

控释尿素对土壤供氮能力及旱作玉米产量的影响

王浩, 梁熠, 康建宏, 冯朋博, 王乐

(宁夏大学农学院, 银川 750021)

摘要: 通过田间试验, 探明控释尿素输入对土壤无机氮变化及春玉米氮素吸收利用特性的影响, 为宁夏南部山区氮肥高效利用及玉米高产提供理论依据和技术支撑。以“先玉 698”为供试材料, 在等氮量(225 kg/hm²)条件下, 以不施氮为对照(CK), 设置 UR(100%普通尿素, 2/3 基施, 1/3 小喇叭口期追施)、CRU1(1/3 控释尿素+ 1/3 普通尿素基施, 1/3 普通尿素小喇叭口期追施)、CRU2(2/3 控释尿素+1/3 普通尿素一次基施)、CRU3(100%控释尿素基施)4 种施氮模式, 探明控释尿素输入对土壤无机氮分布、玉米氮素吸收运转、氮素利用效率以及产量的影响。结果表明, 相对于 UR 处理, 控释尿素输入显著提升了春玉米生育中后期土壤硝态氮和铵态氮的含量, 其中以 CRU2 处理效果最明显。CRU 输入能提高春玉米产量及氮肥利用率, 与 UR 相比, 2 年内平均增产 0.67 t/hm², 氮肥偏生产力提高 2.92 kg/kg, 氮肥利用率提高 6.02%。CRU 处理间尤其以 CRU2 效果最佳, 与 CRU1、CRU3 相比, 2 年内分别平均增产 0.10、0.53 t/hm², 氮肥偏生产力分别提高 0.30、2.23 kg/kg, 氮肥利用率分别提高 2.49%、9.44%。由此可见, 控释/普通尿素配施有利于提高土壤养分供应与春玉米氮素吸收的吻合度, 初步建议采用控释尿素基施 150 kg/hm²+普通尿素基施 75 kg/hm²的施肥模式, 以提高宁夏旱区春玉米产量和氮肥利用率。

关键词: 春玉米; 尿素; 控释尿素; 氮素利用率; 产量

中图分类号: S143.1; S513

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2020)04-0320-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2020.04.046

Effects of the Controlled Release Urea Application on Soil Nitrogen Supply in the Mid-late Growing Stage and Yield in Rainfed Maize

WANG Hao, LIANG Yi, KANG Jianhong, FENG Pengbo, WANG Le

(College of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan 750021)

Abstract: Based on field experiment, the influence of controlled release urea (CRU) application on soil inorganic nitrogen distribution, nitrogen uptake and use characteristics of spring maize (*Zea mays* L.) was analyzed to provide theoretical basis and technical support for high-efficiency utilization of nitrogen fertilizer and high-yield maize in the southern mountain area of Ningxia. Xianyu 698 was used as experimental material. Five treatments that including No nitrogen was applied as the control (CK), conventional nitrogen supply UR (100% Urea (U), 1/3 U base application, 1/3 U flare opening period application), CRU1 (1/3 CRU + 1/3 U base application, 1/3 U flare opening period application), CRU2 (2/3 CRU + 1/3 U base application), and CRU3 (100% CRU base application) were designed to explore the effects of CRU input on soil inorganic nitrogen distribution, nitrogen uptake, nitrogen use efficiency and yield of maize. The results showed that the soil nitrate nitrogen and ammonia nitrogen content in the mid-late stage of maize with the CRU treatments was significantly increased compared with those of UR treatment, with the highest increase in CRU2 treatment. CRU input could improve the yield and nitrogen utilization of spring maize. Compared with UR, the average yield of spring maize increased by 0.67 t/hm², the nitrogen partial factor productivity (NPFPP) increased by 2.92 kg/kg, and the nitrogen use efficiency (NUE) increased by 6.02%. Compared with CRU1 and CRU3 treatments, the yield, NPFPP, and NUE in CRU2 treatment within two years were significantly increased by 0.10 t/hm² and 0.53 t/hm², 0.30 kg/kg and 2.23 kg/kg, 2.49% and 9.44%, respectively, indicating that the positive responses of yield, NPFPP, and NUE to CRU2 in all CRU treatments. Comprehensively, under reasonable distribution conditions, the blending of UR and CRU had a significant effect on increasing the soil

收稿日期: 2019-11-14

资助项目: 宁夏自然科学基金项目(2018AAC03003)

第一作者: 王浩(1995—), 男, 硕士研究生, 主要从事作物高产理论与实践研究。E-mail: 741717818@qq.com

通信作者: 梁熠(1981—), 男, 副教授, 主要从事作物高产理论与实践研究。E-mail: liangmeng0122@126.com

康建宏(1968—), 男, 教授, 主要从事作物高产生理研究。E-mail: kangjianhong@163.com

nutrient supply and nitrogen absorption in spring maize. Therefore, we suggested that 2/3 CRU+1/3 U base application for rain-fed maize in Southern Ningxia.

Keywords: spring maize; urea; controlled release urea; nitrogen utilization rate; yield

玉米是宁夏南部山区的主要作物,对稳定该区域粮食安全和农民增收起着重要的作用。该区域属典型雨养农作区,干旱少雨的气候特点造就了当地玉米种植多采用全膜双垄沟播栽培技术模式,该栽培模式下合理施用氮肥是春玉米稳产、高产的基本保证,对增产和增效具有双重意义^[1]。然而,为追求产量提升,该区农民在氮肥上的投入量日益增大,普通尿素大量基施,导致表层土壤尿素含量相对过高而“烧苗”,前期氮素供应过剩,中后期脱肥植株早衰,氮肥利用率低等问题^[2-3]。基于春玉米需肥规律,分次追肥能缓解上述问题,但随着城镇化速率的激增,农村劳动力锐减,追肥模式不再适应当前宁南山区玉米生产现状,因此,如何简化施肥,提高氮肥利用率是目前肥料研究中共同关注的课题。

控释氮肥作为一种新型肥料具有延缓氮素释放速率、减少氮素损失等特点,受到广泛的关注^[4-5]。胡斌等^[6]研究认为,施用控释氮肥相比于普通氮肥,不仅有增产的效果,同时能够较好地维持和提高土壤养分水平;石宁等^[7]进一步研究表明,控释肥能够实现减量施氮不减产,降低土壤中硝态氮累积和迁移,较好地维持土壤养分供给;王晓琪等^[8]在水稻方面作出研究认为,施用控释尿素后,氮素释放速率适中,能够为水稻提供较为稳定的氮素来源。但由于单施控释尿素成本较高,养分释放易受试验土壤、气候、施肥时间和施肥方式等的影响,可能出现植株需氮与土壤供氮不协调的问题;也有学者^[9-10]提出,依照合适比例混

合肥施普通尿素与控释尿素,能够满足不同时期的氮素需求,主要由于速效氮与缓效氮素得到较好的调节;金容等^[1]和李伟等^[11]都研究表明,控释/普通尿素按比例掺混施用,能够协调整个玉米生育期土壤对氮素的供应,同时提高氮肥利用效率;郭金金等^[12]研究也指出,尿素与缓释氮肥以3:7比例掺混,能够更好地促进玉米对氮素的吸收利用。

前人在控释/普通尿素掺混施用对氮素吸收利用方面的研究较多,而围绕配施后土壤速效养分的变化规律,进而影响玉米氮素吸收利用和产量效应的系统研究较为鲜见。因此,本研究采用控释/普通尿素不同配比的施肥模式,开展其对宁南旱区春玉米吸收利用氮素与土壤供氮能力的效应研究,探讨春玉米产量、氮素吸收利用特性、土壤无机氮变化对控释尿素输入的响应,为指导该地区合理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

试验于2017—2018年在宁夏固原市彭阳县城乡长城村(35°51′42″N,106°40′27″E)进行,该区海拔高度为1 660 m,属黄土高原半干旱雨养农业区,年降水量350~500 mm,7—9月降水量占全年降水的60%以上,2017年和2018年玉米生育期(4—9月)的降雨量分别为337,578 mm,无霜期140~170 d,2年平均气温8.0℃,≥10℃的积温约2 700℃。土壤类型为黄绵土,土壤基础理化性质见表1。

表1 2017—2018年0—40 cm耕层土壤理化性质

年份	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH
2017	0.50	28.19	26.56	107.85	15.48	8.09
2018	0.69	35.51	35.23	142.24	14.59	8.74

1.2 试验材料

供试玉米品种为“先玉698”;供试肥料为中国石化宁夏分公司生产的尿素(纯氮≥46.4%)和聚氨酯包膜控释尿素(纯氮≥43.2%),该控释尿素释放期为70天,产品由宁夏荣和绿色科技有限公司提供。

1.3 试验设计

试验设2种氮肥类型,5种配肥方式,具体见表2。施入的纯氮均为225 kg/hm²,4次重复,共20个小区。玉米播深3~4 cm,种植行距为均行起垄种植,行距55 cm,株距30.3 cm,垄高6 cm,垄沟深3 cm,种植密度为60 000株/hm²,播种方式为人工精量点播,其他管理与大田管理相同。2017年4月20日播

种,10月3日收获;2018年4月17日播种,10月5日收获。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 采集土样 玉米播种前、苗期、拔节期、大喇叭口期、开花期、灌浆期、成熟期共取土样7次。各取样小区随机选取3个位点取土样混合,用土钻分4层,每层20 cm,取至80 cm深度,将所取鲜土进行分装,带回实验室进行风干过筛,测定不同形态氮素。

1.4.2 不同形态氮素测定 测定0—80 cm土层土样。称取过16目风干土样5 g于塑料瓶中,加入0.5 mol/L的硫酸钾30 mL,振荡1 h,用滤纸过滤到干燥洁净的三角瓶中。硝态氮和铵态氮含量均采用比色法^[13]测定。

表 2 控释尿素/普通尿素施肥模式

处理	肥料种类	单位: kg/hm ²	
		基肥施纯氮量	小喇叭口期追施纯氮量
CK	普通尿素	0	0
	控释尿素	0	0
UR	普通尿素	150	75
	控释尿素	0	0
CRU1	普通尿素	75	75
	控释尿素	75	0
CRU2	普通尿素	75	0
	控释尿素	150	0
CRU3	普通尿素	0	0
	控释尿素	225	0

1.4.3 植株氮素测定 在玉米生长各生育时期,按处理选取代表性植株 5 株,将单株每样分成茎鞘、叶和籽粒,105 °C 下杀青 30 min,80 °C 下烘干至恒重,测定干物重后粉碎,采用半微量凯氏定氮法测定氮含量。相关计算参照杜森等^[13]的方法:

氮肥农学利用率(NAE, kg/kg) = (施氮区玉米产量 - 对照区玉米产量) / 施氮量

氮肥偏生产力(NPFP, kg/kg) = 施氮区产量 / 施氮量

氮肥利用率(NUE, %) = (施氮区地上部总吸氮量 - 不施氮区地上部总吸氮量) / 施氮量 × 100%

氮素转运量(NT, kg/hm²) = 开花期氮素累积量 - 成熟期营养体氮素累积量

氮素转运对籽粒的贡献率(GCR, %) = 氮素转运量 / 成熟期籽粒氮素累积量 × 100%

花后氮素累积量(PNA, kg/hm²) = 成熟期全株氮素累积量 - 开花期全株氮素累积量

1.4.4 测产与考种 玉米成熟时,收获小区中间 4 行,在大田直接测定其果穗总鲜重,并采用美国帝强 Mini GAC 水分仪对鲜玉米脱粒进行水分测定,折算成 14% 含水率的产量。按平均穗重从所收获的玉米穗中取 20 穗带回实验室进行考种。

1.5 数据处理

试验数据采用 Excel 2003 整理,采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析,Origin 2018 软件绘图。显著性检验采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 不同处理对土壤硝态氮时空变化的影响

控释/普通尿素施肥对不同生育时期不同土层深度硝态氮的含量影响不同。同一生育时期内,硝态氮含量大多随着土层深度的加深呈现递减的趋势(图 1)。苗期和花期 0—60 cm 土层硝态氮含量表现相同,以单施普通尿素 UR 的含量值最高,平均达到 59.19 mg/kg,说明普通尿素质施和追施后肥效较快。

拔节期 0—60 cm 土层,配施的 CRU2 硝态氮含量最高,较 UR、CRU1、CRU3 分别提高 4.03%,40.04%,19.24%。成熟期控释/普通尿素配施的 CRU2 处理在 0—60 cm 土层对土壤养分供给最佳,较 UR 提高 212.05%,较同为配施的 CRU1 提高 49.29%。相同土层深度(0—60 cm)下,硝态氮含量随着生育期的推进有明显减少的趋势,60—80 cm 变化不显著。0—60 cm 苗期至花期均以 UR 硝态氮含量最高,其均值分别为 75.91,73.41,42.48 mg/kg。花期至成熟期,UR 对土壤养分的提供急剧下降,CRU2 相较于 UR、CRU1、CRU3 对硝态氮的供应显著提高 61.56%,34.34%,47.45%,由此说明,控释/普通尿素配施的 CRU2 有利于提高生育后期土壤硝态氮含量。

2.2 不同处理对土壤铵态氮时空变化的影响

控释/普通尿素施肥对不同生育时期不同土层深度铵态氮的含量影响不同。同一生育时期内,随土层深度的加深铵态氮含量变化与硝态氮相近,但其变化主要以 0—40 cm 土层为主(图 2)。苗期 0—20 cm 土层,以 UR 处理(17.86 mg/kg)远高于其他处理,较 CRU 提高 51.62%,CRU 处理间无明显差异;土层深度加深至 40 cm 时,UR 处理下降幅度较大,且较 CRU 处理无差异。拔节期至成熟期,0—20 cm 土层以控释/普通尿素配施的 CRU2 对土壤氮素供应最佳,均值达 9.83 mg/kg。相同土层深度下,0—20 cm 土层拔节期铵态氮含量出现峰值,UR 处理达 12.12 mg/kg,CRU 处理达 10.15 mg/kg。拔节期之后,所有处理铵态氮含量均呈现降低趋势,但 CRU2 较 UR 处理仍高出 12.47%,较同为配施的 CRU1 处理高出 37.68%。可见,CRU2 处理在春玉米生育中后期,仍能提高土壤氮素水平。

2.3 不同处理对春玉米氮素积累量的影响

于玉米开花期、灌浆初期、成熟期 3 个重要生育时期,对植株氮素累积量进行分析,相对于普通尿素单施(UR),控释/普通尿素配施能显著增加各营养器官内氮素累积量(表 3)。开花期 CRU 处理氮素累积总量平均值较 UR 高出 4.40%,CRU 处理间又以配施的 CRU1、CRU2 处理表现最佳,平均氮素累积总量达 108.19 kg/hm²。灌浆初期和成熟期 UR 处理植株氮素累积总量和籽粒氮素累积量分别为 245.43,257.08 kg/hm² 和 126.38,165.04 kg/hm²;而配施处理相应平均值为 253.67,263.35 kg/hm² 和 127.14,179.91 kg/hm²。不同比例控释尿素处理间植株和籽粒的氮素累积量从开花期到成熟期均以 CRU2 处理综合表现最佳。由于 UR、CRU1 处理小喇叭口期追施普通尿素,使得土壤速效养分增加的同时也提高了开花期各处理营养器官内的氮素累积量,所以 CRU 配施之间未出现显著性差异。从灌浆初期到成熟期,结合土壤养分来看,CRU2 处

理在持续供应速效养分上具有明显优势,也是植株和

籽粒在生育后期汲取氮素表现最佳的重要原因。

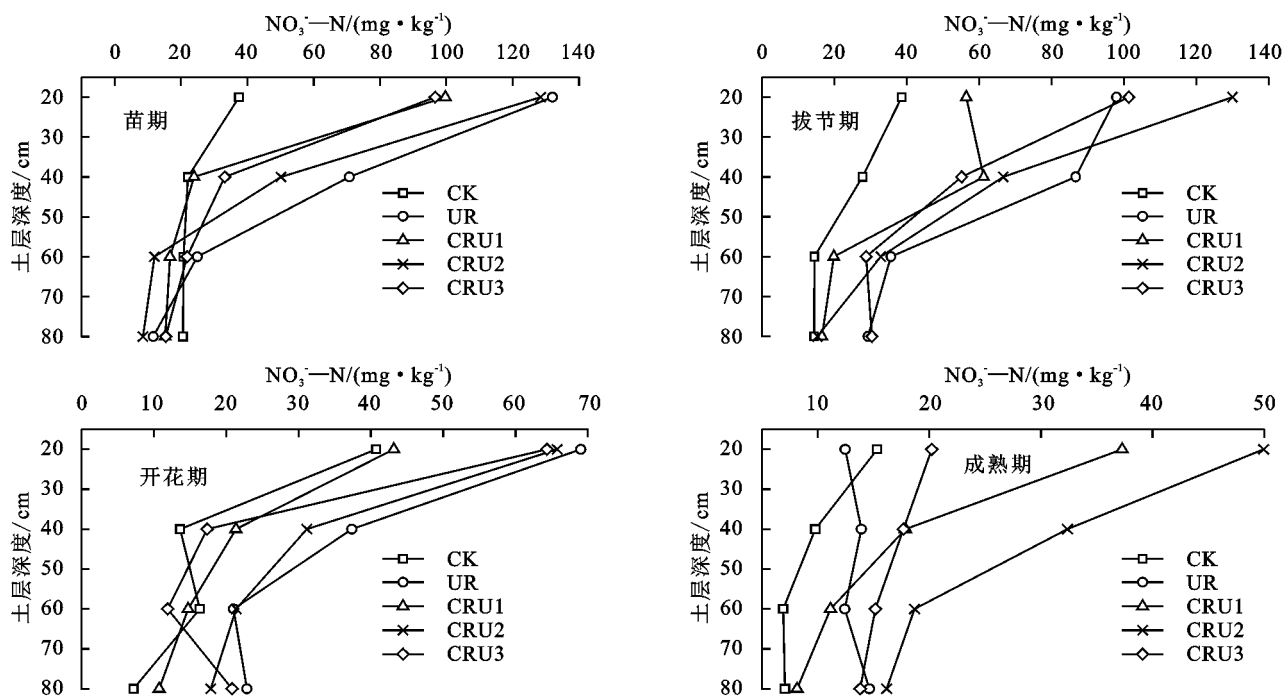


图 1 2018 年施肥模式对不同土层土壤硝态氮含量的影响

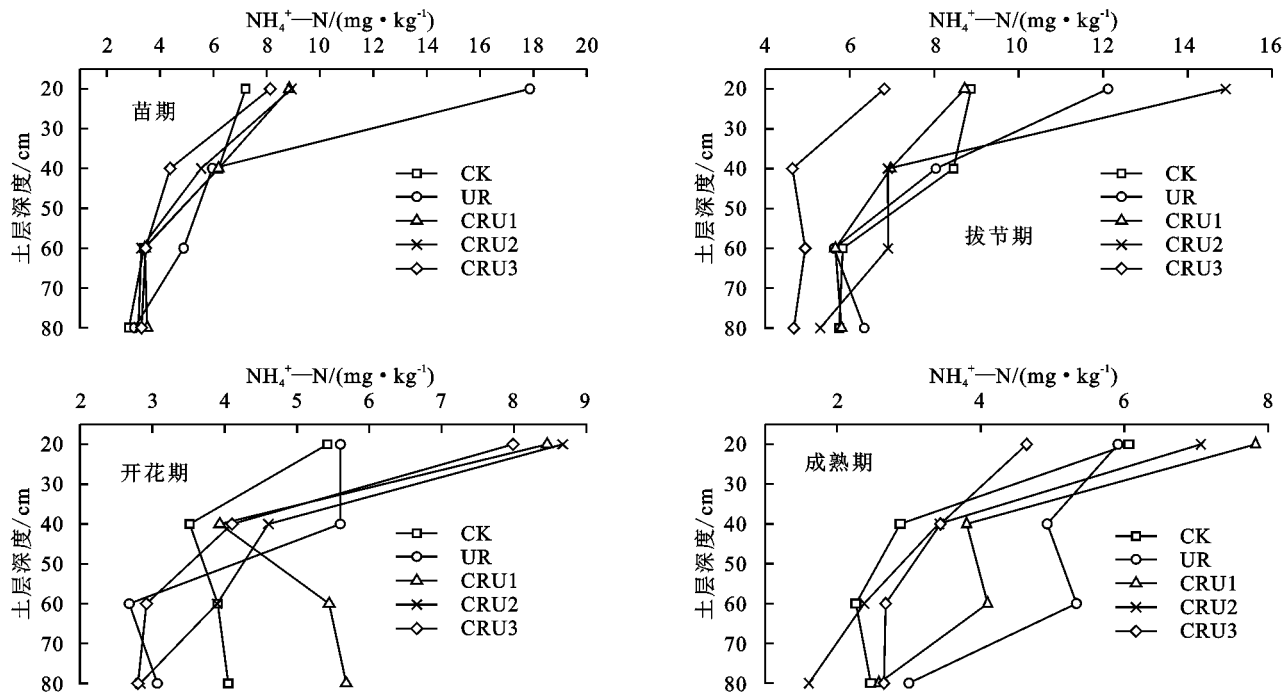


图 2 2018 年施肥模式对不同土层土壤铵态氮的影响

表 3 2018 年控释/普通尿素配施对春玉米不同时期氮素积累量的影响

单位: kg/hm²

处理	开花期			灌浆初期				成熟期			
	叶片	茎鞘	总和	叶片	茎鞘	籽粒	总和	叶片	茎鞘	籽粒	总和
CK	48.11d	20.38b	68.49c	80.97b	25.25b	108.03c	214.25c	26.69c	23.19d	151.39d	201.27c
UR	61.91bc	36.31a	98.22b	86.22b	32.83a	126.38ab	245.43b	47.74a	44.30a	165.04c	257.08b
CRU1	68.74ab	35.64a	104.38a	81.39b	30.59ab	117.56bc	229.54b	44.94b	42.31ab	174.67b	261.92a
CRU2	76.07a	35.92a	111.99a	104.53a	36.56a	136.71a	277.80a	42.36b	37.28c	185.14a	264.78a
CRU3	58.15c	33.10a	91.25b	79.69b	25.31b	102.62c	207.62c	43.02b	40.27bc	165.67c	248.96b

注:表中数值后不同小写字母表示处理间在 P<0.05 水平差异显著。下同。

2.4 不同处理对春玉米氮素转运的影响

控释/普通尿素配施对玉米花后氮素积累量存在显

著性影响,进而显著影响着玉米的产量,花后氮素积累量相比于 UR,CRU2 提高 1.00%,但无显著差异;CRU3

降低 0.72%，无显著性差异；CRU1 则显著降低 5.62%（表 4）。氮素转运量、氮素运转对籽粒的贡献率具有显著性差异，均表现为 CRU2、CRU1 > CK > UR > CRU3。由此说明，CRU 施用能够显著提高春玉米氮素转运。花后氮素积累量差异性不显著，分析由于 2018 年丰水年的原因，相比于 UR，CRU 处理在促进花后氮素积累量上的优势逐步开始减弱。

表 4 2018 年控释/普通尿素配施对春玉米氮素转运的影响

处理	氮素转运量/ (kg·hm ⁻²)	氮素运转对籽粒 贡献率/%	花后氮素积累量/ (kg·hm ⁻²)
CK	41.81ab	27.62ab	132.78b
UR	35.97b	21.37b	158.86a
CRU1	52.64a	27.83ab	149.93b
CRU2	55.59a	31.83a	160.40a
CRU3	19.87c	11.99c	157.71a

2.5 不同处理对春玉米氮素利用效率的影响

不同氮肥运筹对宁南山区覆膜春玉米氮肥农学利用率、氮肥偏生产力及氮肥利用率存在显著影响。由表 5 的 2 年试验得出，控释/普通尿素配施对春玉米氮肥农学利用率、氮肥偏生产力和氮肥利用率的影响均高于单施普通尿素处理。CRU 处理氮肥农学利用率达 14.09 kg/kg (2 年均值)，较 UR 显著提高 31.44%。CRU 处理 2 年间均以 CRU2 表现最佳，其值达 15.68 kg/kg。氮肥偏生产力大小可表征提高氮肥利用率的潜力。2 年间平均氮肥偏生产力整体表现为 CRU2 > CRU1 > CRU3 > UR，可见配施的 CRU2 能更好地提高氮肥的生产效率。从氮肥利用率 2 年综合来看，CRU 处理较 UR 有显著性提升，2 年平均提高 19.83%，但在 2018 年提升幅度较小，这主要是由于丰水年促进不施氮区域产量增长所致。CRU 处理 2 年间同样以 CRU2 表现最佳，较 CRU1、CRU3 分别提高 6.56%，30.53%。

2.6 不同处理对春玉米产量及其构成因素的影响

从表 6 可以看出，施氮显著增加了玉米产量。2 年间，相比于单施普通尿素 (UR)，控释尿素 (CRU) 输入在增产上呈显著性提升，UR 产量达到 12.48 t/hm²，CRU 处理达 13.15 t/hm²。CRU 处理间，CRU1、CRU2 较 CRU3 有显著性增长，增产幅度分别提高 4.36%，5.19%。产量的高低主要取决于穗粒数和百粒重之间的差异。2 年间不同处理穗粒数表现不同，2017 年 CRU 处理较 UR 显著提高 1.30%，CRU 处理间以 CRU1、CRU2 表现最好，且二者无显著性差异；2018 年穗粒数方面 CRU 与 UR 处理之间均无显著性差异。百粒重变化，2017 年 CRU 处理较 UR 显著提高 5.48%，CRU 处理间 CRU1、CRU2 二者无显著性差异，较 CRU3 显著提高 2.09%；2018 年百粒重变化同样显著，表现为

CRU1、CRU2 > UR > CRU3 > CK。综合来看，2 年间控释/普通尿素配施 CRU1、CRU2 增产的重要因素是穗粒数和百粒重的增加所致。

表 5 2017—2018 年控释/普通尿素配施对玉米氮素利用效率的影响

年份	处理	产量/ (t·hm ⁻²)	氮肥农学利用率/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥偏生产力/ (kg·kg ⁻¹)	氮肥 利用率/%
2017	CK	8.83c	—	—	—
	UR	11.11b	8.96c	49.38c	25.37c
	CRU1	12.09a	14.31b	53.73a	36.84b
	CRU2	12.06ab	15.32a	53.60a	42.24a
	CRU3	11.72ab	10.96b	52.09b	29.2c
	CK	11.04c	—	—	—
2018	UR	13.85b	12.48c	61.56b	35.36b
	CRU1	14.43a	15.07a	64.14a	38.91a
	CRU2	14.65a	16.04a	64.87a	38.48a
	CRU3	13.93b	12.84b	61.92b	32.64c

表 6 2017—2018 年控释/普通尿素配施对春玉米产量及产量构成因素的影响

年份	处理	产量/ (t·hm ⁻²)	穗粒数/ 粒	百粒重/ g	增产 幅度/%
2017	CK	8.83c	537.00c	27.95d	—
	UR	11.11b	641.00b	29.00c	25.82
	CRU1	12.09a	653.00a	31.00a	36.92
	CRU2	12.06a	652.00a	30.60a	36.58
	CRU3	11.72ab	643.00b	30.17b	32.73
	CK	11.04c	582.02b	32.48c	—
2018	UR	13.85b	642.49a	38.26b	25.45
	CRU1	14.43a	638.38a	39.40a	30.71
	CRU2	14.65a	641.81a	38.56a	32.70
	CRU3	13.93b	634.01ab	36.91c	26.18

3 讨论

3.1 控释/普通尿素合理配施可提高春玉米关键期土壤速效氮含量

氮肥的类型、配比、施用时期及其在土壤中的释放特性决定着作物生育期内土壤中氮素的供应强度，进而影响作物氮素吸收和土壤中氮素的累积及淋失^[14-15]。He 等^[16]和银敏华等^[17]研究指出，控释氮肥处理土壤中 NO₃⁻-N 的积累量得到显著提升；胡斌等^[6]和卢艳艳等^[18]研究表明，普通/控释氮肥按比例掺混施用，在玉米整个生育期内能够显著提升耕层土壤 NO₃⁻-N 含量，同时有效控制氮素向下淋溶。本研究对硝态氮含量的时空变化研究得出，施氮显著提升土壤硝态氮含量。单施普通尿素 UR 处理，在玉米拔节期之前和开花期相比于控释尿素处理各土层硝态氮含量较高，分析由于普通尿素基、追施后肥效较快所致，且由于 6、7 月雨水较多，土壤氮素随水入渗导致 UR 处理深层土壤硝态氮含量偏高。控释尿素各处理于拔节期之后和开花期之后 2 个阶段相比 UR 处理对硝态氮含量

的供给较好,其中以 CRU2 处理表现最佳,能够持续供应玉米生长发育所需的氮素养分,同时能够减免劳动力,降低肥料投入的成本。前人^[19-20]对土壤铵态氮分布研究得出,土壤铵态氮含量在作物整个生育期内变化较小;姜涛等^[21]研究表明,夏玉米生长季土壤铵态氮含量较低,且时空变化不明显;张鑫等^[22]指出,不同施氮方式下,基肥和追肥的施用显著影响 0—40 cm 土壤铵态氮含量,41—100 cm 变化幅度较小,趋于稳定;胡斌等^[6]研究进一步指出,控释氮肥的施用,在玉米完熟期显著提高了 0—20 cm 土壤铵态氮的含量。本研究得出的结论与上述类似,施氮使得土壤 0—40 cm 土层铵态氮含量有一定程度的提升,且随土层深度加深呈现下降趋势,仍以 CRU2 处理提高耕层铵态氮含量最佳。

3.2 控释/普通尿素合理配施有效提升春玉米对氮素的吸收利用

作物氮素吸收和分配的关键时期是开花期至成熟期,营养器官的氮素转移对籽粒氮素积累起重要作用^[23-25]。有学者^[26]指出,施用控释肥能显著提高植株花后的氮素积累,保证籽粒对营养物质的需求。本研究表明,玉米成熟期以 CRU1、CRU2 处理氮素积累量最高,其中籽粒氮素含量占比分别达到 64.53% 和 67.80%;氮素运转对籽粒的贡献率以 CRU2 处理最高为 31.83%,该结论与郭金金等^[12]的研究一致,说明控释/普通尿素能够促进氮素向籽粒中运移,增加籽粒中氮素含量,从而提高玉米产量。氮肥利用率和农学效率是表现氮肥利用效率的重要指标,反映作物对土壤中肥料氮的吸收与利用效果^[27-28]。本研究经 2 年试验得出,CRU2 处理下春玉米对氮素的吸收利用得到了有效提升,结合土壤养分的供给规律来看,土壤供氮能力是春玉米提升氮素吸收利用的关键,本研究二者的吻合度也较高。由于 2018 年降雨量充足,较 2017 年提高 71.31%,使得施氮区与不施氮区的产量都得到明显的提升,从而提高了 2018 年的氮肥农学利用率和氮肥偏生产力。因考虑到当地农民习惯施用有机肥与秸秆还田的种植模式,对植株土壤系统中氮素循环影响较大。本课题组将在控释尿素 150 kg/hm²: 普通尿素 75 kg/hm² 配施的模式下对土壤氮素状况与环境效应做进一步研究。

3.3 控释/普通尿素合理配施显著提高春玉米产量及其构成因素

土壤养分供应与作物需求同步和籽粒对氮素的吸收累积很大程度上决定着玉米产量的高低。司东霞等^[14]研究指出,控释尿素的氮素释放曲线与夏玉米的氮素吸收吻合度较好,施用控释尿素的夏玉米产量可提高 4.2%。本研究得出,土壤养分(硝态氮、铵态氮)含量变化以开花期为界线,开花前单施普通尿素处理对土壤养分的供应较好;开花后以 CRU2 处理的

供应处于较高的水平,主要集中于 0—40 cm 土层深度,而 UR 处理对土壤养分的供应骤降。结合 2 年玉米产量来看,CRU2 处理下的玉米产量较 UR 和其他 CRU 处理(CRU1、CRU3)有显著性提高,而 CRU2 处理在土壤养分供应与玉米生育后期对养分的需求同步性较好。因此,控释尿素 150 kg/hm²: 普通尿素 75 kg/hm² 的配施模式对整个生育期内土壤养分的供应及玉米吸收养分的效果最为合理,也是春玉米增产的原因之一。前人^[23,29]研究表明,玉米产量的形成几乎全部依赖于花后干物质的累积,主要取决于籽粒干物质占全生育期干物质的比例。本研究表明,UR 处理玉米成熟期籽粒氮素累积量达 165.04 kg/hm²,占全生育期干物质的 64.20%; CRU 处理中以 CRU2 处理表现最佳,成熟期籽粒氮素累积量达 185.14 kg/hm²,占全生育期干物质的 69.92%,氮素运转对籽粒的贡献率达 31.83%。可见,CRU2 处理于玉米生育后期在提高籽粒氮素吸收利用方面最佳,从而提高产量。

单位面积收获穗数、穗粒数、千粒重是决定玉米籽粒产量高低的三大要素,同等种植密度条件下,穗粒数和千粒重是籽粒产量的主要决定因子^[30-31]。朱宝国^[32]和李前等^[33]研究表明,相同施氮量下,一次性施用缓/控释肥的产量显著高于普通尿素处理,且提高了玉米穗粒数,对百粒重的影响不大;而朱红英等^[34]和梁熠等^[35]的研究指出,控释/普通尿素配施玉米产量得以增加,主要由于粒重和穗粒数的提高。本研究经 2 年产量分析得出,CRU2 处理其增产幅度最高,主要原因是在一定控释水平下百粒重和穗粒数得到提升,进而增加产量。普通/控释尿素配施对产量的高低可能受到氮素施用水平、土壤温度、各区域间气候变化及农民补充有机肥含量所影响,本课题组今后将从该方面进行进一步的研究。

4 结论

(1)控释/普通尿素合理配施能够有效提升春玉米生育中后期土壤硝态氮、铵态氮含量,相比于普通尿素的施用,体现出较好的氮素持续供应能力。

(2)控释/普通尿素合理配施显著促进了春玉米植株和籽粒中氮素累积量,提高了氮肥利用率和春玉米氮素转运,说明春玉米对氮素的吸收利用与土壤养分供给密切相关。

(3)控释/普通尿素合理配施相比于普通尿素的施用显著提高了春玉米的产量、氮肥偏生产力和氮肥农学利用率,产量增加的主要原因来源于百粒重和穗粒数的增加,说明土壤养分的充足供应和春玉米氮素的高吸收利用是对产量提升的关键。

由此初步得出,在宁南旱区春玉米种植,施氮量以控释尿素基施 150 kg/hm²: 普通尿素基施 75 kg/hm² 最为适宜。

参考文献:

- [1] 金容,李兰,郭萍,等.控释氮肥比例对土壤氮含量和玉米氮素吸收利用的影响[J].水土保持学报,2018,32(6):214-221.
- [2] 李宗新,王庆成,刘霞,等.控释肥对夏玉米的应用效应研究[J].玉米科学,2007,15(6):89-92.
- [3] 王乐,康建宏,梁熠,等.控释/普通尿素配施对春玉米籽粒灌浆特性及产量的影响[J].核农学报,2018,32(10):2054-2061.
- [4] Cui Z L, Zhang F S, Chen X P. On-farm estimation of indigenous nitrogen supply for site-specific nitrogen management in the North China plain[J].Nutrient Cycling in Agroecosystems,2008,81(1):37-47.
- [5] Kimetu J M, Lehmann J, Krull E. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents[J].Soil Research,2010,48(7):577-585.
- [6] 胡斌,李絮花,闫童,等.控释氮肥对土体中无机氮淋溶分布及夏玉米产量的影响[J].水土保持学报,2014,28(4):110-114.
- [7] 石宁,李彦,张英鹏,等.控释肥对小麦/玉米农田土壤硝态氮累积和迁移的影响[J].中国农业科学,2018,51(20):3920-3927.
- [8] 王晓琪,朱家辉,陈宝成,等.控释尿素不同比例配施对水稻生长及土壤养分的影响[J].水土保持学报,2016,30(4):178-182.
- [9] 王寅,冯国忠,张天山,等.控释氮肥与尿素混施对连作春玉米产量、氮素吸收和氮素平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(3):518-528.
- [10] 衣文平,屈浩宇,许俊香,等.不同释放天数包膜控释尿素在春玉米上的应用研究[J].核农学报,2012,26(4):699-704.
- [11] 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.
- [12] 郭金金,张富仓,闫世程,等.缓释氮肥与尿素掺混对玉米生理特性和氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1194-1204.
- [13] 杜森,高祥照.土壤分析技术规范[M].2版.北京:中国农业出版社,2006:40-51.
- [14] 司东霞,崔振岭,陈新平,等.不同控释氮肥对夏玉米同化物积累及氮平衡的影响[J].应用生态学报,2014,25(6):1745-1751.
- [15] 易镇邪,王璞.包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(2):242-247.
- [16] He G, Wang Z H, Li F C, et al. Soil nitrate-N residue, loss and accumulation affected by soil surface management and precipitation in a winter wheat summer fallow system on dryland[J].Nutrient Cycling in Agroecosystems,2016,106(1):31-46.
- [17] 银敏华,李援农,李昊,等.氮肥运筹对夏玉米根系生长与氮素利用的影响[J].农业机械学报,2016,47(6):129-138.
- [18] 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,2010,24(6):79-82.
- [19] 刘学军,巨晓荣,张福锁.基施尿素对土壤剖面中无机氮动态的影响[J].中国农业大学学报,2001,6(5):63-68.
- [20] 赵斌,董树亭,王空军,等.控释肥对夏玉米产量及田间氮挥发和氮素利用率的影响[J].应用生态学报,2009,20(11):2678-2684.
- [21] 姜涛,李玮.氮肥运筹对夏玉米氮素利用及土壤无机氮时空变异的影响[J].玉米科学,2013,21(6):101-106.
- [22] 张鑫,安景文,娄春荣.不同施氮方式对玉米田土壤无机氮动态变化的影响[J].玉米科学,2015,23(1):143-148.
- [23] Jian D, Wang Z H, Li F C, et al. Optimizing nitrogen input by balancing winter wheat yield and residual nitrate-N in soil in a long-term dryland field experiment in the Loess Plateau of China[J].Field Crops Research,2015,181:32-41.
- [24] 赵俊晔,于振文.高产条件下施氮量对冬小麦氮素吸收分配利用的影响[J].作物学报,2006,32(4):484-490.
- [25] 王月福,姜东,于振文,等.氮素水平对小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响及其生理基础[J].中国农业科学,2003,36(5):513-520.
- [26] 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,2010,36(10):1760-1768.
- [27] 李方敏,樊小林,陈文东.控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2005,11(4):494-500.
- [28] 符建荣.控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究[J].植物营养与肥料学报,2001,7(2):145-152.
- [29] 郭萍,黄科程,李孝东,等.普通、控释尿素配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.
- [30] 王楷,王克如,王永宏,等.密度对玉米产量(>15000 kg/hm²)及其产量构成因子的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
- [31] Glaser B, Lehmann J, Zech W. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review[J].Biology and Fertility of Soils,2002,35(4):219-230.
- [32] 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,2014,30(6):220-223.
- [33] 李前,秦裕波,孔丽丽,等.不同类型的缓/控释肥对玉米氮素吸收及土壤速效氮的影响[J].玉米科学,2017,25(4):123-128.
- [34] 朱红英,董树亭,胡昌浩,等.不同控释肥用量对玉米生产效应的影响[J].玉米科学,2007,15(2):114-116.
- [35] 梁熠,康建宏,朱荣,等.控释、常规尿素配施对雨养区春玉米产量及氮素利用的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):237-241,278.