

不同施氮情景下北京地区露地甘蓝土壤氨的排放

马晓燕¹, 王军玲², 郭秀锐¹, 韩玉花²

(1. 北京工业大学 环境与能源工程学院, 区域大气复合污染防治北京市重点实验室, 北京 100124;

2. 北京环境保护科学研究院, 北京 100037)

摘要:以露地甘蓝土壤为试材,采用原位测定农田氨挥发的方法,研究北京地区不同施氮情景下、不同施肥阶段露地甘蓝生长过程中土壤氨挥发情况及其时间变化规律。结果表明:1)甘蓝地土壤氨挥发主要发生在施肥后1~3周内,基肥阶段的氨挥发主要发生在施肥后18 d,追肥阶段的氨挥发发生在施肥后7 d;2)甘蓝地施用基肥至定植灌水前,各地块氨排放通量逐渐降低,尤其是第4天氨排放通量都达到最低;定植灌水后,各地块氨排放通量显著升高,且在施基肥后第5~6天(灌水后第1天)出现第一个排放峰值;3)第一次追肥(施肥与灌水同步)氨排放通量峰值出现在第1天;第二次追肥受灌溉及温度的共同影响,氨排放通量峰值出现在第3天;4)甘蓝整个生长周期内不同施氮情景下各地块土壤氨排放总量为7.789~39.324 kg·hm⁻²,并且随施氮量的增加而增加,各情景的氨累计挥发率为5.62%~6.78%;5)适当施用氮肥可以提高甘蓝的产量,但是过度施用氮肥不仅不会增加甘蓝产量,还会增加氨挥发量。

关键词:施氮量;露地甘蓝;氨挥发;氨排放通量

中图分类号:S 635.106⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0140-08

细颗粒物(PM_{2.5})污染已经成为我国影响大气环境质量改善的重要因素,多项研究表明,PM_{2.5}中水溶性气溶胶粒子与大气中NH₃含量相互关联^[1-3],NH₃作为大气中唯一的偏碱性气体,虽然可以促进清除SO₂和NO_x等酸性物质^[4],在底层大气环境酸化中起着重要缓冲作用,可以缓解酸雨危害;但其作为PM_{2.5}的重要前驱物,对霾的形成有重要影响,造成空气能见度降低等问题^[5]。

第一作者简介:马晓燕(1991-),女,山西孝义人,硕士研究生,研究方向为大气污染控制工程。E-mail:annie_marise@foxmail.com.

责任作者:王军玲(1962-),女,本科,研究员,研究方向为大气污染控制及环境规划与政策。E-mail:wangjunling@cee.cn.

基金项目:国家科技支撑计划资助项目(2014BAC23B02)。

收稿日期:2017-02-07

孙庆瑞等^[6]和董文煊等^[7]分别对1993年和2006年的全国人为源氨排放量进行了估算,发现农业源占总排放量的80%以上;张灿等^[8]和尹沙沙等^[9]分别对重庆和珠江三角洲城市群的氨排放特征进行研究,发现畜禽养殖和氮肥施用是最主要的两大排放源。

近年来,北京市蔬菜播种面积占农作物总播种面积的比例逐年上涨,从2008年的21.2%上升到2014年的29.3%,而且仍然有增加的趋势^[10]。同时2014年北京市发布了《关于调结构转方式发展高效节水农业的意见》,提出将菜田占地由2013年的3.9万hm²增加到2020年的4.7万hm²左右。与粮食作物相比,蔬菜需要大量的水肥投入尤其是氮肥投入,施肥才是获得其高产的重要保障^[11-13]。但氮肥的过量施用,在降低氮肥使用率的同时也造成生态问题和环境问题。

题,20 世纪初至今,中国氮素用量超过全球用量的 30%^[14],而全球氨排放总量中 20% 来自中国^[15]。有相关研究表明^[16-17],北京郊区菜地的氮肥用量是粮田的 3~4 倍。

该研究采用田间原位装置与方法测定了北京地区露地甘蓝在不同施氮情景下的氨排放情况,揭示了露地蔬菜甘蓝种植过程中的氨排放特征。试验成果对于测算北京地区农业生产过程中氨排放量、制定区域大气污染控制策略、改善北京市空气质量提供科学支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于北京市顺义区杨镇,地处北纬 40°16′、东经 116°84′,属暖温带半湿润大陆性季风气候,受冬、夏季风影响,春季干旱多风、夏季炎热多雨、秋季天高气爽、冬季寒冷干燥,多年平均相对湿度 50%,年均降雨量 625 mm,全年降水的 75% 集中在夏季。年日照 2 750 h,无霜期 195 d 左右。供试土壤类型为壤土,表层土壤有机质 1.21%,碱解氮 52 mg·kg⁻¹,速效磷 36 mg·kg⁻¹,速效钾 58 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

供试甘蓝品种“中甘 21”为市购;土壤类型为壤土。

1.3 试验方法

参考当地农民的常规施肥量,甘蓝的 N、P₂O₅、K₂O 基准施用量分别为 225、90、225 kg·hm⁻²。氮肥、磷肥、钾肥分别选用普通尿素(N 46.0%)、过磷酸钙(P₂O₅ 16%)、氯化钾(K₂O 60%),有机肥采用纯鸡粪。在确保甘蓝磷和钾含量正常施用的前提下,针对整个生长周期设置 8 种施氮情景:① N00,零氮肥,不施氮肥和有机肥;② N0,施用有机肥不施氮肥;③ N1,当地农民氮肥施用量的 75% 及有机肥同 N0;④ N2,当地农民正常施氮量及有机肥同 N0;⑤ N3,当地农民氮肥施用量的 125% 及有机肥同 N0;⑥ N4,当地农民氮肥施用量的 150% 及有机肥同 N0;⑦ N5,当地农民氮肥施用量的 200% 及有机肥同 N0;⑧ N6,不施加有机肥,施氮量为 N2 施

氮总量,每种施氮情景的具体使用量见表 1。每个施氮情景设置 3 个重复试验区域,随机区组排列。每块试验区域面积为 33.25 m² (9.5 m×3.5 m),合计试验面积为 798 m²。

表 1 试验设定的 8 种施氮情景

Table 1 Eight nitrogen application scenarios kg·hm⁻²

处理 Treatment	施肥量 Fertilization				总施氮量 Amount of nitrogen applied
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	鸡粪	
N00	0	90	225	0	0
N0	0	90	225	6 000	98.70
N1	168.75	90	225	6 000	267.45
N2	225.00	90	225	6 000	323.70
N3	281.25	90	225	6 000	379.95
N4	337.50	90	225	6 000	436.20
N5	450.00	90	225	6 000	548.70
N6	323.70	90	225	0	323.70

上述肥料总量分 3 次施入:一是基肥,甘蓝生长初期覆土深施,各地块按照设施情景施用各自肥料,其中有机肥、磷肥一次性施入,氮、钾肥各施用 40%;二是第一次表施,氮、钾肥分别施用 30%;三是第二次表施,氮、钾肥分别施用 30%。

每块试验区域栽植甘蓝“中甘 21”5 行,每行 30 株,共 150 株,生长期病虫害防治同当地大田。

2016 年 4 月 2 日土地平整后施基肥,4 月 6 日植入甘蓝并进行灌溉 12.5 h;5 月 18 日第一次追肥并灌溉 5 h,5 月 26 日第二次追肥并灌溉 5 h,6 月 3 日收割。土壤氨挥发的采集时间为 4 月 3—24 日、5 月 18 日至 6 月 2 日,每天的采集时段为 09:00—11:00,该时间段的氨挥发强度基本相当于当日的平均氨挥发强度^[18]。

大气氨的收集见图 1,氨的收集采用田间原位测定收集装置^[19],具体包括通气管、空气交换室(含底座)、装有吸收液的洗气瓶、真空抽气泵。其中,空气交换室为内径 19 cm、高 15 cm、底部开放的透明有机玻璃圆筒,顶部留有直径为 25 mm 的进气口,通过高 3 m 的通气管与外界空气相通,出气口连接装有吸收液的洗气瓶,洗气瓶出口连接真空泵,底座埋入土层 2 cm,将边缘土壤压实,勿使周围气体进入,空气交换室与底座间用水密封。真空抽气泵提供的负压将交换室内产生的氨抽吸至吸收液内,通过真空泵控制阀保持交换室内空气交换频率为 15~20 次·min⁻¹。

1.4 项目测定

吸收液是质量浓度为1%的硼酸溶液,抽气结束后将吸收瓶带回实验室,用标准稀硫酸滴定法测定吸收的氨。氨排放通量的计算方法如下:

$$F(\text{NH}_3) = (m / \pi r^2) (24 / T);$$

$$m = n \times M;$$

$$n = 2 \times C_s \times V_s;$$

式中: F 为监测氨的日排放通量($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$); m 为吸收液吸收到的氨的质量(mg); r 为气室的半

径(m); T 为采样时间(h); n 为检测到的氨的摩尔数量(mol); M 为氨气的相对分子质量(17.030 6); C_s 为标准稀硫酸溶液的浓度($0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$); V_s 为消耗稀硫酸溶液的体积(mL)。

施肥后进行氨采样测定,采样周期持续到当日各地块测定结果与空白对照无明显变化为止,该周期内每日的氨挥发量之和为甘蓝该次施肥后的土壤氨排放总量。

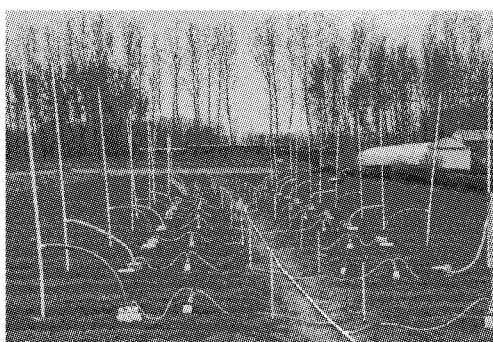


图1 现场收集氨气的装置

Fig. 1 Device for collecting ammonia

2 结果与分析

2.1 不同施氮阶段的氨排放特征分析

针对甘蓝生长过程中3次施肥后土壤的氨排放状况进行连续监测,结果表明,不同施氮情景下,基肥和追肥阶段的排放峰值均出现在灌溉后的1~3 d,并且施基肥后土壤的氨排放持续时间明显比追肥阶段长。

2.1.1 基肥阶段氨排放变化特征

甘蓝深施基肥后1~18 d土壤氨排放情况如图2所示。土壤施用基肥至第4天甘蓝定植灌水前,各地块氨的日排放通量呈平稳下降趋势,第4天降至监测以来最低值,为 $3.35 \sim 119.52 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$;施基肥后第5天(即定植灌水后第1天),各地块氨排放通量迅速上升并出现第一个排放峰值,各地块氨的日排放通量达到 $275.88 \sim 577.28 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,第6天又

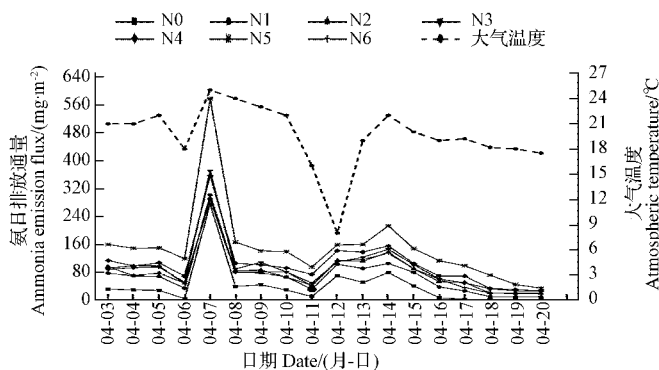


图2 甘蓝基肥不同施氮情景的氨排放通量

Fig. 2 Ammonia emission fluxes in basal fertilizer application

迅速回落,直至第 9 天均呈逐日下降趋势;由于第 9 天晚进行第二次灌溉,第 10 天各地块氨排放通量又显著升高,并在第 12 天达到第二个峰值,为 $79.32 \sim 213.24 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,但该峰值明显低于第 5 天的监测值;之后氨的日排放通量持续下降,直至第 18 天各地块氨排放通量与空白情景(N00)无显著差异,认为基肥阶段的氨挥发过程结束。

综合分析氨的日排放通量、灌溉时间及采样期间的环境温度可以看出,大气氨排放通量首先受土壤湿度的影响,每次灌溉都引起各地块氨排放通量显著增加,施肥后第 5 天,受灌溉影响,各地块土壤含水率接近饱和,在环境温度与第 3 天基本相当的情况下,各地块氨排放通量则提高了 1.9~8.5 倍;第二次灌溉后,第 10 天氨排放通量比前 1 d 提高了 1.6~3.8 倍,且第 12 天的排放通量也比温度相同的第 8 天(灌溉前)提高了 0.5~1.7 倍。奚振邦等^[20]的研究也认为灌溉后土壤水分的增加使得氨排放通量提高,且存在正相关关系。其次,环境温度的变化对各地块氨排放通量也产生一定的影响,施肥后的前 3 d 氨排放通量相对平稳,第 4 天环境温度由前 1 d 的 22°C 降至 18°C ,氨的日排放通量也骤降至第 3 天的 17%~80%;第二次灌溉后,1 d 内环境温度

明显下降(8°C),第 10~12 天受环境温度逐步升高的影响,各地块氨排放呈缓慢升高趋势并达到排放峰值。王峰等^[21]研究也表明,温度与土壤氨挥发呈极显著正相关关系。从基肥阶段的 8 种施氮情景来看,不同施氮量的氨日排放通量存在一定的差异,以 N0(仅施用有机肥)、N2(当地正常施氮量)、N4(正常施氮量的 150%)3 个施氮情景为例分析,由图 3 可知,施基肥后的 1~4 d,3 种情景的氨排放通量均呈逐渐降低趋势,N0 的平均氨的日排放通量分别为 $23.93 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,N2、N4 的平均氨的日排放通量为 N0 的 3.1 倍和 4.1 倍;定植浇水后,第 6~9 天氨排放通量平缓下降,N2、N4 的平均氨排放通量是 N0 的 2.25 倍和 3.0 倍;第 13~18 天,N2、N4 的平均氨排放通量是 N0 的 4.3~5.6 倍。甘蓝在整个施基肥生长过程中,N2、N4 情景的平均氨排放通量为 N0 的 2.3~3.0 倍,显然氨排放通量随着施肥量的增加而增大。从基肥阶段的整个监测过程的氨累计排放率来看,N0 为 4.68%,N2、N4 则分别为 N0 的 1.49 倍和 1.61 倍,从图 4 可以看出,使用基肥后,随着施氮量的增加土壤的氨排放通量和累计排放率均有不同程度的增加。

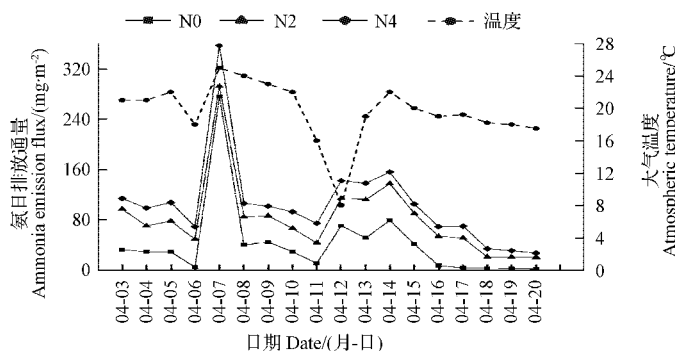


图 3 甘蓝 3 个典型基肥施用情景下的氨排放通量对比

Fig. 3 Comparison of ammonia emission fluxes in three typical basal fertilizer application

2.1.2 甘蓝追肥后的氨排放特征分析

受甘蓝生长后期营养需求旺盛的影响,2 次追肥时间间隔仅为 1 周,可能存在相互干扰,因此将其一并分析。从图 5 可以看出,2 次追肥(施肥与灌水同步)土壤中氨排放通量峰值均出现在施肥灌溉后的第 1 天,第一次追肥氨的日排放通量峰值为 $55.82 \sim 113.84 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,第 2~5 天呈持

续降低趋势,受第 5 天降雨(4 mm)影响,在环境温度下降 3°C 的情况下,各地块第 6 天的氨日排放通量平均比前 1 d 增加了 5%左右,再次说明土壤湿度对氨排放有显著影响。第二次追肥并灌溉后的第 2 天,氨的日排放通量达到追肥阶段的第 2 个峰值,为 $31.10 \sim 59.45 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$,与施肥前相比提高了 0.4~2.4 倍,随后的 6 d 各地块氨排

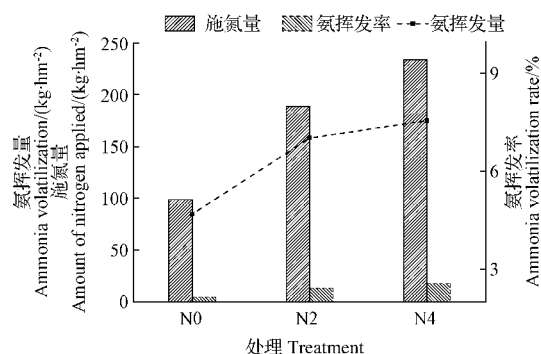


图4 甘蓝3个典型基肥情景下的施肥量、氨挥发量及氨累计挥发率比较

Fig. 4 Comparison of fertilizer rate and ammonia volatilization and accumulation rate of ammonia in three typical basal

放通量逐日降低至与 N00(空白)无显著差异,认为追肥阶段的氨挥发过程结束。从第二次追肥后的排放量来看,在2次追肥量相同的条件下,第二次追肥后的氨排放峰值明显低于第一次追肥,认为可能是由于甘蓝处于生长后期,所需营养成分显著增加,对土壤中氮的吸收效率提高,土壤中铵态氮的浓度和挥发速率也随之降低。第4天开始,温度变化平稳,氨的日排放通量持续下降直至第14天各地块氨的日排放通量与空白情景(N00)无显著差异。由于追肥阶段 N0 情景没有追肥,以 N1、N2、N4 3个施氮情景为例分析该阶段不同施氮情景下的土壤氨排放差异。由图6可知,在2次追肥后,N1的氨的日平均排放通量为 $25.33 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$, N2、N4的氨的日平均排放通量分别为 N1 的1.2倍和1.6倍,表施追肥后土壤氨排放通量也随着施氮量的增加而增加。

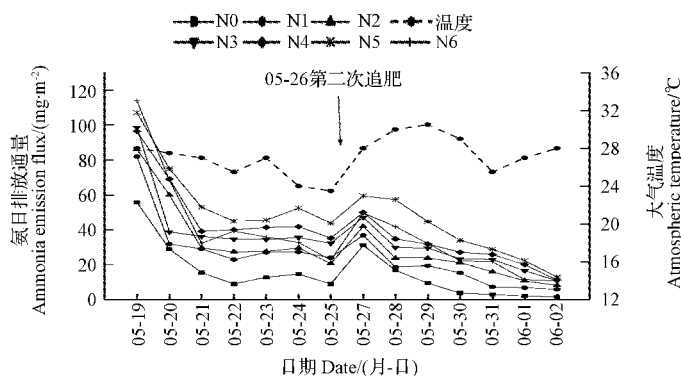


图5 甘蓝追肥后不同施氮情景的氨排放通量变化趋势

Fig. 5 Changes of ammonia emission fluxes in different nitrogen application after cabbage top-dressing

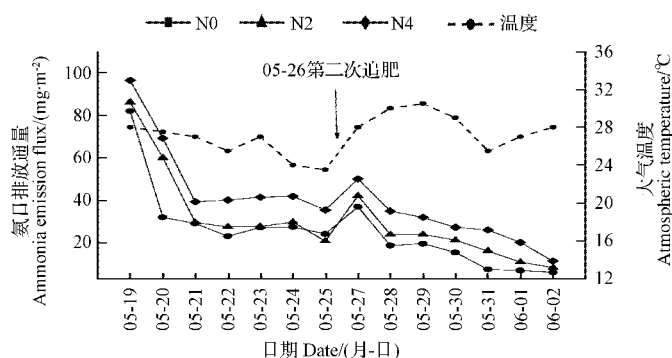


图6 甘蓝追肥典型施氮情景氨排放通量对比

Fig. 6 Comparison of ammonia emission fluxes from typical nitrogen application in cabbage top-dressing

2.2 不同施氮情景下氨排放总量分析

从表 2 可以看出,各地块氨的排放总量为 7.789~39.324 kg·hm⁻²,并且随施氮量的增加而增加,其中以施氮量最高的 N5 排放量最大,其次为 N4>N3>N6>N2>N1,仅施有机肥的 N0 为最低;各情景的氨累计挥发率 5.62%~6.78%。其中,正常施氮量地块的土壤氨挥发损失率为 5.81%,随着施氮量提高 17%~70%,氨的累计挥发率提高了 3.3%~17.0%。曹兵等^[22]、李德军^[23]分别对南京露地大白菜、广州郊区的菜心菜地的氮素损失进行了研究,结果表明大白菜无机氮肥的氨挥发损失率为 0.97%~17.10%,菜心菜地的氨挥发损失率为 10.9%,该

研究结果具有较好的可参考性。

从 2 个施肥阶段来看,各情景追肥阶段的氨排放总量明显低于基肥阶段,这主要是受作物生长阶段对营养的需求、土壤含水率、土壤中氨的含量等多种因素的影响。这一方面是由于基肥阶段施氮量高于追肥阶段,是其施入了无机氮总量的 40%以及必须的有机肥,但甘蓝处于幼苗期,对氮素的需求量明显低于追肥期,导致土壤中的铵态氮含量和氨挥发量较高;另一方面基肥阶段为深施,表层 15 cm 的覆土以及 4 月较低的环境温度,使土壤微生物、脲酶和消化酶活性可能受到一定程度的抑制^[24],氨排放持续时间也较长。

表 2 不同施氮情景下的氨排放总量
Table 2 Ammonia emissions from different nitrogen application

处理 Treatment	施氮量 Amount of nitrogen applied	基肥 Base fertilizer	追肥 Top application		总计 Total	挥发率 Uolatilization rate/%
	/(kg·hm ⁻²)	氨排放总量 /(kg·hm ⁻²)	第一次追肥 氨排放总量 /(kg·hm ⁻²)	第二次追肥 氨排放总量 /(kg·hm ⁻²)	氨排放总量 /(kg·hm ⁻²)	
N0	98.70	6.263	1.010	0.516	7.789	5.73
N1	267.45	12.591	3.298	1.287	17.176	5.62
N2	323.70	14.877	3.988	2.088	20.953	5.81
N3	379.95	17.089	4.512	2.934	24.535	5.90
N4	436.20	19.269	5.647	3.384	28.300	6.00
N5	548.70	28.539	6.601	4.184	39.324	6.78
N6	323.70	15.234	4.185	2.629	22.048	6.15

注:施氮量包括有机肥施入量。
Note: The amount of nitrogen applied includes the amount of organic fertilizer applied.

2.3 甘蓝产量与施氮情景及氨挥发量的相关性分析

6 月 3 日甘蓝收割,测算各地块甘蓝产量。其中 N4 的产量最高,为 861.8 t·hm⁻²。将不同地块的施氮量和甘蓝产量进行拟合,函数表达式为 $y = -3.2287x^2 + 3303.7x + 82249$ ($R^2 = 0.9581$)。从图 7 可以看出,最佳施氮量为 300~400 kg·hm⁻²;适当施用氮肥可以提高甘蓝的产量,但是过度施用氮肥不仅不会增加甘蓝产量,还会增加氨挥发量。如施氮量为 436.2 kg·hm⁻² (N4)时,甘蓝产量为 944.7 t·hm⁻²,氨挥发量为 28.3 kg·hm⁻²,当施氮提高到 548.7 kg·hm⁻² (N5),甘蓝产量没有增加,但氨的挥发量相比 N4 增加了 40%。

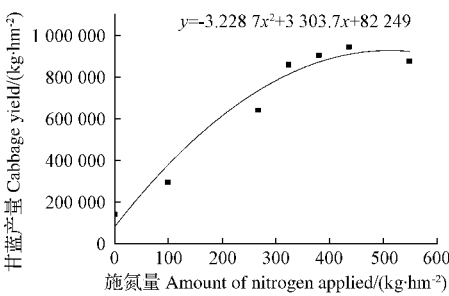


图 7 甘蓝产量与施氮量关系

Fig. 7 Relationship between cabbage yield and nitrogen

3 结论

该试验采用田间原位测定氨挥发的方法,测得甘蓝在不同施氮情景下不同施肥阶段的氨排放

特征,基肥和追肥阶段的排放峰值均出现在灌溉后的1~3 d,并且施基肥后土壤的氨排放持续时间明显比追肥阶段长。在基肥阶段,施肥后未立即进行灌溉,第5天受灌溉的影响后出现第一个高峰;追肥阶段,第一次灌溉后氨排放通量达到最高,第二次排放峰值受灌溉及温度的共同影响,出现在追肥后的第3天。

甘蓝整个生长周期内不同施氮情景各地块土壤氨的排放总量为7.789~39.324 kg·hm⁻²,并且随施氮量的增加而增加,各情景的氨累计排放率为5.62%~6.78%。适当施用氮肥可以提高甘蓝的产量,但是过度施用氮肥不仅不会增加甘蓝产量,还会增加氨挥发量。

参考文献

- [1] UTSUNOMIYA A, WAKAMATSU S. Temperature and humidity dependence on aerosol composition in the northern Kyushu Japan[J]. *Atmospheric Environment*, 1996, 30: 2379-2386.
- [2] 赵晴. 典型地区无机细粒子污染特征及成因研究[D]. 北京:清华大学, 2010.
- [3] 周杨. 华北地区气溶胶理化特性、来源解析及实验室模拟[D]. 济南:山东大学, 2012.
- [4] 彭应登, 杨明珍, 申立贤. 北京氨源排放及其对二次粒子生成的影响[J]. *环境科学*, 2000, 21(6): 101-103.
- [5] WU S Y, HUB J L, ZHANG Y, et al. Modeling atmospheric transport and fate of ammonia in North Carolina-Part II: Effect of ammonia emissions on fine particulate matter formation[J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42(12): 3437-3451.
- [6] 孙庆瑞, 王美蓉. 我国氨的排放量和时空分布[J]. *大气科学*, 1997, 21(5): 590-598.
- [7] 董文煊, 邢佳, 王书肖. 1994—2006年中国人为源大气氨排放时空分布[J]. *环境科学*, 2010, 31(7): 1457-1463.
- [8] 张灿, 周志恩, 翟崇治, 等. 重庆市主城区NH₃排放估算及分布特征分析[J]. *环境污染与防治*, 2013, 35(10): 65-70.
- [9] 尹沙沙, 郑君瑜, 张礼俊, 等. 珠江三角洲人为源氨排放清单及特征[J]. *环境科学*, 2010, 31(5): 1146-1151.
- [10] 国家统计局. 中国统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [11] ZHU J H, LI X L, CHRISTIE P, et al. Environmental implications of low nitrogen use efficiency in excessively fertilized hot pepper (*Capsicum frutescens* L.) cropping systems[J]. *Agric Ecosyst Environ*, 2005, 111: 70-80.
- [12] 李晓林, 张福锁, 米国华. 平衡施肥与可持续蔬菜生产[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000.
- [13] 王利民, 黄东风, 罗涛, 等. 不同施肥措施下菜地CO₂排放通量的变化特征[J]. *福建农业学报*, 2015, 30(4): 373-379.
- [14] ZHANG Y, DORE A J, MA L, et al. Agricultural ammonia emissions inventory and spatial distribution in the North China Plain[J]. *Environmental Pollution*, 2010, 158(2): 490-501.
- [15] KLIMONT Z. Current and future emissions of ammonia in China[C]. The 4th Workshop on the Transport of Air Pollutants in Asia. Luxembourg, Austria; International Institute for Applied Systems Analysis, 2001.
- [16] 杜连凤, 赵同科, 张成军, 等. 京郊地区3种典型农田系统硝酸盐污染现状调查[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(8): 2837-2843.
- [17] 李若楠, 张彦才, 黄绍文, 等. 氮肥施用对露地秋季大白菜产量和硝酸盐积累及氮素利用的影响[J]. *华北农学报*, 2010, 25(增刊): 220-225.
- [18] 熊正琴. 稻麦轮作农田中肥料氮去向的定量评价及环境后果[D]. 北京: 中国科学院, 2002.
- [19] 田玉华, 周伟, 尹斌. 田间原位测定氨挥发的装置及方法: 102207454A[P]. 2011-10-05.
- [20] 奚振邦, 施秀珠, 黄伟祥, 等. 应用微气象学方法测定尿素的氨挥发损失[J]. *上海农业学报*, 1987, 3(4): 47-56.
- [21] 王峰, 陈玉真, 吴志丹, 等. 酸性茶园土壤氨挥发及其影响因素研究[J]. *农业环境科学学报*, 2016, 35(4): 808-816.
- [22] 曹兵, 贺发云, 徐秋明, 等. 露地种植大白菜的氮肥效应与氮素损失研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(6): 1116-1122.
- [23] 李德军. 珠江三角洲森林和蔬菜地土壤一氧化氮排放[D]. 广州: 中国科学院, 2007.
- [24] 王新超, 马春雷, 杨亚军, 等. 茶树细胞周期蛋白依赖激酶(CsCDK)基因 cDNA 全长克隆与分析[J]. *园艺学报*, 2012, 39(2): 333-342.

Ammonia Emission From Outdoor Cabbage Soil in Beijing Area Based on Different Nitrogen Application Rate

MA Xiaoyan¹, WANG Junling², GUO Xiurui¹, HAN Yuhua²

(1. College of Environmental and Energy Engineering, Beijing University of Technology/Key Laboratory of Beijing on Regional Air Pollution Control, Beijing 100124; 2. Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing 100037)

可食性膜对贮藏期草莓的保鲜效果

周民生, 张光杰, 李俊平

(安阳工学院 生物与食品工程学院, 河南 安阳 455000)

摘要:以新鲜草莓为试材,通过单因素试验分析了可食用膜中大豆分离蛋白、甘油、山梨酸钾添加量对贮藏期草莓腐烂率和失重率的影响,在此基础上应用正交实验研究了可食用膜中各成分的最佳浓度组合,以期达到最优的保鲜效果,为探索新型采后处理技术提供参考依据。结果表明:常温贮藏 72 h 后,对照组腐烂率为 16.15%,失重率为 7.26%,而涂膜保鲜剂处理的草莓腐烂率和失重率分别降为 3.80%、1.39%,表明涂膜能有效延长草莓保鲜期。正交实验结果表明,当大豆分离蛋白、甘油和山梨酸钾质量分数分别为 5.0%、2.5% 和 1.0% 时,可食性保鲜膜的保鲜效果最佳。

关键词:大豆分离蛋白;草莓;保鲜;可食性膜

中图分类号:S 668.409⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0147-05

草莓鲜嫩多汁、郁香酸甜、风味独特,且具有清肺化痰、补虚补血、健胃降脂、润肠通便等功

第一作者简介:周民生(1975-),男,博士,讲师,研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail:minshengchow@sohu.com.

收稿日期:2017-03-03

效^[1],深受消费者钟爱,促使很多果农发展草莓种植业。但草莓成熟期短、季节性强,且果实缺乏坚硬的保护性外皮,采后极易碰伤腐烂变质^[2],采摘后常温下存放 1~2 d,草莓就会变色、失水萎缩、软化腐烂,以致失去商品价值^[3],从而导致一部分

Abstract: The soil of open cabbage was used as material, the characteristics of soil ammonia volatilization in different stages of cabbage were studied under its different nitrogen application scenarios in Beijing by the means of filed in site dertermination. The results showed that, ammonia volatilization in cabbage soil occurred mainly within 1—3 weeks after fertilization, the period of accumulated ammonia volatilization was 18 days in basal manure after fertilization and 7 days top-dressing. In the first 4 days after fertilization, the ammonia emission flux decreased gradually; after the planting and irrigation, the ammonia flux of each scenario increased significantly, the first emission peak appeared on the 5—6 days after application of base fertilizer. The peak flux of soil ammonia emission appeared in the first day the first top-dressing; the second top-dressing was influenced by irrigation and temperature, and the peak of ammonia emission flux appeared on the third day. Soil ammonia emissions total amounts of cabbage under its different nitrogen application scenarios was 7.789—39.324 kg · hm⁻². With the increase of nitrogen application rate, and ammonia cumulative discharge rate of 5.62%—6.78%. Appropriate application of nitrogen fertilizer could increase the yield of cabbage, but excessive application of nitrogen fertilizer would not only increase cabbage yield, but also increase ammonia volatilization.

Keywords: amount of nitrogen applied; outdoor cabbage; ammonia volatilization; ammonia emission flux