



郑雨,姬景红,马星竹,等.控释氮肥对寒地黑土玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].黑龙江农业科学,2023(5):28-34.

控释氮肥对寒地黑土玉米产量及氮素吸收利用的影响

郑雨^{1,2},姬景红¹,马星竹¹,刘双全¹,郝小雨¹,赵月¹,李杰³

(1.黑龙江省黑土保护利用研究院,黑龙江 哈尔滨 150086; 2.黑龙江省农业科学院 博士后工作站,黑龙江 哈尔滨 150086; 3.黑龙江省农业科学院 大庆分院,黑龙江 大庆 163316)

摘要:为了进一步明确氮肥施用效率,采用田间定位试验方法,研究了控释氮肥和普通氮肥配合施用对寒地黑土玉米产量、氮肥利用及氮素平衡的影响。试验设5个处理,①不施氮肥(CK);②全部普通氮肥基施(BU);③全部控释氮肥基施(CRU);④农民习惯施肥,即40% BU基肥,60% BU追肥(FP);⑤60% CRU与40% BU混合基施(MBC)。结果表明,控释氮肥与普通氮肥配合施用(MBC)能显著提高玉米产量、经济效益和氮肥利用率(NUE),减少氮素在土壤剖面中的残留,降低氮素损失。与FP相比,MBC处理3年平均增产6.9%($P<0.05$),增收27.8%($P<0.05$),氮素吸收增加5.8%($P<0.05$),氮肥利用率显著增加14.7%($P<0.05$)。且0~30 cm、30~60 cm、60~90 cm土壤剖面中土壤无机氮(SIN)累积量分别占总量的44.8%~51.8%、32.2%~34.9%、15.5%~21.6%。控释氮肥与普通氮肥配合一次性基施(MBC),土壤剖面SIN累积量在0~90 cm剖面中,MBC处理较FP降低10%($P<0.05$),在60~90 cm剖面中降低30.7%($P<0.05$),氮素损失减少7.1%,氮素在土壤-作物体系中的盈余减少9.1%。控释氮肥单独施用(CRU)较普通氮肥单独施用(BU)在玉米产量、效益及氮素利用等方面具有显著正效应,但不如二者配合施用(MBC)效果好。从产量、效益、氮素利用及氮素循环等综合因素考虑,控释氮肥与普通氮肥以6:4比例配合施用(MBC)是该地区玉米高效施肥最佳措施。

关键词:控释氮肥;玉米;产量;效益;氮肥利用率;氮素累积与分布

化肥在农业生产中占有极其重要的地位,约55%的粮食产量来源于施用化肥,其中最重要的是氮肥。我国化肥年消费量大约6 023万t,其中氮肥3 086万t^[1]。氮素是玉米生长发育中吸收量最多的营养元素,也是影响玉米产量最重要的养分限制因子^[2],充足的氮素供给有利于促进玉米产量的提高,如果氮肥施用不当不仅不利于玉米高产,还会增加氮肥损失,降低氮肥利用率^[3]。我国主要作物的氮肥利用率一般为30%~35%^[4],与发达国家比较还有很大差距,因此提高氮肥利用率,降低肥料用量,具有重要的现实意义。缓控释肥料由于养分释放缓慢,养分释放周期长,能够保持作物整个生育期土壤氮素供应,提高作物产量和氮肥利用效率^[5-7],同时,降低氮素挥发、淋溶和固定,减轻环境污染的压力。许多学

者研究了缓控释氮肥与传统合成氮肥混合施用对作物养分吸收和利用的影响。赵聪等^[8]究了缓释氮肥与尿素等氮肥配比施用,产量比对照提高了10.8%,施用缓释氮肥的处理0~120 cm土层土壤硝态氮含量低于对照,降低了硝态氮向更深土层淋溶的风险。周丽平等^[9]研究表明,树脂包膜尿素使夏玉米产量提高13.7%,氮吸收量增加73.9%,氮肥表观回收率较普通尿素提高16.3个百分点,肥料氮在0~100 cm土层残留量降低15.8%,氮表观损失量降低12.9%。相关研究表明,在东北春玉米普通尿素与控释氮肥的最佳比例是6:4,既减少了氮施肥用量,提高N的利用效率,又减少了追肥劳动力投入,增加经济效益^[10]。黑龙江省是我国重要的粮食生产基地之一,玉米是黑龙江省第一大粮食作物,年种植面积587.5万hm²,占全省粮食播种面积的41.0%^[11]。目前黑龙江省玉米生产在氮肥施用上主要采用“一基一追”模式,由于普通氮肥存在养分释放快,氮素损失量大,肥料利用率低等问题。针对这一问题,本文采用定位试验方法,开展控释尿素与普通尿素按一定比例配合施用,对寒地黑土区玉米产量、氮肥利

收稿日期:2022-12-08

基金项目:国家重点研发计划子课题(2022YFD1500905-2);黑龙江省农业科学院引进人才科研启动金项目(HTY202201302)。

第一作者:郑雨(1989—),女,博士,助理研究员,从事植物营养与施肥研究。E-mail:annadian@163.com。

通信作者:姬景红(1979—),女,博士,研究员,从事植物营养与施肥研究。E-mail:jinghong_98@163.com。

用效率和氮素在土壤-作物系统中累积与分布的研究,为寒地黑土玉米高产高效施肥提供技术支撑和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在黑龙江省农业科学院哈尔滨市道外区民主乡国家现代农业科技示范展示基地(45.8429°N,126.85199°E),年平均气温 4.2℃,无霜期 150 d 左右,年平均降雨量 524.5 mm,年日照时数 2 571.1 h。土壤类型为黑土,土壤肥力中等。种植前土壤有机质含量为 27.36 g·kg⁻¹;全氮、全磷、全钾含量分别为 2.27、0.76 和 21.80 g·kg⁻¹;速效氮、有效磷、有效钾含量分别为 137.6、25.3 和 153.4 mg·kg⁻¹;pH 6.34。

1.2 材料

参试玉米品种为郑单 958,由河南商都种业有限公司生产;采用美国加阳公司生产的聚合物包膜尿素(N 44%)作为控释氮肥(CRU);采用尿素作为普通氮肥(BU,含 N 46%);磷肥采用重过磷酸钙(P₂O₅ 46%),钾肥采用氯化钾(K₂O 60%)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用田间定位试验方法,自 2018—2020 年进行 3 年。根据土壤分析结果和当地玉米生产水平设计基础施肥量:氮(N)、磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)用量分别为 180.0、75.0 和 82.5 kg·hm⁻²。试验设置 5 个处理:①CK,即不施氮肥,其余 4 个处理施氮量相同,而氮肥运筹不同;②BU,所有普通尿素一次性基施;③CRU,所有控释尿素一次性基施;④FP,40% BU 基肥,60% BU 追肥(农民习惯施肥);⑤MBC,60% CRU 与 40% BU 混合一次性基施。试验小区面积为 40 m²,3 次重复,随机区组排列。于每年的 4 月 25—30 日进行播种,种植密度为 6 万株·hm⁻²,每年的 10 月 3—8 日进行收获。

1.3.2 测定项目及方法 土壤无机氮测定:在玉米播种前和收获期采集 0~90 cm 土层样品,每 30 cm 为一层(共 3 层)。用 2 mol·L⁻¹ KCl 进行振荡提取,使用连续自动分析仪(AA3-A001-02E, Bran-Luebbe, Germany)测定土壤无机氮(NO₃⁻-N、NH₄⁺-N)含量^[12]。

植株样总氮测定:在玉米收获期每小区选择 3 株有代表性的植株,按秸秆和穗分别装入网袋带回实验室,烘干后全部粉碎,过 2 mm 的筛子备

用。采用 H₂SO₄-H₂O₂消化法和凯氏微量定氮法测定植物总氮含量^[13]。

氮素吸收利用、转化指标的测定:参照巨晓棠等^[14]的方法,具体计算方法如下:

氮素吸收量(kg·hm⁻²)=籽粒产量×氮素含量(%) + 秸秆产量×氮素含量(%)

氮肥表观利用率(NUE,%)=(施氮区作物吸氮量 - 不施氮区作物吸氮量/施氮量)×100

土壤初始无机氮量(播种前 0~90 cm 深度土壤中剩余的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N)(kg·hm⁻²) = 土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤 NO₃⁻-N 含量(mg·kg⁻¹)/10 + 土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤 NH₄⁺-N 含量(mg·kg⁻¹)/10^[15]

土壤氮残留量(kg·hm⁻²)=NO₃⁻-N 的积累 + NH₄⁺-N 的积累^[15]

土壤净矿化氮量(kg·hm⁻²)=不施氮区作物吸氮量 + 不施氮区土壤无机氮残留量 - 不施氮区土壤起始无机氮量^[15]

土壤氮表观损失量(kg·hm⁻²)=(施氮量 + 土壤起始无机氮累积量 + 土壤氮素净矿化量) - (作物携出量 + 收获后土壤无机氮残留量)^[15]

氮素盈余量 N(kg·hm⁻²)=氮素表观损失量 + 收获后土壤无机氮残留量^[15]

玉米产量测定和经济效益分析:在玉米成熟期,在每个小区随机采 3 点,每点 2 m²,取样测产。并调查株高、穗长、穗径粗、穗粒数和百粒重等产量构成因子,玉米产量按 14.5% 含水量计算,并计算各处理具体经济效益。

1.3.3 数据分析 使用 DPS 7.05 数据处理软件进行方差分析,应用 Excel 2003 软件进行图表处理。

2 结果与分析

2.1 控释氮肥对于米产量和经济效益的影响

2.1.1 产量 2018—2020 年,CK、BU、CRU、FP 和 MBC 处理玉米平均产量分别为 5 884、7 680、8 257、8 617 和 9 213 kg·hm⁻²(图 1A)。与对照(CK)相比,BU、CRU、FP 和 MBC 玉米产量分别提高了 30.5%、40.3%、46.4% 和 56.6%。CRU 较 BU 处理增产 7.5%,MBC 较 FP 处理增产 6.9%,差异显著(P<0.05),MBC 较 CRU 处理增产 11.6%,差异显著(P<0.05);说明控释氮肥单独施用或与普通尿素配合施用对玉米增产效果

显著,但以二者配合施用效果最佳。

2.1.2 经济效益 由图 1B 可知,玉米施氮肥经济效益显著,BU、CRU、FP 和 MBC 处理 3 年平均较 CK 分别增收 3 155,4 174,4 918 和 6 286 元·hm⁻²,差异显著($P<0.05$)。CRU 较 BU 处理增收 1 019 元·hm⁻²,增收率为 32.3%;MBC 较 FP 处理增收 1 368 元·hm⁻²,增收率为 27.8%;MBC 较 CRU 处理增收 2 112 元·hm⁻²,增收率为 50.6%,差异显著($P<0.05$)。

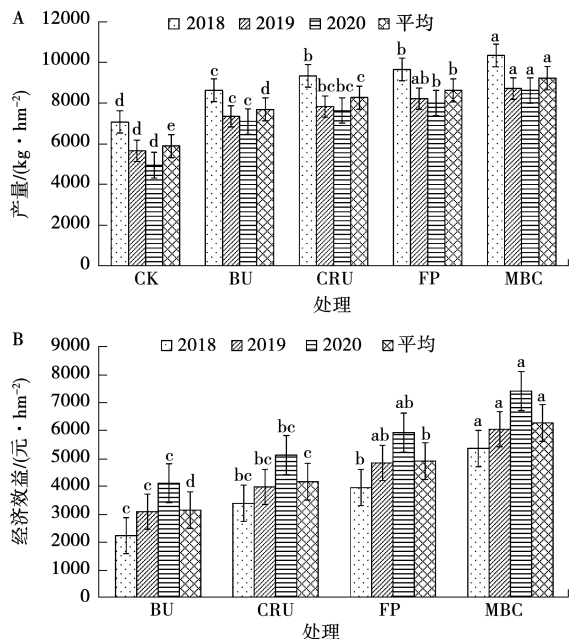


图 1 不同施肥处理对玉米产量和效益的影响

注:不同小写字母表示处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。
肥料价格分别为尿素 1 800 元·t⁻¹,磷酸二铵 2 500 元·t⁻¹,氯化钾 3 500 元·t⁻¹,缓控释氮肥 2 200 元·t⁻¹;追施氮肥劳动力价格 225 元·hm⁻²;玉米价格 1.9 元·kg⁻¹。

2.2 控释氮肥对玉米氮素吸收量及氮肥利用率的影响

2.2.1 玉米氮素吸收量 由图 2A 可知,CK、BU、CRU、FP 和 MBC 处理玉米地上部氮素吸收量分别为 98.3,145.7,158.2,162.0 和 171.4 kg·hm⁻²。与对照(CK)相比,施氮各处理玉米氮素吸收量分别增加 48.2%、60.9%、64.8%和 74.4%,差异显著($P<0.05$)。与 BU 相比,CRU 处理玉米氮素吸收量平均增加 8.6%;与 FP 相比,MBC 处理玉米氮素吸收量平均增加 5.8%;与 CRU 相比,MBC 处理氮素吸收增加 8.3%,差异显著($P<0.05$)。

2.2.2 氮素利用效率 由图 2B 可知,在玉米生长季节,氮素利用效率随肥料处理和年份的不同

而变化,但总的趋势一致。氮肥利用率(NUE)表现为 MBC>FP>CRU>BU。3 年平均结果表明,BU、CRU、FP 和 MBC 处理氮肥利用率分别为 26.3%、33.3%、35.4%和 40.6%。CRU 较 BU 处理 NUE 增加 7.0 个百分点,即增加 26.6%;MBC 较 FP 处理 NUE 增加 5.2 个百分点,即增加 14.7%,MBC 较 CRU 处理 NUE 增加 7.3 个百分点,即增加 21.9%,差异显著($P<0.05$)。说明控释氮肥单独施用或与普通尿素配合施用对玉米氮素吸收和氮肥利用率都有极显著促进作用,但二者配合施用效果更好。

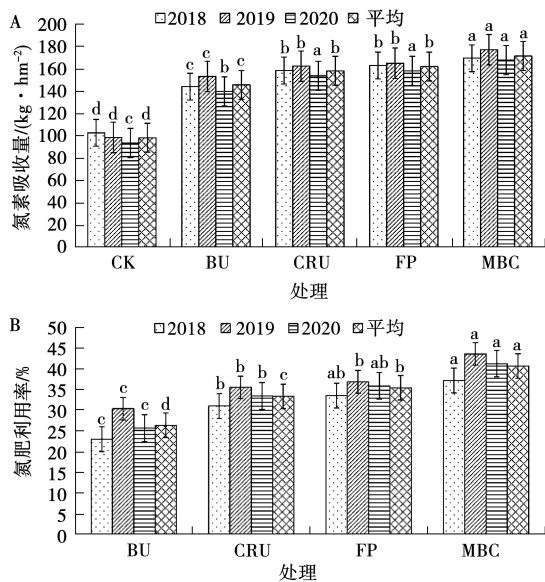


图 2 不同施肥处理对玉米氮吸收及氮肥利用率的影响

2.3 控释氮肥对土壤剖面无机氮积累与分布的影响

2.3.1 无机氮的积累 土壤无机氮(SIN)积累值范围为 110.5~191.2 mg·kg⁻¹,CK、BU、CRU、FP 和 MBC 处理分别为 110.5,191.2,173.6,184.0 和 165.6 mg·kg⁻¹(表 1)。与 CK 相比,BU、CRU、FP 和 MBC 处理均显著增加了 SIN 的积累($P<0.05$)。CRU 较 BU 处理 SIN 积累量降低 9.2%,MBC 较 FP 处理 SIN 积累量降低 10.0%,差异显著($P<0.05$),说明控释氮肥单独施用或与普通氮肥配合施用均能减少无机氮在土壤中的残留。

2.3.2 无机氮的分布 由表 1 可知,从土壤无机氮(SIN)积累分布情况看,无机氮在 0~90 cm 土壤剖面上的分布比例在玉米 3 年试验中基本一致,无机氮累积量随土层深度的增加而降低。

0~30 cm、30~60 cm 和 60~90 cm 土层分别占 SIN 累积量的 44.8%~51.8%、32.2%~34.9% 和 15.5%~21.6%。

施用控释氮肥降低了无机氮的残留,在土壤上层剖面(0~60 cm)中,MBC 较 FP 处理 SIN 累积量降低 4.7%,CRU 处理较 BU 处理降低

3.4%;在土壤深层剖面(60~90 cm)中,MBC 较 FP 处理 SIN 累积量降低 30.7%,CRU 较 BU 处理降低 30.1%。可见,控释氮肥无论是单独施用还是与普通氮肥混合施用均可以显著降低土壤剖面下层无机氮的累积量,从而降低无机氮素淋失和地下水污染的风险。

表 1 不同处理土壤剖面无机氮积累与分布

单位:kg·hm⁻²

年份	土层深度	CK	BU	CRU	FP	MBC
2018	0~30 cm	56.37±2.25 b	81.43±1.79 a	80.03±3.13 a	77.00±0.87 a	76.77±2.62 a
	30~60 cm	43.53±3.17 b	65.23±1.94 a	62.40±2.55 a	68.83±1.51 a	60.80±3.62 a
	60~90 cm	18.73±1.50 d	31.67±1.47 a	24.40±0.65 bc	26.97±1.71 b	21.70±0.67 cd
2019	0~30 cm	58.93±1.26 b	86.77±2.19 a	86.87±1.70 a	83.77±1.57 a	88.40±2.65 a
	30~60 cm	32.00±1.43 c	60.77±3.96 ab	52.43±1.78 b	63.20±4.06 a	52.70±3.10 b
	60~90 cm	18.80±0.64 d	42.77±2.02 a	30.80±0.93 b	40.70±1.70 a	23.53±0.78 c
2020	0~30 cm	56.23±1.33 b	88.97±3.10 a	93.33±3.79 a	87.60±1.57 a	87.63±3.32 a
	30~60 cm	31.07±1.30 c	66.20±2.01 a	59.03±2.99 ab	60.50±5.51 ab	53.40±2.04 b
	60~90 cm	15.70±1.27 d	49.70±1.18 a	31.50±1.37 c	43.50±1.31 b	31.90±2.29 c

注:不同小写字母表示同一土层不同处理间在 $P<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.4 缓释氮肥对土壤-作物系统氮素平衡的影响

土壤-作物系统中的氮素平衡对作物生长和环境健康起着至关重要的作用。由表 2 可知,施氮肥处理无机氮在土壤中的残留均显著高于不施氮处理(CK),年度间变化趋势一致。从 3 年平均结果看,各处理平均氮素残留量在 110.5~191.2 kg·hm⁻²,具体表现为 BU>FP>CRU>MBC>CK,发现 MBC 处理最有效地减少了土壤-作物系统中 SIN 的积累。MBC 的氮素残留量分别比 BU、FP 和 CRU 处理低 13.4%($P<0.05$)、9.9%($P<0.05$)和 4.6%。

此外,在氮输入量和氮矿化量相同的情况下,

MBC 处理显著提高了氮素吸收量,降低了氮素表观损失。施氮处理中,氮素的表现观损失表现为 BU>CRU>FP>MBC;与 BU 处理比较,CRU 处理氮素的表现观损失降低 9.9%;与 FP 处理比较,MBC 处理氮素的表现观损失降低 7.1%,差异不显著;MBC 较 BU 处理氮素的表现观损失降低 19.5%($P<0.05$);MBC 较 CRU 处理氮素的表现观损失降低 10.6%,差异不显著。施用控释氮肥能减少氮素在土壤-作物体系的盈余,MBC 较 FP 处理氮素盈余减少 9.1%,CRU 较 BU 处理氮素盈余降低 9.4%。可见,通过优化氮肥种类和比例,可以减少氮素残留和氮素表观损失。

表 2 2018—2020 年不同处理氮素平衡状况

单位:kg·hm⁻²

年份	参数	对照 (CK)	普通氮肥 (BU)	缓控释氮肥 (CRU)	农民习惯 施肥(FP)	氮肥配施 (MBC)
2018	N _{初始}	131.6	131.6	131.6	131.6	131.6
	N _{肥料}	0	180.0	180.0	180.0	180.0
	N _{矿化}	79.4	79.4	79.4	79.4	79.4
	N _{吸收}	102.7 d	144.1 c	158.4 b	163.0 b	169.5 a
	N _{残留}	118.7 c	178.3 a	166.7 ab	172.8 a	159.3 b
	N _{损失}	-2.4 c	76.6 a	73.9 ab	63.2 b	70.2 ab
	N _{盈余}	116.3 d	254.9 a	240.6 b	236.0 b	229.5 bc

表 2 (续)

年份	参数	对照 (CK)	普通氮肥 (BU)	缓控释氮肥 (CRU)	农民习惯 施肥(FP)	氮肥配施 (MBC)
2019	N _{初始}	109.4	179.4	159.8	175.2	154.8
	N _{肥料}	0	180.0	180.0	180.0	180.0
	N _{矿化}	84.9	84.9	84.9	84.9	84.9
	N _{吸收}	98.6 d	153.2 c	162.5 b	164.9 b	177.0 a
	N _{残留}	104.1 c	190.3 a	168.4 ab	186.6 a	164.6 b
	N _{损失}	-8.5 c	100.9 a	93.8 ab	88.6 ab	78.1 b
	N _{盈余}	95.7 d	291.1 a	262.2 bc	275.2 b	242.7 c
2020	N _{初始}	97.2	188.6	166.4	183.5	161.7
	N _{肥料}	0	180.0	180.0	180.0	180.0
	N _{矿化}	65.5	65.5	65.5	65.5	65.5
	N _{吸收}	93.5 d	139.7 c	153.7 b	158.1 b	167.7 a
	N _{残留}	94.7 c	205.0 a	183.9 ab	191.6 a	172.9 b
	N _{损失}	-25.5 c	89.4 a	74.3 ab	79.4 ab	66.6 b
	N _{盈余}	69.2 d	294.4 a	258.2 bc	270.9 bc	239.5 bc
2018—2020 平均	N _{吸收}	98.3±4.6 d	145.7±6.9 c	158.2±4.4 b	162.0±3.5 b	171.4±5.0 a
	N _{残留}	110.5±7.9 d	191.2±13.4 a	173.6±9.1 bc	183.7±9.7 ab	165.6±6.9 c
	N _{损失}	-16.7±15.8 c	88.9±12.2 a	80.1±10.4 ab	77.1±12.9 ab	71.6±5.8 b
	N _{盈余}	93.7±23.6 c	280.1±21.9 a	253.7±11.5 ab	260.7±21.5 ab	237.0±6.92 b

注:N_{投入}=N_{初始}+N_{肥料}+N_{矿化};N_{损失}=N_{投入}-(N_{吸收}+N_{残留});N_{盈余}=N_{残留}+N_{损失}。不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平差异显著。

3 讨论

3.1 缓控释氮肥对玉米产量和效益的影响

氮素是制约玉米产量和效益的重要因素之一,氮肥管理方式与玉米养分吸收、产量及经济效益有着密切关系^[16]。有研究表明,等养分条件下一次性施肥效果较分次施肥差;但也有研究认为,分次施肥增加氮肥向下淋洗的风险和后期施肥困难,一次性施肥不但能保证作物产量,还比常规施肥增产 11.5%,提高氮肥利用率等^[17-18]。缓控释氮肥能够明显提高玉米的产量,增加经济效益,改善玉米的氮素利用状况^[8,19]。谢婷婷等^[20]研究表明,60%缓释肥与 20%尿素混合作基肥一次性施用,能促进夏玉米增产,增收达 3 298 元·hm⁻²。李嘉等^[21]研究表明,在施 N 180 kg·hm⁻² 条件下,控释氮肥较普通氮肥增产 12.3%,平均增收 4 008 元·hm⁻²。王宜伦等^[22]用缓释专用肥与普通专用肥比较,玉米增产 8.3%,纯收益增加 715 元·hm⁻²。在本研究中,控释氮肥与普通尿素配合施用(MBC)较农民习惯施肥(FP)使玉米产量增加 6.9%,增收 1 368 元·hm⁻²,差异显著($P<0.05$)。控释氮肥(CRU)单独施用较普通尿素(BU)单独施用,在产量、效益和氮素利用上也

表现出较好的效果,但二者配合施用更佳,与其他报道基本一致^[17,23]。

3.2 缓控释氮肥对玉米氮素利用效率的影响

肥料利用效率是评价施肥是否合理的重要指标,土壤-植物系统氮素输出的主要途径是植物吸收,作物对氮素的吸收反映了作物本身的利用能力,也反映了氮素利用效率^[24]。缓控释肥料可以延迟或控制养分释放,持续供应作物吸收利用,因此,施用控释肥料可以提高氮肥利用率^[9,19]。有研究表明,与相同施用量的传统氮肥处理相比,控释氮肥与普通尿素混合施用可提高玉米氮素吸收 8.3%~18.0%,氮素表观利用率提高 7.9%~23.7%^[25-26]。缓控释氮肥(CRU)与传统氮肥(BU)配合施用是提高氮素利用率和农艺效率的最有效途径,主要原因是 CRU 增加了植株对氮的吸收^[23,27]。在本研究中,缓释氮肥与普通尿素配合施用(MBC)较农民习惯施肥(FP)玉米地上部氮素吸收量平均增加 5.8%,氮肥利用率(NUE)增加 14.7%;MBC 较缓控释肥单独施用(CRU)氮素吸收量平均增加 8.3%,NUE 增加 21.9%,说明缓控释氮肥与普通尿素配合施用对玉米氮吸收和氮肥利用率有显著提高作用。由于

缓控释氮肥具有养分释放慢和持久的特点,能持续供应玉米整个生育期所需的氮素,减少氮素损失,促进氮素吸收,从而提高氮素利用效率,本研究结果与相关报道结论一致^[22-23]。

3.3 缓控释氮肥对氮素累积及氮素平衡的影响

氮肥在土壤-作物体系的去向主要包括三个方面:一是被作物吸收,二是在土壤剖面以无机氮形态或有机结合形态残留,三是以氨挥发、淋洗或径流等各种途径损失至环境^[14];因此,土壤-作物系统氮素平衡状况和氮素去向是评价施肥技术措施优劣的重要依据^[28]。从土壤-作物系统氮素平衡的观点看,缓控释氮肥施用技术是通过减少氮素表观损失,降低土壤氮素盈余,来实现增加植株氮吸收,提高氮肥利用率的^[2,24]。张鑫等^[29]研究表明,氮肥用量与收获后土壤剖面硝态氮累积量呈正相关,施氮量越大, NO_3^- -N 在 0~100 cm 土层范围内的累积量也越大,缓释肥与习惯施肥相比,0~100 cm 土层 NO_3^- -N 累积量下降了 48.0%。杨峰等^[30]研究表明,缓释肥能够明显降低 0~100 cm 土壤剖面 NO_3^- -N 残留,而传统氮肥处理则增加了 60~100 cm 深层土壤 NO_3^- -N 残留,SIN 残留量降低 62.8%,氮素表观损失降低 56.2%,表观利用率提高 2.7~3.0 倍,氮素表观盈余率降低 49.8%。本研究施用控释氮肥主要降低了土壤深层剖面矿质氮含量。在中上层(0~60 cm)土壤剖面中,无机氮累积量占总量的 78.4%~83.9%;在下层剖面(60~90 cm)中,无机氮占总量的 16.1%~21.6%。可见,施用缓控释氮肥能显著降低土壤深层剖面(60~90 cm)SIN 累积量,CRU 较 BU 处理降低 30.1%,MBC 处理较 FP 处理降低 30.7%。解文艳等^[23]研究表明,通过 4 个生长季夏玉米施用树脂包膜尿素较普通尿素土壤氮损失降低 8.9%,土壤无机氮盈余量降低 10.0%,降低了对土壤环境污染的风险^[31]。本研究通过 3 年连续生长季研究表明,MBC 较 FP 处理氮素的表观损失降低 7.1%,土壤-作物系统氮素盈余量减少 9.0%,说明控释氮肥与普通氮肥配合施用可以减少氮素损失,减少无机氮在土壤中的盈余,降低环境污染风险,本研究结果与前人研究结论一致^[9,32]。

4 结论

缓控释尿素(CRU)与普通尿素(BU)6:4混合(MBC)一次性作基肥施用,与农民习惯施肥(FP)处理相比,使玉米平均增产 6.9%,增收

27.8%,氮肥利用率增加 14.7%,0~90 cm 土壤剖面中无机氮累积量降低 10.0%,氮素损失减少 7.1%,从而降低环境污染的风险。该项技术为轻简化施肥提供了技术支撑和科学依据,是实现玉米高产高效施肥和土壤可持续生产的有效措施之一,能够作为东北寒地黑土生态区传统的“一基一追”施肥模式的有效补充和替代。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [2] 姬景红, 李玉影, 刘双全, 等. 平衡施肥对玉米产量、效益及土壤-作物系统养分收支的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(4): 37-41.
- [3] 张磊, 王立春, 孔丽丽, 等. 不同施肥模式下春玉米养分吸收利用和土壤养分平衡研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(5): 1169-1176.
- [4] 朱兆良, 金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 259-273.
- [5] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 307-316.
- [6] 孙旭东, 孙浒, 董树亭, 等. 包膜尿素施用时期对夏玉米产量和氮素积累特性的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2179-2188.
- [7] 侯云鹏, 李前, 孔丽丽, 等. 不同缓控释氮肥对春玉米氮素吸收利用、土壤无机氮变化及氮平衡的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3928-3940.
- [8] 赵聪, 张伟, 刘化涛, 等. 减氮量施用缓释氮肥对春玉米产量及土壤硝铵态氮含量剖面分布的影响[J]. 土壤通报, 2020, 51(2): 430-434.
- [9] 周丽平, 杨俐苹, 白由路, 等. 夏玉米施用不同缓释化处理氮肥的效果及氮肥去向[J]. 中国农业科学, 2018, 51(8): 1527-1536.
- [10] ZHENG W K, ZHANG M, LIU Z G, et al. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system[J]. Field Crops Research, 2016, 197: 52-62.
- [11] 黑龙江省统计局. 黑龙江统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [12] LI G H, ZHAO L P, ZHANG S X, et al. Recovery and leaching of ^{15}N -labeled coated urea in a lysimeter system in the North China Plain[J]. Pedosphere, 2011, 21(6): 763-772.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [14] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦与夏玉米轮作体系中氮肥效应及氮素平衡研究[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1361-1368.
- [15] 栗丽, 洪坚平, 王宏庭, 等. 施氮与灌水对夏玉米土壤硝态氮积累、氮素平衡及其利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(6): 1358-1365.
- [16] 闫湘, 金继运, 何萍, 等. 提高肥料利用率技术研究进展

- [J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 450-459.
- [17] 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, 15(4): 125-128.
- [18] 战秀梅, 李亭亭, 韩晓日, 等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011(4): 861-868.
- [19] GENG J B, SUNY B, ZHANG M, et al. Long-term effects of controlled release urea application on crop yields and soil fertility under rice-oilseed rape rotation system[J]. Field Crops Research, 2015, 184: 65-73.
- [20] 谢婷婷, 赵欢, 肖厚军, 等. 缓效和速效氮配施对春玉米产量、养分积累及氮肥利用的影响[J]. 玉米科学, 2022, 30(1): 130-137.
- [21] 李嘉, 吕慎强, 杨泽宇, 等. 氮肥运筹对黄土塬区春玉米产量、效益和氮肥利用率的综合效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(1): 32-41.
- [22] 王宜伦, 卢艳丽, 刘举, 等. 专用缓释肥对夏玉米产量及养分吸收利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(1): 29-32.
- [23] 解文艳, 周怀平, 杨振兴, 等. 不同缓释控氮肥对连作春玉米产量及氮肥去向的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(3): 207-214.
- [24] 赵营, 刘晓彤, 罗健航, 等. 缓控释肥条施对春玉米产量、吸氮量与氮平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(5): 34-39.
- [25] LI W G, NIE L P, LI Z, et al. Interaction of deep placed controlled-release urea and water retention agent on nitrogen and water use and maize yield[J]. European Journal of Agronomy, 2016, 75: 118-129.
- [26] 王寅, 冯国忠, 张天山. 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.
- [27] MENG Q F, YUE S C, HOU P, et al. Improving yield and N use efficiency simultaneously for maize and wheat in China[J]. Pedosphere, 2016, 26(2): 137-147.
- [28] 郭金金, 张富仓, 王海东, 等. 不同施氮量下缓释氮肥与尿素掺混对玉米生长与氮素吸收利用的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(20): 3930-3943.
- [29] 张鑫, 安景文, 邹晓锦, 等. 不同施肥模式对玉米产量及土壤硝态氮的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(2): 41-44.
- [30] 杨峰, 闫秋艳, 鲁晋秀, 等. 氮肥运筹对夏玉米产量、氮素利用率及土壤养分残留量的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(1): 171-178.
- [31] KEA J, HEA R C, HOU P F, et al. Combined controlled-released nitrogen fertilizers and deep placement effects of N leaching, rice yield and N recovery in machine-transplanted rice [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2018 (265): 402-412.
- [32] 党廷辉, 戚龙海, 郭胜利, 等. 旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(3): 573-577.

Effects of Controlled Release Nitrogen Fertilizer on Maize Yield, Nitrogen Absorption and Utilization in Cold Black Soil

ZHENG Yu^{1,2}, JI Jinghong¹, MA Xingzhu¹, LIU Shuangquan¹, HAO Xiaoyu¹, ZHAO Yue¹, LI Jie³

(1. Heilongjiang Institute of Black Soil Protection and Utilization, Harbin 150086, China; 2. Postdoctoral Workstation, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China; 3. Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to further verify the efficiency of nitrogen application, the effects of combined application of controlled release N fertilizer and common N fertilizer on maize yield, nitrogen utilization and nitrogen balance in black soil of cold region were studied by fixed-site experiment. Five treatments were set up: ① no N fertilizer (CK); ② all common N fertilizer basal application (BU); ③ total controlled release N fertilizer basal application (CRU); ④ farmers practice, that is 40% BU basal fertilization, 60% BU top dressing (FP); ⑤ 60% CRU and 40% BU mixed basal application (MBC). The results showed that combined application of controlled release N fertilizer with common N fertilizer (MBC) significantly increased maize yield, economic benefit, nitrogen use efficiency (NUE), reduced N residue in soil profile, and reduced N loss. Compared with FP, MBC treatment increased yield by 6.9% ($P < 0.05$), benefit by 27.8% ($P < 0.05$), and N use efficiency by 14.7% ($P < 0.05$). The accumulation of soil inorganic nitrogen (SIN) in 0-30 cm, 30-60 cm and 60-90 cm soil profiles accounted for 44.8%-51.8%, 32.2%-34.9% and 15.5%-21.6% of total SIN in the soil profile (0-90 cm), respectively. Compared with FP, in the soil profile (0-90 cm), SIN accumulation decreased by 10.0%, N loss decreased by 7.1%, and N surplus in soil-crop system decreased by 9.1% when controlled release N fertilizer combined with common N fertilizer was applied at one time basal (MBC). Compared with BU, CRU had significant positive effects on maize yield, benefit and N utilization, but it was not as good as MBC. Considering the yield, benefit, N use efficiency and N cycling, MBC with a ratio of 6:4 was the best method for efficient fertilization of maize in this region.

Keywords: controlled release nitrogen fertilizer; maize; yield; benefit; nitrogen use efficiency; nitrogen accumulation and distribution