

河套灌区滴灌施肥对土壤氮挥发及玉米氮肥利用率的影响

李哲¹, 屈忠义^{1*}, 任中生¹, 杨少东¹, 续喆¹, 哈斯格日乐¹, 李茂²

(1. 内蒙古农业大学 水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018;

2. 河套灌区解放闸灌域管理局, 内蒙古 杭锦后旗 015400)

摘要:【目的】降低氮素损失。【方法】采用通气法采集田间5种不同施肥量下各处理(F0、F1、F2、F3和F4处理 N-P₂O₅-K₂O量分别为0、162-72.9-40.5、216-97.2-54、270-121.5-67.5和324-145.8-81 kg/hm²)的土壤氮挥发释放量,分析了氮挥发累积量、净损失率及玉米产量、氮素利用率。【结果】河套灌区滴灌玉米灌水施肥后土壤氮挥发速率均有所升高,并于灌后第2天达到最大值;不同处理玉米全生育期土壤氮挥发累积量为6.14~17.56 kg/hm²,氮净损失率为1.93%~3.52%;当施氮量大于216 kg/hm²时,氮挥发累积量随施氮量显著增加;滴灌土壤氮挥发速率与大气温度、土壤温度显著正相关($P<0.05$),与土壤水分极显著正相关($P<0.01$);经计算分析,膜下滴灌施肥量(N-P₂O₅-K₂O)为250-112.5-62.5 kg/hm²时,玉米获得较高的产量,同时全生育期氮挥发损失较低。【结论】膜下滴灌条件下,适宜的施肥措施可以提高作物产量和氮肥利用率,降低氮素损失。

关键词:滴灌施肥;氮挥发;玉米;氮肥利用率

中图分类号:S143.5

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180136

李哲,屈忠义,任中生,等. 河套灌区滴灌施肥对土壤氮挥发及玉米氮肥利用率的影响[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):37-42,49.

0 引言

我国农田氮肥施用量大,但利用率低^[1],目前我国的氮肥利用率仅为30%左右^[2]。其中,施入土壤中的氮肥,会有1%~47%随着氮挥发进入大气^[3]。近年来,我国相关领域学者对土壤氮挥发的排放特征进行了大量的试验研究,根据地理区域的不同,南方地区多以水田的施肥方式、灌溉量对氮挥发的影响为主^[4],中部平原地区则主要以粮食作物、蔬菜农田的氮挥发损失、机理等方面为主^[5],而对于北方干旱、半干旱地区的农田氮挥发试验相对较少,且主要集中在研究方法^[6-7]、施用有机肥^[8-9]或畦灌^[10-11]下氮挥发的相关研究,缺乏滴灌施肥条件下氮挥发规律的研究。河套灌区是我国三大灌区之一,主要作物有玉米、小麦、葵花等,其中玉米产量占内蒙古自治区玉米总产量的21%^[12],但由于灌区长期采用畦灌的灌溉方法,为了产量目标超量施氮,导致氮肥损失严重。有研究显示,该地区农田28%氮素残留在土壤中,造成土壤板结;21%的NO₃-N淋失到地下水,11%通过NH₃的形式排放到大气当中,造成温室效应和大气污染^[13]。为控制面源污染,在河套灌区的研究多集中于施肥类型^[14]、施肥方式^[15]及保水材料^[16]对氮磷流失的影响。近年来,为加大内蒙古引黄灌区农业节水力度、提高作物水分利用效率、控制面源污染、促进灌区农业发展方式转变,膜下滴灌技术在河套灌区得到大面积推广。本试验在玉米农田膜下滴灌条件下,设置不同施肥量处理,通过连续监测氮挥发的释放量,研究分析不同施肥量对土壤氮挥发、环境因素、氮肥利用效率及玉米产量的影响,以期为本区农业生产中减氮减排、提高氮肥利用率及玉米产量提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2017年5—10月在内蒙古巴彦淖尔市临河区双河镇进步村试验田进行,该地位于河套平原腹

收稿日期:2018-03-06

基金项目:国家自然科学基金项目(51779117);内蒙古自治区水利科技重大专项([2014]117)

作者简介:李哲(1993-),女。硕士研究生,主要从事膜下滴灌水肥一体化研究。E-mail: 18247158823@163.com

通信作者:屈忠义(1969-),男。博士生导师,主要从事区域土壤水土环境及灌溉节水理论与技术的研究。E-mail: quzhongyi@imau.edu.cn

地,东经 107°18',北纬 40°41',海拔 1 041~1 043 m,属中温带半干旱大陆性气候,2017 年玉米全生育期(5 月 6 日—10 月 2 日)降水量为 50.42 mm,年平均气温 6.8 ℃,年平均日照时间均值为 3 229.9 h,无霜期 130 d 左右。试验区土壤基本理化性质如表 1 所示,2017 年玉米全生育期最高气温、最低气温和降雨量见图 1。

表 1 试验区土壤基本理化性质

土质	pH 值	碱解氮量/(mg·kg ⁻¹)	有效磷量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾量/(mg·kg ⁻¹)	体积质量/(g·cm ⁻³)	地下水矿化度/(g·L ⁻¹)
粉砂壤土	8	79.15	15.2	233.5	1.39	1.07

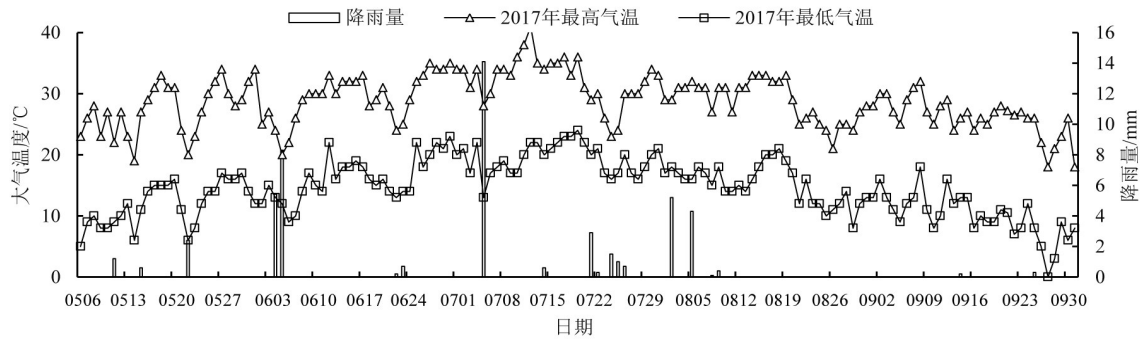


图 1 2017 年玉米生育期气温和降雨量

1.2 试验设计

膜下滴灌不同施肥量处理(N-P₂O₅-K₂O 用量不同)参照当地推荐施肥量 F3(270-121.5-67.5 kg/hm²)为基础,设置 F0、F1、F2、F3、F4(即 0、162-72.9-40.5、216-97.2-54、270-121.5-67.5、324-145.8-81 kg/hm²),共计 5 个处理。每个处理 3 次重复,小区面积 10 m×6 m=60 m²。供试玉米品种为西蒙六号。地膜为白色膜,宽 70 cm,采用 1 膜 2 行种植模式。株距 25 cm,行距为 60 cm,种植密度为 66 000 株/hm²。播种和收获时间分别为 5 月 6 日和 10 月 2 日。

膜下滴灌灌溉制度参考任中生等^[17]的研究成果,灌溉时用张力计测定滴头正下方土壤深度 20 cm 的数据为指导,灌水下限设为-30 kPa,每次灌水量均为 22.5 mm。滴灌系统运行时采用肥料利用率高的 1/4-1/2-1/4 模式,即前 1/4 时间灌清水,中间 1/2 时间施肥,后 1/4 时间再灌清水冲洗管道,灌溉水利用系数为 0.95。玉米全生育期内共灌水 13 次,施肥 13 次。施肥方式参考汪然等^[18]的研究成果,采用每次灌水随水追肥形式,玉米播种前不施基肥。试验预定玉米全生育期每天都灌水施肥,然后根据实际施肥定额及灌水频次,按每次灌水间隔天数计算需肥量后随水施肥。滴灌施肥为尿素(N:46.4%)、NH₄H₂PO₄(N-P-K:12-61-0)和硝酸钾(N-P-K:13.5-0-46)混合的水溶肥,试验区膜下滴灌灌水施肥方案见表 2。

表 2 试验区膜下滴灌灌水施肥方案

灌溉施肥日期	施肥比例/%	灌水定额/mm
0525	17.3	22.5
0614	18.2	22.5
0620	5.5	22.5
0625	4.6	22.5
0701	5.5	22.5
0709	7.3	22.5
0717	7.3	22.5
0723	5.5	22.5
0728	4.6	22.5
0805	7.3	22.5
0812	6.4	22.5
0817	4.6	22.5
0824	6.4	22.5
全生育期	100.0	292.5

1.3 样品采集与测定

1.3.1 氨挥发收集与测定

试验采用磷酸甘油双层海绵通气法收集氨挥发量。该方法具有操作方便、测定结果准确的优点,回收率高达 99.5%^[7]。通气法装置用内径为 16 cm、高 10 cm 聚氯乙烯硬质塑料管制成,底上分别放 2 块厚度均为 2 cm、直径为 16 cm 的海绵,海绵均匀浸以 15 mL 的磷酸甘油溶液(50 mL 磷酸-40 mL 丙三醇)定容至 1 000 mL 后,置于硬质塑料管中,下层的海绵距管底 4 cm,上层的海绵与管顶部相平。将硬质塑料管插入土中 5 cm,下层海绵用来吸收氨挥发,上层海绵用来隔绝空气与灰尘。

土壤氨挥发的释放量的捕获于播种后的当天开始连续观测,在各小区的相同位置(玉米行间滴灌带滴头处),分别放置 3 个氨挥发的捕获装置进行监测。播种后 16 d 内、第一次灌水施肥后 9 d 内和第 2 次灌水施肥后 6 d 内每 1 d 取 1 次样,剩余生育期内 6~7 d 取 1 次样,取样时间为 09:00—11:00。用靛酚蓝比色法测定浸提液中氨态氮质量浓度。由于第 1 次和第 2 次灌水间隔时间较长,施肥量相对较大,故加测单次施肥后氨挥发速率,且又因为第 3 次灌水施肥为 6 月 20 日,因此只对第 2 次灌水施肥(6 月 14 日)后的氨挥发加测 6 d。

1.3.2 指标测定

氨挥发积累量:玉米生育期内土壤每天挥发量的累加值。

氮素吸收量:将收获期玉米地上部分干物质样品粉碎,过0.5 mm筛,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,消煮液用于养分的测定,全氮量用紫外分光光度计测定。

土壤水分及土壤温度:采用TDR和称质量法相结合的方法测定土壤水分。土壤温度采用邯郸市益盟电子有限公司生产的埋式8通路温度记录仪(YM-04)实时监测。土壤水分和温度测定均为膜内10 cm左右深度土层。

1.3.3 计算方法

1)氨挥发速率计算式为:

$$V_{\text{NH}_3-\text{N}} = M/(A \times D) \times 10^{-2}$$

式中: $V_{\text{NH}_3-\text{N}}$ 为氨挥发速率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$); M 为通气法单个装置平均每次测得的氨气量(mg); A 为捕获装置的横截面积(m^2); D 为每次连续捕获的时间(d)。

2)氮肥养分效率的计算式为:

氮净损失率=(施氮区土壤氨挥发累积量-无氮区土壤氨挥发累积量)/施氮量 $\times 100\%$;

氮肥利用率(NRE)=(施肥区地上部分玉米氮素吸收量-无氮区地上部分玉米氮素吸收量)/施氮量 $\times 100\%$;

氮肥偏生产力($NPFP$)=籽粒产量/氮肥投入量 $\times 100\%$;

农学效率(NAE)=(施氮区籽粒产量-无氮区籽粒产量)/施氮量 $\times 100\%$ 。

3)数据统计与分析

采用Excel 2013和SPSS 24.0软件对数据进行数据绘图和方差分析。

2 结果与分析

2.1 滴灌不同施肥处理土壤氨挥发规律

第1次灌水施肥后氨挥发速率见图2(a)。由图2(a)可知,第1次灌水施肥(5月25日)后,田间土壤氨挥发速率迅速升高,F0~F4处理氨挥发速率波动范围为 $0.023 \sim 1.292 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$,于第2天达到最大,到第7天氨挥发速率均降到 $0.035 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ 以下,氨挥发过程基本结束。氨挥发速率随施肥量的增加明显升高,F0~F4处理的平均氨挥发速率为 $0.126, 0.178, 0.198, 0.279, 0.391 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$,其中F1处理与F2处理较为接近。第1次灌水施肥后氨挥发累积量见图2(b),由图2(b)可知,随施肥天数的增加,玉米田间氨挥发累积量也呈增加趋势。施氮量为 $162, 216, 270, 340 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 时,施肥后第1天氨挥发累积量分别为 $0.072, 0.085, 0.168, 0.280 \text{ kg}/\text{hm}^2$,其损失比例(第1天的氨挥发量/9 d氨挥发总量)分别为 $4.5\%, 4.8\%, 6.7\%, 8.2\%$,施肥后2 d内的氨挥发累积量损失比例为 $47.3\%, 47.6\%, 46.2\%, 45.8\%$,与第1天相比增加了 $37.7\% \sim 42.9\%$ 。第5天氨挥发累积量分别为 $1.477, 1.598, 2.332, 3.281 \text{ kg}/\text{hm}^2$,氨挥发损失比例占 $92.3\%, 89.5\%, 92.8\%, 95.6\%$ 。这表明90%左右的氨挥发损失是发生在施肥后5 d内,5 d之后氨挥发累积量仅占10%左右。

第2次灌水施肥后氨挥发速率见图2(c)。由图2(c)可知,第2次(6月14日)灌水施肥后,F0~F4处理氨挥发速率波动范围为 $0.035 \sim 1.128 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$,于2 d达最大值,至第6天均小于 $0.055 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$ 仍有少量挥发。F0~F4处理的平均氨挥发速率为 $0.07, 0.116, 0.166, 0.266, 0.440 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{d})$,其中F1处理与F2处理较为接近。第2次灌水施肥后氨挥发累积量见图2(d),由图2(d)可知,随施肥天数的增加,玉米田间氨挥发累积量也呈增加趋势。施氮量为 $162, 216, 270, 340 \text{ kg}/\text{hm}^2$,施肥后第1天氨挥发累积量分别为 $0.155, 0.196, 0.325, 0.455 \text{ kg}/\text{hm}^2$,其损失比例(第1天的氨挥发量/6 d氨挥发总量)分别为 $22.2\%, 19.7\%, 20.3\%, 17.2\%$,施肥后2 d内的氨挥发累积量损失比例为 $60.11\%, 65.6\%, 67.3\%, 60\%$ 。与第1天相比增加了 $37.9\% \sim 47\%$ 。第4天氨挥发累积量分别为 $0.613, 0.906, 1.478, 2.504 \text{ kg}/\text{hm}^2$,氨挥发损失比例占 $88\%, 90.9\%, 92.5\%, 94.8\%$ 。这说明90%左右的氨挥发损失是发生在施肥后4 d内。4 d之后氨挥发量仅占10%左右。

玉米不同生育期土壤氨挥发累积量及氮净损失率的结果如表3所示。由表3可知,全生育期氨挥发净损失率随施氮量的增加显著增加($P < 0.05$),变化范围为 $1.93\% \sim 3.52\%$ 。全生育期F0~F4处理的氨挥发累积量(Y)与施氮量(X)符合指数关系式: $Y = 5.8201 \times e^{0.0032x}, R^2 = 0.978$ 。

当施氮量大于 216 kg/hm²时,氮挥发量显著增加,表明氮肥施用量超过 216 kg/hm²时,氮损失严重。适量追施氮肥可以有效控制滴灌土壤由氮挥发所造成的损失,表 3 同时表明,各处理氮挥发累积量及氮净损失率均在拔节期最大。对于玉米全生育期,F1~F4 处理的氮挥发累积量是 F0 处理的 1.51~2.86 倍。氮挥发累积量除拔节期外,其他生育期 F4 和 F3 处理均显著大于 F1 和 F2 处理,F1 和 F2 处理间差异不显著($P>0.05$)。

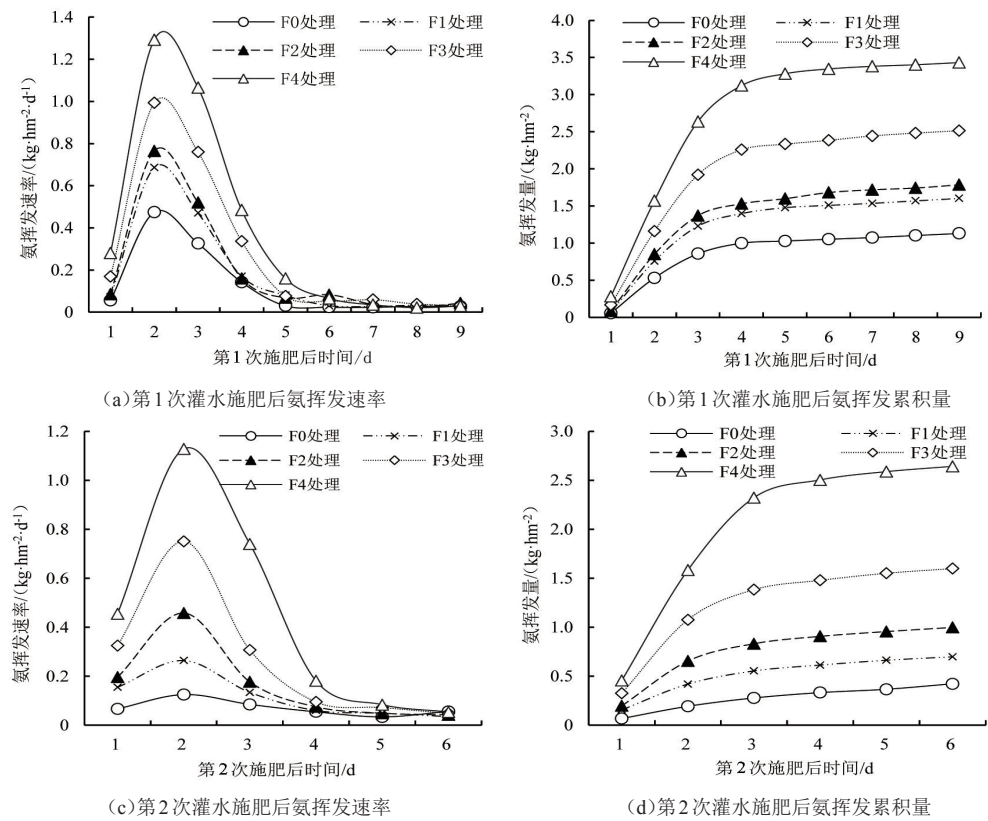


图 2 单次灌水施肥后氮挥发速率与氮挥发累积量

表 3 玉米不同生育期土壤氮挥发量及氮净损失率

处理	施氮量/ (kg·hm ⁻²)	苗期		拔节期		抽雄期		灌浆—成熟期		全生育期	
		氮挥发累积 量/(kg·hm ⁻²)	氮净 损失 率/%	氮挥发累积 量/(kg·hm ⁻²)	氮净 损失 率/%	氮挥发累积 量/(kg·hm ⁻²)	氮净 损失 率/%	氮挥发累积 量/(kg·hm ⁻²)	氮净 损失 率/%	氮挥发累积 量/(kg·hm ⁻²)	氮净 损失 率/%
F0	0	1.44 d	-	1.55 e	-	1.84 c	-	1.28 c	-	6.14 d	-
F1	162	1.95 c	1.82	2.72 d	2.49	2.67 b	1.72	1.92 b	1.61	9.26 c	1.93
F2	216	2.38 c	2.50	3.64 c	3.38	3.00 b	1.80	1.89 b	1.17	10.91c	2.21
F3	270	3.13 b	3.62	5.08 b	4.6	3.61 a	2.18	2.38 a	1.67	14.20 b	2.99
F4	324	4.19 a	4.25	6.64 a	5.54	4.04 a	2.27	2.69 a	1.77	17.56 a	3.52

注 不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 环境因素对土壤氮挥发速率的影响

表 4 为氮挥发速率与环境因子间的相关性分析结果。从表 4 可以看出,土壤水分、土壤温度和大气温度与氮挥发速率间的相关系数均表现为土壤水分>大气温度>土壤温度,其中土壤水分对滴灌施肥处理的影响达到极显著水平($P<0.01$),且随施肥量的增加,相关系数逐渐增大。而不施肥处理大气温度对氮挥发速率的影响大于土壤水分。可见,随施肥量增加,土壤水分成为氮挥发的主要影响因素。

2.3 滴灌不同施肥处理对玉米产量及氮肥利用率的影响

表 5 为不同施肥处理的玉米产量及氮肥利用率。从表 5 可以看出,不同施肥量处理显著影响了玉米的氮素吸收量($P<0.05$)。与 F0 处理相比,F1、F2、F3 和 F4 处理的氮素吸收量分别增加 56.09%、76.71%、96.35% 和 88.42%。当施氮量由 270 kg/hm²(F3)继续增加到 324 kg/hm²(F4)时,玉米氮素吸收量有所下降。NPFP、

表 4 氮挥发速率与环境因子的相关系数

处理	土壤温度	大气温度	土壤水分
F0	0.333*	0.380*	0.365*
F1	0.359*	0.401*	0.412**
F2	0.352*	0.381*	0.417**
F3	0.367*	0.389*	0.435**
F4	0.358*	0.370*	0.440**

注 **表示在 $P<0.01$ 水平(双侧)上显著相关;*表示在 $P<0.05$ 水平(双侧)上显著相关。

NAE皆随施氮量的增加而减小,NRE随施氮量的增加呈先增加后减小趋势,其中施氮量为216 kg/hm²和270 kg/hm²的处理之间差异不显著。施氮量从270 kg/hm²(F3)增加到324 kg/hm²(F4),NRE显著降低19.32%。

表5 不同施肥处理玉米产量及氮肥利用率

处理	籽粒产量/(kg·hm ⁻²)	施氮量/(kg·hm ⁻²)	氮素吸收量/(kg·hm ⁻²)	NPFP%	NAE/%	NRE/%
F0	10 601.41e	0.00	230.18 e	-	-	-
F1	19 235.3bc	162	359.28 d	118.74 a	53.30 a	79.69 bc
F2	20 025.08a	216	406.75 c	92.71 b	43.63 b	81.74 ab
F3	20 488.56a	270	451.95 a	75.88 c	36.62 c	82.14 a
F4	19 422.54b	324	433.71 b	59.95 d	27.23 d	62.82 d

表5同时表明,不同施氮量对玉米产量影响显著($P<0.05$)。随施氮量的增加玉米产量先升高后降低,施氮量216 kg/hm²(F2)和270 kg/hm²(F3)处理玉米产量差异不显著,其中F3处理下籽粒产量最高,达20 488.56 kg/hm²。施氮量(x)与产量(y)间二次曲线方程为: $y = -0.157x^2 + 78.5x + 10\,601, R^2 = 0.998$ 。

当施氮量 $x = -b/2a = 250$ kg/hm²时(对应N-P₂O₅-K₂O施肥处理250-112.5-62.5 kg/hm²),产量最高,达20 413.5 kg/hm²。通过最高产量反推施氮量,并进一步计算出的氨挥发量为12.95 kg/hm²,比F4处理减少26.17%。

3 讨 论

3.1 滴灌施肥与土壤氨挥发

本试验中,氨挥发速率最大出现在苗期第1次灌水施肥后。由于试验田春季储水灌溉后土壤含水率较高,同时土壤温度相对较低,水分散失缓慢,导致第1次灌水施肥时间较晚,单次施肥量较大,短期内造成较高的氨挥发。因此,适当控制第1次施肥量,可有效降低氨挥发所造成的氮肥损失。本试验结果显示,对于玉米不同生育阶段的滴灌氨挥发累积量,表现为拔节期>苗期>抽雄期>灌浆一成熟期。目前已有研究认为,土壤氨挥发速率随表层土壤NH₄-N质量浓度的增加而增加^[19],试验中玉米拔节期施肥量较高,因此拔节期氨挥发累积量最大。抽雄期玉米需水需肥量大,滴灌灌水频率较高,单次施肥量低,因此氨挥发量相应较低。这说明灌水施肥频率显著影响滴灌氨挥发累积量,而少量多次的灌水施肥方式可减少氮肥的气态损失。有研究^[20]认为施用氮肥后,土壤NH₄-N量在第3~4天内迅速达到高峰,随后下降,其趋势与氨挥发速率变化一致。本试验中,氨挥发速率均于第2天达到最大,氨挥发周期缩短,减少了氮肥损失,这可能是由于本试验采用滴灌施肥,氮肥溶解后随灌溉水施入土壤,加速了氮肥的水解。90%左右的氨挥发损失是发生在施肥后5 d内,因此适当控制单次施肥量,可有效降低氨挥发损失。本试验中玉米全生育期氨挥发累积量、氮净损失率均比河套灌区畦灌条件下李祯等^[11]的研究结果小,可见滴灌施肥可降低旱地农田氮素气态损失。

3.2 环境因素与土壤氨挥发

氨挥发是氨态氮从土壤表面逸散到大气中所造成氮素损失的过程,影响氨挥发的主要因素是土表的氨分压,取决于土壤溶液中的NH₄⁺质量浓度^[3]。本试验中,由于滴灌条件下的追肥方式是“以水带肥”,氮肥首先溶解到水中,并随着灌溉水在土壤浅层区次转化为NH₄-N,每次灌水时土壤保持较为湿润的状态,深层土壤中的小孔隙之前已充满了水分,而使NH₄⁺只能保存在大孔隙中,所以水分蒸发事件首先发生于较大的土壤孔隙,随施氮量的增加NH₄⁺将随毛管流向上移动,引起大量的氨损失^[21]。因此随施氮量的增加土壤水分对氨挥发的影响越来越大,呈现出极显著相关性。另外,降雨对氨挥发的影响主要取决于降雨量的大小,非灌溉条件下少量降雨促进了氨挥发,但在灌溉条件下少量降雨对其影响较小^[22]。本试验地处河套腹地,干旱少雨,降雨量比灌溉量少很多,因此对氨挥发的影响不明显。

滴灌条件下大气温度和土壤温度也与氨挥发速率呈显著正相关关系。温度升高使脲酶活性增强,减少了土壤胶体对NH₄⁺的吸附,加速NH₄⁺向NH₃的转化,增加了NH₃由土壤溶液向土壤扩散,因此提高了土壤表面的氨分压,导致氨挥发损失增加^[23]。

3.3 滴灌施肥与氮肥利用率

有研究表明^[24],我国NH₃-N排放量从1980年到2005年增加了143%,化学肥料是所有NH₃-N排放源中贡献最大的。提高化学肥料的利用率、改善耕作和施肥措施是固氮减排最重要的途径之一,不仅是对资源的节约利用,改善水土环境,更会促进我国农业的可持续发展。本试验中,滴灌不同施肥处理的氮肥利用率随施肥量增加呈先增加后降低趋势,与赵营等^[25]研究结果一致。F3处理的氮肥利用率最高,达到82.14%,说明

适宜的施肥措施可以有效提高肥料利用。同时,滴灌采用少量多次灌水施肥,使土壤供氮和作物需氮在时间和空间上同步,也会显著地减少氮肥在土壤中转化的时间和损失的强度。

N、P、K肥料平衡配施可以减少氨挥发损失^[26]。本研究是基于田间滴灌条件下N、P、K配施的土壤氨挥发,外部环境因子变化较大,因此试验结果具有地区特殊性;同时,影响氨挥发的因素也是多方面的,今后还需进一步探索研究诸如基于硝化-反硝化作用等方面的氮磷钾肥配施对高频滴灌施肥后土壤氨挥发影响的内在机理。

4 结 论

1)河套灌区田间滴灌玉米全生育期土壤氨挥发量为6.14~17.56 kg/hm²,氮净损失率为1.93%~3.52%。当施肥量(N-P₂O₅-K₂O)大于216-97.2-54 kg/hm²时,氨挥发累积量显著增加。滴灌施肥后氨挥发速率第2天达到最大,90%左右的氨挥发损失发生在施肥后5 d内。

2)滴灌施肥条件下,土壤氨挥发速率与大气温度、土壤温度显著正相关($P<0.05$),与土壤水分极显著正相关($P<0.01$),且随施氮量的增加,相关系数逐渐增大。

3)过量施用氮肥会影响玉米植株对氮素养分的吸收,一定范围内减少施氮量能显著增加肥料的增产效应和当地土壤肥力条件下的NPFP。就氮肥利用率而言,氮肥投入量在216~270 kg/hm²之间比较适宜。田间滴灌玉米最高产量时施肥量(N-P₂O₅-K₂O)为250-112.5-62.5 kg/hm²,其氨挥发累积量较最高施肥处理减少26.17%,且氮肥利用率最高,产量高达20 371 kg/hm²。滴灌优化施肥不仅可以增加农田作物产量,提高氮肥利用率,同时还可以降低氮素的损失。

参考文献:

- [1] 洪传春,刘某承,李文华.我国化肥投入面源污染控制政策评估[J].干旱区资源与环境,2015,29(4): 1-6.
- [2] 赵志坚,胡小娟,彭翠婷,等.湖南省化肥投入与粮食产出变化对环境成本的影响分析[J].生态环境学报,2012,21(12): 2 007-2 012.
- [3] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008(5): 778-783.
- [4] 杨士红,彭世彰,徐俊增,等.不同水氮管理下稻田氨挥发损失特征及模拟[J].农业工程学报,2012,28(11): 99-104.
- [5] 习斌,张继宗,左强,等.保护地菜田土壤氨挥发损失及影响因素研究[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2): 327-333.
- [6] 董文旭,胡春胜,张玉铭.华北农田土壤氨挥发原位测定研究[J].中国生态农业学报,2006,14(3): 46-48.
- [7] 王朝辉,刘学军,巨晓棠,等.田间土壤氨挥发的原位测定:通气法[J].植物营养与肥料学报,2002,8(2): 205-209.
- [8] 王忠江,蔡康妮,王丽丽,等.沼肥表施对土壤氮素动态分布及氨挥发的影响[J].农业机械学报,2014,45(7): 139-143.
- [9] 吴娟,何胜洲,李国学,等.添加过磷酸钙的猪粪堆肥污染气体减排工艺优化[J].农业机械学报,2017,48(5): 304-312.
- [10] 巨晓棠,刘学军,邹国元,等.冬小麦/夏玉米轮作体系中氮素的损失途径分析[J].中国农业科学,2002,35(12): 1 493-1 499.
- [11] 李祯,史海滨,李仙岳,等.不同水氮运筹模式对田间土壤氨挥发及春玉米籽粒产量的影响[J].农业环境科学学报,2017,36(4): 799-807.
- [12] 李文彪,刘荣乐,郑海春,等.内蒙古河套灌区春玉米推荐施肥指标体系研究[J].中国农业科学,2012,45(1): 93-101.
- [13] 冯兆忠,王效科,冯宗炜,等.内蒙古河套灌区秋浇对不同类型农田土壤盐分淋失的影响[J].农村生态环境,2003,19(3): 31-34.
- [14] 刘汝亮,王芳,张爱平,等.引黄灌区不同肥料类型和施肥技术对稻田氮磷流失的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(9): 46-49.
- [15] 刘德平,杨树青,史海滨,等.氮磷钾平衡施肥对作物收获后土壤硝态氮残留的影响[J].灌溉排水学报,2013,32(5): 42-46.
- [16] 赵春晓,郑海春,杨彦明,等.保水材料对河套灌区土壤硝态氮和铵态氮动态变化的影响[J].灌溉排水学报,2017,36(2): 76-80.
- [17] 任中生,屈忠义,李哲,等.水氮互作对河套灌区膜下滴灌玉米产量与水氮利用的影响[J].水土保持学报,2016,30(5): 149-155.
- [18] 汪然,万书勤,康跃虎,等.滴灌水盐调控施肥灌溉对青海油菜产量及水肥利用的影响[J].节水灌溉,2016(4): 18-23.
- [19] 杨淑莉,朱安宁,张佳宝,等.不同施氮量和施氮方式下田间氨挥发损失及其影响因素[J].干旱区研究,2010,27(3): 415-421.
- [20] 邓美华,尹斌,张绍林,等.不同施氮量和施氮方式对稻田氨挥发损失的影响[J].土壤,2006,38(3): 263-269.
- [21] 段争虎,周玉麟.土壤特性和环境因子对氨挥发的影响[J].土壤通报,1990(3): 131-134.
- [22] 翟学旭,王振林,戴忠民,等.灌溉与非灌溉条件下黄淮冬麦区不同追氮时期农田土壤氨挥发损失研究[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1): 55-67.
- [23] 周广威,张文,闵伟,等.灌溉水盐度对滴灌棉田土壤氨挥发的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2): 413-420.
- [24] 王书伟,廖千家骅,胡玉婷,等.我国NH₃-N排放量及空间分布变化初步研究[J].农业环境科学学报,2009,28(3): 619-626.
- [25] 赵营,同延安,赵护兵.不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(5): 622-627.
- [26] 倪康,丁维新,蔡祖聪.有机无机肥长期定位试验土壤小麦季氨挥发损失及其影响因素研究[J].农业环境科学学报,2009,28(12): 2 614-2 622.

(下转第49页)

36.9%. **【Conclusion】** Based on excessive nitrogen application before the experiment began, no fertilization along with straw returning increased the HFOC concentration in rainfed winter wheat cropping region on the Loess Plateau. Single chemical fertilizer applications could facilitate the decomposition of soil organic matter, resulting in an increasing of labile organic carbon and nitrogen fractions. A large amount of nitrate-N residue was observed in the 0~200 cm soil profile under traditional farmer fertilization with a potential leaching risk.

Key words: dry highlands in Southern Shanxi; fertilizations patterns; organic carbon; organic nitrogen; nitrate-N residue; soil

责任编辑:陆红飞

(上接第42页)

Nitrogen Use Efficiency and Ammonia Oxidation of Corn Field with Drip Irrigation in Hetao Irrigation District

LI Zhe¹, QU Zhongyi^{1*}, REN Zhongsheng¹, YANG Shaodong¹, XU Zhe¹, HA Sigerile¹, LI Mao²

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China;

2. Emancipation and irrigation Administration Bureau of Hetao Irrigation Area, Inner Mongolia, Hangjinhouqi 015400, China)

Abstract: **【Objective】** Reducing nitrogen loss via leaching and emission is critical to developing sustainable agriculture and the purpose of this paper is to experimentally study the nitrogen use efficiency and ammonia oxidation of a corn field in Hetao Irrigation District. **【Method】** The experiment was conducted in a field in which and we considered five fertilizations with the N:P₂O₅:K₂O ratio at 0:0:0, 62:72.9:40.5, 216:97.2:54, 270:121.5:67.5, and 324:145.8:81 kg/hm² respectively. In each treatment, ammonia volatilization was measured using the Aeration method. In the meantime, we also analyzed the accumulation of ammonia volatilization, its net loss rate, corn yield and nitrogen utilization efficiency. **【Result】** The ammonia volatilization rate increased after drip irrigation and fertilization, peaking second day after the irrigation. When the applied nitrogen was more than 216 kg/hm², the amount of ammonia volatilization increased significantly with the applied nitrogen. The accumulation of ammonia volatilization at different fertilizations over the whole growth period was 6.14~17.56 kg/hm² and the net loss rate was 1.93%~3.52%. Soil ammonia volatilization rate was significantly correlated with soil temperature ($P<0.05$) and soil moisture ($P<0.01$). The yield of maize peaked when the N:P₂O₅:K₂O ratio was 250:112.5:62.5 kg/hm², with the ammonia volatilization substantially reduced. **【Conclusion】** An appropriate N:P₂O₅:K₂O ratio with drip irrigation can effectively improve crop yield and nutrient utilization efficiency, thereby reducing nitrogen losses.

Key words: fertigation; ammonia volatilization; maize; nitrogen use efficiency

责任编辑:陆红飞