文章编号：1005-0906(2015)02-0124-06 DOI: 10.13597/j.cnki.maize.science.20150223

施氮模式对砂质潮土氨挥发、夏玉米产量及氮肥利用率的影响

谢迎新[1,2],刘 园[1,2,3],靳海洋[2,3],王晨阳[1,2],
朱云集[1,2],郭天财[1,2],贺德先[2,3]

(1. 河南农业大学/国家小麦工程技术研究中心,郑州 450002;2. 小麦玉米作物学国家重点实验室,郑州 450002;
3. 河南农业大学农学院,郑州 450002)

摘 要：采用连续多年田间小区定位试验,在氮肥施用量200 kg/hm²下,观测夏玉米季不同施氮模式对夏玉米季土壤氨挥发、子粒产量及氮肥利用率的影响。结果表明,夏玉米季不同施氮处理土壤氨挥发损失量不同,当地常规施氮处理损失量最高,改变氮肥基追比处理次之,控释复合肥处理损失量最低。与不施肥对照相比,各施氮模式处理均能提高夏玉米产量,控释复合肥、改变氮肥基追比处理较当地常规施氮处理分别增产9.89%和7.14%。不同施氮模式下夏玉米季氮肥利用率以控释复合肥利用率最高,改变氮肥基追比处理次之,常规施氮最低。综合考虑,控释复合肥、改变氮肥基追比均可作为砂质潮土区推广的适宜氮肥施用模式。

关键词：夏玉米;施氮模式;氨挥发

中图分类号：S513.062 **文献标识码**：A

Effects of Nitrogen Application Patterns on Ammonia Volatilization, Summer Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency in Sandy Loam Fluvo-aquic Soil

XIE Ying-xin[1,2], LIU Yuan[1,2,3], JIN Hai-yang[2,3], WANG Chen-yang[1,2],
ZHU Yun-ji[1,2], Guo Tian-cai[1,2], HE De-xian[2,3]

(1. *National Engineering Research Center for Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002;
2. *State Key Laboratory of Wheat and Maize Crop Science, Zhengzhou 450002;*
3. *College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou* 450002, China)

Abstract: Under the field experiment condition, the effects of different nitrogen application patterns on ammonia volatilization, yield of summer maize and nitrogen use efficiency were studied at the same amount of nitrogen(N) application with 200 kg/ha in summer maize season in each fertilizer treatment. There were four treatments including no fertilizer(CK), convention fertilizer(F1), changing basic fertilizer and topdressing regimes(F2) and controlled-release fertilizer(F3). The result showed that the amount of ammonia loss from summer maize field was different in all treatments, F1 was the highest, followed by F2, and F3 was the lowest. Compared to CK, each nitrogen application patterns treatment all can improve the yield of summer maize, of which F3 was best, followed by F2, compared with F1, the yield increased by 9.89% and 7.14%, respectively. In addition, the study also showed that the nitrogen use efficiency was different in all treatments, of which F3 was the highest, followed by F2, F1 was the lowest. In conclusion, F3 and F2 could be taken as nitrogen application patterns by spread and application for summer maize in the sandy loam fluvo-aquic soil region.

Key words: Summer maize; Nitrogen application pattern; Ammonia volatilization

收稿日期：2014-7-22

基金项目："十二五"科技支撑计划(2013BAD07B07,2011BAD16B07,2009CB118602)、土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放课题(0812201240)、农业部公益性行业科研专项(201203079, 201203031)

作者简介：谢迎新(1976-),男,河南西平人,博士,副研究员,主要从事植物营养与作物高产栽培生理研究。E-mail:xieyingxin@tom.com
贺德先为本文通讯作者。E-mail:hedexian@126.com

在人类的农业生产活动中,施肥起着举足轻重的作用。现代农业生产力的提高与肥料产业的发展进步对作物产量的影响很大。近几十年来促进粮食大幅度增产的诸因素中,化肥所起的作用占50%左右[1],21世纪化肥的作用还将持续增加[2],到2030年我国化肥需求总量约为6 600~7 000万t[3]。氮素是作物生长发育关键的矿质元素,是保证玉米产量提高的主导因子[4]。氮肥的大量施用有力地保障了粮食生产,合理利用氮肥资源是实现玉米高产、优质、高效的重要措施。

近年来生产上普遍存在不合理施用氮肥的现象[5~7]。我国是全球氮肥消耗量较大的国家之一,氮肥大量投入的同时,肥料利用率明显降低。目前,世界氮肥的平均利用率为40%~60%。大量研究表明,我国农田氮肥的利用率相对较低,大部分氮素以各种形式进入到大气或水环境中,不仅造成了资源的浪费,而且对环境产生了污染。其中,氨挥发是氮素损失的重要途径之一,全世界施入土壤的氮肥中1%~47%通过氨挥发进入大气[8]。近几十年来国内外有关田间土壤氨挥发的研究报道也很多,测定方法主要有密闭法、微气象法、风洞法[9~11]。微气象法和风洞法的准确性高,但要求较大的试验区域,多适用于大型生态区域的气体动态研究;通气法是在密闭法基础上设计改良的氨捕获装置,结构简单,操作简便易行,适用于田间小区试验原位测定[12],国内外的相关研究多[13~15]。旱地氨挥发试验相对较少,且多为研究方法或单一肥料运筹的相关研究,缺乏不同施氮模式下旱地氨挥发规律的研究与评估[16,17]。

氮肥利用率较低不仅造成资源的巨大浪费而且产生一系列的生态环境问题。缓释肥料能够根据作物的需肥规律释放养分,这样既能减少肥料损失、提高肥料利用率,又能达到增产的作用。另外,生产上优化氮肥的基追比能够提高玉米产量和氮肥利用率[18]。本试验通过对夏玉米季相同供氮水平下几种供氮模式(当地常规施氮、改变氮肥基追比、控释复合肥)土壤氨挥发状况、子粒产量及氮肥利用率的研究,为当前肥料的合理施用提供理论依据和技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验地概况和试验设计

采取连续多年定位试验,在河南省封丘县潘店乡段堤村进行。由于2009年6~9月试验田间氨挥发试验结果不理想,并且未监测玉米季成熟期植株、子粒样品氮素含量,无法计算氮素吸收效率和生理效率,因此,本文采用2010年玉米季研究结果。研究地区位于北纬34°01′,东经114°45′,东南两面毗邻黄河,处于黄淮海平原的中部,年均降雨量为610 mm左右,分布不均,主要集中在7、8和9月(图1)。年蒸发量平均为1860 mm左右,蒸发量远大于降雨量,属于典型暖温带半干旱型季风气候的灌溉农田区。前茬小麦,试验地为砂壤质潮土,肥力中等,0~30 cm耕层土壤养分状况,有机质9.59 g/kg,全氮0.63 g/kg,全磷1.65 g/kg,全钾18.13 g/kg,碱解氮34.29 mg/kg,速效磷6.78 mg/kg,速效钾41.48 mg/kg,pH值8.44。

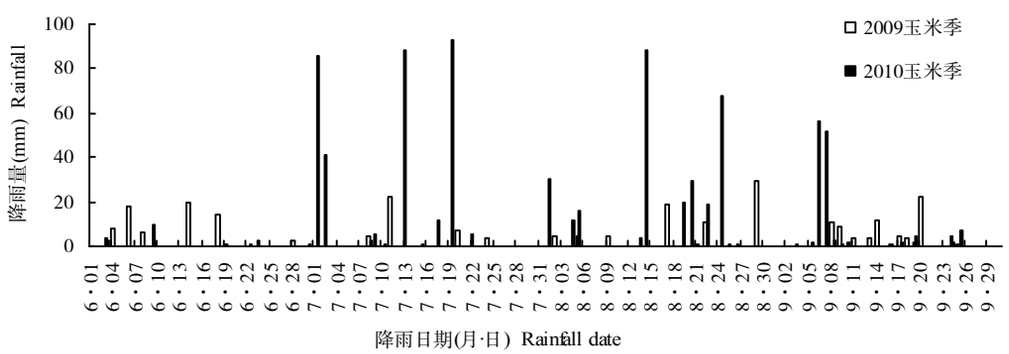

图1　两玉米季逐日降雨量

Fig.1　Daily rainfall during the two maize seasons

本试验各处理在相同施氮量(200 kg/hm^2)下设置当地常规施肥(F1,N-P_2O_5-K_2O=24-12-9,所有肥料全部拔节期开沟追施)、改变氮肥基追比(F2,N-P_2O_5-K_2O=24-12-9,氮肥按照拔节期和大喇叭口期3:7比例开沟追施,磷钾肥料全部拔节期施用)、玉米专用控释复合肥(F3,N-P_2O_5-K_2O=24-10-13,全部拔节期开沟追施)以及不施肥处理(CK)4个处理。小区面积43 m^2,重复3次。试验选用普通尿素(N 46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 44%)和硫酸钾(K_2O 50%)为供试氮、磷、钾肥料,选用国审玉米品种浚单20为供

试材料,其他田间管理同当地农田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 土壤氨挥发的测定方法

土壤氨挥发的测定参照王朝辉等介绍的田间原位通气法改进后进行,装置由聚氯乙烯硬质塑料管制成,内径20 cm,高20 cm(图2)。分别将两块厚度均为1.5 cm、直径为20 cm的海绵均匀浸入20 mL的磷酸甘油溶液(100 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15 cm,上层的海绵与管顶部相平。

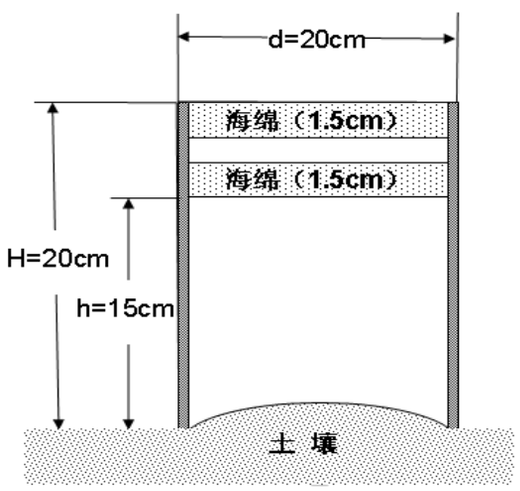

图2 田间氨挥发捕获器示意图

Fig.2 Sketch map of methods for measurement of ammonia volatilization

土壤挥发氨的捕获于施肥后的当天开始,在各小区的不同位置,分别放置2个通气法氨捕获装置,间隔24 h取样。取样时,将通气装置下层的海绵取出,迅速按小区号分别装入塑料袋中密封;同时换上另一块刚浸过磷酸甘油的海绵。上层的海绵视其干湿情况3~7 d更换1次。变动摆放位置后,将装置重新放好,开始下一次田间吸收。把取下的海绵带回试验室,置入盛有500 mL 1 mol/L氯化钾溶液的1 000 mL塑料瓶中振荡1 h,测定浸提液铵态氮含量。每次施肥后持续监测氨挥发状况,直到各施肥小区与不施肥小区氨挥发量相当为止(海绵通常为前7 d每24 h更换1次,以后间隔2~3 d更换1次)。每天记载试验当天的地温、气温、晴雨等天气状况,直至监测不到氨挥发为止。

氨挥发速率(NH_3-N)计算公式:NH_3-N=[M/(A·D)]/100,其中,M为通气法单个装置平均每次测的氨量(NH_3-N, mg);A为捕获装置的截面积(m^2);D为每次连续捕获的时间,试验中以1或3 d为1个测定循环的单位。

铵态氮浸提液置于-4℃低温冰箱保存,靛酚蓝比色法测定[19]铵态氮浓度。

1.2.2 产量及产量构成要素

于夏玉米成熟期每小区随机取10穗进行室内考种,并实收20 m^2计产。

1.2.3 氮肥利用率的计算

氮肥农学利用率(kg/kg)=(施氮处理子粒产量-无氮处理子粒产量)/施氮量;

氮肥偏生产力(kg/kg)=施氮区产量/施氮量;

氮肥吸收效率(kg/kg)=(施肥处理氮累积量-无氮处理氮累积)/施氮量;

氮肥生理利用率(kg/kg)=氮肥农学利用率/氮肥吸收效率。

1.2.4 数据分析

采用Excel 2003和DPS软件分析数据,采用Duncan新复极差法对数据进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 施氮模式对夏玉米田间氨挥发的影响

2.1.1 田间土壤氨挥发速率动态变化

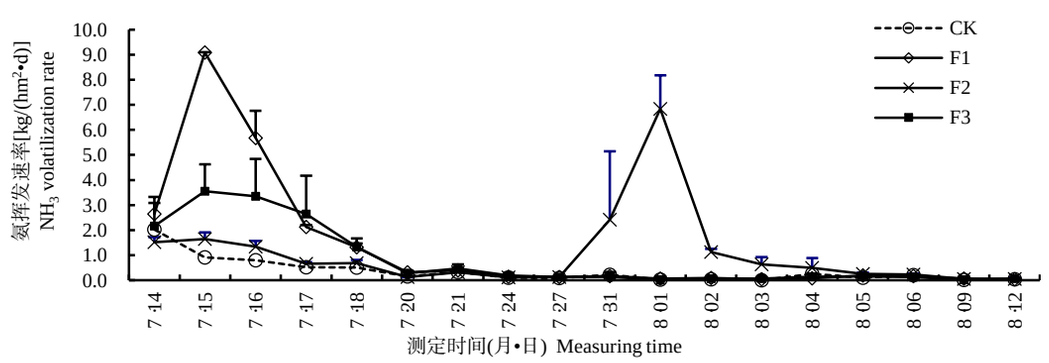

图3 不同施氮模式下田间土壤氨挥发速率

Fig.3 Ammonia volatilization rate from soil under different nitrogen application patterns

在玉米季拔节期(小喇叭口期)和大喇叭口期两个时期追肥后进行田间土壤氨挥发监测(图3),结果表明,在施氮肥后1~3 d氨挥发速率急剧升高,之后逐步下降,直至与不施肥对照处理氨挥发排放速率接近。

在拔节期,各处理追肥(7月13日施肥)后,常规施肥处理和控释复合肥处理氨挥发速率远高于其他处理,这主要是由于这两个处理在该时期一次性按照200 kg /hm^{2}氮肥供应量全部施入农田所致;在等量施氮条件下控释复合肥处理氨挥发速率要低于常规施肥处理,表明控释肥可以在某种程度上起到降低农田土壤氨挥发的作用。

在大喇叭口期,仅在改变氮肥基追比处理检测到氨挥发速率变化,其他处理间无明显差异,这主要是由于该期仅为改变氮肥基追比处理追施氮肥所致。改变氮肥基追比处理在施肥后(7月30日)第2天(8月1日)氨挥发速率达到高峰,达6.84±1.34 kg/(hm^2·d),之后迅速下降,第6天后降至与其他处理相近水平,该结果表明,增加氮肥施用次数虽然能够满足夏玉米不同生育时期对氮素养分的需求,但也为增加农田土壤氨挥发提供了可能。

2.1.2　田间土壤氨挥发损失量

从表1可以看出,在夏玉米整个生育期间,各施肥处理氨挥发总量以当地常规施肥处理(F1)最高;其次为改变氮肥基追比处理;控释复合肥处理最低,挥发量分别达23.8±3.1、19.5±6.4和16.0±6.4 kg/hm^2,占施氮量比例分别为11.9%、9.7%和8.0%。试验结果表明,控释肥处理和改变氮肥基追比处理均可起到降低农田土壤氨挥发的作用,且以控释肥处理效果最好。

表1　夏玉米季农田土壤氨挥发量

Table 1　The amount of ammonia loss from field soil during summer maize season

处 理 Treatment	氨挥发总量 (kg/ hm^2) Amount of ammonia loss	氨挥发占施氮百分比例(%) The proportion of ammonia loss accounting for N application
CK	7.0±2.0 c　C	--
F1	23.8±3.1 a　A	11.9±1.5 a
F2	19.5±6.4 ab A	9.7±3.2 a
F3	16.0±6.4 b　B	8.0±3.2 a

注:同列不同小写字母表示差异达5%显著水平;不同大写字母表示差异达1%显著水平。下表同。

Note: Different normal and capital letters in same column indicate significant at P=5% and P=1%, respectively. The same below.

2.2　施氮模式对夏玉米产量及构成要素的影响

由表2可以看出,3种施氮模式均能增加夏玉米子粒产量,并以F3处理产量最高,F2处理次之,且F3和F2处理分别与CK、F1处理间差异达极显著水平。与对照相比,F3和F2处理夏玉米子粒产量增产率分别达101.6%和96.5%,较当地常规施肥处理(F1)分别增产9.89%和7.14%。

表2　不同施氮模式下夏玉米产量及构成要素

Table 2　Summer maize yield and its components under nitrogen application patterns

处 理 Treatment	穗数(穗/ hm^2) Spikes	穗粒数(粒) Grains per ear	百粒重(g /100粒) 100-seed weight	产量(kg/hm^2) Drying grain yield	增产率(%) Yield increasing rate	
CK	63 953 ab A	373 c C	24.07 c B	4 064 c C	--	--
F1	66 977 a　A	522 b B	26.90 b A	7 454 b B	83.4	--
F2	64 638 ab A	566 a A	27.00 a A	7 986 a A	96.5	7.14
F3	61 965 b　A	571 a A	28.13 a A	8 191 a A	101.6	9.89

通过对夏玉米产量构成要素分析发现,控释复合肥处理和改变氮肥基追比处理主要是由于提高了夏玉米的穗粒数和百粒重,进而提高了夏玉米子粒产量,但并不能提高夏玉米穗数。试验结果表明,在相同施氮量条件下,控释复合肥和改变基追比处理均能起到提高夏玉米子粒产量的效果,且以控释复合肥增产效果相对较好,可作为研究区域重点推荐的施肥模式之一。

2.3　施氮模式对夏玉米氮肥利用率的影响

由表3可以看出,在氮肥吸收效率方面,各施肥处理与产量结果规律一致,并以F3处理最高,达0.64 kg/kg,其次为F2处理;在氮肥农学利用率和氮

肥偏生产力方面，也以F3处理最高，F2处理次之，F1处理最低；对于氮肥生理利用率，F2处理较高，其次为F3处理，F1处理最低。

试验结果表明，与当地常规习惯施肥处理(F1)比较，改变氮肥基追比处理(F2)和控释复合肥处理(F3)均能提高氮肥吸收率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力，并以控释肥效果较好，差异达显著水平；改变氮肥基追比处理次之，这与夏玉米产量增加结果和农田土壤氨挥发减少结果变化趋势基本一致。此外，研究还表明，根据作物生长和需肥特性进行的分期追施氮处理也可明显提高夏玉米季的氮肥生理利用率。

表3 不同施氮模式下氮素利用率

Table 3 Nitrogen use efficiency under different nitrogen application patterns kg/kg

处 理 Treatment	氮肥吸收效率 N absorption efficiency	氮肥农学利用效率 N agronomy efficiency	氮肥偏生产力 N partial factor productivity	氮肥生理利用率 N physiology efficiency
F1	0.52 ±0.01 b	16.95 ±0.38 b	37.27 ±0.56 b	32.61 ±0.50 a
F2	0.57 ±0.01 ab	19.61 ±1.20 a	39.93 ±0.99 a	34.23 ±1.47 a
F3	0.64 ±0.03 a	20.64 ±0.23 a	40.96 ±0.01 a	32.64 ±1.30 a

3 结论与讨论

常规施氮水平下，本试验中当地常规施氮处理农田氨挥发损失量最高，氮素利用率最低，而控释复合肥处理和改变氮肥基追比处理则能明显降低农田土壤氨挥发损失，进而提高氮肥利用率。此外，本研究还表明，与当地常规施肥和控释复合肥处理一次性施肥比较，改变氮肥基追比处理虽然多施1次氮肥，增加了农田土壤氨挥发损失的可能，但同时也满足了夏玉米关键生育期对氮素营养的需求，最终该处理氨挥发损失并不最高，而以拔节期一次性传统施肥处理氨挥发损失最高。此外，在本试验中观测到，农田氨挥发损失量及氮素氨挥发损失率较他人研究结果偏低，原因可能是本试验采用开沟条施的肥料施用方式能够有效降低农田氨挥发损失，进而可促进玉米根系的营养吸收，提高氮素利用效率。

王宜伦等[20]研究认为，氮肥后移可提高夏玉米植株氮积累量和氮肥利用率，促进夏玉米子粒灌浆，增加百粒重和产量。李宗新等[21]研究认为，施用控释肥有助于夏玉米干物质积累和延缓植株后期的衰老，提高夏玉米的穗粒数、容重和百粒重。农民习惯在小喇叭口期施肥，不能满足夏玉米生长前期的养分需求，影响了夏玉米前期的生长发育，可能是产量不高的主要原因[22]。本试验研究表明，几种施氮模式均较对照处理能提高夏玉米子粒产量，且控释复合肥和改变氮肥基追比处理夏玉米子粒产量与对照处理(不施肥和常规施肥)间差异均达极显著水平，较常规施氮模式分别增产9.89%和7.14%。本试验还表明，改变氮肥基追比处理和控释复合肥处理均较当地常规施肥处理能提高氮肥吸收率、氮肥农学效率和氮肥偏生产力，并以控释肥效果较好。

在本试验玉米季200 kg/hm^{2}供氮水平下，采用控释复合肥或分期追肥的氮肥供应模式均能降低农田土壤氨挥发损失，进而起到提高氮肥利用率，提高夏玉米子粒产量的作用，适宜于研究区域砂壤质潮土区夏玉米季推广和应用。

参考文献：

[1] 李庆逵，朱兆良，于天仁．中国农业持续发展中的肥料问题[M]．南昌：江西科学技术出版社，1998．

[2] 孙昌禹，贾永国，王淑芬．氮肥施用对生态系统的影响及措施的研究[J]．河北农业科学，2009，13(3)：60-63．
Sun C Y, Jia Y G, Wang S F. Effects of nitrogen fertilization on ecosystem and countermeasures of improving the nitrogen use efficiency [J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2009, 13(3): 60-63. (in Chinese)

[3] 李家康，林 葆，梁国庆，等．对我国化肥使用前景的剖析[J]．植物营养与肥料学报，2001，7(1)：1-10．
Li J K, Lin B, Liang G Q, et al. Prospect of consumption of chemical fertilizer in China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2001, 7 (1): 1-10.(in Chinese)

[4] 陆景陵．植物营养学[M]．北京：中国农业大学出版社，2003．

[5] 张维理，田哲旭，张 宁，等．我国北方农用氮肥造成地下水硝酸盐污染的调查[J]．植物营养与肥料学报，1995，1(2)：82-89．
Zhang W L, Tian Z X, Zhang N, et al. Investigation of nitrate pollution in ground water due to nitrogen fertilization in agriculture in North China[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1995, 1(2): 82-89. (in Chinese)

[6] 杨新泉，冯 锋，宋长青，等．主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J]．植物营养与肥料学报，2003，9(3)：373-376．
Yang X Q, Feng F, Song C Q, et al. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 373-376. (in Chinese)

[7] 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)：1493-1499．

Ju X T, Liu X J, Zhou G Y, et al. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2002, 35(12): 1493-1499. (in Chinese)

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

[9] 王朝辉,刘学军,巨晓棠,等. 北方冬小麦/夏玉米轮作体系土壤氨挥发的原位测定[J]. 生态学报,2002,22(3):359-365.
Wang Z H, Liu X J, Ju X T, et al. In situ determination of ammonia volatization from wheat-maize rotation system field in North China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2002, 22(3): 359-365. (in Chinese)

[10] Kisse D E, Brewer H L, Arkin G F. Design and test of a field sampler for ammonia volatilization[J]. Soil Science Society of America Journal, 1977, 41(6): 1133-1138.

[11] 黄彬香,苏　芳,丁新泉,等. 田间土壤氨挥发的原位测定——风洞法[J]. 土壤,2006,38(6):712-716.
Huang B X, Su F, Ding X Q, et al. German wind-tunnel system for measuring ammonia volatilization from agricultural soil[J]. Soils, 2006, 38(6): 712-716. (in Chinese)

[12] 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.
Dong W X, Hu C S, Zhang Y M. In situ determination of ammonia volatilization in field of North China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2006, 14(3): 46-48. (in Chinese)

[13] 苏成国,尹　斌,朱兆良,等. 稻田氮肥的氨挥发损失与稻季大气氮的湿沉降[J]. 应用生态学报,2003,14(11):1884-1888.
Su C G, Yin B, Zhu Z L, et al. Ammonia volatilization loss of nitrogen fertilizer from rice field and wet deposition of atmosphere nitrogen in rice growing season[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(11): 1884-1888. (in Chinese)

[14] 李菊梅,徐明岗,秦道珠,等. 有机肥无机肥配施对稻田氨挥发和水稻产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(1):51-56.
Li J M, Xu M G, Qin D Z, et al. Effects of chemical fertilizers application combined with manure on ammonia volatilization and rice yield in red paddy soil[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1): 51-56. (in Chinese)

[15] Xu J G, Heeraman D A, Wang Y. Fertilizer and temperature effects on urea hydrolysis in undisturbed soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 1993, 16(1): 63-65.

[16] 苏　芳,丁新泉,高志岭,等. 华北平原冬小麦-夏玉米轮作体系氮肥的氨挥发[J]. 中国环境科学,2007,27(3):409-413.
Su F, Ding X Q, Gao Z L, et al. Ammonia volatilization from nitrogen fertilization of winter wheat-summer maize rotation system in the North China Plain[J]. China Environmental Science, 2007, 27 (3): 409-413. (in Chinese)

[17] 赵　斌,董树亭,王空军,等. 控释肥对夏玉米产量及田间氨挥发和氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(11):2678-2684.
Zhao B, Dong S T, Wang K J, et al. Effects of controlled-release fertilizers on summer maize grain yield,field ammonia volatilization, and fertilizer nitrogen use efficiency[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(11): 2678-2684. (in Chinese)

[18] 李丙奇,孙克刚,和爱玲,等. 潮土区氮肥不同基追比和种类对玉米产量和氮肥利用率的影响[J]. 河南农业科学,2009(10):83-85,124.
Li B Q, Sun K G, He A L, et al. Effects of different ratio of base N to dressed N and type of nitrogen fertilizer on maize yield and nitrogen use efficiency in fluvio-aquic soil region[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2009(10): 83-85, 124. (in Chinese)

[19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,2000.

[20] 王宜伦,张　许,李文菊,等. 氮肥后移对晚收夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 玉米科学,2011,19(1):117-120.
Wang Y L, Zhang X, Li W J, et al. Effects of postponing N application on yield and N absorption and utilization of summer maize in later harvest time[J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 117-120. (in Chinese)

[21] 李宗新,王庆成,刘　霞,等. 控释肥对夏玉米的应用效应研究[J]. 玉米科学,2007,15(6):89-92,96.
Li Z X, Wang Q C, Liu X, et al. Studies of applying effect of controlled-release fertilizer on summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(6): 89-92, 96. (in Chinese)

[22] 王宜伦,刘　举,苏瑞光,等. 砂壤质潮土夏玉米适宜的化肥种类研究[J]. 玉米科学,2014,22(3):121-125.
Wang Y L, Liu J, Su R G, et al. Appropriate fertilizer variety for summer maize in sandy loam fluvo-aquic soil[J]. Journal of Maize Sciences, 2014, 22(3): 121-125. (in Chinese)

(责任编辑:高　阳)