  $mg \cdot kg^{-1}$ ,两个时期树脂包膜尿素处理的含量均为处理中最低分别为 2.97、13.12  $mg \cdot kg^{-1}$ 。吐丝期至灌浆期是玉米生长需肥关键时期,树脂包膜尿素和硫包膜尿素处理的硝态氮含量继续增长,植物油包膜尿素与 CK 的硝态氮含量开始下降且 CK 下降最快,灌浆期各处理之间差异极显著。灌浆期之后各处理硝态氮含量开始下降,成熟期处理 A 与 B 硝态氮含量显著高于对照 CK 5.50、5.93  $mg \cdot kg^{-1}$ ,树脂包膜尿素和硫包膜尿素处理差异不显著。

#### 2.1.2 不同尿素处理对土壤铵态氮含量的影响

不同包膜尿素对春玉米不同生育时期 0~20 cm 耕层土壤铵态氮含量的影响不同,均随着生育期的进行表现为先升高后降低。拔节期各处理铵态氮含量无明显差异,吐丝期处理 CK 与树脂包膜尿素处理和硫包膜处理差异极显著,CK 比缓释尿素处理高 3.41~13.91  $mg \cdot kg^{-1}$ 。吐丝期至灌浆期玉米需氮量较高,是玉米产量形成的关键时期,此时树脂包膜尿素与硫包膜尿素处理的土壤铵态氮含量均维持在较高的水平,植物油包膜尿素与普通尿素处理铵态氮含量开始下降,灌浆期树脂包膜尿素处理铵态氮含量极显著高于其它处理。灌浆期至成熟期各处理铵态氮含量均下降,成熟期树脂包膜尿素处理含量最高为 8.25  $mg \cdot kg^{-1}$ ,与其它处理差异极显著。

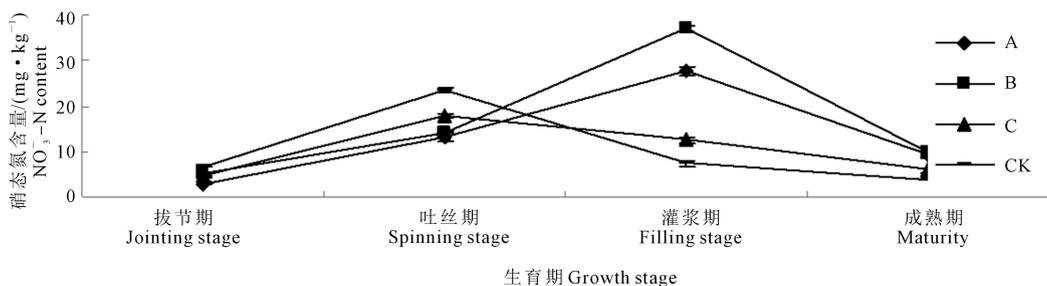


图 1 不同处理土壤硝态氮含量

Fig.1 Soil nitrate nitrogen acculuation in different treatment

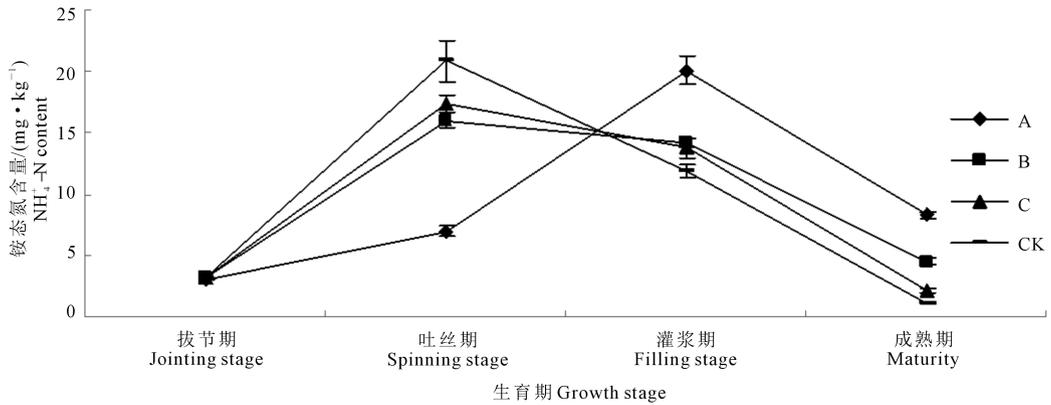
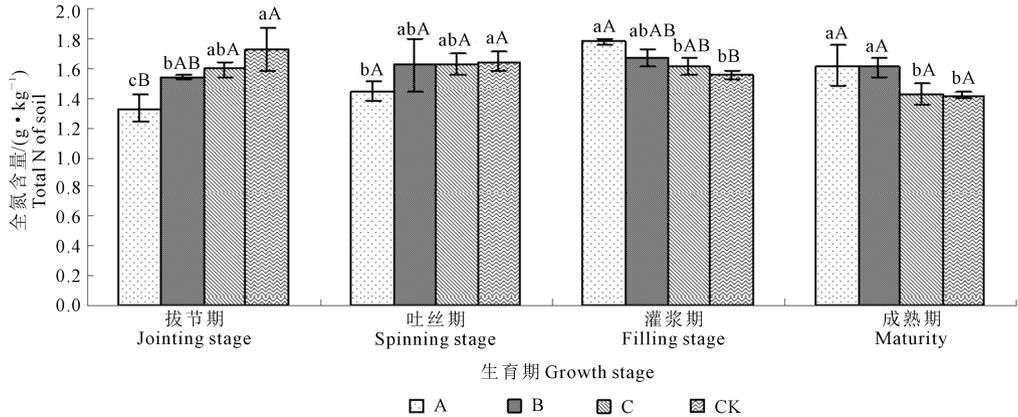


图 2 不同处理土壤铵态氮含量

Fig.2 Soil ammonium nitrogen acculation in different treatment

2.1.3 不同尿素处理对土壤全氮含量的影响 四种不同的尿素对玉米不同生育期 0~20 cm 耕层土壤的全氮含量影响不同,同时不同生育时期不同包膜尿素处理耕层土壤全氮含量总体变化趋势差异不大。缓释尿素呈先升高后降低的趋势,普通尿素呈下降趋势。普通尿素处理土壤全氮含量在拔节期最高,显著高于其它处理(硫包膜尿素处理除外)。植物油包膜尿素处理全氮含量在吐丝期达到最大值。树脂包膜尿素和硫包膜尿素处理在灌浆

期达到最大值,且显著高于其它处理。灌浆期缓释尿素处理高于普通尿素处理 0.19~0.24 g·kg<sup>-1</sup>,树脂包膜尿素处理含量最高为 1.72 g·kg<sup>-1</sup>。成熟期缓释尿素处理显著高于普通尿素(C 除外)以树脂包膜尿素处理最高。表明缓释尿素能在玉米生长前期有效控制肥料氮素的释放并保证能够满足玉米生长后期氮素需求高峰期时充足的氮素供应,满足玉米整个生育期的生长需求。



注:同列数据后不同小、大写字母表示在  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平下的显著性,下同。

Note ;Different small and big letters in the same column indicate significant difference at 0.05 and 0.01 probability level. The same as below.

图 3 不同处理土壤全氮含量

Fig.3 Soil total nitrogen acculation in different treatment

## 2.2 不同尿素处理对植株的影响

2.2.1 缓释尿素对春玉米干物质积累和分配的影响 图 4 表明,随着玉米生育期的推进,玉米各器官的干物质质量逐渐增加,但营养器官所占比例在逐渐降低,生殖器官所占比例逐渐增大。拔节期各处理茎、叶、鞘分别占干物质积累量的 9.34%~16.41%、72.96%~75.85%和 10.44%~17.39%;吐丝期玉米进入营养生长与生殖生长并进阶段,茎和鞘占地上部干物质积累量比例继续增大,叶片所占比例有所降

低,分别为 44.24%~45.29%、19.77%~24.5%和 30.65%~36.30%;灌浆期随着玉米籽粒的形成生殖器官所占干物质比例迅速增加,其中树脂包膜、硫包膜、植物油包膜和普通尿素处理籽粒所占比例分别为 32.52%、33.53%、31.54%和 27.21%;成熟期玉米籽粒所占比重达到 47.60%~54.84%,树脂包膜尿素处理籽粒干重分别比硫包膜、植物油包膜和普通尿素处理高 9.67、13.62 和 59.72 g·株<sup>-1</sup>。拔节期各处理之间干物质积累量差异不显著,吐丝期树脂包

膜尿素处理显著低于其它处理,普通尿素处理最大分别为  $39.14 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $186.39 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ ;灌浆期和成熟期缓释尿素处理植株干物质质量均显著高于普通尿素处理,树脂包膜尿素处理分别比普通尿素处理高  $57.01 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$  和  $89.41 \text{ g} \cdot \text{株}^{-1}$ 。

2.2.2 不同尿素处理对玉米氮素积累和分配的影响 养分的吸收、同化和转运影响作物的生长和发育,进而影响作物产量<sup>[28]</sup>,图 5 可以看出,随着玉米生育期的推进,营养器官的氮素积累量呈先升高后降低趋势,生殖器官呈增长趋势。拔节期各处理氮素主要分配在叶中,占总吸氮量的 81.81%~88.34%;吐丝期玉米进入营养生长与生殖生长并进阶段,茎和鞘的氮素含量占氮素总积累量的比重升高,分别为 15.37%~34.05% 和 6.05%~14.23%,叶所占比重有所下降为 51.72%~71.37%;灌浆期是玉米生殖生长的旺盛时期,营养器官叶吸氮量所占比重大幅下降为 36.11%~42.89%,生殖器官吸氮量大幅上升<sup>[29]</sup>,籽粒所占比重为 27.22%~41.13%;成熟期籽粒氮素积累量占总积累量的比重达到 67.71%~76.43%,远高于其它器官。从氮素积累量来看拔

节期普通尿素处理吸氮量最高为  $59.65 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,显著高于树脂包膜尿素处理;吐丝期各处理之间氮素吸收量差异不明显。灌浆期和成熟期树脂包膜尿素(A)处理氮素吸收量最大,与其它处理差异达到显著水平。

### 2.3 不同尿素处理对春玉米产量及其构成要素的影响

不同处理产量及其构成要素如表 2 所示,单从产量水平上来看,缓释尿素处理产量显著高于普通尿素处理,增产幅度为 2.22%~18.82%,三种缓释尿素处理间差异显著,树脂包膜尿素产量最高。从产量构成要素来看,四个处理的穗长与行粒数差异未达显著水平。除硫包膜尿素处理外,其它缓释尿素处理秃尖长都小于普通尿素处理。处理 A 的穗行数显著高于处理 C 与 CK 0.8 和 1.0 行。但缓释尿素处理的百粒重均高于普通尿素,比普通尿素增加 1.37~1.72 g,树脂包膜尿素硫包膜尿素百粒重无显著差异。总体来看,增产的主要原因是缓释尿素的施用有效提高了穗行数和百粒重,同时一定程度上减小了秃尖长度。

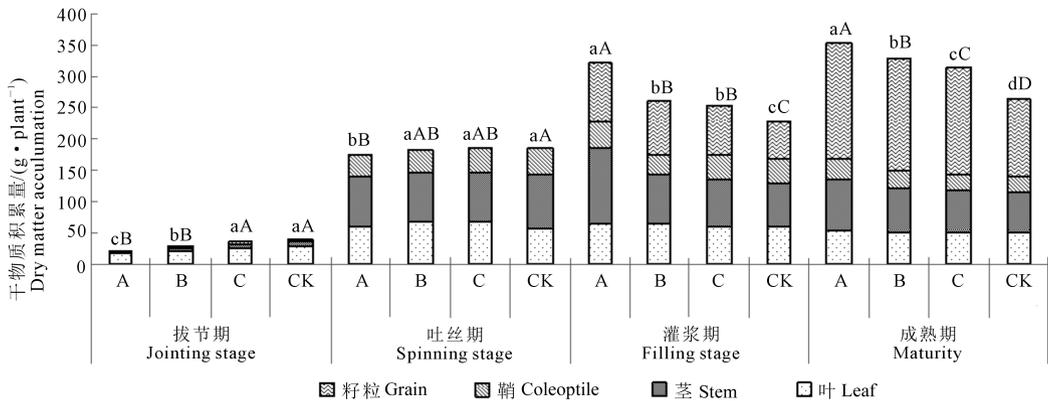


图 4 不同处理玉米干物质积累与分配

Fig.4 Accumulation and distribution of maize dry matter under different treatments

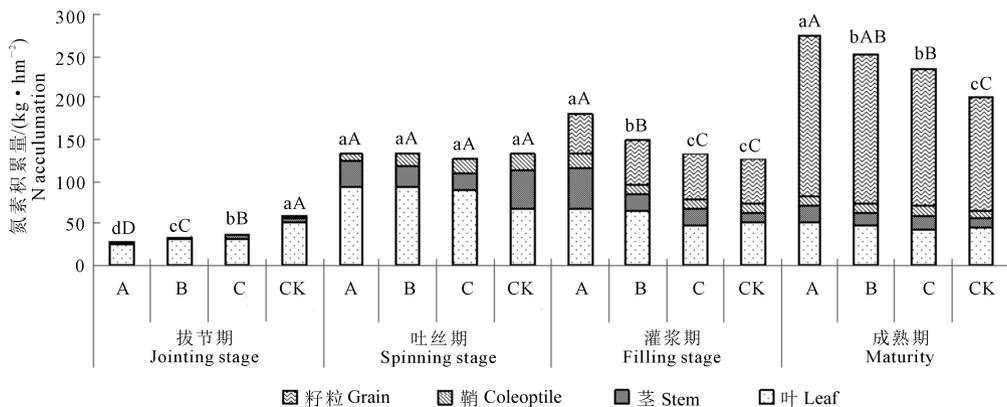


图 5 不同处理玉米氮素积累和分配

Fig.5 Accumulation and distribution of maize N under different treatments

表 2 不同处理春玉米产量及其构成要素

Table 2 The yield of spring maize and its components

处理	穗长/cm	秃尖/cm	穗行数/行	行粒数/粒	百粒重/g	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	增产率/%
Treatment	Length of panicle	Bare tip length	Ear rows	Line grain number	100-kernel weight	Yield	Yieldincrease rate
A	19.16aA	1.66aA	16.4aA	37.9aA	25.53aA	11252.58aA	18.82
B	19.60aA	1.99aA	15.7abA	36.6aA	25.25abA	10116.91bB	6.83
C	19.74aA	1.54aA	15.6bA	35.8aA	24.90bA	9680.20cC	2.22
CK	19.67aA	1.72aA	15.4bA	37.0aA	23.53cB	9470.41dD	

### 3 讨 论

玉米在苗期至拔节期吸氮量占全生育期的 6%~7%,拔节期至小喇叭口期为 22.7%~26.3%,大喇叭口期到散粉期占 22%~31.2%,散粉期之后占 35.5%~49.3%。普通尿素主要为速溶性肥料,玉米生育前期大量释放,但短期内不能全部被作物吸收利用,易造成后期脱肥现象。硝态氮和铵态氮是植株可以利用的氮素形态,因此在氮素肥料的研究中,通常把施用肥料后土壤中硝态氮和铵态氮含量作为养分转化特点的指标加以评价<sup>[30]</sup>。本试验结果表明,由于缓释尿素的释放特性<sup>[31]</sup>,不同缓释尿素的施用不但满足了玉米整个生育时期对氮素的需求,而且生育后期土壤中的硝态氮和铵态氮含量要高于普通尿素处理,满足了作物的需求。同时土壤中的全氮含量也表现为拔节期缓释尿素低于普通尿素,而在后期缓释尿素的氮素得到充足释放,使土壤全氮保持在较高水平,这与卫丽<sup>[32]</sup>的研究一致。这是由于普通尿素施入土壤后迅速水解而导致前期普通尿素处理氮素含量高于缓释尿素<sup>[33]</sup>,而包膜尿素是通过膜上的微孔和裂隙实现对养分的调控,随着生育期的推进,包膜尿素后期继续释放使土壤中氮素含量提高<sup>[34]</sup>。同时缓释尿素延缓了铵态氮向硝态氮的转化<sup>[35]</sup>,减弱由于硝态氮的淋洗对环境产生的污染效应,进而将有效氮较长时间的保持在土壤耕层中供植物吸收利用。本试验中三种缓释尿素相比,硫膜和植物油膜易溶解和破碎<sup>[33]</sup>,所以生育前期硫包膜尿素处理硝态氮含量高于树脂包膜处理,树脂包膜尿素氮素养分释放规律同玉米养分吸收规律更加吻合,本研究中聚氨酯树脂包膜尿素的持续释放时间达 70 天以上<sup>[36]</sup>,所以后期树脂包膜尿素处理土壤氮素含量高于硫包膜和植物油包膜处理。

干物质是产量形成的物质基础,在一定范围内,干物质积累量越高意味籽粒产量越高<sup>[37]</sup>。本试验中,前期各处理生物产量没有显著差异,表明基施较低量的普通尿素就能满足作物前期对氮素的

需求,促进干物质积累。成熟期缓释尿素处理的玉米地上部干物质积累显著高于普通尿素处理,成熟期树脂包膜尿素处理干物质积累量分别比硫包膜、植物油包膜尿素和普通尿素处理高 89.41、60.92 和 48.97 g·株<sup>-1</sup>,这是由于拔节期追施缓释尿素肥效持续时间长能够保证在生育后期为作物源源不断提供充足的氮素养分,这说明缓释尿素处理能够增加玉米干物质积累量,这与前人关于不同包膜缓释尿素的研究结果类似<sup>[38]</sup>,同时说明树脂包膜尿素与硫包膜和植物油包膜尿素相比更有利于玉米干物质积累<sup>[39]</sup>。自拔节期到吐丝期,玉米叶干物质质量占植株干物质积累量的比例逐渐降低,茎和鞘的分配比例逐渐升高。吐丝期至成熟期,茎、叶和鞘的分配比例随生育期的推进逐渐降低,生长中心向穗部转移,籽粒分配比例逐渐增大<sup>[38]</sup>。与普通尿素处理相比,吐丝期缓释尿素处理叶、茎和鞘的分配比例较小;成熟期缓释尿素的籽粒分配高达 52.43%~54.83%,显著高于普通尿素处理,说明缓释尿素能够提高籽粒的分配比例,有利于吐丝后茎、叶和鞘的干物质向籽粒转移,促进玉米增产。三种缓释尿素相比,吐丝期和灌浆期树脂包膜尿素处理叶的分配比例较小;灌浆期树脂包膜尿素处理茎的比例较高;成熟期树脂包膜尿素籽粒干物质质量最大但是分配比例与其它处理无明显差异,说明树脂包膜尿素处理有利于后期茎和叶干物质向籽粒转移,提高产量。

不同氮肥种类显著影响作物对氮素的吸收<sup>[40]</sup>,氮素的积累量反映了玉米整个生育时期对氮素营养的吸收情况<sup>[35]</sup>。本试验结果表明,同等施氮量下,缓释尿素处理的玉米吸氮量均显著高于普通尿素处理,这与 Shoji<sup>[41]</sup>和易镇邪<sup>[42]</sup>等人的研究结果一致。玉米籽粒中的氮一方面来源于抽雄前叶片、茎秆中积累氮素的再转移<sup>[43]</sup>,另一方面来源于根系的氮素吸收<sup>[44-45]</sup>。开花至成熟期是玉米氮素吸收运转分配的重要时期<sup>[46]</sup>。本试验在同等施氮量下,与普通尿素处理相比,吐丝期缓释尿素处理叶片的氮素分配比例较大,茎和鞘的分配比例较小;灌浆

期缓释尿素处理茎的氮素分配比例较大,这有利于灌浆期和成熟期氮素向籽粒的转移。缓释尿素处理籽粒氮素吸收量全部高于普通尿素处理,其中树脂包膜尿素处理籽粒氮素吸收量最高,说明籽粒从缓释尿素中吸收的氮素显著高于普通尿素处理<sup>[39]</sup>,其中树脂包膜尿素对籽粒氮素吸收影响最大。成熟期缓释尿素处理的籽粒吸氮量占总吸氮量的比例达 70.15%~71.13%,高于普通尿素处理的 67.71%,说明缓释尿素能够提高籽粒的氮素积累与分配比例。

玉米产量受到气象因子、耕作方式、玉米生物性状、养分含量以及籽粒构成因子等多种因素的影响<sup>[47-50]</sup>,缓释尿素能够协调玉米产量构成因素的关系<sup>[51]</sup>。本试验中缓释尿素处理的玉米产量极显著高于普通尿素处理,其中树脂包膜尿素处理增产率达到 18.82%,说明缓释尿素能够增加玉米穗行数和百粒重<sup>[52]</sup>,提高玉米产量。

## 4 结 论

缓释尿素作追肥拔节期前施入,与普通尿素处理相比能够满足春玉米整个生育时期对土壤氮素的需求,同时能够提高春玉米生育后期土壤硝态氮、铵态氮和全氮含量,促进春玉米干物质积累和氮素吸收,提高籽粒干物质和氮素吸收比例,增加春玉米穗行数和百粒重,促进玉米增产 2.22%~18.82%。不同缓释尿素由于包膜材料不同所以释放特性不同,要发挥其最好的效益需要确定合适的量和施用方式,本试验条件下表明在东北地区普通尿素作基肥,树脂包膜尿素作追肥施用效果最佳。

### 参 考 文 献:

- [1] 董树亭,张吉旺.建立玉米现代产业技术体系,加快玉米生产发展[J].玉米科学,2008,(04):18-20+25.
- [2] 朱宝国.控释氮肥对土壤硝态氮和玉米植株全氮含量及产量的影响[J].中国农学通报,2014,(06):220-223.
- [3] 卢艳艳,宋付朋,赵杰,等.控释尿素对土壤氮挥发和无机氮含量及玉米氮素利用率的影响[J].水土保持学报,2010,(06):79-82.
- [4] 王进军,柯福来,白鸥,等.不同施氮方式对玉米干物质积累及产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2008,(04):392-395.
- [5] 闫湘.我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D].北京:中国农业科学院,2008.
- [6] 李伟.控释掺混肥在小麦—玉米轮作体系中的应用效果研究[D].泰安:山东农业大学,2012.
- [7] 唐克丽,侯庆春,王斌科,等.黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向[C]//中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊,1993,02:2-15.
- [8] 何绪生,李素霞,李旭辉,等.控效肥料的研究进展[J].植物营养与肥料学报,1998,4(2):97-106.
- [9] 樊小林,刘芳,廖照源,等.中国控释肥料研究的现状和展望[J].植物营养与肥料学报,2009,15(2):463-473.
- [10] 李玮,冶军,郑继亮,等.缓释尿素对滴灌棉田土壤无机氮及其产量的影响[J].干旱地区农业研究,2017,35(02):166-171.
- [11] Azeem B, KuShaari K, Man Z B, et al. Review on materials & methods to produce controlled release coated urea fertilizer[J]. Journal of Controlled Release, 2014, 181: 11-21.
- [12] 靳丽云.缓控释肥料在玉米上的应用效果研究[J].现代农业科技,2013,(13):24-25.
- [13] 吕娇,李淑敏,潘明阳,等.不同包膜控释氮肥对玉米氮素吸收和产量的影响[J].天津农业科学,2012,(01):46-50.
- [14] 刘敏,宋付朋,卢艳艳.硫膜和树脂膜控释尿素对土壤硝态氮含量及氮素平衡和氮素利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,(02):541-548.
- [15] 李伟,李絮花,唐慎欣,等.控释掺混肥对夏玉米产量及土壤硝态氮和铵态氮分布的影响[J].水土保持学报,2011,(06):68-71+91.
- [16] 肖强,徐秋明,衣文平,等.不同灌溉量下微水溶性缓释肥料在春玉米的肥效及环境效应研究[J].核农学报,2012,(06):930-935.
- [17] 陈艳萍,肖尧,孔令杰,等.缓释肥施用量对超高产夏玉米氮素积累分配的影响[J].中国农学通报,2015,27:34-40.
- [18] 朱宝国,于忠和,贾会彬,等.控释尿素和普通尿素混施对玉米生理特性和品质的影响[J].黑龙江农业科学,2011,(07):42-44.
- [19] 宋德庆,黄正明,薛忠,等.我国追肥施布机械及技术研究现状与展望[J].农机化研究,2014,(02):241-244.
- [20] 姜涛.氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,(03):559-565.
- [21] 牛斌,刘社平,王激清.氮肥用量和追肥方式对玉米中玉15产量和氮肥利用效率的影响[J].湖北农业科学,2009,(08):1844-1847.
- [22] 高强,李德忠,汪娟娟,等.春玉米一次性施肥效果研究[J].玉米科学,2007,(04):125-128.
- [23] 鱼欢,杨改河,王之杰.不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,(02):266-273.
- [24] 叶喜文,马德全.测土配方施肥技术手册[M].哈尔滨:哈尔滨地图出版社,2008.
- [25] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第3版.北京:中国农业出版社,2005.
- [26] 刘慧迪.基于叶龄指数氮素管理对寒地玉米产量及品质形成的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.
- [27] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and Interpretation of Factors Which Contribute to Efficiency of Nitrogen Utilization[J]. Agronomy Journal, 1962, 74(3):562-564.
- [28] 宋海星,李生秀.玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J].中国农业科学,2003,(01):71-76.
- [29] 李青军,张炎,胡伟,等.氮素运筹对玉米干物质积、收分配及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,(03):755-760.

- [30] 李东坡, 梁成华, 武志杰, 等. 缓/控释氮素肥料玉米苗期养分释放特点[J]. 水土保持学报, 2006, (03): 166-169.
- [31] 王亮, 秦玉波, 于阁杰, 等. 新型缓控释肥的研究现状及展望[J]. 吉林农业科学, 2008, (04): 38-42.
- [32] 卫丽, 马超, 黄晓书, 等. 控释肥对土壤全氮含量及夏玉米产量品质的影响[J]. 水土保持学报, 2009, (04): 176-179.
- [33] 卢艳艳, 宋付朋. 不同包膜控释尿素对农田土壤氮挥发的影响[J]. 生态学报, 2011, (23): 148-155.
- [34] 杜建军, 毋永龙, 田吉林, 等. 缓/控释肥料减少氮挥发和氮淋溶的效果研究[J]. 水土保持学报, 2007, (02): 49-52.
- [35] 徐久凯, 李絮花, 李伟, 等. 缓释尿素与普通尿素配施对氮挥发和土壤氮素动态变化过程的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015, (06): 23-27.
- [36] 赵营, 赵天成, 刘汝亮, 等. 几种聚氨酯包膜尿素的氮素释放特征研究[J]. 中国土壤与肥料, 2016, (03): 60-66.
- [37] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配(综述)[J]. 玉米科学, 1994, (01): 48-53.
- [38] 赵斌, 董树亭, 张吉旺, 等. 控释肥对夏玉米产量和氮素积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2010, (10): 1760-1768.
- [39] 赵欢, 张萌, 秦松, 等. 缓释肥减量施用对覆膜栽培玉米生物性状、干物质积累与养分分配的影响[J]. 玉米科学, 2017, (01): 139-146.
- [40] 易镇邪, 王璞, 屠乃美. 氮肥类型对夏玉米及后作冬小麦产量与水、氮利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, (02): 11-17.
- [41] Shoji S. Innovative use of controlled availability fertilizers with high performance for intensive agriculture and environmental conservation[J]. Science in China (series C: Life Sciences), 2005, 48(z2): 912-920.
- [42] 徐秋明, 孙建好, 曹兵, 等. 干旱风沙灌漠土玉米田树脂包衣尿素施用效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, (06): 132-135+140.
- [43] Crawford T W J, Rending V V, Broadbent F E. Sources, fluxes, and sinks of nitrogen during early reproductive growth of maize [J]. Journal of Plant Physiology, 1982, 70: 1654-1660.
- [44] Osaki M, Morikawa K, Shimano T, et al. Productivity of high-yielding crop. II Comparison of N, P, K, Ca and Mg accumulation and distribution among high yielding crops[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1991, 37: 445-454.
- [45] Osaki M, Shimano T, Tadano T. Redistribution of carbon and nitrogen compounds from the shoot to the harvesting organs during maturation in filed crops[J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 1991, 37: 117-128.
- [46] 吕鹏, 张吉旺, 刘伟, 等. 施氮量对超高产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, 2011, 17(4): 852-860.
- [47] 李潮海, 王群, 梅沛沛, 等. 不同质地土壤上玉米养分吸收和分配特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, (04): 561-568.
- [48] 徐洪敏, 朱琳, 刘毅, 等. 黄土旱塬几种农田水分管理模式下春玉米氮素吸收及分配的差异[J]. 中国农业科学, 2010, (14): 2905-2912.
- [49] 王勇, 高育锋. 旱地秋覆膜玉米干物质积累、分配与转移的特性研究[J]. 玉米科学, 2004, (01): 76-78+81.
- [50] 徐静芳, 刘红霞, 栾桂霞, 等. 不同密度与播期对登海11号玉米生物性状与产量的影响[J]. 农技服务, 2012, (07): 817-819.
- [51] 李子双, 谭德水, 王薇, 等. 不同控释肥对夏玉米农艺性状及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2014, (09): 85-88.
- [52] 衣文平, 朱国梁, 武良, 等. 不同量的包膜控释尿素与普通尿素配施在夏玉米上的应用研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, (06): 1497-1502.