

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.19237

控释尿素对土壤硝态氮含量、氮素利用和小麦产量的影响

程文龙¹, 武际^{1*}, 韩上¹, 陈锋², 夏伟光³, 李敏¹, 王慧¹

(1. 安徽省农业科学院土壤肥料研究所, 养分循环与资源环境安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230031;
2. 安徽省濉溪县五铺农场, 安徽 淮北 235188; 3. 安徽省郎溪县农业局, 安徽 郎溪 242199)

摘要: 通过田间试验研究了全量施氮 (240 kg/hm²) 和减氮 20% (192 kg/hm²) 条件下, 控释尿素对冬小麦生长发育及土壤硝态氮含量的影响。结果表明, 小麦不同生长期土层硝态氮均存在不同程度的淋失现象, 尤以拔节期土层氮素淋失最为严重, 拔节期普通尿素处理 60 ~ 80 和 80 ~ 100 cm 土层硝态氮含量达到了 28.21 和 26.74 mg/kg, 而控释尿素处理 40 ~ 100 cm 土层硝态氮含量仅为 3.51 ~ 5.87 mg/kg, 变化幅度小, 且控释尿素处理耕层硝态氮含量显著高于普通尿素处理, 尤以 80% 控释尿素处理的 0 ~ 20 cm 的硝态氮含量最高, 达到了 15.40 mg/kg。与普通尿素处理相比, 控释尿素处理均对小麦产量有一定提升趋势, 且显著提高了氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力, 其中以 80% 控释尿素处理提升幅度最大, 分别提升了 86.7%、90.8% 和 30.9%。

关键词: 小麦; 控释尿素; 硝态氮

安徽省作为全国小麦主产区, 全年小麦年播种面积达 200 万 hm² 以上, 而淮北地区作为安徽小麦的主产区, 年播种面积达 150 万 hm² 以上, 占全省小麦播种面积的 70% 以上^[1]。当前淮北地区农民在小麦生产中仍存在为追求产量而过量施用尿素现象。同时农民习惯在雨后采用撒施尿素的方式施肥^[2], 这易造成土壤中残留大量的硝态氮, 过量的硝态氮无法被作物吸收, 则会随着土壤水分的移动而淋溶, 不仅会造成氮肥的损失, 同时也会造成地下水源的污染^[3]。而与普通尿素相比, 控释尿素可以增加小麦产量和氮肥利用率。梁靖越等^[4]研究表明, 与 100% 普通尿素相比, 配施 40% 的控释尿素处理, 小麦增产达 14.23%, 同时氮肥偏生产力、农学利用率、表观利用率分别提高了 14.21%、27.26%、29.85%。李敏等^[5]研究表明, 在安徽太

和县, 与普通尿素相比, 控释尿素处理小麦增产达到 7.2%。但对控释尿素在淮北地区全作基肥后, 小麦生长发育不同时期, 不同土层中硝态氮的累积和迁移缺乏系统性的研究。本试验通过在淮北地区小麦生长上施用控释尿素试验, 研究控释尿素对土壤中硝态氮含量、氮素利用和小麦产量的影响, 评价控释尿素的供肥能力, 旨在为淮北地区小麦的应用生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤为砂姜黑土。试验前采集耕层土壤, 分析其基本农化性质: 有机质 20.53 g/kg, 全氮 0.96 g/kg, 碱解氮 71.13 mg/kg, 有效磷 14.07 mg/kg, 速效钾 240.44 mg/kg, pH 值 8.23。

试验用普通尿素为含氮 46% 的颗粒尿素; 控释尿素为含氮 42% 的树脂包膜控释尿素 (控释期为 90 d)。

1.2 试验设计

试验共设 4 个处理: (1) N0: 不施氮肥; (2) N240: 普通尿素 (N 240 kg/hm²), 全部基施; (3) CN240: 100% 控释尿素 (N 240 kg/hm²), 全部基施; (4) CN192: 80% 控释尿素 (N 192 kg/hm²), 全部基施。所有处理磷肥、钾肥用量及施用方法相

收稿日期: 2019-06-01; 录用日期: 2019-09-28

基金项目: 安徽省科技重大专项 (17030701055); 公益性行业科研专项 (201503122); 安徽省农业科学院团队项目 (2019Y1044); 安徽省重点研究与开发计划项目 (1704e1002237); 国家重点研发计划项目 (2018YFD0300901)。

作者简介: 程文龙 (1991-), 男, 安徽黄山人, 硕士, 研究实习员, 主要从事植物营养与作物施肥技术研究。E-mail: wlchengche@163.com。

通讯作者: 武际, E-mail: wuji338@163.com。

同, 其中, 磷肥用量为 P_2O_5 90 kg/hm², 钾肥用量为 K_2O 120 kg/hm²。磷、钾肥全部基施。4 次重复, 小区面积 4 m × 5 m = 20 m², 随机区组设计。小麦供试品种为烟农 19, 人工开沟条播, 行距 20 cm, 播深 4 ~ 5 cm, 播种量为 187.5 kg/hm², 于 2015 年 10 月 15 日播种, 2016 年 6 月 3 日收获。除施肥外其它管理措施完全相同。待小麦成熟时每小区实收计产, 同时取样进行室内考种。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤硝态氮含量测定

在小麦的冬前期 (12 月 12 日)、拔节期 (3 月 20 日)、抽穗期 (5 月 12 日) 和成熟期 (6 月 14 日), 按 5 点法, 用土钻分 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80 和 80 ~ 100 cm 5 个土层采集土壤样品, 3 次重复。样品取后立即冰冻保存。土壤硝态氮含量用酚二磺酸比色法测定。同时称取 20.0 ~ 30.0 g 土壤样品放入铝盒中, 105 °C 下烘干测定土壤含水量^[6]。

1.3.2 小麦植株养分测定

在小麦成熟期 (6 月 3 日), 分别采集小麦植株样品, 每小区随机取生长状况一致的植株 40 个, 3 次重复。植株样品按籽粒和茎秆分开处理。用 $H_2SO_4-H_2O_2$ 联合消煮, 凯氏定氮法测定小麦籽粒和茎秆含氮量^[7]。

1.4 数据计算方法

氮肥利用率 (%) = (施氮条件下作物吸氮量 - 不施氮条件下作物吸氮量) / 施氮量 × 100;

氮肥农学效率 (kg/kg) = (施氮区小麦产量 - 无氮区小麦产量) / 施氮量;

氮肥偏生产力 (kg/kg) = 单位面积作物产量 / 单位面积施氮量。

1.5 数据分析方法

本文数据均采用 SAS 9.0 软件和 Excel 2010 软件进行统计分析, 采用 LSD 法对试验数据进行方差分析和显著性检验, 用 OriginPro 9 对数据进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥处理对小麦不同生育时期土壤硝态氮含量的影响

图 1 显示, 在小麦的生育期内, N0 处理的不

同深度土层中硝态氮含量较低 (1.11 ~ 6.05 mg/kg), 变化不大。与 N0 处理相比, 施氮肥处理均不同程度增加各深度土层中硝态氮含量。

在小麦冬前期, N240 处理不同深度土层中硝态氮含量显著高于控释尿素处理。尤其 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 土层 N240 处理的硝态氮含量远高于控释尿素处理, 分别为 CN240 处理的 3.1、2.7 倍, CN192 处理的 2.4、2.1 倍。此时普通尿素释放氮素的速度快, 耕层硝态氮含量得到显著提高, 但氮素下移明显。

拔节期时, 小麦生长旺盛, N240 处理 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 土层硝态氮含量显著低于冬前期, 同时 0 ~ 20 cm 土层中硝态氮含量开始显著低于控释尿素处理, 而 40 ~ 100 cm 土层硝态氮含量则显著高于控释尿素处理, 其中 60 ~ 80 和 80 ~ 100 cm 土层硝态氮含量由冬前期的 11.95、18.29 mg/kg 增加到 28.21 和 26.74 mg/kg, 且分别为 CN240 处理的 3.0、6.7 倍, CN192 处理的 2.5、6.0 倍, 氮肥淋失严重。

抽穗期时, 0 ~ 20、20 ~ 40 cm 土层控释尿素处理硝态氮含量显著高于普通尿素处理, CN240 处理和 CN192 处理分别为 N240 处理的 2.3、1.9 倍和 1.7、3.5 倍。而 40 ~ 60 cm 土层, 普通尿素处理硝态氮含量仍显著高于控释尿素处理, 表明普通尿素处理硝态氮进一步淋失。

成熟期时, 0 ~ 60 cm 土层控释尿素处理硝态氮含量均远高于普通尿素处理, 其中 0 ~ 20 cm 土层 CN240 处理和 CN192 处理硝态氮含量在小麦整个生育期中增加达到最大, 分别为 18.47 和 19.58 mg/kg, 分别为 N240 处理的 3.2 和 3.3 倍。而 80 ~ 100 cm, 普通尿素处理硝态氮含量则显著高于控释尿素处理。

两控释尿素处理相比, 在 0 ~ 20 cm 土层, CN192 处理只在抽穗期略低于 CN240 处理, 在冬前期、拔节期和成熟期均高于 CN240 处理。而在小麦生育期内, CN192 处理 40 ~ 100 cm 土层硝态氮含量为 1.56 ~ 8.64 mg/kg, 远小于 CN240 处理 40 ~ 100 cm 土层硝态氮含量 1.61 ~ 19.48 mg/kg。总体来说, 与普通尿素处理相比, 控释尿素处理显著减少了土壤氮素的淋失, 提高了氮肥的利用率, 其中以 CN192 处理效果最为显著。

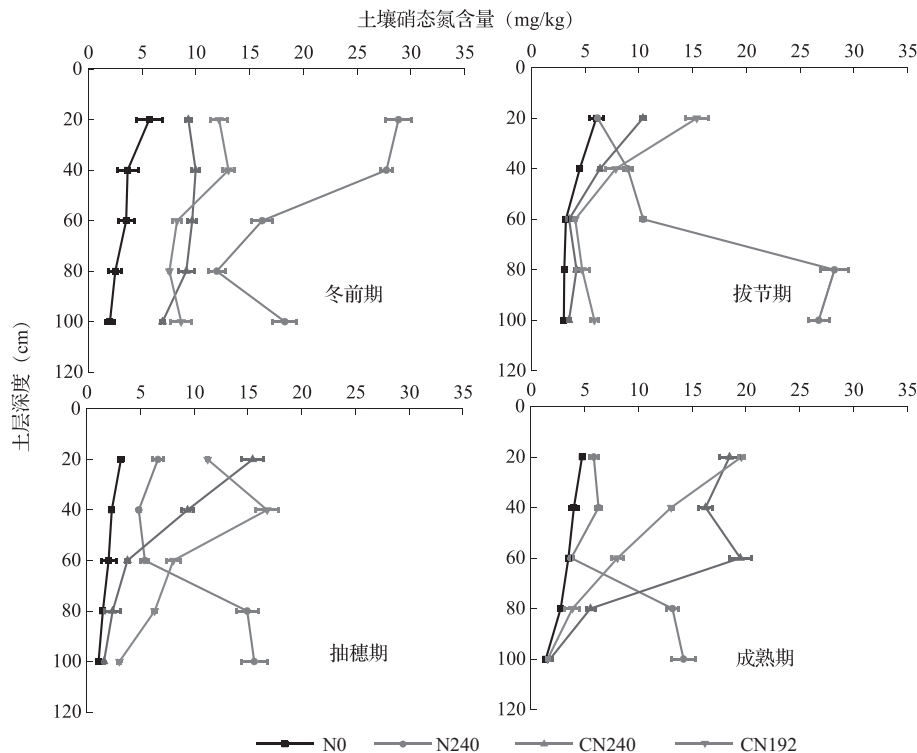


图 1 不同处理对小麦 0 ~ 100 cm 土壤硝态氮含量的影响

2.2 不同氮肥处理对小麦产量的影响

由图 2 可以看出,施氮肥处理显著增加了小麦

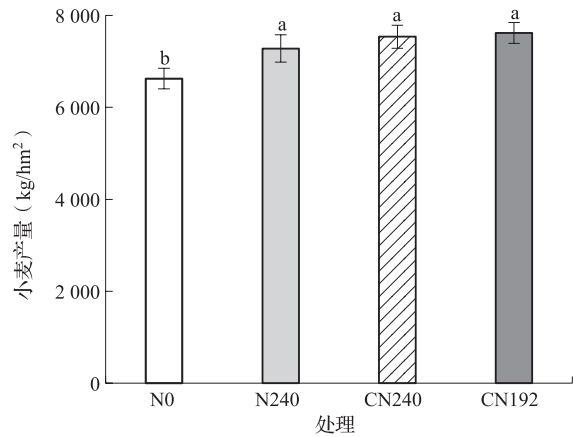


图 2 不同处理对小麦产量的影响

注:柱上字母不同表示处理间差异达 5% 显著水平。

产量,以 CN192 增产幅度最大,达到 15.0%,不同施肥处理间,控释尿素处理的小麦产量均高于普通尿素处理,但差异并不显著,说明在施用控释尿素且减施 20% 氮肥的情况下,并不会使小麦减产。

2.3 不同氮肥处理对地上部吸氮量以及肥料利用率的影响

施氮肥处理显著增加了小麦籽粒和秸秆的氮吸收量(表 1),且与 N240 处理相比,CN240 处理显著提高了氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率,提升幅度分别为 86.0% 和 39.7%;CN192 处理显著提高了氮肥吸收利用率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力,提升幅度分别为 86.7%、90.8% 和 30.9%。说明在施用控释尿素且减施 20% 氮肥的情况下,更能提高氮肥的利用率。

表 1 不同施肥处理对小麦籽粒、秸秆的氮素吸收以及肥料利用率的影响

处理	氮吸收量 (kg/hm ²)		氮肥吸收利用率 (%)	氮肥农学利用率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)
	籽粒	秸秆			
N0	90.10 ± 1.6 d	36.20 ± 0.7 c	—	—	—
N240	109.18 ± 3.2 c	53.20 ± 0.4 a	15.03 ± 2.6 b	2.72 ± 0.7 c	30.33 ± 4.3 b
CN240	146.21 ± 2.7 a	47.19 ± 0.2 b	27.96 ± 2.9 a	3.80 ± 1.2 b	31.40 ± 1.8 b
CN192	128.70 ± 1.9 b	51.46 ± 1.4 a	28.06 ± 4.1 a	5.19 ± 2.0 a	39.69 ± 3.2 a

注:同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平。

3 小结与讨论

土壤剖面硝态氮的累积会随着施氮量的增加而增加^[8]。王小明等^[7]研究表明,与对照不施肥处理相比,无论是复合肥还是控释肥均能增加土壤硝态氮的累积,尤其对耕层(0~30 cm)影响最大。衣文平等^[9]研究表明普通尿素与控释尿素不同比例一次性基施,小麦收获后土壤硝态氮含量变化主要在0~80 cm土层,与不施肥处理相比,施肥处理各土层硝态氮含量显著增加,而与普通尿素处理相比,控释尿素处理各土层硝态氮含量显著降低。本文研究结果表明,小麦整个生育期内,控释尿素处理CN192、CN240土层硝态氮含量变化主要在0~80 cm土层,且随着小麦的生长,耕层硝态氮含量逐渐增加,这与前人研究结果相似。

同时,诸多研究结果表明硝态氮在土壤剖面的分布与施肥量、施肥时期、降雨量及土壤温度等因素密切相关^[9-11]。冬小麦生育期较长,不同时期土层的温度、水分不同,且小麦对养分的需求量也不一样。但前人的研究主要集中在小麦收获期土层中硝态氮含量变化^[5, 11],本文系统研究了小麦生长不同生育期土层中硝态氮的淋失现象,结果表明小麦生长不同时期,土层中硝态氮含量存在不同程度的淋失现象,尤以小麦拔节期土层氮素淋失最为严重。普通尿素处理在冬前期0~20 cm硝态氮含量达到了28.26 mg/kg,而从拔节期开始至成熟期,其0~20 cm硝态氮含量仅为5.85~6.63 mg/kg,而60 cm以下土层硝态氮含量远高于0~20 cm硝态氮含量,表明除了小麦生长吸收外,更多的硝态氮存在淋失现象,尤以小麦拔节期硝态氮淋失量最高,普通尿素处理的氮素在60~80和80~100 cm土层硝态氮含量达到了28.21和26.74 mg/kg。而拔节期作为小麦生长关键期,小麦生长旺盛,需求养分含量多,减少耕层氮素的淋失至关重要,控释尿素处理的耕层硝态氮含量在拔节期均明显高于普通尿素处理,尤以80%控释尿素处理耕层硝态氮含量最高,0~20 cm硝态氮含量达到15.40 mg/kg,而40~100 cm土层控释尿素处理硝态氮含量为3.51~5.87 mg/kg,变化幅度小,与不施肥处理相比无明显差异,表明控释尿素处理在拔节期可以有效减少氮素淋失,保证小麦生长的养分需求。这主要因为控释尿素可控制养分释放时间及速率,在保证耕层养分供应满足作物需求的同时减少了硝态氮

向深层土壤的迁移^[10],同时这也与尿素的施氮量、基追比例^[11-12]以及土层的温度和水分等情况^[9]有关。

小麦生育前期对氮素的需求较少,而随着小麦生长,需求氮素量不断增加。控释尿素则可控释氮素释放,使氮素的释放后移,满足小麦的生长需求^[13]。石宁等^[10]研究表明,与普通尿素处理相比,减施20%氮肥的控释肥处理并没有降低小麦的产量。王文岩等^[14]研究表明在减施25%氮肥的条件下,控释尿素能保证小麦产量不减,并提高氮肥的利用率。本文研究结果相似,与普通尿素处理相比,施用100%控释尿素和80%控释尿素处理,均显著提高了氮素利用率且对小麦产量有一定提升趋势。其中80%控释尿素处理提升氮素利用率最为显著。因为氮肥利用率随施氮量增加而降低,损失率也相应增加^[15-16]。本文的研究也证实了这一点,在小麦生育期内,与100%控释尿素处理相比,80%控释尿素处理的40~100 cm土层硝态氮含量显著降低,表明在减施20%氮肥基础上,控释尿素处理更能减少土壤氮素的淋失,提高氮肥的利用率,保证小麦产量不减。

参考文献:

- [1] 孔令聪,汪建来,姜涛,等.安徽省小麦生产变化和特点及稳定发展的政策措施[J].农业现代化研究,2013,34(5): 518-521, 532.
- [2] 张慎举,侯雪梅,侯乐新.豫东平原砂土地种植强筋小麦氮肥施用技术研究[J].中国土壤与肥料,2013,(3): 64-69.
- [3] 何杰,张敬昇,王昌全,等.包膜控释氮肥配施尿素对冬小麦产量与氮素积累及利用的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,(3): 1-8.
- [4] 梁靖越,张敬昇,王昌全,等.控释尿素对小麦籽粒产量和氮素利用率的影响[J].核农学报,2018,32(1): 157-164.
- [5] 李敏,武际,韩上,等.控释氮肥拔节期施用对冬小麦产量及干物质、氮素积累与分配的影响[J].麦类作物学报,2017,37(7): 955-962.
- [6] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.
- [7] 王小明,谢迎新,张亚楠,等.新型肥料施用对玉米季土壤硝态氮累积的影响[J].水土保持学报,2009,13(5): 232-236.
- [8] 李燕婷,李秀英,赵秉强,等.缓释复混肥料对玉米产量和土壤硝态氮淋失累积效应的影响[J].中国土壤与肥料,2008,(5): 45-48.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 马兴华, 于振文, 梁晓芳, 等. 施氮量和底追比例对小麦氮素吸收利用及子粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(2): 150-155.
- [12] 张振, 于振文, 张永丽, 等. 氮肥基追比例对测墒补灌小麦植株氮素利用及土壤氮素表现盈亏的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(5): 240-245.
- [13] Shoji S, Delgado J, Mosiera A, et al. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2007, 32(7/8): 1051-1070.
- [14] 王文岩, 董文旭, 陈素英, 等. 连续施用控释肥对小麦/玉米农田氮素平衡与利用率的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 135-141.
- [15] 寇长林, 巨晓棠, 张福锁. 三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.
- [16] 陆晓松, 于东升, 徐志超, 等. 土壤肥力质量与施氮量对小麦氮肥利用效率的综合定量关系研究[J]. 土壤学报, 2019, 56(2): 487-494.

Effects of controlled release urea on soil nitrate nitrogen content, nitrogen utilization and wheat yield

CHENG Wen-long¹, WU Ji^{1*}, HAN Shang¹, CHEN Feng², XIA Wei-guang³, LI Min¹, WANG Hui¹ (1. Soil and Fertilizer Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Anhui Provincial Key Laboratory of Nutrient Recycling, Resources and Environment, Hefei Anhui 230031; 2. Wupu Farm of Suixi County, Huaibei Anhui 235118; 3. Agricultural Bureau of Langxi County, Anhui Province, Langxi Anhui 242199)

Abstract: Field experiments were conducted to study the effects of controlled-release urea on the growth and development of winter wheat and soil nitrate nitrogen content under the conditions of total nitrogen application (240 kg/hm^2) and the reduction 20% of nitrogen (192 kg/hm^2). The results showed that nitrate nitrogen leaching occurred at different stages of wheat growth, especially at jointing stage. Nitrate nitrogen leaching was the most serious in 60 ~ 80 and 80 ~ 100 cm soil layers treated with common urea at jointing stage, which reached 28.21 and 26.74 mg/kg, while nitrate nitrogen content in 40 ~ 100 cm soil layers treated with controlled-release urea was only 3.51 ~ 5.87 mg/kg, with little change and controlled-release. Nitrate nitrogen content in tillage layer of urea treatment was significantly higher than that of common urea treatment, especially in 0 ~ 20 cm of 80% controlled-release urea treatment, which reached 15.40 mg/kg. In addition, compared with ordinary urea treatment, controlled-release urea treatment had a certain increase trend in wheat yield, and significantly increased nitrogen absorption and utilization efficiency, nitrogen agronomic utilization efficiency, partial productivity of nitrogen fertilizer; among them, 80% controlled-release urea treatment had the greatest increase, which increased 86.7%, 90.8% and 30.9% respectively.

Key words: wheat; controlled release urea; nitrate nitrogen