

尿素在潮土中淋溶和转化特征研究

李本银 刘月娟 汪金舫

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘要 采用不同灌溉水量和施 N 量, 研究了尿素在潮土中的淋溶和转化特征。结果表明, 在小麦返青期结合灌溉施尿素后, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在 40 cm 以上土层中积累, 不会产生深层淋溶。而土层中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量有较大变化, 相同灌溉水量下, 施 N 量越大, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 向下层淋溶越深; 相同施 N 量下, 灌溉水量越大, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 也有淋溶越深的趋势。在麦季, 即使在超过当地的施 N 量 ($\text{N } 180 \text{ kg/hm}^2$) 和灌溉水量 ($750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 条件下, 收获时所有处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 主要积累在 130 cm 以上的土层中, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋溶深度不超过 130 cm, 不会产生对地下水的污染。

关键词 尿素; 潮土; 淋溶; 转化

中图分类号 S143

氮素是现代农业生产中作物丰产与否的重要限制因子, 其单季利用率较低, 通常为 30%~40%^[1]。但过量地施用 N 肥, 常导致环境污染问题产生, 如地下水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量超标, 湖泊水体富营养化以及温室效应等^[2-6]。有研究表明, 灌水量与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的浓度是决定土壤中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋失的先决条件之一^[7]。本文针对封丘地区在小麦生长的返青期, 采用施用尿素后立即灌水的种植方式, 通过田间小区试验, 探讨了尿素在潮土中的淋溶和转化问题, 为合理进行灌溉和施肥提供理论依据与参考。

1 材料与方法

试验在河南封丘中国科学院生态试验站进行。该地区年均降水量为 580 mm, 60% 集中 7~9 三个月。本次试验 3~5 月降雨量为 116.8 mm。供试土壤为潮土, 基本性状为: pH 8.45, CaCO_3 40 g/kg, 有机质 10.4 g/kg, 全 N 0.2 g/kg, 速效 N 14.39 mg/kg, 全 P 664.5 mg/kg, 速效 P 13.7 mg/kg, 速效 K 74.1 mg/kg, 黏粒含量 142 g/kg。

为探讨同时灌溉和施肥条件下, 土层中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量变化特征, 本试验把 N 肥先溶解在水中, 配成所需的浓度后, 按下面设计进行灌溉施肥。

试验共设 10 个处理, 即以 N 160、240、320 mg/kg (以尿素为 N 源) 3 个为施 N 浓度, 每一施 N 浓度按 450、750、1050 m^3/hm^2 灌溉, 以不灌溉不

施 N 肥处理为对照 (CK), 各处理相当的每公顷施 N 量如表 1。其中当地的施 N 量和灌溉水量分别是 $\text{N } 180 \text{ kg/hm}^2$ 和 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 。每一处理设 3 个重复, 共有 30 个小区, 小区按随机区组排列。

表 1 各处理施 N 量 (kg/hm^2)

Table 1 N application rates in different treatments of the experiment

水量 (m^3/hm^2)	施 N 浓度 (mg/kg)			
	0	160	240	320
0	0	-	-	-
450	-	72	108	144
750	-	120	180	240
1050	-	168	252	336

小区面积为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 小区四周埋 60 cm 高的 PVC 板 (地下部分高 50 cm), 隔板内侧用 60 cm 高塑料薄膜围在四周, 用土夯实以防止水肥外流。

供试小麦品种为郑麦 9023, 基肥按 N 210 kg/hm^2 和 P_2O_5 120 kg/hm^2 施用尿素和磷酸二铵, 在播种前施入。在小麦返青期 (2003 年 3 月 7 日), 按试验设计一次性进行灌溉和施肥。分别在小麦返青期灌溉施肥后的第 5、10、30、95 天, 按在 100 cm 以上每 20 cm 为一层, 100~200 cm 分 100~130、130~160、160~200 cm 3 层采集土样。收获时为进一步了解 N 素淋溶情况, 土样采集深度 0~300 cm, 200 cm 以上土层取样方法同上, 200 cm 以下土层分 200~230、230~260、260~300 cm 3 层取样。每一

小区随机取 3 土钻, 相同层次的土壤混匀为 1 个样, 装于塑料袋中, 并立即分析鲜土样, 如不能及时分析则把浸提液放在 4 °C 的冰霜中保存。

分析方法: NO_3^- -N 用 1 mol/L 的 NaCl 溶液 (土水比为 1:5) 浸提, 用紫外分光光度计法分析^[8~9]。 NH_4^+ -N 用 2 mol/L 的 KCl 溶液 (土水比为 1:5) 浸提, 用靛酚蓝比色法分析^[10], 用烘干法测定土壤水分含量^[10]。

试验结果是同一处理 3 次重复的平均值 (以烘干土重计), 统计分析按文献[11]进行。

2 结果与分析

2.1 相同灌溉水量, 不同施 N 浓度时 NH_4^+ -N 含量变化

试验结果表明 (图 1), 在 $1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌溉水量、施肥灌溉后第 5 天, 随施 N 量的增加, 即施 N 浓度增加, 0~40 cm 土层中 NH_4^+ -N 含量为 N 2.91~24.73 mg/kg, 与 CK (N 1.56~1.59 mg/kg) 比较有明显的增加, 统计分析结果表明差异都达到极显著水平。40 cm 以下土层中 NH_4^+ -N 含量 < N 2.57 mg/kg, 各处理之间以及各处理与 CK 之间比较都没有显著差异, 说明了在潮土中施用尿素后, 由于尿素迅速水解为 NH_4^+ -N, 潮土表层对 NH_4^+ -N 有较强的吸附能力, 因此 NH_4^+ -N 在 40 cm 以上的土层中产生积累, 不容易产生深层淋溶。 $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $450 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ 灌溉水量条件下, 不同施 N 量时, 也观测到相类似的结果。

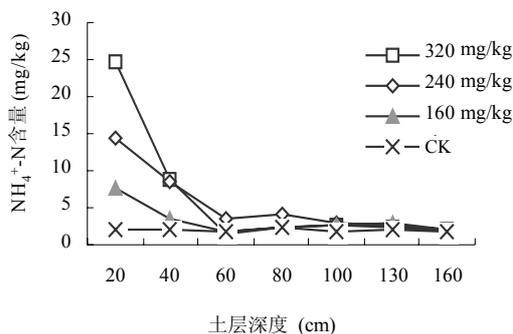


图 1 相同灌溉水量 ($1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 不同施 N 浓度 NH_4^+ -N 变化情况
Fig. 1 Effect of N application rate on content of NH_4^+ -N with the same irrigation rate

2.2 不同灌溉水量, 相同施 N 浓度时 NH_4^+ -N 含量变化

在不同灌溉量, 相同施 N 浓度 (N 320 mg/kg) 条件下, 与 CK 相比, 0~40 cm 土层中 NH_4^+ -N 含

量随灌溉水量的增加而增加, 差异达到显著水平。40 cm 以下土层中, NH_4^+ -N 含量为 1.47~3.47 mg/kg, 各处理土层中 NH_4^+ -N 含量与 CK 比较没有显著差异 (图 2)。说明潮土表层对 NH_4^+ -N 的吸附能力很强, 40 cm 以下土层中 NH_4^+ -N 含量不受灌溉水量影响, 这说明 NH_4^+ -N 在剖面的分布不是随水移动的结果, 而是与土壤母质中 NH_4^+ -N 的含量有关^[12]。施 N 240 mg/kg 和 N 160 mg/kg, 在不同的灌溉水量下, 也有类似的规律。

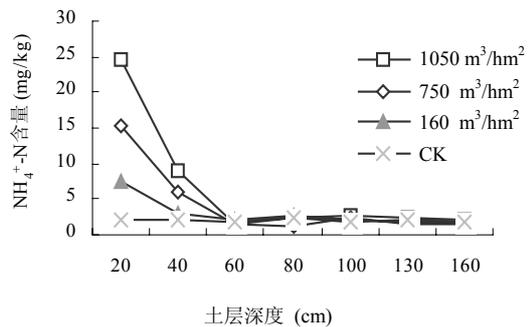


图 2 不同灌溉水量相同施 N 浓度 (N 320 mg/kg) NH_4^+ -N 变化情况
Fig. 2 Effect of irrigation rate on content of NH_4^+ -N with the same N concentration

2.3 不同时期土层中 NH_4^+ -N 含量变化

从小麦返青期施肥灌溉后第 5 天至收获时, 分 4 次采样对各处理土层中 NH_4^+ -N 含量进行分析 (图 3), 结果表明, 在最大的灌溉水量 ($1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 和施 N 量条件下, 随施肥和灌溉后时间的延续, 在 0~20 cm 土层中, NH_4^+ -N 含量迅速降低, 施肥后第 10 天, 土壤 NH_4^+ -N 含量从第 5 天时的 N 24.73 mg/kg 锐降到 N 8.56 mg/kg, 到第 90 天小麦收获时, 0~20 cm 表层土壤中 NH_4^+ -N 含量仅为 N 2.29 mg/kg, 与 CK 比较没有差异。40 cm 以下土层,

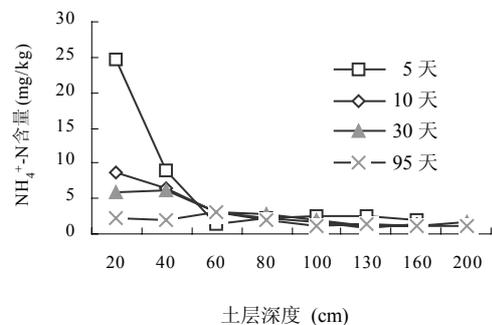


图 3 同一处理不同时间 NH_4^+ -N 变化情况
Fig. 3 Variation of NH_4^+ -N content with time in the same treatment

$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量较低, 在 $0.5 \sim 3.0 \text{ mg/kg}$ 之间, 不同时期取样时, 各土层中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量没有显著差异, 其他处理也观测到同样的规律。这与李生秀、巨晓棠等的研究报道结果一致^[12, 13], 表明施用尿素能迅速水解成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 潮土表层对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 有很强的吸附能力, 随着 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 在潮土中氧化为 $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 以及整个生育期小麦对表层中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的吸收利用等综合作用, 在小麦收获时, 各处理的表层土壤中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量也降到最低。

2.4 相同灌溉水量, 不同施 N 浓度下 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化情况

相同灌溉水量, 不同施 N 浓度处理 5 天时, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量变化见图 4。较高灌溉水量 ($1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 时, 3 个施 N 处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在 100 cm 以上的土层, 都随着施 N 量的增加而增加, 各土层中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与 CK 比较都显著增加, 差异达到显著水平。而在 130 cm 以下的土层, 各处理与 CK 比较无显著差异, 说明了在灌溉施肥处理初期, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 没有淋溶到更深的土层。

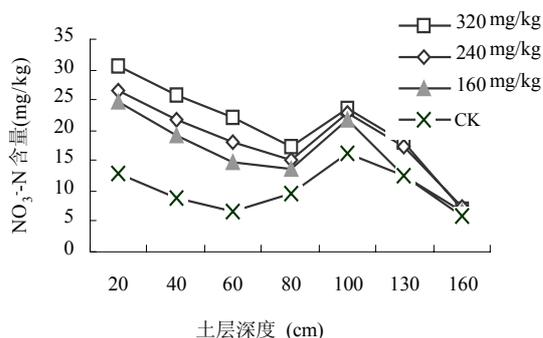


图4 相同灌溉水量 ($1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 不同 N 浓度 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 变化情况

Fig. 4 Effect of N application rate on $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content with the same irrigation rate

2.5 不同灌溉水量, 相同施 N 浓度下 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的变化情况

不同灌溉水量, 施 N 浓度相同时, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋溶的深度与灌溉水量呈正相关, 随灌溉水量的增加而有向更深土层淋溶的趋势。 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在淋溶剖面的含量也随灌溉水量的增大而增高。在超过当地习惯施肥量和灌溉水量条件下 ($\text{N } 320 \text{ mg/kg}$, $1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$), 处理 5 天后, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在 $0 \sim 130 \text{ cm}$ 与 CK 比有明显的差异, 而在 130 cm 以下土层中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量与 CK 比较没有显著差异, 这表明在本试验条件下, 所有的试验处理 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 不会淋溶到 130 cm 以下的土层。

2.6 同一处理不同时期 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 动态变化

从图 5 可看出, 在较高的施肥量和灌溉水量 ($\text{N } 320 \text{ mg/kg}$, $1050 \text{ m}^3/\text{hm}^2$) 下, $0 \sim 20 \text{ cm}$ 耕层中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量在施肥后 5 ~ 10 天无显著性变化, 30 天达到最高值, 收割时已锐减, 与 CK 比较无显著差异。这是由于小麦生长过程中, 根系对 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 大量吸收的结果。在 100 cm 以下的土层, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在灌溉施肥后的 30 天内没有大的差异, 但在收割时都有不同程度的减少, 这表明在灌溉施肥处理后的 1 个月内 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 没有继续向下淋溶。收割时, $20 \sim 80 \text{ cm}$ 土层 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 与前 3 次相比有大幅提高, 并达到显著差异水平, 其 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的增加, 可能与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在干旱季节随毛细管水向上运动有关^[13]。

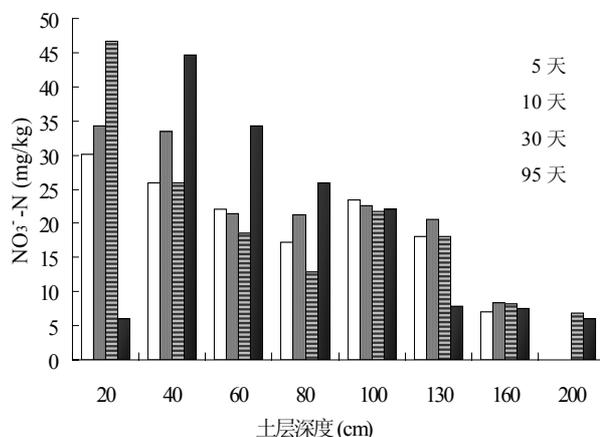


图5 同一处理不同时间 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 变化情况

Fig. 5 Variation of $\text{NO}_3^-\text{-N}$ content with time in the same treatment

本试验除小麦返青期试验处理中有灌溉外, 在小麦其他生长期不再灌溉, 并且也没有大的降雨 (3 个月内共降水 116.8 mm), 也没有连续降雨多天或一次降雨超过 20 mm , 而同期的蒸发量为 254.84 mm , 蒸发量远大于降水量。所以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在小麦返青至收获期间内如果发生淋溶, 基本上是灌溉初期引起的。因此可以认为, 在当地习惯施肥量和灌溉水量条件下, 冬小麦施用尿素后, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 不会淋溶到 130 cm 以下的土层; 同时收获时, 在 $130 \sim 300 \text{ cm}$ 内各处理的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 浓度与 CK 相比并没有达到差异显著的水平 (数据未列出), 也表明在当地习惯施肥灌溉条件下, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 不可能发生深层淋溶; 而在麦季, 地下水位基本稳定在 $4 \sim 5 \text{ m}$ 以下, 所以不会因施肥和灌溉产生地下水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的污染。这个结果与刘学军等^[14]在华北平原草甸褐土基施尿素, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在冬小麦季淋溶出 100 cm 土体的可能性很小的结论相一致。

3 小结

(1) 在潮土中, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量不受灌溉水量与施 N 浓度的影响, 基本上被黏土矿物吸附积累在 40 cm 以上的土层, 研究 N 素淋溶可以不考虑 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。

(2) 同一灌溉水量, 不同施 N 量下, 施 N 量越大, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋溶越深。在超过当地常规灌溉水量时, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋溶至 130 cm 深的土层。

(3) 不同灌溉水量, 相同施 N 量时, 灌溉水量越大, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 淋溶越深。在超过当地习惯施肥量和灌溉水量条件下, 冬小麦施用尿素后, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 不会淋溶到 130 cm 以下的土层, 不会产生地下水中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的污染。

参考文献

- 1 朱兆良, 文启孝主编. 中国土壤氮素. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992
- 2 张维理, 田哲旭, 张宁, 李晓齐. 我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查. 植物营养与肥料学报, 1995, 1 (2): 80 ~ 87
- 3 Liu DH, Labetowicz J, Kuszelewski L. Influence of long-term fertilization with different mineral fertilizers and farmyard manure on some soil chemical properties and crop yields. *Pedosphere*, 1998, 8 (3): 281 ~ 288
- 4 吕世华, 曾祥忠, 张福锁, 王甲辰, 刘学军. 成都市农村地下水硝酸盐污染的调查研究. 土壤学报, 2002, 39 (增): 286 ~ 293
- 5 Cai GX, Fan XH, Yang Z, Zhu ZL. Gaseous loss of nitrogen from fertilizers applied to wheat on a calcareous soil in North China Plain. *Pedosphere*, 1998, 8 (1): 45 ~ 52
- 6 Zhang SX, Li XY, Li XP, Yuan FM, Yao ZH, Sun YL, Zhang FD. Crop yield, N uptake and nitrates in a fluvo-aquic soil profile. *Pedosphere*, 2004, 14 (1): 131 ~ 136
- 7 李世清, 李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失. 应用生态学报, 2000, 11 (2): 240 ~ 242
- 8 易小琳, 李酉开, 韩琅丰. 紫外分光光度法测定土壤硝态氮. 土壤通报, 1983, 6, 35 ~ 40
- 9 李酉开. 紫外分光光度测定硝酸盐. 土壤学进展, 1983, 6, 44 ~ 54
- 10 鲁如坤主编. 现代土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业出版社, 1998
- 11 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台. 北京: 中国农业出版社, 1997, 48 ~ 50
- 12 李生秀, 张志华, 高亚军, 李世清, 王喜庆. 矿质氮在土壤剖面中的分布. 干旱地区农业研究, 1993, 11 (增): 141 ~ 145
- 13 巨晓棠, 刘学军, 张福锁. 冬小麦/夏玉米轮作中 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 在土壤剖面的累积及移动. 土壤学报. 2003, 40(4): 538 ~ 546
- 14 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 基施尿素对土壤剖面中无机氮动态的影响. 中国农业大学学报, 2001, 6 (5): 63 ~ 68

LEACHING AND TRANSFORMATION OF UREA IN FLUVO-AQUIC SOILS

LI Ben-yin LIU Yue-juan WANG Jin-fang

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008*)

Abstract A field plot experiment was conducted and showed that water irrigation rate and nitrogen application rate were main factors affecting leaching and transformation of urea in fluvo-aquic soil. It was easily transformed into $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ when urea was applied into the soil at turning-green stage of winter wheat treated with irrigation. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ accumulated only in 0 ~ 40 cm layer and did not go down with leaching into deeper layers. However, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ concentration varied sharply in the soil profile. When the irrigation rates were the same, the more N was applied, the deeper $\text{NO}_3^-\text{-N}$ went down in the profile, and when the N application rates were the same, the higher the irrigation rate was, the deeper $\text{NO}_3^-\text{-N}$ was leached down in the profile. Even though the irrigation and nitrogen application exceeded the usual rate ($750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ and $\text{N } 180 \text{ kg}/\text{hm}^2$, respectively), $\text{NO}_3^-\text{-N}$ accumulated in the soil layer 0 ~ 130 cm, and never went down beyond 130 cm in all treatments when the crop was ready for harvest. So during the wheat growing season N application will not contaminated the underground water.

Key words Urea, Fluvo-aquic soils, Leaching, Transformation