

果园蓄水坑灌条件下不同施肥方案对 坑壁土壤氮挥发的影响

孙瑞峰¹, 马娟娟^{1*}, 孙西欢^{1,2}, 郭向红¹, 高娟¹, 张人天¹, 马丽¹, 李嗣艺¹

(1. 太原理工大学水利科学与工程学院, 太原 030024; 2. 晋中学院, 山西 晋中 030600)

摘要:【目的】探讨果园蓄水坑灌条件下蓄水坑壁土壤氮挥发损失规律及影响因素。【方法】试验以追肥量(600、300、0 kg/hm²)和追肥时期(花后、果实膨大期、花后及果实膨大期平均追肥)为变量, 设置7个处理。采用磷酸甘油-通气法收集坑壁土壤氮挥发并分析其与铵态氮、硝态氮、土壤温度、空气温度和湿度的关系。【结果】蓄水坑灌水肥灌施后氮挥发速率随追肥量增加而增加, 花后期追肥后氮挥发持续时间长, 峰值出现在肥后第3~5天, 为52.93~576.80 mg/(m²·d); 果实膨大期追肥后氮挥发持续时间短, 峰值出现在肥后第2天, 为81.11~1 047.79 mg/(m²·d)。花后期一次性追肥氮挥发累积量(以N计算)为3 332.88~7 052.01 mg, 果实膨大期一次性追肥氮挥发累积量为2 178.14~5 126.97 mg, 比花后期一次性追肥降低27.30%~34.65%。2次追肥期平均追肥氮挥发累积量最小, 为2 013.21~4 642.11 mg, 比花后期一次性追肥降低34.17%~39.60%。蓄水坑壁氮挥发损失率为0.57%~1.4%, 其中花后期一次性追肥氮挥发损失率最大, 果实膨大期一次性追肥次之, 平均追施最小。氮挥发速率与土壤铵态氮量和空气温度显著正相关($P<0.05$), 土壤温度和硝态氮通过铵态氮浓度影响氮挥发, 较高的空气湿度和施肥后降雨会降低氮挥发速率。Elovich动力学方程可以较好地描述蓄水坑壁氮挥发累积量动态变化过程, 氮挥发速率常数 a 与追肥量显著正相关, 与土壤温度显著负相关。【结论】降低追肥量、分次追施能减少坑壁土壤的氮挥发损失, 基于蓄水坑灌法在果园进行水肥灌施具有较好的减排保肥效果。

关键词: 蓄水坑灌; 氮挥发; 铵态氮; 温度; 果园

中图分类号: S275.9

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.20180706

孙瑞峰, 马娟娟, 孙西欢, 等. 果园蓄水坑灌条件下不同施肥方案对坑壁土壤氮挥发的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(7): 52-59.

0 引言

氮素是作物生长、高产的必备元素, 但目前我国氮肥利用率较低、损失严重^[1]。其中氮挥发是氮肥损失的主要途径之一, 占施氮量的0.41%~40.00%^[2]。大量的施肥不仅增加经济投入, 而且还会造成土壤酸化、水体富营养化和温室效应等环境问题^[3]。因此, 采取科学合理的措施降低田间土壤氮挥发, 提高氮肥利用率, 减少氮挥发带来的环境问题是农业和生态领域的重要研究课题。

农业措施(施肥量、施肥方式以及灌溉方式)、气象因素(温度、湿度)和土壤温度是影响氮挥发的重要因素^[4]。目前国内外研究主要集中在水稻、小麦等大田作物, 对果园土壤氮挥发的研究报道不多^[5-7]。已有研究表明氮挥发速率与施肥量正相关, 随着施肥量增大, 氮挥发损失累积量显著增加^[8]。周伟等^[9]对稻田氮挥发研究发现, 穗肥氮挥发损失率低于分蘖肥, 分别为6.3%和16.7%, 且氮肥利用率高。丁阔等^[10]对梨园氮挥发特征进行研究, 发现追肥期氮挥发速率和累积量小于基肥期。Holcomb等^[11]研究证明, 尿素表施后立即灌水, 能显著降低氮挥发损失量。翟学旭等^[12]研究发现不同追氮期氮挥发速率峰值和累积量有显著差异, 非灌溉条件下氮挥发损失量显著高于灌溉条件。据报道, 采用合理的节水灌溉技术不仅可以提高灌水利用效

收稿日期: 2018-12-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579168); 山西省研究生教育创新项目(2018SY028); 山西省自然科学基金资助项目(201601D011053)

作者简介: 孙瑞峰(1994-), 男, 山西临猗人。硕士研究生, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: 863650722@qq.com

通信作者: 马娟娟(1970-), 女, 山西闻喜人。教授, 博士生导师, 主要从事节水灌溉理论与技术研究。E-mail: mjjxsxy@163.com

率,同时还可以减少氨挥发损失^[13-14]。雷杨莉等^[15]采用交替灌溉施肥方式研究得出水肥异区交替灌溉施肥能够显著减少氨挥发损失。王科等^[16]对冬小麦氮素分布进行研究,发现低压喷灌相对于传统漫灌能够明显减少土壤氨挥发。因此结合新型节水灌溉技术建立科学的施肥制度是农业发展的新方向。

蓄水坑灌法^[17]是孙西欢教授提出的一种中深层立体灌水方法,主要适用于我国北方干旱和水土流失严重的地区,其田间工程可以有效地汇集雨水径流,提高雨水利用率。蓄水坑灌法能把灌水和施肥有机地结合在一起,水肥直接通过蓄水坑入渗到土壤根系生长区,能够减少水分蒸发和肥分损失,提高水肥利用率。李婧羿^[18]研究发现蓄水坑灌下氨挥发累积量是地面灌溉下氨挥发累积量的1/14。李京玲等^[19]通过室内物理模型试验,研究了蓄水坑灌土壤水氮运移特性,发现氨挥发主要集中在蓄水坑壁界面。刘浩等^[20]指出肥液浓度越大,氨挥发速率和氮肥损失率越大,蓄水坑壁氨挥发量约占总挥发量的77.17%~86.66%。前人研究尚未考虑作物需肥期且蓄水坑壁氨挥发机制尚不清楚。

本试验基于蓄水坑灌法,以追肥量和追肥时期作为变量,对蓄水坑壁土壤氨挥发及影响因素进行研究,为制定蓄水坑灌下合理的施肥方案,提高氮肥利用率提供一定理论依据;为探寻减排措施,减少果园氨挥发损失,降低施肥对生态环境的影响提供一定技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2018年4—9月在山西省太谷县农科院果树所(112°32' E,37°23' N,海拔约800 m)内进行。试验区多年平均降雨量约为460 mm,多年平均气温为9.8 ℃,无霜期为175 d,属典型的大陆性半干旱气候类型。土质以壤土为主,土壤体积质量为1.47 g/cm³(0~180 cm,下同),饱和含水率为49.21%(体积含水率),田间持水率为30%(体积含水率),土壤铵态氮质量分数为0.66 mg/kg,硝态氮质量分数为6.72 mg/kg,灌溉水源为地下水。

1.2 试验设计

试验选用21株长势一致、树势旺盛的7年生矮砧密植红富士苹果树,株、行间距为2 m×4 m。每棵树下设4个直径30 cm、坑深40 cm距树干60 cm的蓄水坑,布置图见图1。试验以追肥量和追肥时期为控制因子,对蓄水坑壁的氨挥发进行采集。追肥量设3个水平(600、300、0 kg/hm²),追肥时期设3个水平(花后一次性追肥(5月24日)、果实膨大期一次性追肥(7月19日)、花后期及果实膨大期平均追肥),共7个处理,每个处理重复3次。所有处理均采用蓄水坑灌法进行水肥灌施,灌水量为200 L/株,各处理的其他田间管理措施均相同。试验设计见表1。

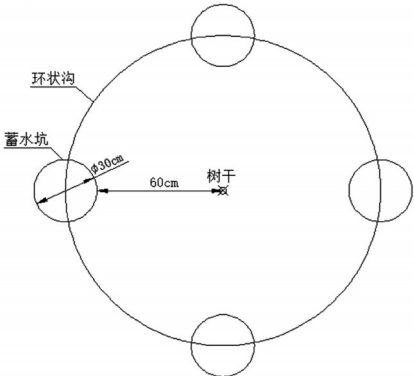


图1 蓄水坑布置图

表1 试验设计

追肥时期	追肥量						
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
花后期	300	600	0	0	150	300	0
果实膨大期	0	0	300	600	150	300	0

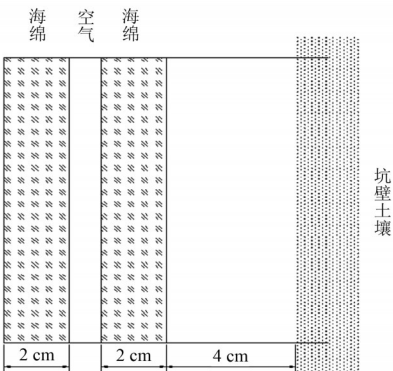


图2 氨挥发收集装置

1.3 田间取样与测定方法

1)氨挥发。试验采用磷酸甘油-通气法收集蓄水坑壁的氨挥发,收集装置见图2。测点位于蓄水坑壁,距地表10、30 cm处(以D10、D30表示,下同)。施肥后在测点放上海绵,次日同一时间进行取样,取样时迅速将内层海绵放入自封袋,并换入1片浸润15 mL磷酸甘油(50 mL磷酸+40 mL丙三醇,去离子水定至1 L)的海绵,外层海绵根据干湿情况3~5 d左右更换1次。海绵样品用1 mol/L的KCl溶液浸提,用连续流动分析仪测定氨气浓度。施肥后第1、2、3、4、5、6、7、14、30 d进行氨挥发样品采集。

2)土壤铵态氮和硝态氮。在氨挥发取样点附近取少量表层0~

10 cm的土样,用连续流动分析仪测试土壤铵态氮和硝态氮量。

3)空气温度和湿度。空气温度和湿度采用 Kestrel 4500手持气象站测定。测点高度与氨挥发取样点一致。

4)土壤温度。试验用自计土壤温度系统测量蓄水坑壁表层0~10 cm土壤温度。测点位置与氨挥发取样点一致。

5)降雨。果园试验期间降雨用 Adcon-Ws 无线自动气象监测站采集。图3为试验期间果园降雨量情况。

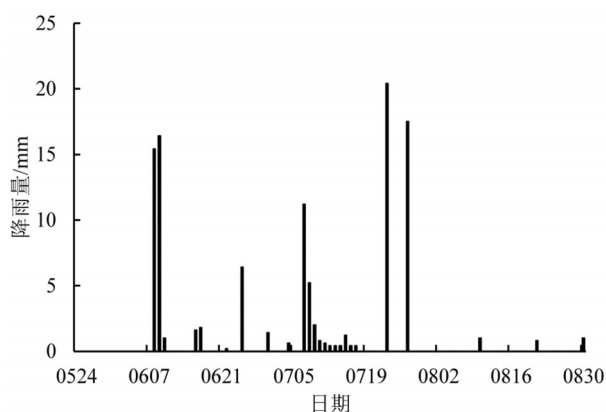


图3 试验期间果园降雨量

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2013 进行数据整理和作图,采用 SPSS 23 进行差异显著性分析和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 花后期不同追肥量对蓄水坑氨挥发速率的影响

图4、图5为花后期不同处理D10、D30氨挥发速率随时间的变化曲线。从图2可以看出,追肥后不同处理D10、D30氨挥发速率整体上呈先升高后降低,最后趋于平缓的趋势。追肥量不同,氨挥发速率峰值具有显著差异(表2),追肥量越大,氨挥发速率越大。各处理氨挥发速率峰值出现时间不同,F1和F6处理花后期追肥量相同,氨挥发速率峰值均出现在肥后第4天,F1、F6处理D10氨挥发速率峰值分别为241.02、225.88 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,D30氨挥发速率峰值分别为286.08、243.95 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。F2处理追肥量最大,D10、D30氨挥发速率峰值出现在肥后第5天,为451.82、576.80 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。F5处理D10、D30氨挥发速率峰值分别出现在肥后第4天、第3天,为52.93 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、121.53 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。分析可知,花后期氨挥发速率峰值出现在肥后第3~5天,峰值出现时间随追肥量的增大而推迟,蓄水坑壁下层氨挥发速率明显大于上层。

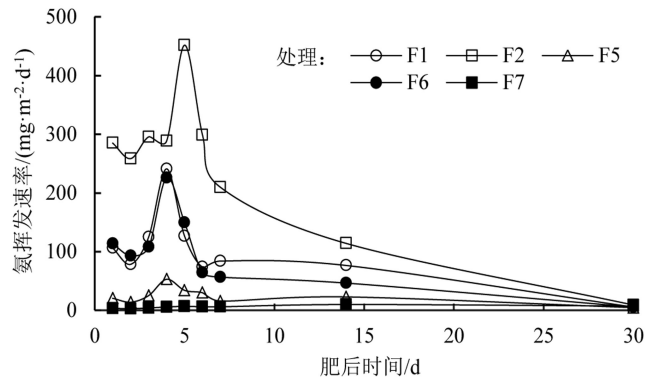


图4 花后期D10氨挥发速率

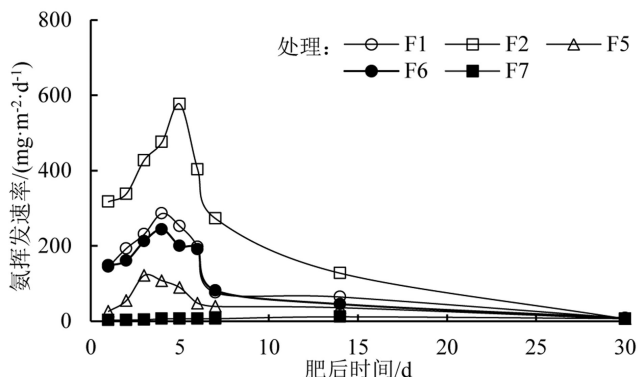


图5 花后期D30氨挥发速率

表2 不同处理氨挥发速率峰值

处理	F1	F2	F3	F4	F5-1	F5-2	F6-1	F6-2	F7-1	F7-2
D10	241.02±14.34d	451.82±25.15b	286.02±19.39c	653.47±22.67a	52.93±5.32g	81.11±8.74f	225.88±18.48e	289.31±20.77c	9.91±2.42h	12.90±4.36h
D30	286.08±23.44D	576.80±19.38B	359.95±27.66C	1 047.79±28.45A	121.53±12.35F	126.70±13.38F	243.95±19.72E	369.75±25.59C	11.60±2.33G	13.64±3.67G

注 1)不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$);2)F5-1为花后追肥期,F5-2为果实膨大追肥期,F6、F7同理。

2.2 果实膨大期不同追肥量对蓄水坑氨挥发速率的影响

图6、图7为果实膨大期不同处理D10、D30氨挥发速率随时间的变化曲线。从图6、图7可以看出,各施肥处理D10、D30氨挥发速率均在肥后第2天达到峰值且前3天均处于较高的水平,第4天由于降温和降雨(20.4 mm),氨挥发速率急剧降低,肥后第14天氨挥发速率降至本底值附近。果实膨大期追肥后氨挥发速率与花后期大,D10和D30氨挥发速率峰值F3处理为286.02 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和359.95 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,F4处理为653.47 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和1 047.79 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,F5处理为81.11 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和126.70 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,F6处理为289.31 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和369.75 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。分析可知,追肥量越大,氨挥发速率越大,不同追肥量处理的氨挥发速率峰值

差异显著(表2),蓄水坑壁下层氨挥发速率大于上层氨挥发速率。

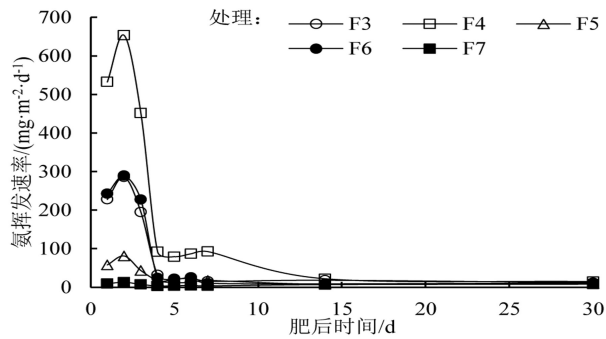


图6 果实膨大期D10 氨挥发速率

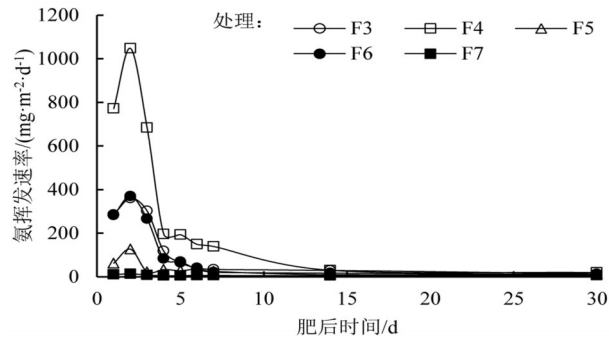


图7 果实膨大期D30 氨挥发速率

2.3 不同处理氨挥发累积量

由图4—图7可知,肥后30 d氨挥发速率降至本底值附近。本研究以肥后0~30 d氨挥发损失量进行计算。不施肥(F7)处理花后期和果实膨大期氨挥发累积量(以N计算,下同)分别为344.44 mg和280.44 mg。由表3可知,F2处理累积量最大,为7 052.01 mg,占追氮量的1.4%。F5处理总累积量最小,为2 013.21 mg,占追氮量的0.57%。追肥处理氨挥发累积量均大于不施肥处理,不同追肥处理的氨挥发累积量差异显著($P<0.05$),追肥量越大,氨挥发损失越多,花后期一次性追肥氨挥发累积量最大,果实膨大期一次性追肥氨挥发累积量比花后期一次性追肥降低了27.30%~34.65%,追肥期平均追施氨挥发累积量比花后期一次性追肥降低了34.17%~39.60%。花后期追肥后前7天氨挥发累积量占总累积量的50%左右,而果实膨大期追肥后前7天氨挥发累积量达到总累积量的70%左右,说明果实膨大期氨挥发持续时间比花后期短。

表3 氨挥发累积量及损失率

处理	前7天累积量/mg	占比例/%	8~14 d累积量/mg	占比例/%	总累积量/mg	损失率/%
F1	1 668.39±15.19	50.06	792.39±13.34	23.77	3 332.88±24.31c	1.24
F2	3 692.07±34.33	52.35	1 909.41±15.21	27.08	7 052.01±36.15a	1.4
F3	1 511.95±16.71	69.41	254.16±9.77	11.67	2 178.14±20.46e	0.79
F4	3 893.58±30.14	75.94	746.86±11.22	15.57	5 126.97±29.63b	1.01
F5-1	511.36±18.66	42.46	299.89±14.68	24.90	1 204.39±15.83g	0.57
F5-2	434.21±12.42	56.68	158.36±6.87	19.56	808.82±17.35h	-
F6-1	1 543.01±19.89	58.66	493.36±10.66	18.76	2 630.50±20.22d	0.83
F6-2	1 478.84±20.28	73.51	262.83±10.51	13.06	2 011.61±24.88f	-
F7-1	52.97±3.56	-	89.52±4.31	-	344.44±5.52i	-
F7-2	74.93±2.61	-	56.92±2.55	-	280.44±3.96j	-

注 1)损失率=(施肥处理累积量-对照处理累积量)/施氮量;不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$);2)F5-1为花后追肥期, F5-2为果实膨大追肥期,损失率为2次追肥期总损失率,F6、F7同理。

2.4 蓄水坑壁氨挥发影响因素

图8为追肥后氨挥发取样期间前14 d的空气温度和湿度变化曲线。从图8可以看出,空气温度和湿度的变化趋势相反,由于花后期太阳高度角较小,蓄水坑内不同深度日照时间不同,D10测点的温度比D30测点高,空气湿度相反;而果实膨大期太阳高度角较大,D10、D30测点温度和湿度基本保持一致。花后期追肥后第3天空气温度升高、湿度下降;果实膨大期追肥后第3天温度明显降低,湿度升高。由表4可知,施肥处理氨挥发速率与空气温度显著正相关($P<0.05$),与湿度负相关,未达显著水平。F5和F6处理氨挥发速率与空气湿度相关性较低,这是因为2次灌水施肥后,坑内湿度均较大,但氨挥发速率差异显著,整体分析相关性较低。由以上可知,同一追肥期,空气温度升高,湿度下降,能够为氨挥发提供有利的条件。

表5是施肥处理蓄水坑壁0~10 cm土壤铵态氮、硝态氮与氨挥发速率的相关性分析结果。各施肥处理氨挥发速率与铵态氮量显著正相关($P<0.05$),与硝态氮量负相关,未达显著水平。同一追肥期,土壤温度随时间变化幅度小,对氨挥发影响不显著,果实膨大期土壤温度平均为25℃,花后期平均为20℃,土壤温度的不同导致2次追肥后尿素水解速度和硝化作用不同,使得土壤铵态氮累积速度不同,从而导致追肥后氨挥发速率和累积量不同。因此土壤温度通过改变土壤铵态氮量来影响氨挥发。

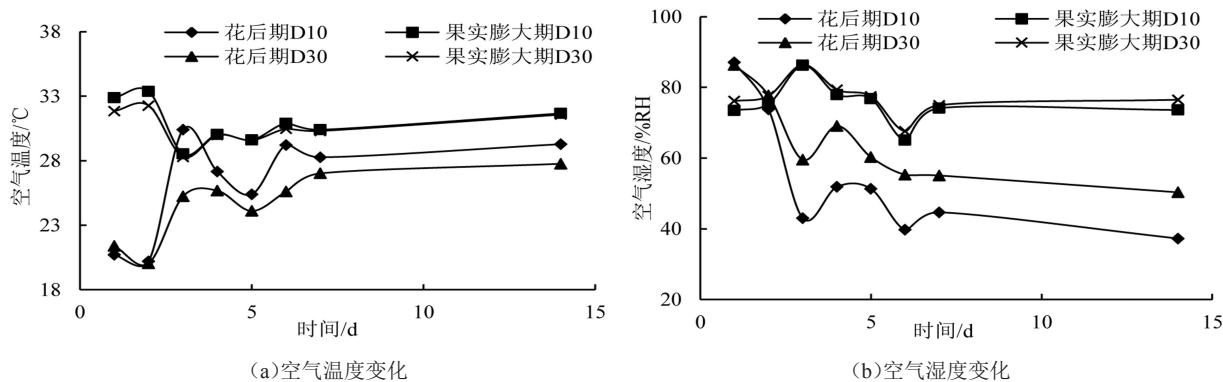


图8 坑内空气温度和湿度

表4 坑内空气温度、湿度与氨挥发速率的相关性分析结果

采样点	气象指标	F1	F2	F3	F4	F5	F6
D10	空气温度	0.716*	0.691*	0.854*	0.548	0.653*	0.655*
	湿度	-0.660	-0.403	-0.424	-0.458	-0.135	0.069
D30	空气温度	0.727*	0.736*	0.731*	0.498	0.500	0.586*
	湿度	-0.641	-0.716*	-0.167	-0.310	-0.545	-0.110

表5 氨挥发速率与铵态氮、硝态氮的相关性分析结果

氮素形态	F1	F2	F3	F4	F5	F6
铵态氮	0.861*	0.856*	0.957**	0.913**	0.708**	0.859**
硝态氮	-0.789	-0.790	-0.741*	0.710*	-0.446	-0.428

注 *表示在 $P<0.05$ 水平上显著;**表示在 $P<0.01$ 水平上显著。

2.5 土壤氨挥发累积量模型

追肥后蓄水坑壁氨挥发累积量可用Elovich动力学方程 $y=a\ln(t)+b$ 表示(a 、 b 为系数, t 为施肥后的时间),图9为氨挥发累积量模型, F 检验得出方程极显著, R^2 为0.950~0.968,说明方程拟合程度较好。氨挥发速率常数 a 与追氮量显著正相关($P<0.05$),与土壤温度显著负相关($P<0.05$)。

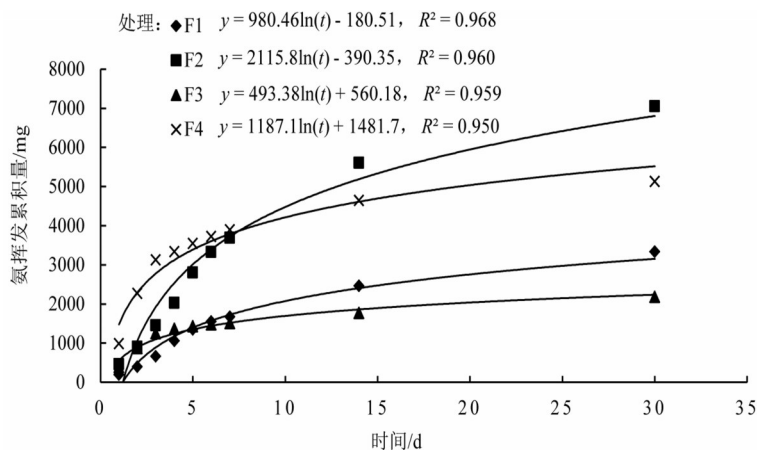


图9 氨挥发累积量模型

3 讨论

Sommer等^[21]指出尿素表施后氨挥发损失量能达到施氮量的52%。增加施肥深度可以降低氨挥发速率和氮肥损失率^[22-23]。乔云发等^[24]研究发现增加施肥深度,氨挥发损失率从21.68%降至2.49%。李鑫等^[25]研究指出施肥和灌水相结合能有效降低氮素损失。在果园通过蓄水坑灌进行水肥灌施相当于氮肥深施,氨挥发损失较低且主要集中在蓄水坑壁,约占总挥发量的77.17%~86.66%^[20]。本试验得出蓄水坑壁氨挥发损失率在0.57%~1.4%之间,这与刘浩等^[20]的研究结果相似。说明基于蓄水坑灌法对果园施肥,能显著降低氨挥发损失,有利于提高氮肥利用率,符合生态农业的要求。

本试验施肥后氨挥发速率呈现先升高后降低的趋势,施氮量越大,氨挥发速率越大,与前人研究结论相似^[26]。但不同处理氨挥发速率峰值出现时间不同,花后期峰值出现在肥后第3~5天,而果实膨大期均出现在肥后第2天,且比花后期大。习斌等^[27]研究发现基肥期氨挥发速率在肥后第1天达到峰值,第5天降至本底值附近。王科等^[16]采用低压喷灌方法对麦田氨挥发进行研究,发现追肥后氨挥发速率先升高后降低,峰值出现在肥后第5天。说明不同施肥方式氨挥发速率变化过程不同。施肥方式、土壤温度、铵态氮浓度、空气温度和湿度均是影响氨挥发速率的重要因素^[28-29]。试验得出土壤铵态氮量与氨挥发速率显著正相关($P<0.05$)。由于蓄水坑灌特殊的水肥运移特性,水肥多集中在中深层土壤,因此D30的氨挥发速率大于D10。本试验花后期和果实膨大期土壤平均温度分别为20℃和25℃,周旋等^[30]指出土壤温度在15~35℃之间时,温度升高,尿素水解速度加快,土壤铵态氮量快速累积,给氨挥发创造有利条件。因此与花后期相比,果实膨大期氨挥发速率峰值大,出现时间早。李哲等^[31]研究发现空气温度与氨挥发速率显著相关,未考虑空气湿度的影响。在本研究中,氨挥发速率与空气温度显著正相关($P<0.05$),与空气湿度负相关但未达显著水平。因为坑内空气湿度是通过空气氨分压来影响土壤氨挥发,当土壤铵态氮量和空气温度较大时会促进土壤中的氨向大气扩散,从而降低了空气湿度对氨挥发速率的影响。果实膨大期肥后第3天果园出现降温和降雨现象,蓄水坑蓄积的雨水入渗后降低了坑壁土壤的铵态氮量,土壤温度降低使得脲酶活性下降^[30],尚未水解的尿素转换速度变慢,导致坑壁铵态氮累积速度变慢,同时空气湿度上升会增加空气氨分压,不利于氨挥发,因此肥后第3天氨挥发速率降低。综上可知,降低土壤铵态氮量,能够有效降低蓄水坑壁氨挥发速率,降低坑内空气温度,增加坑内空气湿度能抑制氨挥发速率。

氨挥发累积量随施氮量增加而增加。丁阔等^[10]对梨园土壤氨挥发进行研究,发现追肥后氨挥发月累积量大于基肥后的月累积量。翟学旭等^[12]发现追肥期后移能够减小氨挥发损失。可见施肥时期对氨挥发累积量的影响结论不一致。本试验得出不同追肥时期氨挥发累积量有显著差异(表3),花后期一次性追肥>果实膨大期一次性追肥>2次追肥期平均追肥。这是因为土壤温度能够影响硝化作用,影响铵态氮向硝态氮的转化的速率^[32]。花后期和果实膨大期土壤平均温度分别为20℃和25℃,温度升高会加快硝化作用,加快铵态氮向硝态氮转化的速率,因此果实膨大期坑壁土壤铵态氮量下降快,氨挥发持续时间短,氨挥发损失量和氮肥损失率低。综上可知,基于蓄水坑灌法进行水肥灌施,推迟追肥期能减少坑壁氨挥发损失,但考虑到作物对氮肥的需求,分次追肥,既能降低氨挥发损失,又能满足作物生长要求。

上官宇先等^[33]研究发现垄作高氮处理下田间氨挥发累积量与时间符合对数函数模型,而垄作低氮处理二者为线性函数。本试验对蓄水坑壁氨挥发累积量与时间的关系进行函数模拟,发现Elovich动力学方程能够较好地描述二者之间的动态变化过程。追氮量越大,土壤温度越低, a 值越大,氨挥发累积量增长速度越快。追氮量与土壤温度对 a 值的影响表现为拮抗效应。从函数模型中可以得出在本试验追氮量和土壤温度范围内,降低追氮量,增加土壤温度可以降低蓄水坑壁氨挥发累积量增长速度。

4 结 论

1) 蓄水坑壁土壤氨挥发速率随追肥量的增大而增大,且坑壁下层大于上层,果实膨大期大于花后期。2次追肥期氨挥发速率峰值出现时间不同,花后期施肥后第3~5天氨挥发速率达到峰值,施肥量越大峰值出现时间越晚;而果实膨大期施肥后第2天氨挥发速率均达到峰值。追肥量越大,坑壁土壤氨挥发累积量越大,不同追肥方案氨挥发累积量和氮素损失率大小表现为:花后期一次性追肥>果实膨大期一次性追肥>花后期与果实膨大期平均追施。

2) 氨挥发速率与土壤铵态氮量和空气温度显著正相关($P<0.05$),土壤温度、硝态氮、空气湿度和施肥后降雨均会对氨挥发速率产生一定的影响。

3) 坑壁土壤氨挥发累积量的动态变化可以利用Elovich动力学方程表示。氨挥发速率常数 a 与追氮量显著正相关,与土壤温度显著负相关。

4) 蓄水坑壁土壤的氮素损失率较低,为0.57%~1.4%,F5处理氨挥发速率和氮素损失率均最低,表明蓄水坑灌水肥灌施具有较好的减排保肥潜力,降低单次追肥量、分次追施能进一步减少氨挥发损失。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778-783.
- [2] XING G X, ZHU Z L. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57(1): 67-73.
- [3] HUSSAIN S, PENG S, FAHAD S, et al. Rice management interventions to mitigate greenhouse gas emissions: a review[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22(5):3 342-3 360.
- [4] HUANG P, ZHANG J, ZHU A, et al. Coupled water and nitrogen (N) management as a key strategy for the mitigation of gaseous N losses in the Huang-Huai-Hai Plain[J]. Biology and Fertility of Soils, 2015, 51(3):333-342.
- [5] 王磊, 董树亭, 刘鹏, 等. 水氮互作对冬小麦田氨挥发损失和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2018, 29(6):1 919-1 927.
- [6] 万伟帆, 美丽, 红梅, 等. 内蒙古阴山北麓滴灌马铃薯田氨挥发和氧化亚氮排放特征[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(8):36-41.
- [7] SCHRAML M, WEBER A, HEIL K, et al. Ammonia losses from urea applied to winter wheat over four consecutive years and potential mitigation by urease inhibitors[J]. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2018, 181(6):914-922.
- [8] 董怡华, 张玉革, 孙树林, 等. 不同尿素配施处理下土壤氨挥发特性[J]. 生态学杂志, 2014, 33(11):2 943-2 949.
- [9] 周伟, 田玉华, 尹斌. 太湖地区水稻追肥的氨挥发损失和氮素平衡[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(1):32-36.
- [10] 丁阔, 王雪梅, 陈波浪, 等. 库尔勒香梨园土壤氨挥发速率及累积规律[J]. 经济林研究, 2017, 35(1):1-7.
- [11] HOLCOMB J C, SULLIVAN D M, HORNECK D A, et al. Effect of Irrigation Rate on Ammonia Volatilization[J]. Soil Science Society of America Journal, 2011, 75(6):2 341-2 347.
- [12] 翟学旭, 王振林, 戴忠民, 等. 灌溉与非灌溉条件下黄淮海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):54-64.
- [13] 胡兰, 翟国亮, 邓忠, 等. 灌溉方式和灌水下限对温室青椒生长、耗水特性及产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2):16-21.
- [14] 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.
- [15] 雷杨莉, 王林权, 薛亮, 等. 交替灌溉施肥对夏玉米土壤氨挥发的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(4):41-46.
- [16] 王科, 王志强, 马超, 等. 低压喷灌对土壤-小麦系统氮素时空分布及产量的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(4):890-898.
- [17] XIHUAN S. Effect of Water Storage Pit Irrigation on Soil and Water Conservation[C]// 国际水土保持大会, 2002.
- [18] 李婧羿. 蓄水坑灌水肥灌施条件下土壤中氨挥发特性初步研究[D]. 太原:太原理工大学, 2012.
- [19] 李京玲, 陈攀, 孙西欢, 等. 蓄水坑灌肥液入渗下土壤水氮运移特性试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(10):56-61.
- [20] 刘浩, 马娟娟, 孙西欢, 等. 蓄水坑灌条件下不同肥液浓度对苹果园土壤氨挥发的影响研究[J]. 节水灌溉, 2013(2):17-20.
- [21] SOMMER S G, SCHJOERRING J K, DENMEAD O T. Ammonia Emission from Mineral Fertilizers and Fertilized Crops[J]. Advances in Agronomy, 2004, 82(3):557-622.
- [22] 赵建诚, 苏文会, 范少辉, 等. 肥培毛竹林土壤氨挥发特征[J]. 林业科学, 2016, 52(11):55-62.
- [23] ZHAO J C, SU W H, FAN S H, et al. Effects of various fertilization depths on ammonia volatilization in Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*) forests[J]. Plant Soil & Environment, 2016, 62(3):128-134.
- [24] 乔云发, 韩晓增, 赵兰坡, 等. 黑土氮肥氨挥发损失特征研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1):198-201.
- [25] 李鑫, 巨晓棠, 张丽娟, 等. 不同施肥方式对土壤氨挥发和氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(1):99-104.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] SHAN LN, HE YF, CHEN J, et al. Ammonia volatilization from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China[J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 38:14-23.
- [29] LI M, WANG Y, ADELI A, et al. Effects of application methods and urea rates on ammonia volatilization, yields and fine root biomass of alfalfa[J]. Field Crops Research, 2018, 218:115-125.
- [30] 周旋, 吴良欢, 戴锋. 土壤温度和含水量互作对抑制剂抑制氮素转化效果的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(20):106-115.
- [31] 李哲, 屈忠义, 任中生, 等. 河套灌区滴灌施肥对土壤氨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.
- [32] LEI T, GUO XH, MA JJ, et al. Kinetic and thermodynamic effects of moisture content and temperature on the ammonia volatilization of soil fertilized with urea[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(6):134-143.
- [33] 上官宇先, 师日鹏, 李娜, 等. 垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素[J]. 环境科学, 2012, 33(6):1 987-1 993.

Ammonia Volatilization from Pit Wall under Different N Top-addressing from Water Storage Irrigation Pit in Apple Orchard

SUN Ruifeng¹, MA Juanjuan^{1*}, SUN Xihuan^{1,2}, GUO Xianghong¹,

GAO Juan¹, ZHANG Rentian¹, MA Li¹, LI Siyi¹

(1. College of Water Resource Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Jinzhong University, Jinzhong 030600, China)

Abstract: **【Objective】** Water storage pit is a common technology to bank precipitation for irrigation in arid region. In this paper, we studied ammonia volatilization from the wall of the pits under different N top-addressing in an apple orchard. **【Method】** We compared seven nitrogen top-addressing in the experiment: topdressing 600, 300 and 0 kg/hm² at anthesis stage and fruit enlargement stage respectively. The ammonia volatilization from the wall of the water storage pit was measured using glycerophosphate-ventilation. We analyzed the dependence of ammonia volatilization on soil ammonium, soil nitrate, soil temperature, air temperature and humidity respectively. **【Result】** Ammonia volatilization increased with the topdressing amount after irrigation and fertilization. Top-addressing after anthesis stage could prolong ammonia volatilization for a significant period with a peak within 52.93 to 576.80 mg/(m²·d) occurring 3~5 days after the top-addressing. Top-addressing during fruit enlargement stage resulted in a short period of ammonia volatilization with a peak within 81.11 to 1 047.79 mg/(m²·d) occurring two days after the top-dressing. The accumulated ammonia volatilization (calculated by N) after one-off topdressing after anthesis stage and fruit expansion stage was 3 332.88~7 052.01 mg and 2 178.14~5 126.97 mg respectively. Compared to one-off topdressing, two top-addressing reduced ammonia volatilization to 2 013.21~4 642.11 mg, 34.17%~39.60% lower than that under one-off topdressing after the anthesis stage. Ammonia volatilization from the water storage pit wall accounted for 0.57%~1.40% of nitrogen loss, being the highest under one-off topdressing at anthesis stage followed by one-off topdressing at fruit expansion stage. Ammonia volatilization was positively correlated with soil ammonium and air temperature ($P<0.05$). Soil temperature and nitrate also played a role in ammonia volatilization. Rise in air humidity and rainfall after fertilization can reduce ammonia volatilization, and the dynamical change in accumulated ammonia volatilization can be well described by the Elovich dynamic equation, in which the rate constant parameter was positively correlated to the amount of top-addressing nitrogen and negatively correlated to soil temperature, both at significant level. **【Conclusion】** Ammonia volatilization from water storage pit wall can be controlled by managing the amount of fertilizer application and time at which the fertilizer was applied. Our results suggested that reducing the top-addressing amounts and top-addressing twice can effectively reduce nitrogen loss via ammonia volatilization.

Key words: water storage pit irrigation; ammonia volatilization; ammonium nitrogen; soil temperature; orchard

责任编辑:赵宇龙