

玉米秸秆添加量对温室土壤氨挥发及辣椒氮素吸收的影响

吴红艳, 于淼, 高晓梅

引用本文:

吴红艳, 于淼, 高晓梅. 玉米秸秆添加量对温室土壤氨挥发及辣椒氮素吸收的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(10): 2307-2314.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2022-0326>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

酸性茶园土壤氨挥发及其影响因素研究

王峰, 陈玉真, 吴志丹, 江福英, 翁伯琦, 尤志明

农业环境科学学报. 2016, 35(4): 808-816 <https://doi.org/10.11654/jaes.2016.04.027>

不同施肥方案对华南地区菜心种植氨挥发损失的影响

赵瑞, 冯雁辉, 马千里, 姚玲爱, 高加乾, 赵学敏

农业环境科学学报. 2022, 41(3): 681-690 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0730>

磷灰石、石灰对Cd胁迫下黑麦草根形态及Cd吸收影响研究

杜志敏, 向凌云, 杜凯敏, 杨文玲, 王继雯, 雷高, 郭雪白, 郭亮, 周静, 巩涛, 陈国参, 甄静

农业环境科学学报. 2021, 40(1): 92-101 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0376>

清液肥对滴灌棉田 NH_3 挥发和 N_2O 排放的影响

王方斌, 刘凯, 殷星, 廖欢, 孙嘉璘, 闵伟, 侯振安

农业环境科学学报. 2020, 39(10): 2354-2362 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0067>

不同施氮措施对枸杞园土壤 NH_3 挥发和 N_2O 排放的影响

卢九斤, 聂易丰, 魏娇娇, 盛海彦, 华明秀, 许米聪, 王永亮

农业环境科学学报. 2022, 41(1): 210-220 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0702>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

吴红艳, 于淼, 高晓梅. 玉米秸秆添加量对温室土壤氨挥发及辣椒氮素吸收的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(10): 2307–2314.

WU H Y, YU M, GAO X M. Effects of maize straw addition on soil ammonia volatilization and nitrogen absorption of pepper in greenhouse [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(10): 2307–2314.



开放科学 OSID

玉米秸秆添加量对温室土壤氨挥发及辣椒氮素吸收的影响

吴红艳, 于淼, 高晓梅

(辽宁省微生物科学研究院, 辽宁 朝阳 122000)

摘要:为探明玉米秸秆添加量对设施土壤氨挥发和辣椒氮素累积的影响,采用室内盆栽的试验方法,以蔬菜大棚土壤作为研究对象,以辣椒为试材,设置4个处理,即在常规施肥(N 100 kg·hm⁻²、P₂O₅ 70 kg·hm⁻²、K₂O 80 kg·hm⁻²)的条件下不添加秸秆(CK)和加入秸秆量分别为4 500 kg·hm⁻²(S1)、9 000 kg·hm⁻²(S2)、13 500 kg·hm⁻²(S3)。采用通气法对盆栽辣椒土壤原位氨挥发进行监测,并在不同时期对土壤铵态氮、硝态氮含量及辣椒地上部总氮量进行测定。结果表明:监测期内不同秸秆添加量土壤的氨挥发量和氨挥发速率均在第7天达到峰值,S2的氨挥发量较CK、S1、S3分别减少了43.0%、12.8%和17.9%,氨挥发速率平均值分别降低了30.0%、7.5%和20.0%;土壤铵态氮含量各处理均在第7天达到峰值,S2较其他3个处理分别减少了24.2%、11.5%和14.8%,且S2与CK差异极显著;硝态氮含量在第21天达到峰值,S2较其他3个处理分别增加62.8%、25.8%和47.2%,且处理之间均差异显著;辣椒成熟期地上部总氮含量在第60天时,S1、S2、S3较CK增加了13.7%、19.1%和9.3%,且S2与CK、S1、S3均呈显著差异($P < 0.05$);S2处理辣椒产量与CK相比增加14.3%;在监测期内土壤氨挥发累积量与植株地上部氮素累积量和辣椒产量均呈显著负相关($P < 0.01$)。研究表明,秸秆添加量为9 000 kg·hm⁻²时能够显著减少设施土壤氨挥发量,有效降低土壤铵态氮含量,提高硝态氮含量,对植株氮素累积具有显著的促进作用,可减少农业面源污染。

关键词: 秸秆还田;氨挥发;氮素吸收;温室;铵态氮;硝态氮

中图分类号:S641.3;S626 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2022)10-2307-08 doi:10.11654/jaes.2022-0326

Effects of maize straw addition on soil ammonia volatilization and nitrogen absorption of pepper in greenhouse

WU Hongyan, YU Miao, GAO Xiaomei

(Liaoning Institute of Microbiology, Chaoyang 122000, China)

Abstract: The effect of maize straw addition on soil ammonia volatilization and pepper nitrogen accumulation was determined in this study. Soil from a vegetable greenhouse was collected as the research object, and pepper was used as the test material. Four treatments were set under conventional fertilization (N 100 kg·hm⁻², P₂O₅ 70 kg·hm⁻², K₂O 80 kg·hm⁻²) without (CK) or with straw application (S1=4 500 kg·hm⁻²; S2=9 000 kg·hm⁻²; and S3=13 500 kg·hm⁻²). *In situ* ammonia volatilization from soil in which pepper was planted was monitored using the venting method. The contents of ammonium and nitrate nitrogen in the soil and total nitrogen in pepper shoots were measured at different times. During the monitoring period, ammonia volatilization from soil and the ammonia volatilization rate of different straw returning amounts reached the peak on the 7th day. The maximum ammonia volatilization rate under S2 was respectively 43.0%, 12.8%,

收稿日期:2022-04-02 录用日期:2022-06-01

作者简介:吴红艳(1967—),女,辽宁锦州人,本科,研究员,主要从事土壤肥料相关研究。E-mail:lnwuhy@163.com

基金项目:辽宁省农业科学院土壤微生物生态学科建设项目(2019DD154522);辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC2002048)

Project supported: Soil Microecology Construction Project of Liaoning Academy of Agricultural Sciences (2019DD154522); Liaoning Province "Xingliao Talents Plan" Project (XLYC2002048)

and 17.9% lower than that under CK, S1, and S3. The mean ammonia volatilization rate under S2 was respectively 30.0%, 7.5%, and 20.0% lower than that under CK, S1, and S3. In all treatments, the maximum of soil ammonium nitrogen level was recorded on the 7th day. The ammonium nitrogen content under S2 was respectively 24.2%, 11.5%, and 14.8% lower than that under CK, S1, and S3. The difference between S2 and CK was extremely significant. In all treatments, the maximum soil nitrate nitrogen level was recorded on the 21st day, The maximum soil nitrate nitrogen content under S2 was respectively 62.8%, 25.8%, and 47.2% higher than that under CK, S1, and S3, and there were significant differences among all treatments. On the 60th day, nitrogen accumulation in pepper shoots under S1, S2, and S3 was respectively 13.7%, 19.1%, and 9.3% higher than that under CK, and there were significant differences among all treatments. S2 increased pepper yield by 14.3% compared with CK. During the monitoring period, soil ammonia volatilization was significantly and negatively correlated with the aboveground nitrogen accumulation and yield of pepper. Overall, the optimal straw returning amount was 9 000 kg·hm⁻². Thus, maize straw application can significantly reduce ammonia volatilization and soil ammonium nitrogen but increase soil nitrate nitrogen to significantly promote plant nitrogen accumulation and minimize agricultural pollution.

Keywords: straw returning; ammonia volatilization; nitrogen absorption; greenhouse; ammonium nitrogen; nitrate nitrogen

蔬菜是人们日常饮食中必不可少的食物之一,可提供人体所必需的多种维生素和矿物质等营养物质,人体必需的90% VC、60% VA来自于蔬菜,这些营养物质是有效预防慢性、退行性疾病风险的重要因素。我国蔬菜种植面积占整个种植业面积的12.9%^[1],主要分为露地栽培和设施栽培两种类型,设施蔬菜种植具有高投入、高产出的特点,在农产品供给和农业农村经济发展方面发挥了重要作用^[2]。近年来,我国设施蔬菜面积不断扩大,种植面积已达340万hm²,占我国蔬菜种植面积的18%^[3]。大部分蔬菜根系浅,因此养分和水分吸收能力弱、需肥量大。我国蔬菜生产系统中肥料用量高,单位面积蔬菜的单季总养分投入量是粮食作物总养分投入量的2倍^[4]。土壤氨(NH₃)挥发速率随着施氮量的增加而增大,进而使累积氨挥发量显著增加^[5-6]。氨作为大气中唯一的碱性气体,是大气中二次气溶胶的重要前驱物,对大气细颗粒物PM_{2.5}的形成起重要作用,是使我国重污染地区、重污染时段PM_{2.5}持续处于高位的关键因素之一^[7]。据统计,设施蔬菜生产产生的氨排放量约占我国农业源氨排放量的33%^[8],氨与大气中硫氧化物、氮氧化物结合形成的铵态氮达到一定浓度时会沉降于地表,因此氨挥发会降低氮素利用率,造成严重的农业面源污染^[9]。

随着蔬菜连作时间延长及复种指数提高,土壤障碍问题越来越严重。张新俊等^[10]的研究表明,施用生物炭对连作菊花土壤性质改善和菊花生长、产品品质提高具有促进作用,是缓解连作菊花栽培中土壤障碍问题的有效手段;高晶霞等^[11]的研究表明,长期连作对辣椒生长和光合特性产生负面影响,显著降低作物株高和茎粗等生物量指标,辣椒产量和经济效益连年降低。

近年来,为了提高土壤肥力使其可持续利用,促进作物的优质高产,秸秆还田成为研究热点。有研究表明,秸秆还田能有效增强微生物活性、增加土壤有机质、促进离子交换、改善土壤理化性质、改良土壤耕性、培肥地力,且有利于硝化作用和有机氮固持^[12-13],对土壤氮素循环转化过程产生深刻影响^[14-15],另外还可减轻或免除因大量施用肥料而造成的污染。农业发达国家非常重视秸秆还田,我国的传统农业亦很重视秸秆还田,且设施土壤秸秆还田技术也在逐步完善^[16]。

蔬菜秸秆携带大量病原体无法直接还田,而辽西地区干旱少雨,大田广泛种植玉米,玉米秸秆具有良好的物理化学性质,因此成为设施土壤还田的主要材料。但玉米秸秆还田显著影响土壤碳氮比,进而影响作物对氮素的吸收利用,由此带来许多环境和生态问题。因此,探索有效的秸秆添加量,对减少农田土壤氨挥发、降低土壤氮素损失率、提高氮肥利用效率至关重要,且降低氮素对减少环境污染具有重要意义^[17-18]。

本研究以辽西地区设施蔬菜土壤为研究对象,选取北方广泛种植的辣椒作为试验材料,利用室内盆栽试验进行不同玉米秸秆添加量对设施土壤氨挥发及辣椒氮素吸收的影响研究,揭示常规施肥条件下不同秸秆添加量设施土壤的氨挥发规律,为减少氨挥发、提高作物氮素吸收响应力和氮肥利用率、优化秸秆还田配套措施和合理施肥提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蔬菜为北方地区广泛种植的辣椒,品种为寒椒99。

玉米秸秆主要养分:全氮含量 $7.42 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有机碳含量 $423.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

供试土壤为褐土,取自辽宁省微生物科学研究所试验基地种植辣椒的日光温室耕层(0~20 cm)土壤,其基本理化性质如表1所示。

1.2 试验设计

供试土壤去除腐叶等杂质,风干,过2 mm筛后备用。试验于2021年9月20日开始,至11月20日结束。在温室条件下采用盆栽的方法,选用直径为17 cm、高为30 cm的塑料花盆,每盆装土7.5 kg,装土高度为20 cm,每次每个处理取样3盆,即为3次重复。肥料为市售化肥,N、 P_2O_5 和 K_2O 的用量分别100、70 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和80 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。试验设置4个处理:化肥+不添加秸秆(CK),化肥+秸秆4 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (S1),化肥+秸秆9 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (S2),化肥+秸秆13 500 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (S3)。将玉米秸秆制成长度小于3 cm的秸秆段,按试验设置所述,将不同干质量的秸秆与花盆中0~15 cm土壤混合均匀后上层覆土约5 cm,采用常规穴栽方式,所有处理均将尿素、磷和钾肥按常规施肥方法作为基肥一次性施入,不再追肥,施肥方法为播种前施入定植植株底部2~3 cm处,各处理均按日光温室大棚辣椒常规管理方式一致性管理。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤氨挥发的测定^[19]

本试验采用通气法监测氨挥发。用PVC管(聚乙烯硬质塑料管)制成内径为8 cm、高为12 cm的氨气捕获装置,将两块厚度为2 cm、直径为10 cm的海绵均匀浸以5 mL磷酸甘油溶液(50 mL磷酸加40 mL丙三醇,定容至1 000 mL)后置于PVC管中,下层海绵距管底5 cm,用于吸收土壤挥发出来的氨,上层海绵与管顶相平,用于防止外界气体污染。施肥后第1周每天固定时间更换下层海绵作为样品,样品立即放入样品袋中密封;第2周更换2~3次,第3、4周每周更换1次,此后第6周及第60天结束期时分别取样一次。整个监测过程氨挥发装置保持固定位置,每天仅更换海绵。下层海绵样品置于300 mL($1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)氯化钾溶液中浸提1 h,利用iFIA7全自动流动注射分析仪

MAC3(北京吉天仪器有限公司)测定浸提液中铵态氮含量。

1.3.2 土壤样品无机氮测定

将3盆土壤混合均匀,采用四分法取样,保留约200 g土壤样品,常温下阴干,过筛(0.25 mm)后置于-20 ℃冰箱保存备用。将土壤样品用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钾溶液浸提后,利用iFIA7全自动流动注射分析仪MAC3测定土壤铵态氮和硝态氮含量。

1.3.3 辣椒采收计产及样品总氮的测定

辣椒产量为连续采收后于结束期合并计产,所有果实与定植60 d植株合计测定氮素累积量。辣椒定植21、42 d和60 d时,贴近土壤表面将地上部分剪下,置于105 ℃烘箱杀青30 min后,80 ℃烘干至质量恒定,进行称量,作为植株样品。辣椒及植株样品干燥粉碎过筛(0.25 mm),用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,利用iFIA7全自动流动注射分析仪MAC3测定总氮含量。

1.4 数据统计分析

氨挥发量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,以N计)=样品中铵态氮含量($\text{NH}_4^+\text{-N}$,mg)/捕获装置的横截面积(m^2) $\times 10^{-2}$

氨挥发速率($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,以N计)=氨挥发量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)/每次连续捕获的时间(d)

氨挥发累积量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,以N计)=每次采样的氨挥发量之和

茎叶氮累积量(g)=茎叶总氮含量($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) $\times$ 茎叶干物质质量(g)

果实氮累积量(g)=果实总氮含量($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) $\times$ 果实干物质质量(g)

植株地上部氮素累积量(g)=茎叶氮累积量(g)+果实氮累积量(g)

利用Excel 2007进行数据整理与计算,采用SPSS 25.0进行单因素方差分析,选用LSD($P<0.05$)进行多重比较、差异显著性及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆添加量对土壤氨挥发效应的影响

2.1.1 对土壤氨挥发量的影响

由图1可以看出,在整个监测期内,S1、S2和S3

表1 供试土壤理化性质

Table 1 The physical and chemical properties of tested soil

土壤样品 Soil sample	pH	总氮 Total nitrogen/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质 Organic matter/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	铵态氮 Ammonia nitrogen/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	硝态氮 Nitrate nitrogen/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效磷 Available phosphorus/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾 Available potassium/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	容重 Bulk density/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
褐土 Cinnamon soil	7.2	1.28	16.5	16.5	42.8	25.6	141.8	0.92

的氨挥发量动态变化趋势与CK相近, S1、S2、S3和CK均在第7天达到峰值, 分别为3.683、3.210、3.910 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和5.632 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 之后总体呈下降趋势, 第28天降至较低水平, 并稳定在0.532~0.243 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间; S1、S2、S3的氨挥发量峰值分别较CK减少了34.6%、43.0%和30.6%; S2的氨挥发量峰值较CK、S1、S3分别显著减少了43.0%、12.8%、17.9%。可见, 在同一施肥条件下, 秸秆添加量为9 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时的氨挥发量与其他3个处理相比存在显著差异($P < 0.05$)。

2.1.2 对土壤氨挥发速率的影响

由图2可以看出, 在整个监测期内CK、S1、S3的土壤氨挥发速率动态变化趋势无明显差异, 均在第7天达到峰值, CK、S1、S2、S3的氨挥发速率平均值分别为2.29、1.73、1.60、2.00 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 由高到低依次为CK>S3>S1>S2, S2较CK、S1、S3分别显著降低30.0%、7.5%、20.0%。因此, 在同一施肥条件下, 秸秆添加量为9 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时氨挥发速率最低。

2.1.3 对土壤氨挥发累积量的影响

图3显示, 在整个监测期内各处理氨挥发累积量

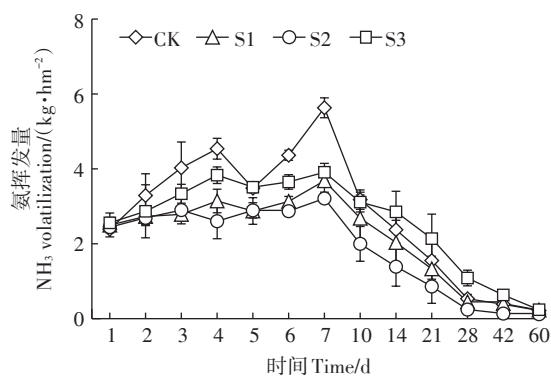


图1 秸秆添加量对土壤氨挥发量的影响

Figure 1 Effects of straw addition on NH_3 volatilization in soil

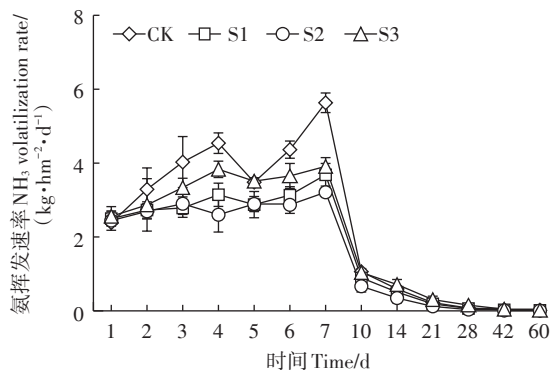


图2 秸秆添加量对土壤氨挥发速率的影响

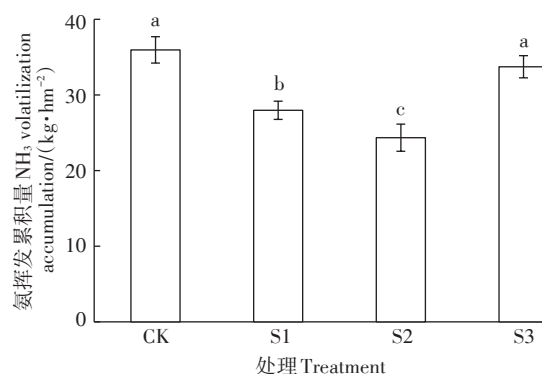
Figure 2 Effects of straw addition on NH_3 volatilization rate in soil

表现为CK>S3>S1>S2, S2最小, 为24.35 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, CK最大, 为35.96 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, S1、S2、S3的氨挥发累积量与CK相比分别减少了22.2%、32.3%、6.2%, 且S2显著低于CK、S1、S3($P < 0.05$), 原因可能是秸秆适量还田增强了土壤对 NH_4^+ 的吸附能力, 或是将 NH_4^+ 转变为其他形态氮素降低了土壤 NH_4^+ 浓度, 从而显著减少了土壤氨挥发累积量。

2.2 秸秆添加量对土壤无机氮含量的影响

2.2.1 对土壤铵态氮含量的影响

图4显示, 在整个监测期内各处理土壤铵态氮含量整体动态变化趋势基本一致, 且与氨挥发速率的变化趋势相近, 即在第7天达到最大峰值, 此时S2较CK、S1、S3分别减少了24.2%、11.5%、14.8%, 且与CK差异极显著; 第28天降至较低水平, 并趋于平稳。监测期内CK、S1、S2、S3的铵态氮含量平均值分别为158.62、141.01、120.04、161.62 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, S2显著低于



不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。下同
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$). The same below

图3 秸秆添加量对土壤氨挥发累积量的影响

Figure 3 Effects of straw addition on NH_3 volatilization accumulation in soil

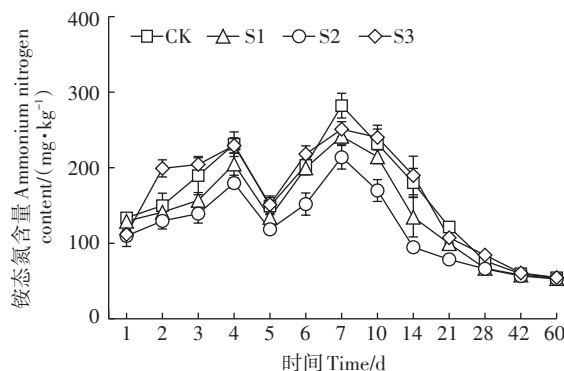


图4 秸秆添加量对土壤铵态氮含量的影响

Figure 4 Effects of straw addition on soil ammonium nitrogen content

CK和S3,而与S1差异未达到显著水平;第21天降至较低点时,S2与CK、S1、S3相比差异显著($P<0.05$)。由此可知,不同秸秆添加量对土壤中铵态氮的残留量具有直接影响,适量秸秆还田能够有效降低土壤铵态氮含量。

2.2.2 对土壤硝态氮含量的影响

图5显示,在整个监测期内CK、S1、S2、S3的硝态氮含量变化趋势基本相同,前21 d呈逐渐上升趋势,变化范围分别为2.26~12.54、3.02~25.02、2.84~33.74、2.88~17.83 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,S2增加量最大为30.90 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;第21天达到峰值,此时S2较CK、S1、S3分别增加62.8%、25.8%、47.2%,且处理间差异显著;第42天降至较低水平,其中S2显著高于其他3个处理($P<0.05$)。可见,秸秆适量还田能够有效提高土壤硝态氮含量。

2.3 秸秆添加量对辣椒地上部氮累积量的影响

由表2可知,在整个监测期内不同取样时间各处理植株氮素吸收量均呈现逐渐增加的趋势。第21天时各处理间无显著差异;第42天时S1、S2、S3与CK之间均差异显著($P<0.05$),而S1、S2、S3之间未达到显著差异水平;第60天时,与CK相比,S1、S2、S3分别增加了

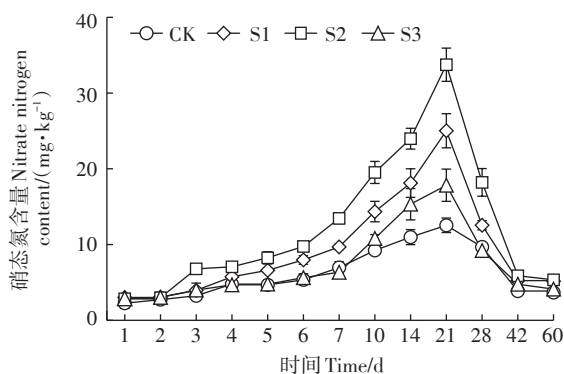


图5 秸秆添加量对土壤硝态氮含量的影响

Figure 5 Effects of straw addition on soil nitrate nitrogen content

表2 秸秆添加量对植株氮素累积量的影响($\text{g}\cdot\text{株}^{-1}$)

Table 2 Effects of straw addition on plant nitrogen accumulation($\text{g}\cdot\text{plant}^{-1}$)

处理 Treatment	21 d	42 d	60 d
CK	0.032 2±0.014 9a	0.065 0±0.002 0b	0.636 2±0.013 5c
S1	0.033 6±0.007 2a	0.071 8±0.002 1a	0.723 5±0.010 4b
S2	0.035 5±0.013 1a	0.072 9±0.002 6a	0.758 0±0.023 6a
S3	0.034 2±0.006 1a	0.070 6±0.003 2a	0.695 1±0.010 6b

注:表中数值为3次重复的均值与标准差,同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: The values in the table are the mean and standard deviations of three repetitions. Different lowercase letters after the data in the same column indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

13.7%、19.1%、9.3%,均达到显著差异水平($P<0.05$)。可见,在同一施肥条件下,秸秆添加量为9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,对设施蔬菜辣椒地上部氮素累积量的提高具有明显促进作用。

2.4 秸秆添加量对辣椒产量的影响

图6显示辣椒产量为S2>S1>S3>CK,S2处理辣椒产量较S1、S3和CK分别增加7.7%、11.8%和14.3%,说明秸秆添加量为9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时辣椒产量最高。通过差异性分析发现,S2与CK达到显著差异水平($P<0.05$),与S1和S3相比无显著差异。

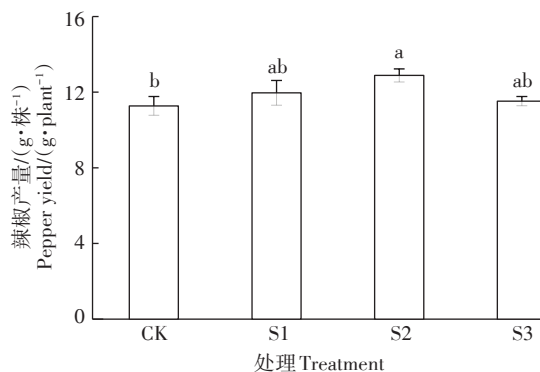


图6 秸秆添加量对辣椒产量的影响

Figure 6 Effects of straw addition on pepper yield

2.5 Pearson相关性分析

由于地上部氮素累积量、辣椒产量及土壤无机氮之间可能存在一定关联,可能会影响到彼此与土壤氨挥发累积量的相关性分析结果,因此选取整个监测期内数据对每个变量与氨挥发速率进行相关性分析。

由表3可以看出,在监测期内土壤氨挥发累积量与植株地上部氮素累积量和辣椒产量均呈显著负相关($P<0.01$),与土壤铵态氮、硝态氮含量分别呈弱的正、负相关;辣椒产量与植株氮素累积量呈显著正相关($P<0.05$),而与铵态氮含量呈负相关。在相同施肥条件下,土壤氨挥发累积量减少时,植株地上部氮素累积量和辣椒产量显著增加,表明氨挥发累积量是影响植株地上部氮素累积量及产量的重要因素。

3 讨论

3.1 玉米秸秆添加量对设施土壤氨挥发及有机氮含量的影响

相关研究发现,适量秸秆还田可减少设施土壤氨挥发量,降低氨挥发速率。王朝旭等^[20]的室内静态土壤培养试验结果显示,添加秸秆可有效抑制氨挥发;郭茜^[21]研究发现,一次性施入生物炭降低了空心菜

表3 土壤氨挥发累积量、植株地上部氮素累积量、辣椒产量与土壤无机氮的 Pearson 相关性分析

Table 3 Pearson correlation analysis between NH_3 volatilization accumulation, plant nitrogen accumulation, pepper yield, and soil inorganic nitrogen

	植株氮累积量 Plant nitrogen accumulation	辣椒产量 Pepper yield	铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$	硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}$	土壤氨挥发累积量 NH_3 volatilization accumulation
植株氮累积量 Plant nitrogen accumulation	1				
辣椒产量 Pepper yield	0.563*	1			
铵态氮 $\text{NH}_4^+\text{-N}$	-0.451	-0.440	1		
硝态氮 $\text{NO}_3^-\text{-N}$	0.434	0.048	0.029	1	
土壤氨挥发累积量 NH_3 volatilization accumulation	-0.883**	-0.667**	0.188	-0.139	1

注：“*”表示在0.05水平上显著相关；“**”表示在0.01水平上显著相关。

Note: “*” indicates a significant correlation at 0.05 level. “**” indicates a significant correlation at 0.01 level.

季土壤的氨挥发量；徐聪^[22]的研究表明，相比不添加秸秆，长期秸秆还田可增加土壤(0~2 m)氮累积量34~112 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ 。冯敏等^[23]研究结果显示，适量秸秆还田可显著影响土壤氨化和硝化强度。本研究土壤铵态氮含量呈下降趋势，而硝态氮含量明显上升，可能是由于秸秆适量添加将 NH_4^+ 转变为其他形态氮素并促进了辣椒对氮素的吸收，降低了土壤铵态氮含量。本试验结果显示，在同一施肥条件下，第7天达到峰值时，S2相较于CK、S1和S3，氨挥发量平均值分别减少43.0%、12.8%和17.9%，氨挥发速率平均值分别降低30.0%、7.5%和20.0%，铵态氮含量平均值分别减少24.2%、11.5%和14.8%。本研究发现，随着土壤铵态氮含量增加，氨挥发量增加，氨挥发量与土壤铵态氮含量呈正相关，与硝态氮含量呈负相关，但均未达到显著水平。在常规施入氮肥的同时添加一定量的玉米秸秆，可以增加土壤有机碳含量，改善土壤理化性状和土壤表面环境，促进微生物对氮肥水解形成的氨固持和再矿化作用，持续供应可利用的氮素，激发了土壤微生物和酶在分解秸秆过程中将无机氮固定转化为有机氮。但高量秸秆添加不仅大幅度增加了土壤团聚组分有机碳含量，同时也带入大量的土壤外源微生物，改变了土壤群落结构，削弱了微生物对氮素的固持等积极作用，对氨挥发及有机氮的转化产生负面影响^[24]。因此，秸秆添加量为9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时能够降低氨分压和氨挥发速率，减少氨挥发。

3.2 玉米秸秆添加量对植株地上部氮素累积量和产量的影响

张磊^[25]的研究结果表明，高粱秸秆还田灌水覆膜连作使番茄产量和生物量分别显著增加113.26%和165.63%，添加高粱根茬根际土改善了黄瓜生长发育状况，提高了植株的存活率。本试验结果表明，在同

一化肥施用量条件下，60 d时辣椒地上部氮素累积量，与CK相比，S1、S2、S3分别增加13.7%、19.1%、9.3%，达到显著差异水平($P<0.05$)；S2的辣椒产量较S1、S3、CK分别增加7.7%、11.8%、14.3%。

本研究发现，当土壤氨挥发增强时，植株地上部氮素累积量则减少，作物产量也显著减少，即土壤氨挥发与地上部氮素累积量和产量均呈显著负相关($P<0.01$)。秸秆还田能够改善土壤结构，使土壤疏松、孔隙度增加、容重减轻，有效增加土壤通气性，对植株根系生长发育具有很好的促进作用，为土壤微生物的生存与繁殖提供了适宜的环境，提高了土壤微生物的丰富度和多样性^[26]，秸秆在微生物作用下，将有机氮转化成无机氮，成为可吸收态氮；随着秸秆降解，其所含养分也随之返还土壤，使土壤肥力有效提升^[27]；同时秸秆中的有机物及营养物质与土壤充分混合，在作物需求时解吸以供作物吸收利用，秸秆还田能够促进土壤氮素向作物果实转移，使蔬菜氮素累积量明显增加，在矿化分解过程中能更持续、稳定地提供作物生长所需的营养元素，增加蔬菜产量。

4 结论

(1)同一施肥条件下，氨挥发累积量为 $\text{CK}>\text{S3}>\text{S1}>\text{S2}$ ；地上部氮素累积量为 $\text{S2}>\text{S1}>\text{S3}>\text{CK}$ ；铵态氮平均含量为 $\text{S3}>\text{CK}>\text{S1}>\text{S2}$ ；硝态氮平均含量为 $\text{S2}>\text{S1}>\text{S3}>\text{CK}$ 。

(2)同一施肥条件下氨挥发量与植株地上部氮素累积量和产量呈显著负相关($P<0.01$)，与铵态氮和硝态氮分别呈正、负相关，但均未达到显著水平。

(3)同一施肥条件下，秸秆添加量为9 000 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时辣椒增产幅度最高，与对照相比具有显著差异，与其他两个处理差异不显著。

(4) 秸秆添加量为 $9\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时能够显著减少设施蔬菜土壤氨挥发量,降低氨挥发速率,有效降低铵态氮含量,提高硝态氮含量,在一定程度上抑制农田土壤氨挥发效应,减少农业面源污染,并对植株地上部氮累积量具有显著的促进作用。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中国农村统计年鉴 2015[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015: 128–130. National Bureau of Statistics. China agricultural statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2015: 128–130.
- [2] 蒋卫杰, 邓杰, 余宏军. 设施园艺发展概况、存在问题与产业发展建议[J]. 中国农业科学, 2015, 48(17): 3515–3523. JIANG W J, DENG J, YU H J. Development situation, problems and suggestions on industrial development of protected horticulture[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(17): 3515–3523.
- [3] 王孝忠. 我国蔬菜生产的环境代价、减排潜力与调控途径[D]. 北京: 中国农业大学, 2018. WANG X Z. Environmental impacts, mitigation potentials and management approaches in Chinese vegetable production system[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [4] 国家发展和改革委员会. 全国农产品成本收益资料汇编 2017[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017: 323–325. National Development and Reform Commission. National agricultural product cost – income data compilation 2017[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017: 323–325.
- [5] 卢丽丽, 吴根义. 农田氨排放影响因素研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2019, 24(1): 149–162. LU L L, WU G Y. Advances in affecting factors of ammonia emission in farmland[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(1): 149–162.
- [6] WANG J, WANG D J, ZHANG G, et al. Effect of wheat straw application on ammonia volatilization from urea applied to a paddy field[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012, 94(1): 73–84.
- [7] 赵瑞, 冯雁辉, 马千里, 等. 不同施肥方案对华南地区菜心种植氨挥发损失的影响[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(3): 681–690. ZHAO R, FENG Y H, MA Q L, et al. Effects of different fertilization schemes on soil ammonia volatilization during flowering cabbage growth in south China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(3): 681–690.
- [8] 王秋菊, 刘峰, 迟凤琴, 等. 秸秆还田及氮肥调控对不同肥力白浆土氮素及水稻产量影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(14): 105–111. WANG Q J, LIU F, CHI F Q, et al. Effect of straw returning and nitrogen fertilizer regulation on nitrogen and rice yield in albic soil with different fertilities[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(14): 105–111.
- [9] 杨弘. 秸秆还田对农田土壤氨挥发和氧化亚氮排放的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016. YANG H. Effect of maize stalk retention on nitrous oxide emission and ammonia volatilization in arable brown soil[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [10] 张新俊, 杨芳绒, 张书文, 等. 生物炭对连作土壤性质及菊花生长和品质的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2022, 53(1): 34–38. ZHANG X J, YANG F R, ZHANG S W, et al. Effect of biochar on soil properties of continuous *Chrysanthemum morifolium* Ram. cropping and plant growth as well as flower quality[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2022, 53(1): 34–38.
- [11] 高晶霞, 谢华. 不同连作年限下辣椒的光合特性与果实品质[J]. 北方园艺, 2021(19): 48–53. GAO J X, XIE H. Photosynthetic characteristics and fruit quality of pepper under different continuous cropping years[J]. *Northern Horticulture*, 2021(19): 48–53.
- [12] 董林林, 王海候, 陆长婴, 等. 秸秆还田量和类型对土壤氮及氮组分构成的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1143–1150. DONG L L, WANG H H, LU C Y, et al. Effects of straw returning amount and type on soil nitrogen and its composition[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4): 1143–1150.
- [13] 贾明飞, 卮兰春, 崔强, 等. 不同施肥方案对日光温室土壤氨挥发及番茄产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(20): 44–53. JIA M F, NIE L C, CUI Q, et al. Effects of different fertilization schemes on soil ammonia volatilization, yield and quality of tomato in solar greenhouse[J]. *Northern Horticulture*, 2020(20): 44–53.
- [14] 赵欣周, 张世春, 李颖, 等. 辽河平原玉米田不同施肥下的土壤氨挥发特征[J]. 中国农业科学, 2020, 53(18): 3741–3751. ZHAO X Z, ZHANG S C, LI Y, et al. The characteristics of soil ammonia volatilization under different fertilizer application measures in corn field of Liaohu Plain[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(18): 3741–3751.
- [15] SUN B, ZHANG L X, YANG L Z, et al. Agricultural non-point source pollution in China: Causes and mitigation measures[J]. *AMBIO*, 2012, 41(4): 370–379.
- [16] 刘阳阳, 李亚芳, 虞娜, 等. 水氮调控对设施土壤氨挥发特征的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 334–342. LIU Y Y, LI Y F, YU N, et al. Effects of water and nitrogen regulation on soil ammonia volatilization in greenhouse[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(5): 334–342.
- [17] 山楠, 赵同科, 毕晓庆, 等. 不同施氮水平下小麦田氨挥发规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(9): 1858–1865. SHAN N, ZHAO T K, BI X Q, et al. Ammonia volatilization from wheat soil under different nitrogen rates[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(9): 1858–1865.
- [18] 高杰, 于舒函, 李二艳, 等. 松嫩平原秸秆还田对连作春玉米氮素供应与吸收的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(1): 183–191. GAO J, YU S H, LI E Y, et al. Effects of straw returning on the supply and absorption of nitrogen in continuous spring maize in Songnen Plain[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(1): 183–191.
- [19] 张博. 不同施肥模式对华北平原小麦季潮土氨挥发及氮肥利用的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020. ZHANG B. Effects of different fertilization models on fluvo-aquic soil ammonia volatilization and nitrogen utilization of wheat season in North China Plain[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020.
- [20] 王朝旭, 陈绍荣, 张峰, 等. 玉米秸秆生物炭及其老化对石灰性农田土壤氨挥发的影响[J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(10): 2350–2358. WANG C X, CHEN S R, ZHANG F, et al. Effects of fresh and aged maize straw-derived biochars on ammonia volatilization in a calcareous arable soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2018, 37

- (10):2350-2358.
- [21] 郭茜. 生物质炭对设施菜地土壤养分及气态氮损失的影响[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2016. GUO Q. Effects of biochar on soil nutrient and gaseous nitrogen losses in facility vegetable production[D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2016.
- [22] 徐聪. 华北平原长期氮肥施用和秸秆还田下温室气体排放及氮素损失特征[D]. 北京: 中国农业大学, 2018. XU C. Characteristics of greenhouse gas emissions and nitrogen losses under longterm nitrogen fertilization and straw incorporation in the North China Plain[D]. Beijing: China Agricultural University, 2018.
- [23] 冯敏, 吴红艳, 王智学. 秸秆还田对土壤硝化特性和氨化特性及其相关菌群数量的影响[J]. 微生物学杂志, 2018, 38(2): 50-54. FENG M, WU H Y, WANG Z X. Effects of straw returning to the field on soil nitrification and ammoniation characteristics and the number of related microbial communities[J]. *Journal of Microbiology*, 2018, 38(2): 50-54.
- [24] 陈云峰, 夏贤格, 杨利, 等. 秸秆还田是秸秆资源化利用的现实途径[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 299-307. CHEN Y F, XIA X G, YANG L, et al. Straw return is the realistic way of straw resource utilization[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2020(6): 299-307.
- [25] 张磊. 高粱还田对连作蔬菜土壤化学性质和微生物群落的影响[D]. 保定: 河北农业大学, 2021. ZHANG L. Effects of returning sorghum to field on soil chemical properties and microbial community of continuous cropping vegetables[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2021.
- [26] 王德建, 常志州, 王灿, 等. 稻麦秸秆全量还田的产量与环境效应及其调控[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(9): 1073-1082. WANG D J, CHANG Z Z, WANG C, et al. Regulation and effect of 100% straw return on crop yield and environment[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(9): 1073-1082.
- [27] 丁武汉, 雷豪杰, 徐驰, 等. 我国设施菜地表面观氮平衡分析及其空间分布特征[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(3): 353-360. DING W H, LEI H J, XU C, et al. Characteristics and spatial distribution of apparent nitrogen balance in the greenhouse vegetable cropping system in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(3): 353-360.

(责任编辑: 李丹)