

# 氮肥减施下添加硝化抑制剂对夏玉米植株及土壤氮素积累分配及产量的影响

张盼盼 李川 张美微 赵霞 黄璐 刘京宝 乔江方

(河南省农业科学院粮食作物研究所, 450002, 河南郑州)

**摘要** 大田条件下设置常规施氮量 (T1)、氮肥减施 10%+硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶 (T2)、氮肥减施 10% (T3)、氮肥减施 20%+硝化抑制剂 (T4)、氮肥减施 20% (T5)、氮肥减施 30%+硝化抑制剂 (T6) 和氮肥减施 30% (T7) 共 7 个处理, 研究不同处理对土壤有效氮含量、夏玉米植株干物质质量和氮素积累分配、籽粒产量及其构成因素的影响。结果表明, 成熟期 T1 和 T4 处理干物质积累量最高, T7 处理籽粒重占比最高, 为 55.98%。吐丝后氮素积累量以 T2 处理最高, 成熟期籽粒氮素积累占比在 T6 和 T7 处理达到最大。施肥后, 前期土壤铵态氮含量以 T4 处理最高, 硝态氮和  $N_{min}$  含量以 T1 处理最高, 后期 T4 处理下 3 个指标含量均表现出明显优势。籽粒产量平均为 11.46t/hm<sup>2</sup>, T1 和 T4 处理最高, 平均为 11.87t/hm<sup>2</sup>。氮肥减施 20% 下配施硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶能够降低农业生态系统氮肥投入, 提高土壤有效氮含量和保持玉米生产, 达到高产高效。

**关键词** 夏玉米; 硝化抑制剂; 氮肥减施; 氮素含量

玉米是我国第一大粮食作物, 2019 年全国玉米种植面积达 4.13 万 hm<sup>2</sup>, 产量达 26077.9 万 t, 占全国粮食总产量的 39.3%<sup>[1]</sup>。黄淮海地区的玉米种植面积和产量均占全国 1/3 以上, 是我国最大的夏玉米生产区, 对保障中国粮食安全有重要作用<sup>[2-3]</sup>。氮肥是影响玉米生长和籽粒产量的主要因子之一。我国农业生产中氮肥施用量占全球氮肥用量的 30%, 存在过量施用现象, 而氮肥利用率仅为 30%~35%, 远低于世界平均水平<sup>[4-5]</sup>。氮肥利用率低不仅增加农业生产成本, 还会导致耕地肥力下降、土壤板结、大气氮氧化物污染和温室效应、水体硝酸盐污染和富营养化等环境问题, 制约农业可持续发展<sup>[6-7]</sup>。

土壤中多余的氮素会通过氨挥发、硝态氮淋洗、地表径流和其他表观损失等途径损失而污染环境<sup>[8]</sup>。目前, 玉米生产上多采取选育氮高效型玉米品种和氮肥减施下添加氮肥增效剂、施用缓控释肥料等措施来减少氮素损失和提高氮肥利用效率<sup>[9-10]</sup>。作为氮肥增效剂的一种, 硝化抑制剂主要通过抑制硝化细菌的活性来抑制亚硝化作用, 使施入的氮源能够较长时间以铵态氮形态存在, 供作物利用, 在提高肥效的同时, 减少了亚硝态氮

和硝态氮的淋溶以及反硝化造成的氮肥损失, 从而提高氮肥利用率和生产力<sup>[11-12]</sup>。王彬等<sup>[13]</sup>发现, 在施氮量 225kg/hm<sup>2</sup> 时添加氮肥增效剂, 能使玉米整个生育期有较高的叶绿素含量和光合速率, 氮素代谢能力显著增强, 百粒重和籽粒产量也明显提高。与常规施氮相比, 在尿素添加硝化抑制剂和脲酶抑制剂处理下, N<sub>2</sub>O 积累排放量降低 39.0%, 氨挥发减少, 在实现玉米高产的同时减少土壤温室气体排放<sup>[14-15]</sup>。与普通复合肥相比, 添加硝化抑制剂的肥料能够有效抑制硝化作用, 降低土壤硝态氮含量, 降低硝酸盐淋失的风险<sup>[16]</sup>。与单施尿素相比, 添加硝化抑制剂后尿素氮利用效率显著提高, 且硝化抑制剂在滴灌施肥条件下的施用效果好于直接施用<sup>[17]</sup>。

目前, 关于玉米氮肥减施下添加硝化抑制剂的研究大多集中于对籽粒氮含量、产量及氮肥利用率的影响, 而氮肥减施下添加硝化抑制剂对玉米植株不同器官干物质质量和氮素的累积分配规律研究尚不清楚, 为此, 本研究设置不同氮肥减施水平下添加 2-氯-6-三氯甲基吡啶处理, 研究不同生育期玉米植株干物质和氮素的累积变化及分配规律, 分析土壤中有效氮含量的变化, 为黄淮海

作者简介: 张盼盼, 主要从事玉米氮素营养管理研究, E-mail: zhangpan1602@163.com

乔江方为通信作者, 主要从事玉米籽粒脱水研究, E-mail: qiaojf@126.com

基金项目: 河南省自然科学基金青年科学基金 (202300410526); 河南省农业科学院基本科研业务费项目 (2021ZC12)

收稿日期: 2021-09-29; 修回日期: 2022-09-26; 网络出版日期: 2022-11-07

夏玉米区硝化抑制剂的合理施用和玉米高产高效提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

大田试验在河南省周口市西华县农业科学研究所试验基地 (114°26'49" E, 33°45'44" N) 进行, 供试土壤为黄褐土, 玉米播种前, 依据 5 点取样法取 0~30cm 的土壤样品, 充分混合后测定基本化学性质, 含全氮 1.03g/kg, 碱解氮 64.89mg/kg, 速效磷 7.94mg/kg, 速效钾 98.05mg/kg, 有机质 13.0g/kg, pH 8.42。

### 1.2 试验设计

试验时间为 2020 年 6 月 4 日-9 月 25 日。玉米品种为郑单 958。硝化抑制剂为 2-氯-6-三氯甲基吡啶。采用单因素随机区组设计, 设置 7 个处理: 常规施氮量 (T1), 氮肥减施 10%+硝化抑制剂 (T2), 氮肥减施 10% (T3), 氮肥减施 20%+硝化抑制剂 (T4), 氮肥减施 20% (T5), 氮肥减施 30%+硝化抑制剂 (T6), 氮肥减施 30% (T7), 每个处理 3 次重复, 8 行区, 行长 5m, 小区面积 24m<sup>2</sup>, 种植密度 75 000 株/hm<sup>2</sup>。

氮、磷、钾肥分别为尿素 (46%)、过磷酸钙 (12%)、硫酸钾 (52%), 磷、钾肥折纯后施用量均为 100kg/hm<sup>2</sup>。T1 处理为农民常用施氮量 225kg N/hm<sup>2</sup>, 氮肥减施 10%、20%和 30%处理的氮肥施用量分别为 202.5、180.0 和 157.5kg N/hm<sup>2</sup>。尿素按 1:1 进行基施和大喇叭口期追施, 磷和钾肥全部基施。硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶施用量为 22.5kg/hm<sup>2</sup>。肥料基施时, 硝化抑制剂与之充分混匀后共同施入。

玉米生育期内的田间管理措施与当地大田生产管理一致。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质量 分别在苗期、拔节期、大口期、吐丝期、灌浆期 (吐丝后 20d) 和成熟期, 选取连续 5 株长势一致的有代表性植株, 测量鲜重, 烘干后称干重。

1.3.2 氮素含量 将称取干重后的植株样品粉碎装袋, 采用凯氏定氮法测定氮含量。

1.3.3 土壤硝态氮和铵态氮含量 在基施和追施尿素后 0、4、8、12、15d 以及基施 70d 和成熟期, 分别取 T1、T4 和 T5 处理 0~30cm 土样, 测定铵态氮和硝态氮含量。

1.3.4 产量 在成熟期收获小区中间 2 行玉米, 随机选取 15 穗考种, 晒干脱粒, 测定含水量和籽粒质量, 并折算含水率 14% 的产量。

### 1.4 数据处理

器官元素积累量=器官干物质量×元素含量, 器官元素比例 (%) = 器官元素积累量/植株元素总积累量×100%, 土壤 N<sub>min</sub> 含量=土壤硝态氮含量+土壤铵态氮含量。

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理与统计分析, 采用 LSD 法和 Duncan 进行方差分析和多重比较 ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对玉米干物质积累及分配的影响

由图 1 可知, 玉米苗期干物质量平均为 0.98t/hm<sup>2</sup>, 随着生育期的推进, 玉米植株干物质量不断增加, 成熟期达 22.43t/hm<sup>2</sup>。在玉米生长前期, 各处理干物质量差异不明显。大口期 T4 和 T1 处理干物质量平均 4.47t/hm<sup>2</sup>, 高于其他处理; 成熟期 T4 和 T1 处理的干物质量较高, 其次是 T2、T3、T5 和 T6 处理, T7 处理最低, 仅为 19.69t/hm<sup>2</sup>。

成熟期植株茎、叶、鞘、穗轴、苞叶和籽粒的

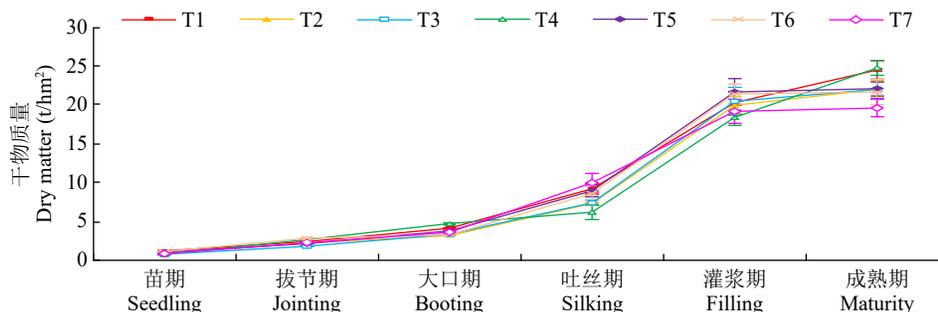


图 1 不同处理对玉米地上部干物质积累动态的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the dynamic of dry matter accumulation of maize shoot

干物质质量平均分别为 4.43、2.97、1.30、1.46、0.81 和 11.46t/hm<sup>2</sup> (图 2), T1 处理茎、叶、鞘、穗轴和苞叶的干物质质量均表现出明显优势, T4 处理茎、鞘和穗轴的干物质质量与 T1 处理无明显差异, 籽粒则明显高于其他处理。除此以外, T5 处理叶和 T3 处理苞叶的干物质质量相对较高。茎、叶、鞘、穗轴、

苞叶和籽粒干物质质量分别占植株总重的 19.77%、13.25%、5.78%、6.52%、3.60%和 51.08%。各处理中, T4 处理茎的占比最高 (21.7%), T5 处理叶的占比最高 (14.7%), T3 处理鞘和苞叶的占比最高, T7 处理籽粒占植株总干物质质量比例最高 (55.98%), 较 T1 处理增加 14.9%。

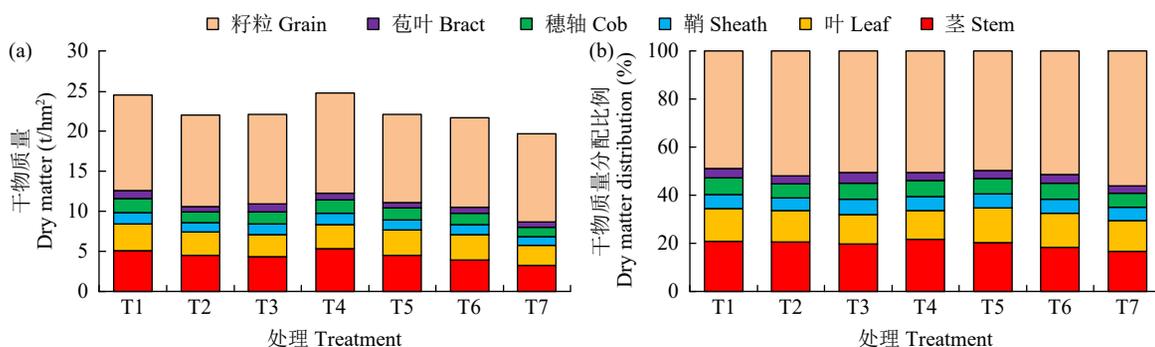


图 2 不同处理对成熟期玉米各器官干物质积累量及分配的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the dry matter accumulation and distribution of maize organs at maturity stage

### 2.2 不同处理对植株氮素积累及分配的影响

玉米苗期氮肥积累量平均 29.21kg/hm<sup>2</sup>, 随生育期延长不断增加, 成熟期增至 218.77kg/hm<sup>2</sup> (图 3)。苗期各处理间差异不明显, 拔节期 T6 处理下,

氮素积累量明显高于其他处理, 大口期以 T4 处理最高 (107.61kg/hm<sup>2</sup>), 灌浆期和成熟期以 T2 处理氮素积累量最高, 分别为 220.41 和 240.92kg/hm<sup>2</sup>, 成熟期 T1、T3 和 T4 处理间差异不明显, 平均为

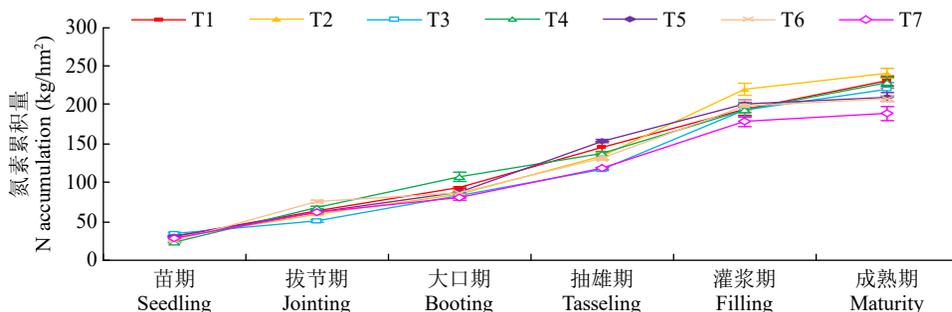


图 3 不同处理对玉米地上部氮素积累动态的影响

Fig.3 Effects of different treatments on the dynamic of nitrogen accumulation of maize shoot

227.19kg/hm<sup>2</sup>, 但较 T7 处理提高 19.9%。

成熟期茎、叶、鞘、穗轴、苞叶和籽粒的氮素积累量分别为 16.20、18.76、3.86、1.88、1.74 和 57.56kg/hm<sup>2</sup> (图 4)。T2 处理的茎、叶、鞘氮素积累量最高; T4 处理籽粒氮素积累量最高 (135.47kg/hm<sup>2</sup>), 其次是 T3 和 T6 处理, T7 处理最低 (114.50kg/hm<sup>2</sup>)。茎、叶、鞘、穗轴、苞叶和籽粒氮素积累量占植株氮素总量比例分别为 16.20%、18.76%、3.86%、1.88%、1.74%和 57.56%。具体来说, T2 处理茎、鞘和苞叶中氮素积累量占比均较高, T6 处理籽粒中氮素积累量占比最高 (62.64%), 其次是 T7 处理 (60.40%), T2 处理占

比 (49.89%) 最低。

### 2.3 不同处理对土壤有效氮含量的影响

从图 5 可以看出, 土壤硝态氮和 N<sub>min</sub> 含量在基肥施用后 4 和 28d (追施后 5d) 出现 2 次高峰, 高峰出现后均迅速下降, 而铵态氮含量较低, 在基肥施用后明显下降, 肥料追施时出现小高峰, 随后稳定至成熟期。具体来说, 肥料基施后 T1 处理铵态氮含量最高, 8d 时 T4 处理呈现出优势, 28d 时峰值出现后, 各处理间差异逐渐减少。玉米生育前期土壤硝态氮含量大致表现为 T1>T4>T5 处理, 肥料基施后 36d, T4 处理逐渐表现出优势, 至 40d 明显高于 T1 和 T5 处理, 这种趋势持续至成熟期。

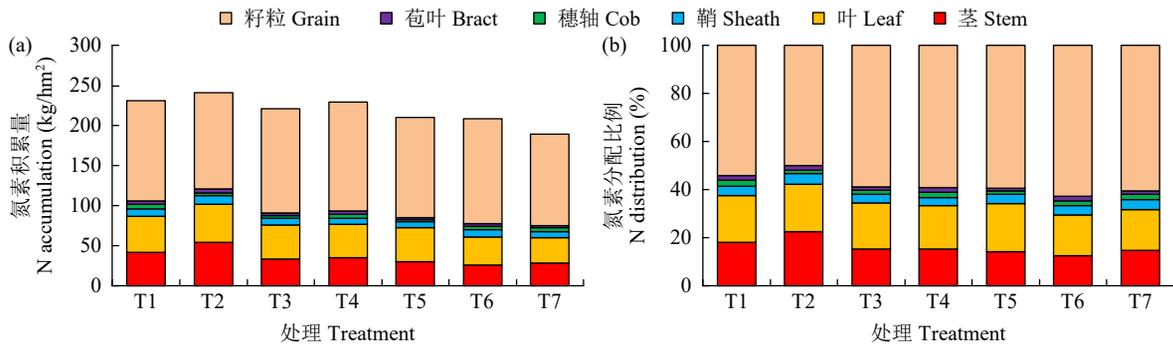
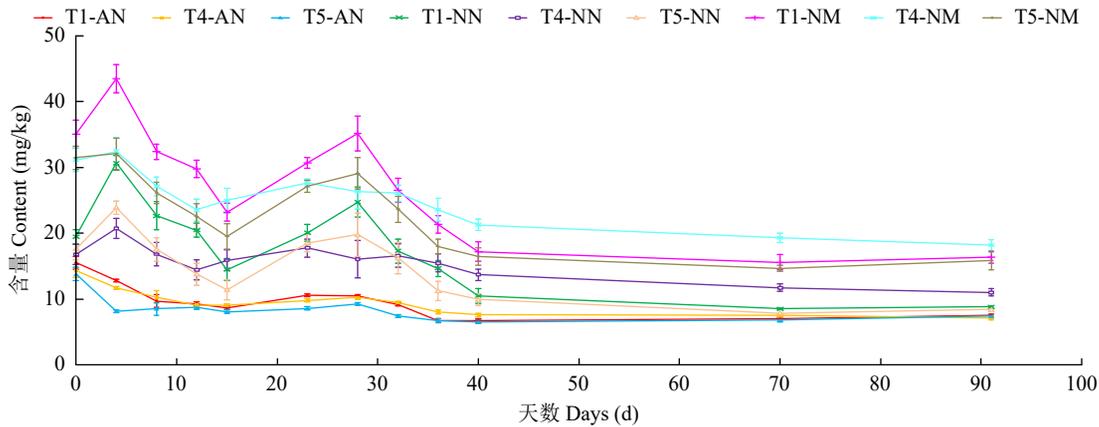


图 4 不同处理对成熟期玉米各器官氮素积累及分配的影响

Fig.4 Effects of different treatments on the nitrogen accumulation and distribution of maize organs at maturity stage



AN、NN 和 NM 分别代表土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{N}_{\text{min}}$  含量  
AN, NN and NM represent the concentrations of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  and  $\text{N}_{\text{min}}$  in the soil, respectively

图 5 不同处理对土壤  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$  和  $\text{N}_{\text{min}}$  含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  and  $\text{N}_{\text{min}}$  concentration in the soil

$\text{N}_{\text{min}}$  含量的变化趋势与硝态氮含量一致,成熟期 T4 处理较 T1 和 T5 处理平均提高 13.0%。

### 2.4 不同处理对玉米籽粒产量及其构成因素的影响

表 1 显示,穗行数平均为 16.3,各处理间无显著差异;行粒数平均为 35.2, T4 处理最高,较 T5、T6 和 T7 处理平均高出 7.0%;千粒重平均为 368.4g,各处理表现不一致, T6、T7、T5 和 T2 处理较高,

平均为 372.3g, T4 处理 (359.9g) 最低;各处理产量平均为 11.46t/hm<sup>2</sup>, T1 和 T4 处理较高,平均为 11.87t/hm<sup>2</sup>,与 T2、T3 和 T5 处理无显著差异,但 T7 和 T6 处理较之分别降低了 7.9%和 6.7%。

### 3 讨论

氮肥施入土壤后,氮素去向包括被植株利用、土壤残留和氮素损失,损失的主要途径包括氨气和氮氧化物挥发、硝态氮淋溶、径流损失和其他表现损失<sup>[18]</sup>。与硝态氮相比,铵态氮更容易被微生物优先利用,氮肥与硝化抑制剂配施可以抑制铵态氮向硝态氮的转化,通过抑制氨氧化细菌和亚硝酸氧化细菌活性,延长土壤中铵态氮存留时间,供植物持续利用,减少硝态氮淋溶损失,提高氮肥利用效率。本研究表明,氮肥减施 20%后添加硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶,在成熟期具有较高的干物质量,与正常施氮处理间无显著差异。崔磊等<sup>[19]</sup>在黑土上研究氮肥添加硝化抑制剂的效果时也发现,与单施氮肥相比,添加 2-氯-6-三氯甲基

表 1 不同处理对玉米籽粒产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of different treatments on maize grain yield and its components

处理 Treatment	穗行数 Row number per ear	行粒数 Kernel number per row	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (t/hm <sup>2</sup> )
T1	16.4a	34.9ab	363.8ab	11.96a
T2	16.4a	35.4ab	372.9a	11.63ab
T3	16.0a	35.7ab	365.6ab	11.37ab
T4	16.3a	36.9a	359.9b	11.77a
T5	16.4a	34.3b	370.4a	11.51ab
T6	16.3a	34.6b	373.8a	11.07b
T7	16.4a	34.7b	372.1a	10.93b
平均值 Average	16.3	35.2	368.4	11.46

不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )  
Different small letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ )

吡啶能够显著提高叶片中叶绿素含量、株高和总生物量。利用盆栽试验<sup>[20]</sup>研究氮肥分次施用对玉米生长的影响时发现,与尿素分次施用相比,尿素配合硝化抑制剂一次性施入,能够显著提高鲜食玉米植株总生物量。宋以玲等<sup>[21]</sup>和邓松华等<sup>[22]</sup>也发现相似结果。

硝化抑制剂的作用主要是抑制土壤中铵态氮向硝态氮的转化<sup>[23-24]</sup>,因此,与单施氮肥相比,氮肥配施硝化抑制剂后,土壤中硝态氮、铵态氮和有效氮含量会有明显变化。在连续 2 年田间试验后,郝小雨等<sup>[25]</sup>发现,同一施氮量下,添加 2-氯-6-三氯甲基吡啶后,0~20 和 20~40cm 土层硝态氮含量分别下降 39.7%和 21.8%,有效抑制土壤硝化作用。在黑土春玉米区也发现添加硝化抑制剂后硝化抑制作用效果明显<sup>[26]</sup>。在冬小麦-夏玉米轮作区,尿素添加硝化抑制剂能显著抑制硝化作用和微生物反硝化作用,能实现 N<sub>2</sub>O 的减排<sup>[27]</sup>。本研究也发现,与氮肥减施 20%处理相比,在施肥前期,氮肥减施 20%配施 2-氯-6-三氯甲基吡啶能明显降低土壤中硝态氮含量,增加铵态氮含量,另外,随着时间延长,氮肥配施硝化抑制剂能显著提高植株后期有效氮的供应水平,这与前人研究结果一致<sup>[28]</sup>。本试验表明,氮肥减施 20%配施 2-氯-6-三氯甲基吡啶处理能显著提高玉米季后土壤中有效氮含量,增加土壤氮素残留,为下茬作物的生长提供了一定的氮素来源。本试验持续一个玉米生长季,氮肥减施配施硝化抑制剂的后续作用以及研究结果的重复性需进一步验证。

本研究发现,氮肥减施 10%和 20%处理下,玉米籽粒产量与常规施氮处理间无显著差异,表明试验中常规氮肥施用量存在施氮过量的可能。以往研究<sup>[29-30]</sup>表明,与单施氮肥相比,玉米生产中氮肥配施硝化抑制剂的增产效果较为明显。然而,本研究的结果显示,在氮肥减施 10%和 20%时,是否添加硝化抑制剂对产量无显著影响。这可能与试验中土壤较高的地力有关。虽然氮肥减施 20%情况下添加硝化抑制剂后产量均无明显变化,但与氮肥减施 20%处理相比,氮肥减施 20%配施 2-氯-6-三氯甲基吡啶处理下,玉米收获时土壤中残留的有效氮含量较高,表明该处理不仅能促进玉米生长,还能提高土壤有效氮储存量,这对提高土壤地力和促进下季作物的生长有重要意义。因此,在本研究条件下,

在减氮 20%的基础上,添加硝化抑制剂等措施可以协调作物对氮素的吸收利用,保持作物产量,减少土壤氮素损失,提高土壤有效氮储存量,从而实现节本增效和提高氮肥利用效率。各处理间行粒数无显著差异,氮肥减施 20%配施硝化抑制剂处理下,千粒重下降但行粒数显著增加,最终获得了高产,因此认为,配施硝化抑制剂对夏玉米的高产主要是建立在穗粒数增加的基础上。

## 4 结论

在黄淮海夏玉米生产区,与常规施氮量相比,在氮肥减施 20%时添加硝化抑制剂,能维持玉米植株干物质量,增加籽粒中氮素含量,提高生长后期土壤氮素供应能力,保证玉米高产。因此,在保证夏玉米高产的基础上,通过氮肥减施优化管理,配施硝化抑制剂 2-氯-6-三氯甲基吡啶,能够降低农业生态系统氮肥投入和减少氮肥损失。

### 参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴 2020. [2021-09-26]. <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.htm>.
- [2] Liu Z, Gao J, Gao F, et al. Late harvest improves yield and nitrogen utilization efficiency of summer maize. *Field Crops Research*, 2019, 232: 88-94.
- [3] 马玉平, 孙琳丽, 马晓群. 黄淮海地区夏玉米对干旱和涝渍的生理生态反应. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(4): 85-93.
- [4] Milroy S P, Wang P, Sadras V O. Defining upper limits of nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of potato in response to crop N supply. *Field Crops Research*, 2019, 239: 38-46.
- [5] 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. *土壤学报*, 2008, 9(5): 915-924.
- [6] Jumadi O, Hala Y, Iriany R N, et al. Combined effects of nitrification inhibitor and zeolite on greenhouse gas fluxes and corn growth. *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27(2): 2087-2095.
- [7] Zheng W K, Wan Y S, Li Y C, et al. Developing water and nitrogen budgets of a wheat-maize rotation system using auto-weighing lysimeters: Effects of blended application of controlled-release and un-coated urea. *Environmental Pollution*, 2020, 263: 114383.
- [8] Zhang L, Wu Z, Jiang Y J, et al. Fate of applied urea <sup>15</sup>N in a soil-maize system as affected by urease inhibitor and nitrification inhibitor. *Plant, Soil and Environment*, 2010, 56(1): 8-15.
- [9] Haegerle J W, Cook K A, Nichols D M, et al. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Science*, 2013, 53(4): 1256-1268.
- [10] Liu S L, Wang X H, Yin X H, et al. Ammonia volatilization loss and corn nitrogen nutrition and productivity with efficiency enhanced uan and urea under no-tillage. *Scientific Reports*, 2019, 9: 6610.
- [11] 李婷玉. 增效氮肥综合效应及影响因素研究. 北京: 中国农业

- 大学, 2018.
- [12] 米国华, 伍大利, 陈延玲, 等. 东北玉米化肥减施增效技术途径探讨. 中国农业科学, 2018, 51(14): 2758-2770.
- [13] 王彬, 王玉波, 佟桐, 等. 不同施氮模式对玉米光合特性和氮代谢关键酶的影响. 玉米科学, 2020, 28(2): 135-142.
- [14] 林昌华, 唐群峰, 唐树梅, 等. 氮肥增效剂农用效应的研究. 热带农业科学, 2005(4): 30-33, 47.
- [15] 姚凡云, 王立春, 多馨曲, 等. 不同氮肥对东北春玉米农田温室气体周年排放的影响. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1303-1311.
- [16] 夏婷婷, 苏效坡, 肖焱波, 等. 恩泰克长效稳定性肥料对玉米生长及硝酸盐淋失的影响. 吉林农业科学, 2015, 40(3): 46-49.
- [17] 邓兰生, 张承林. 玉米滴灌栽培条件下尿素与氢醌、双氰胺配施方法及效果. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 498-503.
- [18] 杨宪龙, 路永莉, 同延安, 等. 长期施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作体系土壤氮素平衡的影响. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 65-73.
- [19] 崔磊, 李东坡, 武志杰, 等. 高效稳定性硫酸铵氮肥在黑土中的施用效果. 应用生态学报, 2020, 31(7): 2390-2398.
- [20] 符佩娇, 吉恒宽, 何秋香, 等. 氮肥分施次数及硝化抑制剂对盆栽玉米 N<sub>2</sub>O 排放的影响. 环境科学, 2021, 42(9): 4538-4547.
- [21] 宋以玲, 贺明荣, 张吉旺, 等. 硝化抑制剂型包膜肥料对玉米生理特性、产量、品质的影响. 河北科技师范学院学报, 2015, 29(1): 6-11, 80.
- [22] 邓松华, 梁富忠. 含硝化抑制剂 DMPP 的复合肥在玉米上的应用效果研究. 现代农业科技, 2018, 730(20): 15-16.
- [23] 李艳勤, 刘刚, 红梅, 等. 优化施氮对河套灌区氧化亚氮排放和氨挥发的影响. 环境科学学报, 2019, 39(2): 578-584.
- [24] 徐玉秀, 郭李萍, 谢立勇, 等. 中国主要旱地农田 N<sub>2</sub>O 背景排放量及排放系数特点. 中国农业科学, 2016, 49(9): 1729-1743.
- [25] 郝小雨, 马星竹, 高中超, 等. 氮肥管理措施对黑土春玉米产量及氮素利用的影响. 玉米科学, 2016, 24(4): 151-159.
- [26] 方玉凤, 王晓燕, 庞荔丹, 等. 硝化抑制剂对春玉米氮素利用及土壤 pH 值和无机氮的影响. 中国土壤与肥料, 2015(6): 18-22.
- [27] 赵自超. 华北平原优化农作条件下作物生产和温室气体减排研究, 北京: 中国农业大学, 2017.
- [28] 王玲莉, 古慧娟, 石元亮, 等. 尿素配施添加剂 NAM 对三江平原白浆土氮素转化和玉米产量的影响. 中国土壤与肥料, 2012(2): 34-38.
- [29] 王丹阳, 边文范, 董晓霞, 等. 氮肥增效剂用量对玉米产量和氮素利用率的影响. 山东农业科学, 2019, 51(12): 53-57.
- [30] 张英鹏, 李洪杰, 刘兆辉, 等. 农田减氮调控施肥对华北潮土区小麦-玉米轮作体系氮素损失的影响. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1179-1187.

## Effects of Nitrification Inhibitor on the Nitrogen Concentration and Yield in Summer Maize Plants and Soil under Reduced Nitrogen Application

Zhang Panpan, Li Chuan, Zhang Meiwei, Zhao Xia, Huang Lu, Liu Jingbao, Qiao Jiangfang

(Cereal Crops Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract** The experiment was conducted with seven treatments including normal nitrogen (N) rate (T1), N reduced by 10%+nitrification inhibitor, 2-chloro-6-trichloromethylpyridine (T2), N reduced by 10% (T3), N reduced by 20%+nitrification inhibitor (T4), N reduced by 20% (T5), N reduced by 30%+nitrification inhibitor (T6) and N reduced by 30% (T7), to investigate the effects of different treatments on the soil nitrogen concentration, accumulation and distribution of dry matter and nitrogen, and grain yield and its components. The results indicated that, in maturity stage, the highest dry matter accumulations were obtained in the T1 and T4 treatments. T7 treatment had the highest grain proportion by 55.98%. After silking stage, the highest N accumulation was obtained in T2 treatment. The highest grain distributions in the plants were found in T6 and T7 treatments. After fertilizer application, soil NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N concentration was the highest in T4 treatment, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N and N<sub>min</sub> concentrations were the highest in T1 treatment at early stage and the three nitrogen indexes of T4 treatment were higher at later stage. Mean grain yield was 11.46t/ha. The highest yields were obtained in T1 and T4 treatments, the average was 11.87t/ha. Thus, N reduced by 20%+nitrification inhibitor 2-chloro-6-trichloromethylpyridine could decrease the input and increase soil N concentration in the agroecological system and maintain the high-yield and high-efficiency in the maize production.

**Key words** Summer maize; Nitrification inhibitor; Nitrogen fertilizer reduction; Nitrogen concentration