南京两种菜地土壤氨挥发的研究*

贺发云[1,2]　尹　斌[1]　金雪霞[1]　曹　兵[1,3]　蔡贵信[1]
(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京　210008;
2 中国科学院研究生院, 北京　100039; 3 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京　100089)

摘　要　在南京雨花区武警农场和栖霞区东阳科技站先后进行了秋季小青菜和秋冬季大白菜田间试验, 研究菜地土壤施用氮肥后的氨挥发及其影响因素, 氨挥发采用密闭室间歇密闭通气法测定。结果表明, 小青菜试验地的 pH 为 5.4, 施肥后土壤 pH 值也未高于 6.0, 故氨挥发损失低(< 0.4%); 而在 pH 为 7.7 的大白菜试验地上, 控释尿素、低氮和高氮 3 个处理 (施氮量分别为 N 180、300 和 600 kg hm^{-2}) 氨挥发率分别为 0.97%、12.1% 和 17.1%。以上结果表明, 土壤 pH 是影响菜地土壤氨挥发的主要因素, 降低氮肥用量能明显减少氨挥发, 而施用控释尿素是一种有效控制氨挥发损失的措施。大白菜不同施肥期的结果还表明, 施尿素后降雨通过降低表层土壤氮的浓度而影响氨挥发, 降雨离施肥期越近, 雨量越大, 氨挥发越小。

关键词　菜地; 氨挥发; 尿素; 控释尿素
中图分类号　S143.1　　文献标识码　A

随着我国农业种植结构的调整, 近年来蔬菜种植面积不断扩大, 2001 年蔬菜种植面积已占农作物总播种面积的 10.5%[1], 而且还有增加的趋势。张福锁等[2]的调查结果表明, 蔬菜上的施肥量尤其是氮肥用量远远高于粮食作物, 也大大高于蔬菜上的推荐施肥量。氮肥的过量施用, 不仅降低氮肥利用率, 增加农业成本, 而且损失的氮素对环境造成潜在危害。如何提高氮肥利用率、减少氮素损失对环境的影响, 已成为农业科学、环境科学、新肥料研制等研究领域的热点。有关氮素损失及其对环境影响的研究过去主要集中在水稻、小麦、玉米等土壤上[3], 而蔬菜地上的研究报道较少。

氨挥发是氮素损失的一条途径。土壤环境条件, 作物种类, 氮肥用量和施肥方法等众多因素对氨挥发都有不同程度的影响[4], 我国在一般粮田上进行了较多的研究。北方潮土上水稻、玉米和小麦施肥后的氨挥发率(氨氮占施氮量的百分数, 下同) 分别为 30%~39%、11%~48% 和 1%~20%, 表明氨挥发是水稻和玉米上肥料氮损失的一条重要途径; 结果还表明氮肥深施能显著降低氨挥发[5~7]。太湖地区水稻施用氮肥后的氨挥发也不低, 占各时期施氮量的 19%~39%[8]; 而镇江丘陵区稻田化肥氮的氨挥发损失率为 7%~21%[9,10]。国内在菜地上的氨挥发测定报道不多, 奚振邦等在甘蓝表施和混施尿素后测得的氨挥发率分别为 17% 和 11%[11]; 葛晓光等测得黄瓜施尿素后的氨挥发率为 18%[12]。不同菜地氨挥发的损失程度如何? 主要影响因素是什么? 哪些措施能减少氨挥发? 这些问题有待研究。为此, 我们在两块不同性质的土壤上对小青菜和大白菜施用氮肥后的氨挥发进行了观测, 并设置了减低氮肥用量和施用控释尿素的处理, 以期为菜地土壤的气态氮损失研究积累基本资料, 并为改进氮肥施用技术提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计与管理

小青菜田间试验于 2002 年布置在南京雨花区武警农场。供试作物品种为矮脚黄, 8 月 25 日播种, 9 月 18 日移栽, 10 月 17 日收获。试验设不施氮(对照 CK)、低氮(N 75 kg hm^{-2} LN) 和高氮(农民习惯施肥量, N 150 kg hm^{-2} HN) 3 个处理, 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积 43 m^2。氮肥为尿素, 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为氯化钾。各处理磷、钾肥用量相同, 用量以 P_2O_5 和 K_2O 计各 80 kg hm^{-2}。全部磷钾肥及氮肥用量的 60% 作为基肥撒施后耕翻入土。

* 国家自然科学基金项目(40171048) 资助
作者简介: 贺发云(1974~), 男, 在职硕士研究生, 研究方向为土壤肥力与植物营养。E-mail: hfy@issas.ac.cn
收稿日期: 2004-03-22; 收到修改稿日期: 2004-07-12

随后移栽小青菜, 株行距为 20 cm × 20 cm。余下的 40% 氮肥作为追肥于 9 月 28 日溶于水后浇施。

大白菜田间小区试验于 2003 年在南京栖霞区东阳科技站进行。供试作物品种为青杂三号, 8 月 15 日播种, 9 月 4 日移栽, 株行距为 40 cm × 50 cm, 12 月 6 日收获。试验设对照(CK)、控释尿素(BM)、低氮(LN)和高氮(HN, 农民习惯施肥量) 4 个处理, 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积为 25 m^2。施氮量依次为 0、180、300 和 600 kg hm^{-2}。低氮和高氮两处理均施用普通尿素, 按当地农民采用的 25%(基肥)、25%(莲座期)和 50%(结球初期)的比例施入。控释尿素全部作为基肥移栽时一次性施用[13], 该肥料是北京市农林科学院植物营养与资源研究所根据大白菜生长期需氮特点研制的一种专性控释氮肥。整地前各个处理施入等量的有机肥(腐熟猪粪, 30 t hm^{-2})、磷肥和钾肥(磷肥为过磷酸钙, 钾肥为氯化钾, 以 P_2O_5 和 K_2O 计各 150 kg hm^{-2})以及相应的氮肥, 肥料撒施后翻入土中, 耙平。追肥时尿素撒施后浇水(约 150 m^3 hm^{-2})。田间水分管理采用当地农民传统的浇灌方法, 通常在移栽当天及随后每隔3~ 4 d 浇水, 或视土壤干湿状况而定。

两个试验地的土壤类型均为下蜀黄土发育的马肝土, 其耕层土壤养分含量见表 1。

表 1 试验地土壤耕层养分含量

Table 1 Nutrient contents and pH of plowed soils (0~ 20 cm) in the two experiment sites

试验地点 Experimental site	有机质 O. M. (g kg^{-1})	全氮 Total N (g kg^{-1})	全磷 Total P (g kg^{-1})	全钾 Total K (g kg^{-1})	速效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	pH (H_2O)
雨花 Yuhua	22.6	1.53	0.85	22.3	45.9	115	5.38
栖霞 Qixia	25.3	1.52	2.75	22.9	48.0	135	7.69

1.2 取样与测定方法

土壤有机质、全 N、全 P、全 K、速效 P、速效 K 和 pH 用农化分析常规方法进行测定[14]。氨挥发采用密闭室间歇密闭通气法测定[15]。密闭室为直径 20 cm、高 15 cm 的无底圆筒。将密闭室嵌入土中, 使其露出地表 5 cm。每天上午 8:00~ 10:00 测定, 换气频率 15 次 min^{-1} 以上, 在洗气瓶中装 60 ml 20 g L^{-1} 硼酸液以吸收 NH_3, 并用标准硫酸滴定。以该 2 h的通量值作为每天氨挥发的平均通量(1)。施肥第二天开始测定, 直至施氮处理与对照的氨挥发通量无差异时停止测定。同时用特制采土器采集各小区表层(0~ 1 cm) 新鲜土, 保存于冰柜中, 解冻后测定其含水量、pH 和铵态氮含量。

2 结果与讨论

2.1 小青菜生长期的氨挥发

小青菜生长期各处理的氨挥发如表 2 所示。与对照相比不管在基肥期还是追肥期施用氮肥后的氨挥发都很少, 两个施氮处理的氨挥发均低于氮肥施用量的 0.4%。图 1 表明施用氮肥后显著地增加了 0~ 1 cm 表层土壤总铵态氮(NH_4^+ + NH_3)-N 的含量, 高氮处理其含量高达 N 141 mg kg^{-1}。施用尿素后表层土壤 pH 值也有升高趋势但幅度不大, 都在 0.5 个 pH 单位以下(图 2)。在整个测定期各处理表层土壤 pH 值变化在 5.3~ 6.0 之间。研究表明, pH 值是影响氨挥发的一个关键因素, 在 25℃条件下 pH 值为 6.0 时土壤液相中的 NH_3-N 的比例很低, 只占(NH_4^+ + NH_3)-N 的 0.06%[15], 氨挥发潜势很弱。因此, 尽管施氮肥后表层土壤的铵态氮浓度大幅度增高, 并且试验期间土壤含水量适宜、风速较大等都有利于氨挥发, 但因土壤 pH 值低而抑制了氨挥发。

表 2 小青菜试验各处理的氨挥发

Table 2 Ammonia volatilization from different treatments in the green cabbage experiment(N, kg hm^{-2})

处理 Treatment	基肥阶段 After basal application	追肥阶段 After top dressing	全生育期 Entire growing period	占施氮量的% % against applied N
对照 Control (CK)	1.02	0.35	1.37	—
低氮 Low nitrogen rate (LN)	1.11	0.51	1.62	0.33
高氮 High nitrogen rate (HN)	1.27	0.53	1.81	0.29

(1) 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. 中国科学院研究生院博士学位论文. 2002

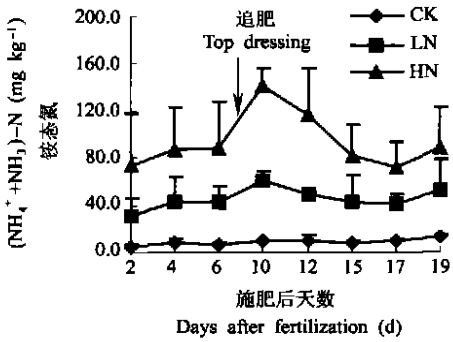

图 1　小青菜试验表层(0~ 1 cm) 土壤铵态氮含量动态变化

Fig. 1　Ammonium nitrogen concentration of 0~ 1 cm surface soil following application of urea in the green cabbage experiment

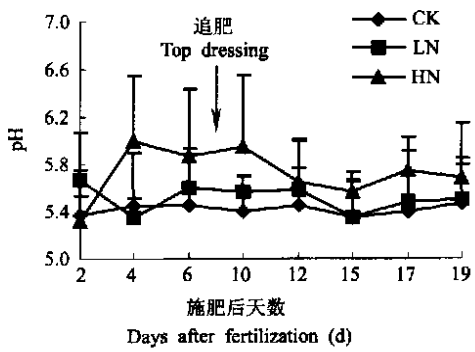

图 2　小青菜试验表层(0~ 1 cm) 土壤 pH 值动态变化

Fig. 2　Surface soil (0~ 1 cm) pH following application of urea in the green cabbage experiment

2.2　大白菜生长期的氨挥发

2.2.1　氨挥发过程　　大白菜施用基肥后未测出氨挥发。基肥采用撒施后翻混入土壤的方法, 使一部分尿素水解形成的铵离子被土壤吸附, 从而可在一定程度上减少氨挥发。奚振邦等的研究结果也表明, 混施尿素有利于减少甘蓝地上的氨挥发[11]。另一重要原因是施基肥当天晚上降了大雨, 尿素随雨水下渗, 使表层土壤氮的浓度降低。在随后的观测期间施氮处理 0~ 1 cm 表层土壤 NH_4^+-N 浓度接近于对照的水平, 分别变化在 2.2~ 7.7 和 3.2~ 3.7 mg kg^{-1}之间。NH_4^+-N 是氨挥发的源, 降雨大大降低了表层土壤 NH_4^+-N 的浓度而抑制了氮肥的氨挥发。

大白菜第 1 次追肥后高氮和低氮两处理均在施肥后第 1 天出现氨挥发的高峰(图 3a) , 氨挥发速率分别为 N 477 mg m^{-2} d^{-1}和 N 340 mg m^{-2} d^{-1}。由于施肥后第 2 天降雨, 低氮处理氨挥发速率迅速降为 N 49.4 mg m^{-2} d^{-1}, 高氮处理的氨挥发速率也从第 2 天开始下降, 至施肥后第 8 天接近对照水平。观测期间, 控释尿素和对照的氨挥发速率一直很小。

与第 1 次追肥相比, 第 2 次追肥后高氮和低氮两处理氨挥发的峰值更高, 其最高速率分别为 N 1 107 mg m^{-2} d^{-1}和 N 609 mg m^{-2} d^{-1}(图 3b) , 是第 1 次追肥后相应两处理峰值的 2.3 和 1.8 倍。氨挥发延续的时间也更长, 分别为 18 d 和 12 d, 而第 1 次追肥后分别只有 8 d 和 4 d。从图 3b 还可看出, 低氮处理在施肥后第 5 天又出现一个峰值(N 513 mg m^{-2} d^{-1}) , 这是由于施肥后第 4 天下午浇了水, 土壤水分含量从 15% 增至 19% 而促进了氨挥发。奚振邦等在上海郊区甘蓝地上的结果也表明, 灌溉后土壤水分增加而使氨挥发速率增加[11]。

2.2.2　表层(0~ 1 cm) 土壤 pH 的变化　　高氮和低氮处理追施尿素后, 0~ 1 cm 表层土壤 pH 值与对照相比均有不同程度的降低(图 4) , 对照表层土壤pH值则一直在8.0以上。在这种pH值较高的

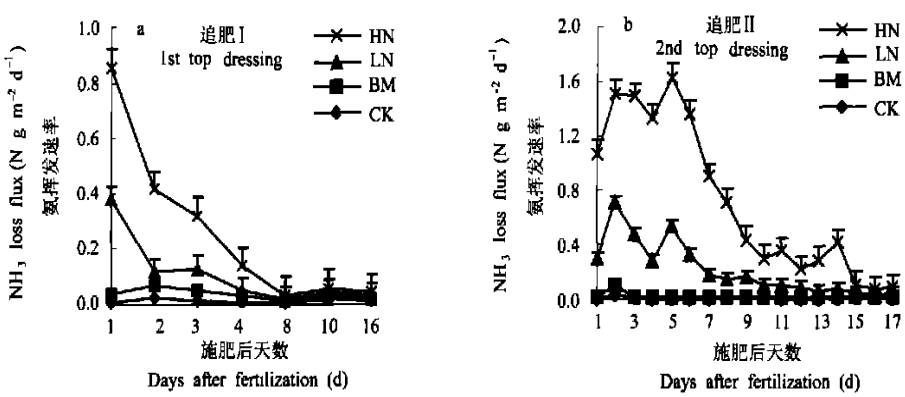

图 3　秋季大白菜追肥后氨挥发动态变化

Fig. 3　Patterns of ammonia volatilization following top dressing of urea to Chinese cabbage

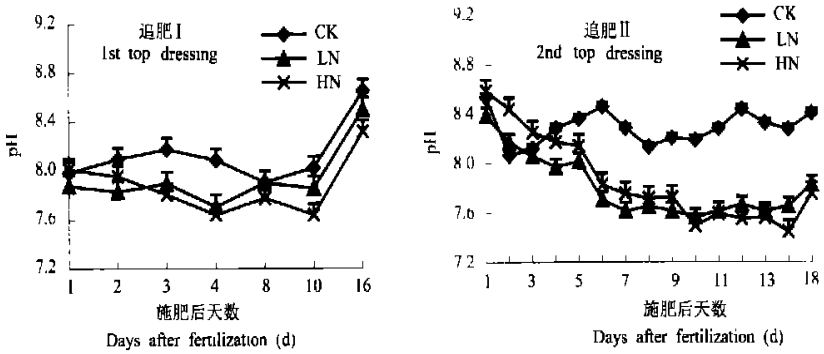

图4 大白菜追肥后表层(0~1 cm)土壤pH值动态变化

Fig. 4 Surface soil (0~1 cm) pH following top dressing of urea to Chinese cabbage

土壤上氨挥发和硝化作用都易于进行。许多研究结果表明,pH是影响氨挥发的重要因素,氨挥发随着土壤pH值的升高而增大[16]。氨挥发本身则是一个酸化过程,由于第2次追肥比第1次追肥后的氨挥发更高,其施氮两处理表层土壤pH值的下降也更为明显(最低值分别比对照下降了0.8和0.6个pH单位),直到施肥后第18天氨挥发结束表层土壤pH值才有所回升。另外,硝化作用也是一个酸化过程,尿素水解成铵态氮后随着进行的硝化作用,亦可能使土壤pH降低。

2.2.3 表层(0~1 cm)土壤铵态氮的变化 由图5看出,两次追肥后0~1 cm表层土壤铵态氮的浓度迅速增加,均在施肥后第1~3天期间达到高峰,意味着该土壤尿素水解速率比较快。表层土壤的铵态氮浓度是高氮处理高于低氮处理,第2次追肥高于第1次追肥(图5)。第1次追肥后高氮处理表层土壤铵态氮的峰值为N 171 mg kg^{-1},而第2次追肥后其峰值高达N 685 mg kg^{-1},是前者的4倍,而施氮量仅为前者的2倍。这主要是由于两次施肥后气象状况的差异所至,第1次追肥后第二天降雨,部分氮素随雨水下移使表层土壤铵态氮的浓度降低,而第2次追肥后天气一直晴朗。

对两次追肥后0~1 cm表层土壤铵态氮含量与氨挥发速率的相关性分析表明,第1次追肥高氮和低氮处理的氨挥发速率与表层(0~1 cm)土壤铵态氮含量的乘幂分别呈极显著正相关($Y=1.58X^{0.99}$, $r=0.89$, $n=7$)和显著正相关($Y=2.01X^{0.84}$, $r=0.79$, $n=7$)。第2次追肥高氮和低氮两处理的氨挥发速率与表层土壤铵态氮含量的乘幂均呈极显著正相关($Y=2.42X^{0.89}$, $r=0.66$和$Y=1.53X^{0.96}$, $r=0.89$, n均为15)。许多研究结果都表明,在没有限制因素存在的条件下,氨挥发速率随表层土壤铵态氮含量的增加而增大,两者间呈显著正相关。

2.2.4 氨挥发损失 大白菜施用基肥后没有氨

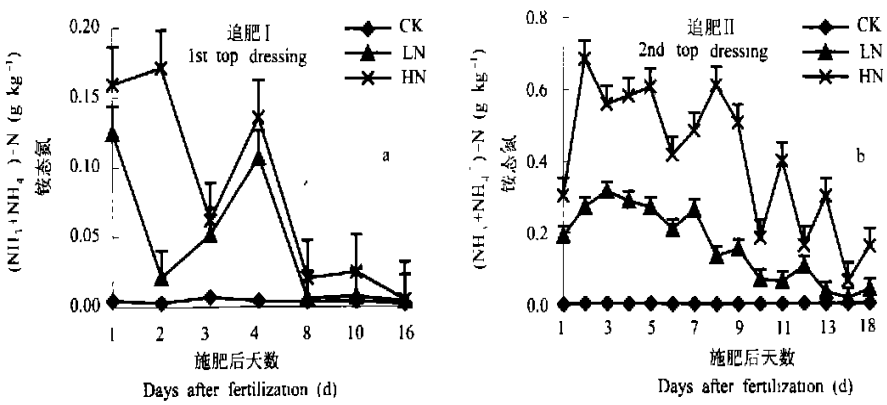

图5 大白菜追肥后0~1 cm表层土壤铵态氮含量动态变化

Fig. 5 Ammonium nitrogen concentration of 0~1 cm surface soil following top dressing of urea

挥发, 因此表 3 仅列出两次追肥后的氨挥发。3 个施氮处理的氨挥发按控释尿素< 低氮< 高氮的次序随着施氮量的增加而增加(表 3)。第 1 次追肥后 3 个施肥处理的氨挥发率为 0.52%、5.39% 和 7.7%, 第 2 次追肥后的氨挥发率为 0.45%、21.7% 和 30.3%。大白菜整个生长期间控释尿素、低氮和高氮 3 个处理的氨挥发累计量占氮肥总施用量的比率分别为 0.97%、12.1% 和 17.1%, 普通尿素的氨挥发率与在甘蓝和黄瓜上测得的结果相近[11,12]。以上结果表明, 施用控释尿素是一种能有效控制氨挥发损失的措施。本试验结果还显示低氮和高氮两处理的大白菜产量无显著差异(未发表数据), 表明减少氮肥用量既能维持产量又有利于减少氨挥发。

表 3　大白菜两次追肥后的氨挥发

Table 3　Ammonia volatilization following top dressing to Chinese cabbage

处理 Treatment	第一次追肥 1st top dressing				第二次追肥 2nd top dressing			
	施氮量 Fertilization rate ($kg\ hm^{-2}$)	最大速率 Maximum flux ($mg\ m^{-2}\ d^{-1}$)	累积量 Amount of loss ($kg\ hm^{-2}$)	损失率 % of applied N (%)	施氮量 Fertilization rate ($kg\ hm^{-2}$)	最大速率 Maximum flux ($mg\ m^{-2}\ d^{-1}$)	累积量 Amount of loss ($kg\ hm^{-2}$)	损失率 % of applied N (%)
对照 Control	0	27.3	1.92	—	0	33.9	1.68	—
控释尿素 Controlled release urea	180[1)]	42.8	2.85	0.52	180[1)]	69.2	2.48	0.45
低氮 Low nitrogen rate	75	340	5.95	5.39	150	609	34.2	21.7
高氮 High nitrogen rate	150	477	13.5	7.70	300	1107	92.4	30.3

1) 控释尿素移栽时一次性条施 Controlled release urea was totally applied as basal dressing

大白菜 3 个施肥时期的氨挥发率是基肥< 第 1 次追肥< 第 2 次追肥(表 3)。第 2 次追肥后的氨挥发很高, 而施用基肥后几乎没有氨挥发。如此不同的氨挥发主要是气象状况, 尤其是降雨时间和程度的差异所至。施用基肥当天晚上降大雨, 氮随雨水下渗使得表层土壤氮浓度降低。分析测定结果表明, 施氮处理表层土壤 NH_4^+-N 浓度在 2.2~ 7.7 mg kg^{-1}之间, 接近于不施氮肥的对照(3.2~ 3.7 mg kg^{-1}), 因此, 施基肥后没有氨挥发。第 1 次追肥后的 2~ 4 d 降了 3 次小雨, 表层土壤 NH_4^+-N 的浓度(图 5a) 比较高, 故有一定量的氨挥发。第 2 次追肥后天气一直晴朗, 土壤水分适宜(农民频繁浇水以保持土壤一定湿度), 表层土壤 NH_4^+-N 的浓度很高, 因此, 氨挥发高, 低氮和高氮两处理的损失率分别达 22% 和 30%。

施用尿素后随即降雨与施用尿素后随即灌溉一样, 如果雨量或灌溉量足够大, 尿素随水下移可起到氮肥深施的作用, 既减少氮素损失又能提高氮肥利用率, 生产上农民采取的"看天施肥"即下雨前施肥还可节约水资源和劳动力。这一技术对尿素很有效, 但并不适用于铵态氮肥如碳酸氢铵[5]。另一方面, 施肥几天后当大部分尿素已水解形成铵, 而土壤又比较干旱时, 少量的降雨或灌溉因使土壤水分增加而可促进氨挥发。因此, 视降雨的时期和大小或抑制或促进氨挥发, 而降雨本身则是一个抑制氨向上迁移和挥发的过程。玉米上的研究结果表明, 气象状况的差异使得在同一地区、同一种作物上采用同一种施肥方法的氨挥发表现出年度间、季节间的变化; 例如, 同样的玉米表施尿素处理, 1999 年表施尿素后随即降了雨比 1998 年表施尿素后几天内未降雨的氨挥发率低许多[17]。

3　结　论

土壤 pH 是影响菜地氨挥发的主要因素。小青菜试验地的 pH 为 5.4, 氨挥发率< 0.4%; 而在 pH 为 7.7 的大白菜试验地上, 农民常规施用尿素(N 600 kg hm^{-2}) 的氨挥发率为 17%。

施用控释尿素是一种能有效控制氨挥发损失的措施, 本试验中该处理氨挥发率只有 1%。适当减少氮肥用量既能维持产量又有利于减少氨挥发。

气象状况尤其是降雨的时间和雨量的差异是导

致大白菜试验地上3次施肥后的氨挥发不同的主要原因。施用尿素后随即降雨与随即灌溉一样,通过降低表层土壤氮的浓度而减少氨挥发。施尿素后降雨离施肥期越近,雨量越大,氨挥发越小。

参 考 文 献

[1] 中国农业年鉴编辑委员会编. 中国农业年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2002. Editorial Board of the China Agricultural Yearbook. ed. China Agricultural Yearbook (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 2002

[2] 张福锁, 巨晓棠. 对我国持续农业发展中氮肥管理与环境问题的几点认识. 土壤学报, 2002, 39(增刊): 41~55. Zhang F S, Ju X T. Discussion on nitrogen management and environment in agro-ecosystem of sustained development of agriculture (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(Suppl.): 41~55

[3] 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. Zhu Z L, Wen Q X. eds. Nitrogen in Soil of China (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992

[4] 蔡贵信, 朱兆良. 稻田中化肥氮的气态损失. 土壤学报, 1995, 32(增刊): 128~135. Cai G X, Zhu Z L. Evaluation of gaseous nitrogen losses from fertilizers applied to flooded rice fields in China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1995, 32(Suppl.): 128~135

[5] Cai G X, Chen D L, Ding H, *et al*. Nitrogen losses from fertilizers applied to maize, wheat and rice in the North China Plain. Nutrient Cycling in Agro-ecosystems, 2002, 63: 187~195

[6] Zhu Z L, Cai G X, Simpson J R, *et al*. Processes of nitrogen loss from fertilizers applied to flooded rice fields on a calcareous soil in north central China. Fert. Res., 1989, 18: 101~115

[7] Zhang S L, Cai G X, Wang X Z, *et al*. Losses of urea nitrogen applied to maize grown on acalcareous fluvo aquic soil in north China. Pedoshere, 1992, 2: 171~178

[8] 宋勇生, 范晓晖, 林德喜, 等. 太湖地区稻田氨挥发及影响因素的研究. 土壤学报, 2004, 41(2): 265~269. Song Y S, Fan X H, Lin D X, *et al*. Ammonia volatilization from paddy fields in the Taihu Lake region and its influencing factors (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(2): 265~269

[9] Tian G M, Cao J L, Cai Z C. Ammonia volatilization from winter wheat field top-dressed with urea. Pedosphere, 1998, 8(4): 331~336

[10] 田光明, 蔡祖聪, 曹金留, 等. 镇江丘陵区稻田化肥氮的氨挥发及其影响因素. 土壤学报, 2001, 3: 324~332. Tian G M, Cai Z C, Cao J L, *et al*. Ammonia volatilization from paddy field and its affecting factors in Zhenjiang hilly region (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2001, 3: 324~332

[11] 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. 上海农业学报, 1987, 3(4): 47~56. Xi Z B, Shi X Z, Huang W X, *et al*. Measuring urea loss from ammonia volatilization by a micrometeorological method (In Chinese). Acta Agriculture Shanghai, 1987, 3(4): 47~56

[12] 葛晓光, 王晓雪, 付亚文, 等. 长期定位施氮条件下菜田氮素循环的研究. 中国蔬菜, 1999(1): 13~17. Ge X G, Wang X X, Fu Y W, *et al*. Studies on nitrogen cycle under experiment of long term, fixed position nitrogen application in vegetable field (In Chinese). China Vegetables, 1999, (1): 13~17

[13] 符建荣. 控释氮肥对水稻的增产效应及提高肥料利用率的研究. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(2): 145~152. Fu J R. Effects of controlled release fertilizer on rice yield and N recovery (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7(2): 145~152

[14] 鲁如坤主编. 土壤和农业化学分析法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. ed. The Analytic Method of Soil and Agricultural Chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000

[15] 蔡贵信. 氨挥发. 见: 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. 171~194. Cai G X. Ammonia volatilization. *In:* Zhu Z L, Wen Q X. eds. Nitrogen in Soil of China (In Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1992. 171~196

[16] Cai G X, Fan X H, Zhu Z L. Gaseous loss of nitrogen from fertilizers applied to wheat on a calcareous soil in North China Plain. Pedosphere, 1998, 8: 45~52

[17] Cai G X, Chen D L, White R E, *et al*. Gaseous nitrogen losses from urea applied to maize on a calcareous fluvo-aquic soil in the North China Plain. Aust. J. Soil Res., 2002, 40: 737~748

AMMONIA VOLATILIZATION FROM UREA APPLIED TO TWO VEGETABLE FIELDS IN NANJING SUBURBS

He Fayun[1,2] Yin Bin[1] Jin Xuexia[1] Cao Bing[1,3] Cai Guixin[1]

(1 State Key laboratory of Soil and Sustainable Agricultural, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China)

(2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

(3 Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract Field experiments were conducted to investigate ammonia volatilization from urea applied to green cabbage (Xiao Qing Cai) in 2002 and Chinese cabbage in 2003 in the suburbs of Nanjing. Ammonia volatilization was measured with the enclosure method. Results obtained were as follows: ammonia volatilization was low (< 0.4%) after urea applied to the green cabbage due to the low pH value of the soil. In the Chinese cabbage field, of which the soil pH was 7.7, ammonia volatilization from the treatments of controlled release urea (N 180 kg hm^{-2}), low rate N (300 kg hm^{-2}) and high rate N (600 kg hm^{-2}) as urea was 0.97%, 12.1% and 17.1%, respectively, of the total N applied. The results show that soil pH is an important factor affecting ammonia volatilization, reducing N application rate can reduce ammonia loss, and the use of controlled release urea is an effective way to reduce ammonia loss. Results of the experiment on timing of N application to Chinese cabbage show that rainfall following application of urea greatly affects ammonia volatilization because rain water reduces N concentration in the surface soil. The heavier and the closer the rain following the application, the less ammonia lost through volatilization.

Key words Ammonia volatilization; Controlled release urea; Urea; Vegetable field