

控释尿素不同条施深度下鲜食玉米产量和氮素利用效应

刘威^{1,2}, 周剑雄¹, 谢媛圆¹, 徐祥玉¹, 袁家富¹, 徐芳森², 熊汉锋³, 熊又升¹

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农业部废弃物肥料化利用重点实验室, 武汉 430064;

2. 华中农业大学资源与环境学院, 农业部长江中下游耕地保育重点实验室, 武汉 430070;

3. 鄂州职业大学, 湖北 鄂州 436000)

摘要: 通过田间试验研究一次性施肥条件下控释尿素不同条施深度(0, 5, 10, 15 cm)对鲜食玉米产量、干物质积累变化、氮素利用率和土壤无机氮含量的影响, 为控释尿素在鲜食玉米上的应用推广提供依据。结果表明: 控释尿素施用深度的不同主要影响鲜食玉米抽雄至乳熟收获期的干物质积累, 该阶段 10, 15 cm 深度下鲜食玉米的干物质积累速率和积累量显著高于 0, 5 cm。随着控释尿素施用深度的增加, 鲜食玉米鲜穗产量、乳熟收获期植株总吸氮量以及氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率和氮肥表观利用率均呈现递增趋势, 与 0 cm 相比, 15 cm 深度处理的鲜穗产量和收获期植株总吸氮量分别显著提高 13.3% 和 53.0%, 氮肥偏生产力从 70.9 kg/kg 增加到 80.4 kg/kg, 氮肥农学利用效率从 6.8 kg/kg 增加到 16.3 kg/kg, 氮肥表观利用率从 3.3% 提高到 33.7%; 10 cm 深度处理仅较 0 cm 处理显著提高了植株总吸氮量和氮肥表观利用率, 而 5 cm 深度处理的鲜穗产量、乳熟收获期植株总吸氮量、氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率和氮肥表观利用率与 0 cm 处理间均无显著差异。抽雄期叶片光合特性测定结果表明, 与不施氮(CK)相比, 控释尿素的施用显著提高了单株叶面积、叶面积指数和穗位叶净光合速率, 与 0 cm 相比, 15 cm 深度处理的单株叶面积、叶面积指数、叶片净光合速率、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度均有不同程度的提高。关键生育期的土壤无机氮测定结果表明, 控释尿素施用深度的增加可以提高拔节期、抽雄期和乳熟收获期行间(施肥部位) 0—20 cm 土层、抽雄期和乳熟收获期行间(施肥部位) 20—40 cm 土层以及乳熟收获期玉米种植行(非施肥部位) 0—20 cm 的土壤无机氮含量。可见, 控释尿素深施能够提高鲜食玉米抽雄期以后的土壤供氮能力和改善叶片光合特性, 促进干物质积累和氮素吸收, 从而提高氮肥利用率和鲜穗产量。试验设置条件下, 控释尿素最佳的施用深度为 15 cm。

关键词: 鲜食玉米; 控释尿素; 施肥深度; 氮素利用; 产量

中图分类号: S513.1; S147.2

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)01-0246-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.01.038

Yield and Nitrogen Utilization Efficiency of Fresh Edible Maize Under Different Fertilization Depths of Control-release Urea

LIU Wei^{1,2}, ZHOU Jianxiong¹, XIE Yuanyuan¹, XU Xiangyu¹,

YUAN Jiafu¹, XU Fangsen², XIONG Hanfeng³, XIONG Yousheng¹

(1. Key Laboratory of Agricultural Waste Fertilizer Utilization of Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection and Soil Fertilizer, Hubei Academy of Agricultural Science, Wuhan 430064; 2. Key Laboratory of Arable Land Conservation (Middle and Lower Reaches of Yangtze River), Ministry of Agriculture, Resources &

Environment College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070; 3. Ezhou Polytechnic, Ezhou, Hubei 436000)

Abstract: In order to provide the basis for the application and popularization of control-release urea (CRU) in fresh edible maize, field experiments were conducted to study the effects of CRU applied in different depth (0, 5, 10 and 15 cm) on yield, dry matter accumulation, nitrogen utilization efficiency of fresh edible maize and inorganic nitrogen content in soil. The results showed that different application depth of CRU mainly affected the dry matter accumulation during the periods of tasseling to harvesting, moreover fertilizing CRU in 10 cm and 15 cm depth produced significant greater dry weight than fertilizing in 0 cm and 5 cm depth. Fresh ear yield, total nitrogen uptake of plants during milk ripening period, partial factor productivity (PFP), ag-

收稿日期: 2017-07-25

资助项目: 湖北省科技支撑计划项目(2015BBA151); 湖北省博士后创新岗位重点资助项目(2016-No. 0103)

第一作者: 刘威(1984—), 男, 湖北荆门人, 博士, 主要从事作物养分管理与生态环境研究。E-mail: weilu8844@126.com

通信作者: 熊又升(1963—), 男, 湖北鄂州人, 博士, 研究员, 主要从事土壤改良与作物养分协同技术和新肥料研发研究。E-mail: yshxiong@126.com

ronomic efficiency (AE) and apparent recovery efficiency (RE) of nitrogenous fertilizer all increased with the increasing of CRU application depth. Compared with fertilizing in 0 cm, fertilizing CRU in 5 cm depth had no effect on fresh ear yield, total nitrogen uptake, PFP, AE and RE of nitrogenous fertilizer. Fertilizing CRU in 10 cm depth significantly increased total nitrogen uptake and RE. However, fertilizing CRU in 15 cm depth significantly increased fresh ear yield and total nitrogen uptake by 13.3% and 53.0%, respectively, and increased PFP from 70.9 kg/kg to 80.4 kg/kg, increased AE from 6.8 kg/kg to 16.3 kg/kg, and increased PE from 3.3% to 33.7%. The results of leaf photosynthetic characteristics determination during tasseling stage indicated that application of CRU could increase the leaf area per plant, leaf area index and the photosynthetic rate of ear leaf. Moreover, compared with the 0 cm fertilization, fertilizing CRU in 15 cm depth increased the leaf area per plant, leaf area index, photosynthetic rate, transpiration rate and intercellular CO₂ concentration of ear leaf. The results of soil inorganic nitrogen test at key growth stages indicated that the increasing of CRU application depth significantly increased inorganic nitrogen content in 0—20 cm soil layer of fertilizer band at jointing, tasseling and harvest stages, and increased it in 20—40 cm soil layer of fertilizer band at tasseling and harvest stages, and increased it in 0—20 cm soil layer of non-fertilizer band at harvest stage. These results indicated that deep application of CRU could significantly improve the soil nitrogen supplying ability and leaf photosynthetic characteristics after tasseling stage, and promote dry matter accumulation and nitrogen absorption, and thus improve yield and nitrogen utilization efficiency of fresh edible maize. Under the conditions of this study, the optimal application depth of CRU was 15 cm for fresh edible maize.

Keywords: fresh edible maize; control-release urea; fertilization depth; nitrogen utilization efficiency; yield

氮是作物生长必需营养元素之一,氮肥的施用是保障我国农业高产的重要手段。目前,中国氮肥消费量占世界氮肥消费总量的 30% 以上^[1],而大田作物氮肥平均利用率仅为 30%~35%^[2],较低的氮肥利用率不仅给农民带来直接的经济损失,还引起一系列环境问题,如地表水体富营养化、地下水和蔬菜中硝态氮含量超标、土壤酸化、氮氧化物排放量增加等^[3-5]。如何提高氮肥利用率是我国农业生产研究中的热点问题。随着科学技术的进步,旨在降低环境污染风险和提高肥料利用率的新型肥料应运而生^[6]。控释尿素作为一种新型氮肥,可根据作物对养分的需求控制其养分释放模式,使养分释放与作物养分吸收基本同步,从而达到一次性施肥的效果,并且能够显著提高氮肥利用率^[7]。当前有关控释尿素在普通玉米、水稻、小麦等作物上应用研究逐渐增多^[8-10],但大多集中于控释尿素不同施用量^[9]、控释尿素与普通化肥不同配比^[7,10]等对作物产量、生长发育、肥料效率及环境效应的影响等方面,而关于控释尿素施用方式的影响研究则较少^[11]。鲜食玉米又称果蔬玉米,是在乳熟期采摘果穗用于加工或直接食用的玉米类型。近年来,随着我国经济的持续高速发展,人民生活水

平不断提高,消费者的膳食结构越来越趋于多元化、多样化以及玉米市场的多样化需求,鲜食玉米产业发展迅速,已成为我国广大农村和农民重要的经济来源和农村新的经济增长点^[12]。随着缓控释肥生产成本的降低和产量的增加,缓控释肥在农作物生产尤其是鲜食玉米等高附加值作物上的广泛应用是化学肥料发展的新趋势。然而关于控释尿素在鲜食玉米上的应用研究报道较少^[7],其不同施用深度下的肥料效果尚不清楚。因此,本试验开展了一次性施用条件下控释尿素不同条施深度对夏播鲜食玉米产量、氮素吸收利用以及土壤无机氮含量影响的研究,旨在为控释尿素的合理施用以及鲜食玉米简化高效施肥提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验位于湖北省鄂州市杜山镇路口村(海拔 20 m,东经 114°46′20.1″,北纬 30°22′43.8″),属于亚热带季风气候区,年均降雨量为 1 303.7 mm,年均气温为 17.1 ℃。供试土壤类型为滨湖围垦的灰潮土,基本理化性质见表 1。

表 1 土壤基本理化性质

土层 深度/cm	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	铵态氮/ (mg·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—20	7.80	15.09	115.23	2.66	14.48	14.58	199.22
20—40	7.86	10.30	66.23	2.30	7.56	2.63	109.76

1.2 试验材料

供试鲜食玉米品种为“佛甜 2 号”,生育期为 70~75 d,由佛山科学技术学院选育。供试控释尿素为养分释放期 60 d 的包膜尿素(含 $N \geq 44\%$),由华南农业大学资源与环境学院提供。供试磷肥选用云南金星化工有限公司生产的过磷酸钙(含 $P_2O_5 \geq 15\%$),钾肥选用加拿大生产、湖北中农中加国际贸易有限公司经销的硫酸钾(含 $K_2O \geq 51\%$)。

1.3 试验设计

试验设置 5 个处理,分别为不施氮肥对照(CK)、控释尿素表施 0 cm(D_0)、控释尿素侧方条施土下 5 cm(D_5)、控释尿素侧方条施土下 10 cm(D_{10})和控释尿素侧方条施土下 15 cm(D_{15})。除 CK 处理外,其他处理施氮均为 $N\ 180\ kg/hm^2$ 。各处理的磷、钾肥用量一致,分别为 $P_2O_5\ 45\ kg/hm^2$ 和 $K_2O\ 90\ kg/hm^2$ 。每个处理设 4 次重复,随机排列,小区面积 $60\ m^2$ 。采用起畦双行种植,畦宽 1.2 m,玉米种植行距 0.6 m,株距 0.33 m。肥料在播种前根据不同深度采用开施肥沟条施的方式一次性施入,并在施肥后回填土。试验于 2016 年 7 月 31 日整地,8 月 1 日施肥,8 月 4 日播种,10 月 18 日收获。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 植株干物质积累量及养分测定 分别于拔节期(8 月 29 日)、抽雄期(9 月 23 日)和乳熟收获期(10 月 18 日)采集植株样品。每个小区采集 3 株代表性植株,按不同器官分开,于 $105\ ^\circ C$ 杀青 30 min, $70\ ^\circ C$ 烘干至恒重后测定干物质重,并用粉碎机粉碎, $H_2SO_4-H_2O_2$ 消煮,用流动分析仪测定全氮含量,并计算氮素吸收量。

1.4.2 叶片光合指标 于抽雄期(9 月 24 日)每个小区选取 5 株测量单株叶面积、叶面积指数以及穗位叶光合参数值,包括净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度。单株叶面积和叶面积指数的测量采用系数法^[13],展开叶叶面积=叶片最大长度×最大宽度×0.75;未展开叶叶面积=叶片最大长度×最大宽度×0.5。

叶片光合参数值采用便携式光合仪(Li-6400, Li-Cor Inc, USA)于上午 8:30—13:30 测定。测定时采用开放气路, CO_2 浓度为 $380\ \mu mol/mol$,应用 LED 光源补光,光量子通量为 $1\ 400\ \mu mol/(m^2 \cdot s)$ 。测定部位为穗位叶中部上表面,每个小区测定 5 株,每株测定 3 次。

1.4.3 土壤养分含量 分别于拔节期(8 月 29 日)、抽雄期(9 月 23 日)和乳熟收获期(10 月 18 日)采集植株样品的同时,用土钻分玉米种植行和行间肥料带两个部位分别采集 0—20, 20—40 cm 土壤样品,每小

区采集 4 个样点的土壤同层混合后,放入冰盒迅速带回实验室保存。鲜土样过 2 mm 筛后,一部分用烘干法测定土壤水分含量,一部分采用 $2\ mol/L\ KCl$ 浸提—流动注射分析仪上机测定无机氮(NH_4^+-N 和 NO_3^--N)含量。

1.4.4 测产 于乳熟收获期(10 月 18 日)每个小区采收 40 个果穗进行测产,根据种植密度折算鲜穗单位面积产量(kg/hm^2)。

1.4.5 氮素利用效率 氮素利用效率相关参数^[7,14]的计算方法为:

氮肥偏生产力(kg/kg)=单位面积鲜穗产量/单位面积施氮量

氮肥农学效率(kg/kg)=(施氮处理鲜穗产量—不施氮处理鲜穗产量)/施氮量

氮肥表观利用率(%)=(施氮处理吸氮量—不施氮处理吸氮量)/施氮量×100%

1.5 数据处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2010 软件进行整理与作图,采用 SAS 8.0 软件进行数据统计分析,用 LSD 法检验处理间 $P < 0.05$ 水平的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 控释尿素不同施用深度对鲜食玉米产量的影响

由图 1 可知,与 CK 相比,施用控释尿素各处理(D_0 、 D_5 、 D_{10} 和 D_{15})提高了鲜食玉米的鲜穗产量,增幅为 10.7%~25.4%。在相同施氮($180\ kg/hm^2$)水平下,随着控释尿素施用深度(0—15 cm)的增加,鲜穗产量逐渐增加,其中 D_{15} 处理的鲜穗产量最高,较 D_5 和 D_{10} 处理分别增加了 8.6%和 6.2%,差异不显著;较 D_0 处理增产 13.3%,差异显著。

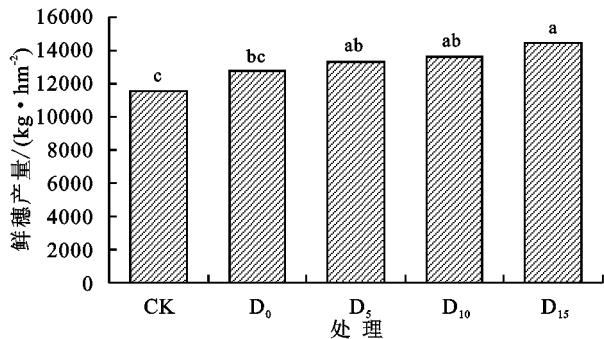


图 1 不同施肥处理对鲜食玉米鲜穗产量的影响

2.2 控释尿素不同施用深度对鲜食玉米干物质积累的影响

由表 2 可知,在拔节期,施控释尿素各处理的地上部干物质积累量较 CK 处理略有增加,差异不显著。在抽雄期,施控释尿素各处理的地上部干物质积累量均显著高于 CK 处理,增幅为 40.5%~57.9%,但是控释尿素不同施用深度处理间的地上部干物质积累量无显著差异。在乳熟收获期,施控释尿素各处

理的地上部干物质积累量随着施肥深度的增加呈现递增变化趋势,其中 D₁₅ 和 D₁₀ 处理显著高于其余处理,与 CK 处理相比分别增加 45.6% 和 36.6%,与 D₀ 处理相比分别增加 41.2% 和 32.5%,与 D₅ 处理相比分别增加 36.2% 和 27.9%。D₀ 和 D₅ 处理在乳熟收获期的地上部干物质积累量较 CK 处理有增加趋势,但是差异并不显著。

表 2 不同施肥处理对鲜食玉米干物质积累量和积累速率的影响

处理	干物质积累量/(kg·hm ⁻²)			干物质阶段积累速率/(kg·hm ⁻² ·d ⁻¹)		
	拔节期	抽雄期	乳熟收获期	苗期—拔节期	拔节—抽雄期	抽雄—乳熟收获期
CK	198.4a	1981.8b	8873.9b	7.9a	71.3b	275.7b
D ₀	228.2a	3128.7a	9148.1b	9.1a	116.0a	240.8b
D ₅	241.0a	2784.8a	9483.8b	9.6a	101.8a	268.0b
D ₁₀	227.0a	2892.7a	12125.3a	9.1a	106.6a	369.3a
D ₁₅	242.4a	2913.6a	12917.6a	9.7a	106.8a	400.2a

注:同列不同小写字母表示不同施肥处理间差异显著(P<0.05)。下同。

2.3 控释尿素不同施用深度对鲜食玉米氮素积累和氮素利用的影响

由表 3 可知,控释尿素不同施用深度显著影响鲜食玉米收获期的植株总吸氮量。控释尿素施用深度的增加导致鲜食玉米收获期的植株总吸氮量有递增的变化趋势,其中 D₁₅ 处理收获期的植株总吸氮量最高,其次是 D₁₀ 处理,两者显著高于 CK、D₀ 及 D₅ 处理;D₀ 和 D₅ 处理收获期的植株总吸氮量均较 CK 处理有所增加,但差异并不显著。

从氮素利用效率上来看(表 3),D₀ 处理的氮肥利用率不高,氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率和氮肥表观利用率分别仅为 70.9、6.8 kg/kg 和 3.3%。与 D₀ 处理相比,施控释尿素其他深度(D₅、D₁₀ 和 D₁₅)处理的氮肥偏生产力、氮肥农学利用效率和氮肥表观利用率均有不同程度的增加,其中 D₁₅ 处理的氮肥偏生产力和氮肥农学利用效率分别较 D₀ 处理增加了 13.4% 和 1.4 倍,差异显著,D₁₅ 处理和 D₁₀ 处理的氮肥表观利用率较 D₀ 处理分别增加了 30.4 和 26.9 个百分点,且较 D₅ 处理分别增加了 27.4、23.9 个百分点,差异显著。

表 3 不同施肥处理对鲜食玉米抽雄期叶面积指数和光合参数的影响

处理	单株叶面积/m ²	叶面积指数	净光合速率/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	蒸腾速率/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	气孔导度/(mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度/(μmol·mol ⁻¹)
CK	0.29b	1.48b	30.1b	7.4b	0.35c	393.2a
D ₀	0.36a	1.84a	46.2a	9.5ab	0.41c	506.8a
D ₅	0.35a	1.78a	48.8a	9.6ab	0.61b	453.8a
D ₁₀	0.36a	1.82a	46.0a	10.6ab	0.78a	451.8a
D ₁₅	0.38a	1.94a	54.2a	11.5a	0.73ab	561.8a

2.5 控释尿素不同施用深度对土壤无机氮含量的影响

土壤无机氮(包括 NH₄⁺—N 和 NO₃⁻—N)含量能够很好地反映植物生长过程中的土壤供氮能力。表 5 和表 6 分别对不同生育期鲜食玉米行间(施肥部位)和种植行(非施肥带)的 0—20、20—40 cm 土壤无

从不同阶段干物质积累速率变化(表 2)可见,抽雄—乳熟收获期的干物质积累速率显著高于拔节—抽雄期和苗期—拔节期。不同施肥深度处理在抽雄—乳熟收获期间干物质积累速率差异较大,其中 D₁₅ 和 D₁₀ 处理的干物质积累速率显著高于 CK 处理,增幅分别为 33.9% 和 45.2%,而 D₀ 和 D₅ 处理的干物质积累速率与 CK 处理差异不显著。

表 3 不同施肥处理对鲜食玉米收获期氮吸收量和氮素利用率的影响

处理	植株总吸氮量/(kg·hm ⁻²)	氮肥偏生产力/(kg·kg ⁻¹)	氮肥农学利用效率/(kg·kg ⁻¹)	氮肥表观利用率/%
CK	97.2b			
D ₀	103.3b	70.9b	6.8b	3.3b
D ₅	108.5b	74.1ab	10.0ab	6.3b
D ₁₀	151.6a	75.7ab	11.6ab	30.2a
D ₁₅	158.0a	80.4a	16.3a	33.7a

2.4 控释尿素不同施用深度对鲜食玉米抽雄期光合参数的影响

由表 4 可知,抽雄期,与 CK 相比,施控释尿素各处理的单株叶面积、叶面积指数和光合参数值均有不同程度的增加,且多数指标值(除气孔导度外)均以 D₁₅ 处理增幅为最大。与 D₀ 处理相比,控释尿素其他施用深度(D₅、D₁₀ 和 D₁₅)处理显著提高了叶片气孔导度,增幅分别为 48.8%、90.2%、78.0%。施控释尿素各处理的单株叶面积、叶面积指数、净光合速率、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度均随着施肥深度的增加呈现递增的变化趋势,但是不同深度处理间差异不显著。

机氮进行了分析。

由表 5 可知,各时期的行间(施肥部位)20—40 cm 土层无机氮含量明显低于 0—20 cm。不同施肥处理对鲜食玉米各时期行间(施肥部位)两个土层土壤无机氮含量均有显著影响。在拔节期,施控释尿素

各处理较 CK 处理显著提高了行间(施肥部位)两个土层土壤无机氮含量,且 D₅、D₁₀ 和 D₁₅ 处理 0—20 cm 土层土壤无机氮含量相差不大,均显著高于 D₀ 处理;而控释尿素不同施用深度处理拔节期行间(施肥部位)20—40 cm 土层无机氮含量差异不大。在抽雄期,施控释尿素各处理行间(施肥部位)0—20,20—40 cm 土层无机氮含量均随着施肥深度的增加而增加,其中 D₁₅ 处理两个土层无机氮含量均显著高于其他处理(D₁₀、D₅、D₀ 和 CK);D₅ 和 D₁₀ 处理下行间(施肥部位)0—20 cm 土层无机氮含量显著高于 D₀ 和 CK 处理,而 20—40 cm 土层无机氮含量与 D₀ 及 CK 处理差异不显著。在乳熟收获期,施控释尿素各处理行间(施肥部位)0—20,20—40 cm 土层土壤无机氮含量显著高于 CK 处理,D₁₅ 处理 0—20 cm 土层土壤无机氮含量最高,显著高于其他处理,D₁₅ 处理 20—40 cm 土层无机氮含量与 D₁₀ 处理差别不大,均是显著高于 D₀ 处理。

由表 6 可知,不同施肥处理显著影响鲜食玉米拔节期和乳熟收获期种植行(非施肥部位)0—20,20—

40 cm 土层土壤无机氮含量,但对抽雄期种植行两个土层的无机氮含量影响不大。在拔节期,D₀ 处理种植行 0—20 cm 土层无机氮含量最高并且显著高于其他处理,其他施肥深度处理种植行 0—20 cm 土层无机氮含量随着施肥深度增加而降低,但与 CK 处理的差异不显著;拔节期种植行 20—40 cm 土层无机氮含量除 D₅ 处理显著高于 CK 外,其他处理间的土壤无机氮含量差异不大。在乳熟收获期,D₁₀ 和 D₁₅ 处理 0—20 cm 土层无机氮含量差异不大,显著高于 D₅、D₀ 和 CK 处理;D₅、D₁₀ 和 D₁₅ 处理 20—40 cm 土层乳熟收获期显著低于 D₀ 处理。

通过以上分析看出,鲜食玉米条带状施肥对行间(施肥部位)和种植行(非施肥部位)的土壤无机氮含量均有影响。与 CK 和 D₀ 处理相比,控释尿素深施(D₁₅)处理显著提高鲜食玉米各生育期间(施肥部位)0—20 cm 土层土壤无机氮含量的同时,还提高了鲜食玉米抽雄期和乳熟收获期的行间(施肥部位)20—40 cm 土层以及种植行(非施肥部位)0—20 cm 土层土壤无机氮含量,从而提高了土壤氮素的供应水平。

表 5 鲜食玉米不同生育期行间(施肥部位)土壤无机氮含量 单位:mg/kg

处理	拔节期		抽雄期		乳熟收获期	
	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
CK	35.95c	9.61b	22.66d	11.30b	10.99d	12.48c
D ₀	185.40b	18.24a	74.37c	10.11b	190.46bc	19.29bc
D ₅	381.22a	17.84a	159.94b	10.79b	151.04c	27.30ab
D ₁₀	400.35a	14.02ab	163.56b	13.38b	213.66b	35.60a
D ₁₅	362.79a	17.87a	244.78a	28.16a	268.91a	34.93a

表 6 鲜食玉米不同生育期玉米种植行(非施肥部位)土壤无机氮含量 单位:mg/kg

处理	拔节期		抽雄期		乳熟收获期	
	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm	0—20 cm	20—40 cm
CK	23.55b	5.68b	20.11a	13.22a	8.47c	2.57c
D ₀	71.86a	7.91ab	18.72a	12.46a	20.19b	4.95a
D ₅	32.68b	9.34a	24.43a	9.33a	13.00bc	3.71b
D ₁₀	30.36b	6.89ab	17.15a	11.12a	28.98a	3.04bc
D ₁₅	25.00b	8.84ab	19.38a	11.60a	25.76a	3.85b

3 讨论与结论

许多研究^[15-19]表明,控释尿素作为一种新型肥料在作物上可以实现一次性施肥以满足整个生育期内作物对养分的需求,可以提高肥料的养分利用率,且具有增产或稳产的作用。本研究以 60 d 养分释放期的控释尿素为供试肥料,探究了不同施肥深度条件下其在鲜食玉米上的产量和氮素利用效应。研究结果表明,控释尿素的施用对鲜食玉米拔节期的干物质积累影响不大,这可能与鲜食玉米生长前期养分需求量较小以及供试土壤的基础肥力较高有关;而在拔节至抽雄期和抽雄至乳熟收获期的鲜食玉米干物质积累速率迅速增加,养分需求量增大,控释尿素的施用明

显促进了生育后期的植株生长和干物质积累,这与尹彩侠等^[18]和纪德智等^[20]研究结果一致,反映出控释尿素具有养分释放缓慢、肥效期长的特性。

合理的施用方式是实现肥料高效利用的重要手段。已有研究^[21-22]表明,由于施肥位置的不同,施肥后在肥料附近造成的特殊环境对土壤有效养分迁移转化、作物生长发育、养分吸收利用等也会产生不同的影响。安景文等^[19]应用不同肥料配方对玉米进行一次深施肥试验结果表明,在等养分条件下包膜尿素一次性深施肥能促进玉米的养分吸收和提高氮肥利用率。苏琳等^[11]在夏玉米上的研究也表明,与控释尿素侧施(3—5 cm)相比,控释尿素底施(7

cm)使玉米籽粒产量提高 6.2%,氮肥农学利用效率和偏生产力分别提高 26.8%和 5.7%。本研究结果表明,在相同施氮量(180 kg/hm²)条件下,控释尿素表施(D₀)处理对鲜食玉米增产效果不显著,氮肥利用率也较低。而控释尿素深施能显著提高鲜穗产量和氮肥利用率,与 D₀ 处理相比,控释尿素施 15 cm 深度(D₁₅)处理的鲜穗产量显著提高 13.3%,氮肥偏生产力从 70.9 kg/kg 增加到 80.4 kg/kg,氮肥农学利用效率从 6.8 kg/kg 增加到 16.3 kg/kg,氮肥表观利用率从 3.3%提高到 33.7%。研究结果还表明,控释尿素深施(D₁₅)有利于提高鲜食玉米抽雄以后干物质积累量和改善叶片光合特性,是其获得较高产量的生理基础。

土壤无机氮可作为土壤供氮能力的重要指标,表征着较为活跃的土壤氮部分。大量研究^[16,23-25]表明,土壤无机氮在土壤中的分布因氮肥运筹及施用方式不同而差异较大。本研究结果表明,控释尿素条施能显著提高鲜食玉米各生育期行间(施肥部位)0—20 cm 土层无机氮含量,同时控释尿素施用深度的增加可以提高夏播鲜食玉米抽雄期和乳熟收获期行间(施肥部位)0—20,20—40 cm 土层以及乳熟收获期玉米种植行(非施肥部位)0—20 cm 土层的土壤无机氮含量。由此可见,控释尿素合理的施用深度提高了根层土壤氮素的供应能力,同时也减少了在土壤中因淋失而造成浪费的机会。已有研究^[26-27]表明,与表施或浅施相比,肥料深施能有效地降低肥料因挥发或淋失而造成的损失,这可能也是控释尿素深施能够增加作物产量和提高氮肥利用率的重要原因。本研究综合鲜食玉米产量、氮素利用率以及土壤无机氮含量情况,初步得出控释尿素适宜的施用深度为 15 cm。然而,肥料氮素在土壤中的运移受灌溉、降雨等土壤水分变化的影响很大^[28],有关控释尿素在不同降雨和灌溉条件下的适宜深度还有待于进一步的研究。

参考文献:

- [1] 张卫峰,马林,黄高强,等. 中国氮肥发展、贡献和挑战[J]. 中国农业科学,2013,46(15):3161-3171.
- [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.
- [3] 巨晓棠,谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [4] 寇长林,巨晓棠,张福锁. 3 种集约化种植体系氮素平衡及其对地下水硝酸盐含量的影响[J]. 应用生态学报,2005,16(4):660-667.
- [5] Yan X Y, Hosen Y, Yagi K. Nitrous oxide and nitric oxide emissions from maize field plots as affected by N fertilizer type and application method [J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(5): 297-303.
- [6] 赵秉强,杨相东,李燕婷,等. 我国新型肥料发展若干问题的探讨[J]. 磷肥与复肥,2012,27(3):1-4.
- [7] 黄巧义,唐拴虎,张发宝,等. 控释尿素与常规尿素配比比例对甜玉米产量和氮肥利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(3):622-631.
- [8] 樊小林,刘芳,廖照源,等. 我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.
- [9] 司东霞,崔振岭,胡树文,等. 控释氮肥不同用量对移栽玉米幼苗生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1492-1496.
- [10] 郭萍,黄科程,李孝东,等. 普通、控释尿素对比对玉米物质积累及产量的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(1):191-196.
- [11] 苏琳,董志新,邵国庆,等. 控释尿素施用方式及用量对夏玉米氮肥效率和产量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(4):915-920.
- [12] 许金芳,宋国安,刘佳. 鲜食玉米研究现状与发展对策[J]. 玉米科学,2007,15(6):40-42.
- [13] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等. 超高产春玉米冠层结构及其生理特性[J]. 中国农业科学,2011,44(21):4367-4376.
- [14] 李伟,李絮花,李海燕,等. 控释尿素与普通尿素混施对夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 作物学报,2012,38(4):699-706.
- [15] 张木,唐拴虎,张发宝,等. 60 天释放期缓释尿素可实现早稻和晚稻的一次性基施[J]. 植物营养与肥料学报,2017,23(1):119-127.
- [16] 王素萍,李小坤,鲁剑巍,等. 施用控释尿素对油菜籽产量、氮肥利用率及土壤无机氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(6):1449-1456.
- [17] 鲁艳红,聂军,廖育林,等. 不同控释氮肥减量施用对双季水稻产量和氮素利用的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(2):155-161,174.
- [18] 尹彩侠,刘宏伟,孔丽丽,等. 控释氮肥对春玉米干物质积累、氮素吸收及产量的影响[J]. 玉米科学,2014,22(6):108-113.
- [19] 安景文,汪仁,包红静,等. 不同肥料配方一次性施肥对玉米产量和养分吸收的影响[J]. 土壤通报,2008,39(4):874-877.
- [20] 纪德智,王端,赵京考,等. 不同氮肥形式对春玉米产量、土壤硝态氮及氮素利用率的影响[J]. 玉米科学,2015,23(2):111-116,123.
- [21] 孙悦,徐兴良, Kuzyakov Yakov. 根际激发效应的发生机制及其生态重要性[J]. 植物生态学报,2014,38(1):62-75.
- [22] Jing J, Zhang F, Rengel Z, et al. Localized fertilization with P plus N elicits an ammonium-dependent enhancement of maize root growth and nutrient uptake [J]. Field Crop Research, 2012, 133: 176-185.
- [23] 李娜,宁堂原,崔正勇,等. 深松与包膜尿素对玉米田土壤氮素转化及利用的影响[J]. 生态学报,2015,35(18):6129-6137.