

我国北方夏玉米田间土壤氨挥发特性分析

张盼盼^{1,2,3,4}, 雷娜^{1,2,3,4}

¹陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

²陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年7月5日; 录用日期: 2022年8月4日; 发布日期: 2022年8月11日

摘要

夏玉米是我国北方地区主要粮食作物, 对我国北方地区粮食安全和农民创收有着重要意义。由于我国北方地区气候干旱, 风速大, 自然条件相对较差, 农田氮肥施用量大但利用率较低, 氨挥发造成了严重的环境污染。该研究对2000年到2020年的夏玉米氨挥发文献进行分析总结, 采用回归方程等方法分析了不同施肥量和施肥时期对夏玉米氨挥发的影响。结果发现, 夏玉米氨挥发总量、净氨挥发量, 基肥期和追肥期氨挥发量与施肥量都呈现二次函数关系, 随着施肥量的增加而增加, 且在追肥期氨挥发量高于基肥期。控制夏玉米的氨挥发, 应考虑降低氮肥的使用, 尤其是控制追肥期的氮肥用量。

关键词

夏玉米, 氨挥发, 通气法, 施肥时期, 施肥量

Analysis on Soil Ammonia Volatilization Characteristics of Summer Maize in Northern China

Panpan Zhang^{1,2,3,4}, Na Lei^{1,2,3,4}

¹Institute of Land Engineering & Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

Received: Jul. 5th, 2022; accepted: Aug. 4th, 2022; published: Aug. 11th, 2022

Abstract

Summer maize is the main grain crop in northern China, which is of great significance to food security and farmers' income generation. Due to the arid climate, high wind speed and relatively poor natural conditions in northern China, the application amount of nitrogen fertilizer in farmland is large but the utilization rate is low, and ammonia volatilization causes serious environmental pollution. This study analyzed and summarized the literature on ammonia volatilization of summer maize from 2000 to 2020, and analyzed the influence of different fertilizer application amount and fertilization period on ammonia volatilization of summer maize by means of regression equation. The results showed that the total amount of ammonia volatilization, the amount of net ammonia volatilization, the amount of ammonia volatilization and the amount of fertilizer applied in summer maize showed a quadratic function and increased with the increase of the amount of fertilization applied, and in the topdressing period, the amount of ammonia volatilization is higher than that in base dressing period. To control the ammonia volatilization of summer maize, the use of nitrogen fertilizer should be reduced, especially the amount of nitrogen fertilizer in topdressing period.

Keywords

Summer Maize, Ammonia Volatilization, Ventilation Method, Fertilization Period, Fertilizer Rate

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

氮素是植物生长发育过程中必不可少的元素之一[1], 我国农田生态系统的主要氮素来源是合成氮肥[2]。总体上, 我国氮肥的施用呈现用量高、利用效率低的特点。上世纪 90 年代以来, 随着经济水平的提高和人口的增多, 我国氮肥施用量由 1990 年的 1638.50 万吨增加到 2018 年的 2065.43 万吨, 增幅为 26%, 是全球氮素高投入国家之一[3]。随着科技水平的提高, 氮素的利用效率得到了提升, 其中单位面积的用氮量由 1990 年的 765.60 kg/hm² 降低至 2018 年的 490.25 kg/hm²。虽然单位面积用氮的强度在降低, 但是利用效率仍然不高。相对于发达国家 60%~80% 的氮肥利用效率, 我国的利用率仅为 30% 左右[4]。我国 2018 年主要农作物播种面积为 165902.38 千公顷, 玉米播种面积就高达 42130.05 千公顷, 氮肥的节约利用潜力巨大。

氮肥的使用在很大程度上促进了我国粮食增产, 在保障我国粮食安全上发挥了重要作用, 但氮肥的低利用率不仅造成了物质能源的浪费, 而且影响了农业生态环境安全。李燕青[2]认为在有利于氨挥发的条件下, 氨的挥发损失率可高达施氮总量的 40%~50%, 氨挥发是氮损失的主要途径。合成氮肥未被植物根系吸收利用的部分通过溶解入渗、氨挥发等途径进入到环境中[5], 其中氨挥发是氮肥气态损失的重要途径[6], 损失率达到了施肥量的 20% 以上。大气中的氨可随着降水重新返回地面, 但大部分进入到了河流、湖泊、海洋、森林中, 导致这些区域氮素含量不断升高、富营养化现象出现, 进而导致植物种类的灭绝或更替[7]。氨挥发也造成了大气污染, 为雾霾的形成尽了一份力[8]。氨挥发与气温、土壤酸碱度、施肥时期、施肥模式等因素息息相关。气温越高, 土壤酶活性越强, 尿素的水解速度就越快, 氨挥发量就越大[9]。土壤温度的升高也降低了氨在水溶液中的溶解程度, 促进其在大气中的扩散, 也就是说氨挥

发损失主要发生在温度较高的夏季——夏玉米生长期。杨清龙[7]等针对玉米保护性耕作、施用缓控释肥、秸秆还田配施化肥条件下的氨挥发损失进行了大量研究。我国北方地区耕地占到了全国耕地面积的 60% 以上, 土壤以中性、微碱性为主, 同时还广泛分布着石灰性碱性土壤, 为氨挥发提供了便利条件[10]。针对氨挥发总结性论文很少, 本文通过知网文献搜索了 2000 年至今我国北方地区夏玉米氨挥发的田间试验, 对涉及到的数据进行搜集、整理、处理和分析, 研究化肥施用量和夏玉米生长发育过程中氨挥发的总量, 旨在为我国北方地区夏玉米氮肥的合理施用和减少氮素的损失提供科学的理论依据。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据收集

本研究数据来源于 CNKI 数据库, 文献主要来源于中文核心期刊的期刊文献和博硕士学位论文, 通过检索 20 年的有关夏玉米的氨挥发文献, 以“夏玉米”、“氨挥发”为主题词进行搜索, 从中筛选、整理并提取本研究需要的数据, 本研究筛选的文献应满足以下条件: ① 种植作物为夏玉米; ② 实验发生于我国北方地区; ③ 田间试验所用氮肥为化学合成氮肥, 排除农家肥、秸秆还田等其他类型肥料; ④ 选取常规处理的数据, 排除不同灌溉模式、肥料深施等措施; ⑤ 长期以来, 对我国北方地区氨挥发研究不少, 大量文献表明, 采用不干扰自然气象条件的微气象学法和风洞法较少, 大部分采用的是较为简便的通气法, 故本次只考虑通气法, 其他方法暂不考虑; ⑥ 实验重复 3 次以上。本次共搜集和使用文献 26 篇, 氨挥发观测数据共计 60 个。

2.2. 研究区域

本次主要研究我国北方, 文献中涉及的区域主要包括山东、河北、陕西、甘肃、河南、山西等省区, 这些区域夏玉米的产量约占全国玉米产量的 50% 左右[11], 这些区域地处大陆性季风气候区和暖温带季风气候区, 年平均气温、日照情况、降水量以及种植制度等方面差异较小, 这些地区土壤类型主要有棕壤、褐土、潮土、风沙土等系列[12], 耕性条件较为相近, 且矿物质养分较为丰富, 所以这些区域的夏玉米氨挥发情况相比而言较为一致[13]。

2.3. 数据分析

提取相关文献中不施肥氨挥发量, 施肥量及氨挥发量、净氨挥发量, 基追肥施肥量及氨挥发量, 并利用 Excel 进行拟合、统计分析。在处理数据过程中, 若文献中缺失未施化肥氨挥发的数据, 则采取先计算其他文献中未施肥处理的氨挥发平均值, 高于平均值的 4 倍或者低于平均值的 1/4 的数据要进行剔除处理, 然后再算均值, 作为未施化肥的土壤氨挥发值[14]。

3. 结果与分析

3.1. 不同施肥量对氨挥发的影响

我国北方地区不施肥处理的氨挥发量在 0.13~11.00 kg/hm², 平均值为 4.05 kg/hm², 农习化肥施用量为 270 kg/hm² 左右, 实验常规施用量在 20~360 kg/hm², 平均值 207.35 kg/hm², 平均氨挥发总量为 18.42 kg/hm², 图 1 是夏玉米氨挥发总量和施肥量的关系, 从图中可以清晰地看出, 随着化肥施用量的增加, 氨挥发量也在逐渐增加, 而且夏玉米整个生育期内的氨挥发总量与化肥施用量呈现出二次型函数关系。

北方地区大多为小麦-玉米轮作种植模式, 小麦生育期内施用化肥可能会对夏玉米氨挥发有一定的影响, 本次利用夏玉米净氨挥发量作为由化肥引起的氨挥发量, 即从施氮肥处理的氨挥发量中扣除土壤不施用氮肥处理的氨挥发, 对于缺失未施化肥的氨挥发数据的, 按扣除平均值处理。常规实验施肥的净氨

挥发量在 2.15~36.85 kg/hm², 平均值为 11.29 kg/hm², 平均占到化肥施用量的 5.5%左右, 图 2 是夏玉米净氨挥发量和施肥量的关系, 从图中也可以看出, 随着化肥施用量的增加, 净氨挥发量也在逐渐增加, 且二者呈现出二次型函数关系, 与夏玉米氨挥发总量和施肥量的关系基本一致。

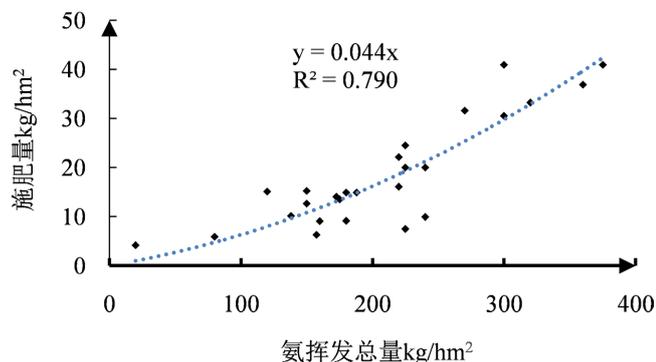


Figure 1. The relationship between total ammonia volatilization amount and fertilizer application amount of summer maize

图 1. 夏玉米氨挥发总量和施肥量的关系

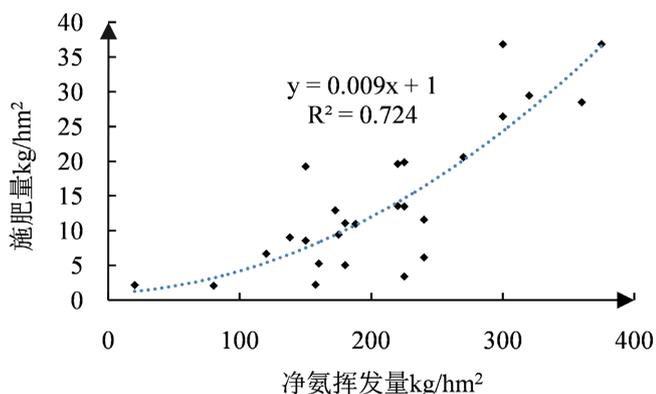


Figure 2. The relationship between net ammonia volatilization and fertilizer application of summer maize

图 2. 夏玉米净氨挥发量和施肥量的关系

3.2. 不同施肥时期对氨挥发的影响

氨挥发呈现出先增后减的趋势, 随着时间的推移, 伴随着一定幅度的波动, 这些可能与施肥方式或者肥料种类有很大的关系[15]。一般情况下, 基肥期氨挥发周期为 14 天左右, 呈现双峰波动, 在 1~4 天出现一个峰值, 10~14 天出现一个峰值; 追肥期氨挥发量持续增高, 一般在 6 天左右趋势变缓, 追肥期氨挥发强烈, 持续时间也较长[16]。基肥和追肥期比较, 田间土壤氨挥发有明显的差异, 基肥期氨挥发平均占到施肥量的 4.25%, 追肥期氨挥发占到 6.75%。氨挥发在一天 24 小时中午(12:00~14:00)时段挥发速率最高, 在凌晨(0:00~2:00)时段挥发速率最低[17]。夏玉米生产过程中, 基肥追肥比例一般为 1:1, 常规施肥量在 0~300 kg/hm²。图 3、图 4 分别是夏玉米基肥期和追肥期氨挥发量和施肥量的关系, 由图可知, 随着施肥量的增加, 氨挥发量呈线性增加趋势, 基肥期、追肥期与施肥量均呈现出二次型函数关系, 与夏玉米氨挥发总量、净氨挥发量和施肥量的关系基本一致。

图 5 是夏玉米基肥期和追肥期氨挥发量对比图。对 26 对夏玉米基肥追肥期的文献样本进行分析, 可

以发现夏玉米在追肥期氨挥发的平均值高于基肥期氨挥发的平均值, 其中追肥期平均值为 13.81 kg/hm², 占到了氨挥发总量的 75%左右, 基肥期平均值为 6.42 kg/hm², 基肥期占到 35%左右。

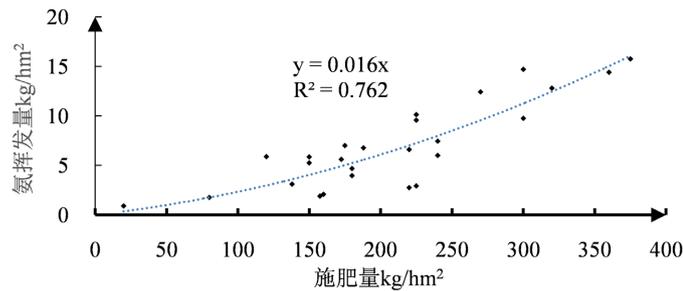


Figure 3. The relationship between ammonia volatilization and fertilizer application in summer maize basal fertilizer stage

图 3. 夏玉米基肥期氨挥发量和施肥量的关系

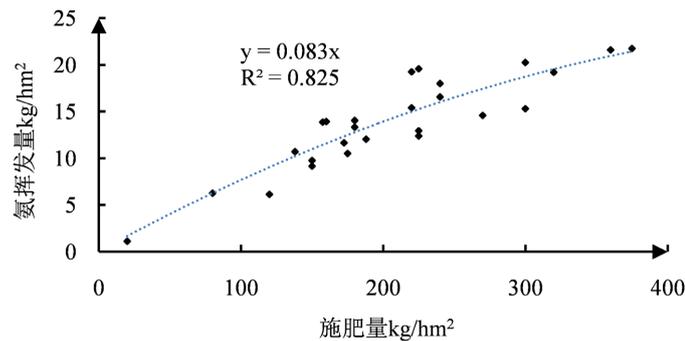


Figure 4. The relationship between ammonia volatilization and fertilizer application in summer maize topdressing period

图 4. 夏玉米追肥期氨挥发量和施肥量的关系

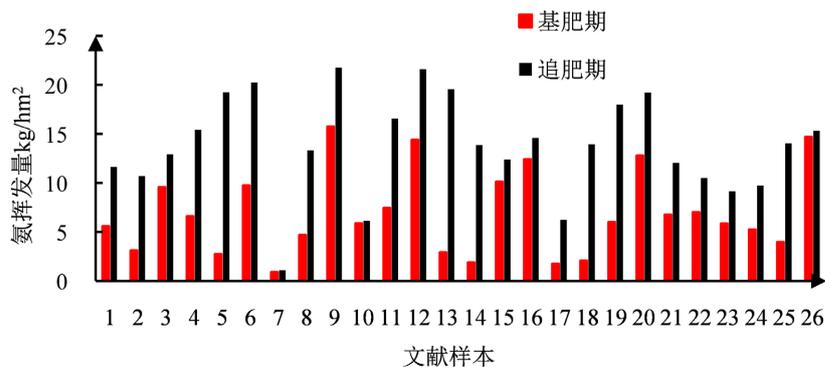


Figure 5. The comparison of ammonia volatilization quantity of summer maize in basal fertilizer stage and topdressing stage

图 5. 夏玉米基肥期和追肥期氨挥发量对比图

4. 讨论

4.1. 不同施肥量对氨挥发的影响

影响土壤氨挥发的主要因素就是施肥量, 施氮水平高, 土壤氨挥发排放总量就越多, 相应的净氨排

放就越高, 减少施氮量, 可以有效地降低土壤氨排放量[18]。本次收集的数据也佐证了这一观点, 经研究发现, 夏玉米各个施肥时期氨挥发量及其占施肥量的比例都随着施肥量的增加而增大, 在进行常规施肥处理下, 氨挥发总量和净氨挥发量都与施肥量呈二次型函数关系。目前我国还处于过度使用肥料的时代, 在保证作物正常生长的前提下, 适当减少氮肥的施用量, 可以减少土壤氨排放量, 缓解其带来的环境问题。也有研究发现, 施肥量在 112.3~205 kg/hm² 范围内, 就可以保证作物正常生长, 过多的施用氮肥并不利于作物产量增加[19]。

4.2. 不同施肥时期对氨挥发的影响

本研究中, 夏玉米追肥期氨挥发量明显高于基肥期, 追肥期氨挥发平均占到了整个生育期氨挥发量的 75%, 占施肥量的 6.6%, 基肥期氨挥发占到总挥发量的 35%, 占施肥量的 3.3%, 这与前人研究结果基本是一致的。基肥氨挥发量少的原因主要是施肥方式采取将肥料与表层 0~20 cm 的土壤混合, 而氨挥发强度受到施入土壤深度水平的影响, 会随着施肥深度的增加而降低。化肥施入后与土壤充分混合, 尿素深施后可以充分与土壤混合, NH⁴⁺ 被土壤吸附, 活动范围受限制, 故挥发不强[12]; 追肥期氨挥发量较高的原因是: 一方面, 追肥期环境温度较高, 土壤温度高可以促进 NH₄⁺ 转换成 NH₃, 一般追肥后会灌水, 土壤水分迅速蒸发, NH₃ 会随之扩散到大气中, 加速了土壤氨挥发的速率, 这也说明了土壤含水量促进了氨挥发; 另一方面, 土壤含水量高, 脲酶活性增强, 促进尿素分解成无机氮, 利于氨气从土壤逸出[20]。

5. 结论

本文通过总结相关论文得出: 在我国北方夏玉米生长中, 氨挥发总量、净氨挥发量, 基肥期和追肥期氨挥发量与施肥量都呈现二次函数关系, 随着施肥量的增加而增加, 且在追肥期氨挥发量高于基肥期。降低氮肥的使用, 特别是在追肥期控制用量, 可以有效降低氨挥发量。目前也有很多学者针对不同的施肥方式进行了研究, 提出了很多可以降低氨挥发的方式, 在未来还需要进行学习和实践, 进一步总结新方法、新结论。

基金项目

陕西省土地工程建设集团内部项目(DJNY2021-35)。

参考文献

- [1] 吕宏菲, 马星霞, 杨改河, 冯永忠, 任广鑫, 李娜, 谢呈辉, 许宏伟. 秸秆还田对关中地区麦玉复种体系土壤氨排放的影响[J/OL]. 中国生态农业学报(中英文), 1-11. <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.190627>, 2020-03-06.
- [2] 李燕青, 温延臣, 林治安, 赵秉强. 不同有机肥与化肥配施对作物产量及农田氮肥气态损失的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(11): 1835-1846.
- [3] 沈仕洲, 张克强, 王风, 赖睿特, 颜青, 杨涵博. 基于 RZWQM 模型的华北平原冬小麦-夏玉米土壤硝态氮淋溶和氨挥发评估方法研究[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(9): 769-775.
- [4] 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.
- [5] 胡春胜, 张玉铭, 秦树平, 王玉英, 李晓欣, 董文旭. 华北平原农田生态系统氮素过程及其环境效应研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(10): 1501-1514.
- [6] 赵荣芳, 陈新平, 张福锁. 华北地区冬小麦-夏玉米轮作体系的氮素循环与平衡[J]. 土壤学报, 2009, 46(4): 684-697.
- [7] 杨清龙, 刘鹏, 董树亭, 张吉旺, 赵斌, 李荣发, 任昊, 任寒, 韩祥飞. 有机无机肥配施对夏玉米氮素气态损失及籽粒产量的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(13): 2476-2488.

- [8] 杨羚, 廖文华, 高志岭, 王森, 张金瑞, 赵英杰. 不同饲粮轮作模式生物质、粗蛋白生产潜力和氨排放研究[J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 312-320.
- [9] 符小文, 刘文, 徐文修, 张永杰, 杜孝敬, 库润祥, 房彦飞. 伊犁河谷冬小麦-夏大豆轮作体系土壤氨挥发对氮肥的响应[J]. 新疆农业大学学报, 2018, 41(2): 79-85.
- [10] 董文旭, 胡春胜, 陈素英, 秦树平, 张玉铭. 保护性耕作对冬小麦-夏玉米农田氮肥氨挥发损失的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(11): 2278-2284.
- [11] 刘宏元, 张爱平, 杨世琦, 邢磊, 杨正礼. 山东省冬小麦-夏玉米轮作体系土壤氮素盈余指标体系的构建与评价——以德州市为例[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(6): 1321-1329.
- [12] 姜丽娜, 胡乃月, 黄培新, 李金娜, 杨娜娜, 岳影, 李春喜. 秸秆还田配施氮肥对麦田氮素平衡和籽粒产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(8): 1087-1097.
- [13] 巨晓棠, 刘学军, 邹国元, 王朝辉, 张福锁. 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.
- [14] 任立军, 赵文琪, 安婷婷, 韩昌东, 虞娜, 邹洪涛, 张玉龙. 不同施肥方式对设施土壤氨挥发特征的影响[J]. 环境科学研究, 2021, 34(11): 2731-2739. <https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2021.08.07>
- [15] 张绍林, 蔡贵信, 王贤忠, 徐银华, 朱兆良, J. R. Francy. 黄淮海平原潮土-夏玉米系统中尿素氮损失途径的研究[J]. 土壤, 1991(5): 271.
- [16] 李贵桐, 李保国, 陈德立. 大面积冬小麦夏玉米农田土壤的氨挥发[J]. 华北农学报, 2002(1): 76-81.
- [17] 雷杨莉, 王林权, 薛亮, 李志军, 尚浩博. 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.
- [18] 杨晓云. 不同施肥条件下玉米农田灌淤土土壤氨挥发研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [19] 杨晓云, 杨虎德. 不同施肥条件下北方夏玉米农田土壤氨挥发研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(11): 137-142.
- [20] 李晴. 京津冀主要作物氮肥施用氨排放趋势分析及减排对策研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北农业大学, 2019.