农业环境科学学报
JOURNAL OF AGRO-ENVIRONMENT SCIENCE
中文核心期刊/CSCD
请通过网上投稿系统投稿
网址：http://www.aes.org.cn

村域农田氮素排放特征研究——以新安村为例

陈帅， 辛思颖， 佟丙辛， 吕敏娟， 吉庆凯， 马文奇， 魏静

引用本文:
陈帅, 辛思颖, 佟丙辛, 等. 村域农田氮素排放特征研究——以新安村为例[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1351-1358.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1279

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国茶园N_2O排放及其影响因素

姚志生, 王燕, 王睿, 刘春岩, 郑循华
农业环境科学学报. 2020, 39(4): 715-725 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0137

1980-2010年中国和印度农田化肥氮源氧化亚氮排放的比较

蒋光福, 张稳, 李昕, 孙文娟
农业环境科学学报. 2016, 35(9): 1807-1815 https://doi.org/10.11654/jaes.2016-0155

农田氧化亚氮减排的关键是合理施氮

李玥, 巨晓棠
农业环境科学学报. 2020, 39(4): 842-851 https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0245

施用生物炭对农田土壤N2O的减排效应

赵光昕, 刘杏认, 张晴雯, 田秀平
农业环境科学学报. 2018, 37(12): 2872-2880 https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0699

黄腐酸钾对植烟土壤氮素转化及N_2O排放的影响

李青山, 王德权, 高政绪, 杜传印, 管恩森, 程谊, 王慎强
农业环境科学学报. 2020, 39(5): 1130-1139 https://doi.org/10.11654/jaes.2019-1188

关注微信公众号，获得更多资讯信息

陈　帅, 辛思颖, 佟丙辛, 等. 村域农田氮素排放特征研究——以新安村为例[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1351-1358.
CHEN Shuai, XIN Si-ying, TONG Bing-xin, et al. Nitrogen emission of farmland at village level: A case study of Xinan Village, Zhengding County, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(6): 1351-1358.

开放科学 OSID

村域农田氮素排放特征研究——以新安村为例

陈　帅, 辛思颖, 佟丙辛, 吕敏娟, 吉庆凯, 马文奇, 魏　静*

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北 保定 071000)

摘　要: 为揭示村域氮素排放特征,以河北正定新安村为例,通过2016—2018年两个轮作周期对农户作物管理、作物产量等信息实地调研、取样分析,运用NUFER-Farm模型系统,研究了新安村氮素时空排放特征及其与作物种类、施氮量、灌溉、土壤质地等的关系。结果表明,两个轮作周期单位面积农田氮素总排放量和氧化亚氮排放量差异不显著,而硝态氮淋洗量和氨挥发量差异显著,第二个轮作周期单位面积农田硝态氮淋洗量和氨挥发量分别比第一个轮作周期增长60.1%和减少13.8%,造成差异显著的原因主要是气象条件和作物种类。季节上,两年单位面积农田氮素总排放量均为秋冬春季显著大于夏季。村内临近田块氮素排放差异较大,空间分布规律不明显;但到村域尺度,不同方位氮素排放空间分布上存在一定规律,如西北、东北、东南、西南方位单位面积农田氮素总排放量平均值分别为66.8、60.2、59.6、52.3 kg N·hm^{-2},其中西南方位氮素排放显著低于其他方位。村域农田氮素排放受到作物种类、施氮量、灌溉次数与土壤质地等因素显著影响。其中当地主要作物冬小麦、夏玉米和大豆单位面积农田氮素总排放平均值分别为40.5、28.5 kg N·hm^{-2}和5.3 kg N·hm^{-2},差异显著;两个轮作体系氮素总排放量均随施氮量、灌溉次数的增加而呈现增加的趋势;土壤质地对农田氮素总排放量也有较大影响,其中砂土、砂壤土和壤土单位面积农田氮素总排放平均值分别为78.2、60.4 kg N·hm^{-2}和51.0 kg N·hm^{-2},依次降低。总之,村域农田氮素排放具有较大的时空差异,更多受到田块作物种类、土壤条件、管理因素的影响,因此,村域氮素减排要针对田块采取优化施氮、节水灌溉、调整作物布局等措施。

关键词: 种植体系;农田氮素;时空变化;影响因素

中图分类号: X511　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1672-2043(2020)06-1351-08　　doi:10.11654/jaes.2019-1279

Nitrogen emission of farmland at village level: A case study of Xinan Village, Zhengding County, China

CHEN Shuai, XIN Si-ying, TONG Bing-xin, LÜ Min-juan, JI Qing-kai, MA Wen-qi, WEI Jing*

(College of Resources and Environment Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: A case study was conducted in Xinan Village, Zhengding County, Hebei Province to reveal the characteristics of nitrogen emissions at the village level. It was based on sampling analyses and field investigations of crop management by farmers. Crop yield and other characteristics were also considered over two rotation cycles from 2016 to 2018. The NUFER-Farm model system was used to study the spatial and temporal characteristics of nitrogen emissions from Xinan village and their correlation with crop types, nitrogen input levels, frequency of irrigation, and soil texture. The results showed that total nitrogen (TN) emission and nitrous oxide (N_2O) emissions per unit area of farmland were not significantly different over the two rotation cycles. In contrast, the nitrogen losses caused by nitrate-nitrogen leaching and ammonia volatilization were significantly different. Compared with the first rotation cycle, the nitrate-nitrogen leaching and ammonia volatilization per unit area of farmland in the second rotation cycle increased by 60.1% and decreased by 13.8%, respectively; these significant differences were attributed to meteorological conditions and crop types. In terms of season, the TN emissions per unit area of farmland was significantly greater in autumn-winter-spring than in summer throughout the two years. The difference in the nitrogen emissions be-

收稿日期: 2019-11-20　　**录用日期:** 2020-02-19

作者简介: 陈　帅(1995—),女,河北衡水人,硕士研究生,从事水土资源与环境生态研究。E-mail:407774570@qq.com

***通信作者:** 魏　静　E-mail:weijing_199@163.com

基金项目: "十三五"国家重点研发计划项目(2016YFD0200403)

Project supported: National Key R&D Program of China(2016YFD0200403)

tween adjacent fields in the village was large, and there was no clear spatial distribution law. However, considering the village as a whole, there were certain patterns in the spatial distribution of the nitrogen emissions in different directions. The average TN emission rate in the northwest, northeast, southeast, and southwest were 66.8, 60.2, 59.6 kg N·hm^{-2}, and 52.3 kg N·hm^{-2}, respectively; the nitrogen losses in the southwest were significantly lower than those in other directions. The nitrogen emissions of farmlands at village level were significantly affected by crop type, nitrogen input level, frequency of irrigation, and soil texture. The average TN emission rate of local main crops presented significant differences; for example, the values for winter wheat, summer maize, and soybean were 40.5, 28.5 kg N·hm^{-2}, and 5.3 kg N·hm^{-2}, respectively. The nitrogen emissions presented an increasing trend with a high nitrogen fertilizer input and irrigation frequency over the two crop rotation systems. The soil texture of the farmland also had a great influence on the nitrogen emissions. The nitrogen emission rate of sand, sandy loam, and loam soil were 78.2, 60.4 kg N·hm^{-2}, and 51.0 kg N·hm^{-2}, respectively. In short, nitrogen emissions at the village level displayed a large temporal and spatial variation and were affected mainly by crop types, soil conditions, and management measures. Therefore, measures to reduce the nitrogen emissions at this level should be applied to optimize nitrogen fertilization irrigation, and distribution of crops.

Keywords: planting system; farmland nitrogen; spatio-temporal variation; influencing factor

氮肥在保障粮食生产上起了很大作用，但当投入量过高时氮肥的利用率会明显降低，未被作物吸收的氮养分或累积在土壤中，或通过径流、氨挥发等途径损失到环境中，造成了土壤酸化[1]、温室效应[2]、水体污染等[3]环境问题，因此氮素排放及其减排策略一直是国内外关注热点，而明确区域氮素排放特征是优化区域减排措施的前提，前人对此做了大量研究[4-8]。如胡春胜等[5]使用长期定位试验进行了多项关于农田氮素排放过程的研究。王激清等[8]借助农田生态系统氮素平衡模型估算了中国不同地区氮素输入输出及盈余，并分析了氮素产生的环境效应，认为2004年农田生态系统通过氨挥发、反硝化、淋溶径流和侵蚀等途径损失的氮为1 132.80万t，氮盈余为1 301.20万t。Zhao等[9]开发了NUFER-Farm模型（NUtrient flow in Food chain, Environment and Resources use-Farm），更进一步细化了氮从生产到人类消费，以及最终去向的核算，为中国农户氮素流动分析提供了方法。但这些研究多注重大尺度如全球、国家、区域和微观尺度如农田及其土壤过程的研究，对氮素减排的实施者农户及小区域农户构成的基本集体——村域重视不够，使得很多减排措施难以落地，制约了氮素减排的进程。在中国，村域是农村社会经济活动的基本单元，农户是农业生产经营活动的主体单位，也是氮素减排的重要实施者，因此阐明村域农田氮素排放特征及其影响因素，对于减排措施的落地具有重要指导意义[10-11]。河北省石家庄市正定县新安村位于华北平原中部，是典型冬小麦-夏玉米轮作区，其管理方式符合中国目前的小农户模式，代表了我国华北地区大部分村域的特点。为此，本文以正定新安村为研究对象，从农户作物生产管理现状出发，基于NUFER-Farm模型对整个村域的氮素排放进行核算，分析其排放特征及影响因素，以期为村域氮素管理措施的制定提供科学依据和决策支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

新安村地处石家庄市正定县北部，该村现有1 370户，人口5 100余人，耕地面积300 hm^{2}左右，土壤以褐土为主，质地主要是砂土与砂壤土。土壤全氮0.8~1.29 g·kg^{-1}，有机质6.9~40.8 g·kg^{-1}，有效磷4.8~68.8 mg·kg^{-1}，速效钾38.8~174.0 mg·kg^{-1}。当地主要种植制度为一年两作，秋冬春季主要为冬小麦，夏季主要为夏玉米或大豆。冬小麦、夏玉米、大豆的种植面积分别为255、170、85 hm^2，分别占85.0%、56.7%、28.3%；根据调研结果统计，3种作物的氮肥投入水平分别在48~370、80~268、0~59 kg·hm^{-2}之间，灌溉次数分别为4~10、1~2、1~2次。

1.2 研究方法

农田氮素排放的核算是以Microsoft Access 2010为数据管理平台，以R studio 0.98.978为开发平台的NUFER-Farm模型系统[9]。该模型在物质守恒条件下用于计算不同作物种类、农田、作物子系统的多类农户的养分流动、利用率及环境损失情况。本研究只用到作物生产子系统，由农户数据和系统参数表组成。农户数据包括：农户基本信息、作物生产信息、作物去向表。系统参数表包括：氮沉降、作物相关的参数、农田氨挥发、氧化亚氮排放、氮淋洗系数表等。其中作物相关参数（作物产量、植株各器官吸氮量）由跟踪农田取样实测获得，氨挥发排放由田间试验实测获得；其他参数来自NUFER-Farm模型。采用“Bottom-up”

方法,计算农田中每种作物的氮素排放量和农田每年的氮素排放量,农田固氮和大气沉降根据地块面积与单位固氮或沉降速率的乘积得到;化肥、种子、灌溉等带入和输出带走的氮采用各项的数量与相应的氮含量乘积获得。各种形式的氮素排放量均采用排放系数法进行估算,不同途径的氮损失系数依据土壤类型、作物种类、肥料种类及施肥方式而定。

氮素总排放应包括氨挥发、氮的淋溶和径流、脱氮等。华北平原径流损失很小,不包括在内。从环境角度考虑,本文氮素总排放定义为氨挥发、硝态氮淋洗和氧化亚氮的总和。

GIS软件绘制空间分布图:首先,将最新版新安村的遥感影像图从Google Earth大地图软件下载,加载到ArcGIS 10.2.2软件上,根据GPS定位信息对遥感图进行校准,根据底图中居民点、道路、河流、农田等空间分布建立点、线、面图层,用点、线、面对地物进行勾画,并根据田间调研信息、田间跟踪记录、模型计算的环境损失等建立空间分布图。

为了考察村域氮素排放的空间特征,研究中按照方向不同,以村内主要道路为中心线划分为东北、东南、西北、西南4个方位。

1.3 数据来源

数据来源包括田间调研、跟踪和实测3部分,覆盖全村范围,对2016年10月—2018年10月两个轮作周期,分5次对村子不同方位的农户开展随机抽样调研,有效样本量为254份。田间跟踪信息以中国农业大学现代农业"科技小院"网络——河北正定科技小院为依托,进行农户田间记录跟踪,在村中随机选取40户地块,对农户种植的冬小麦、夏玉米及大豆的生长管理信息进行记录并测定。调研、跟踪信息包括:户主基本信息、地块位置及面积、作物种类、播种面积、播期、播量、播种方式、各时期苗情信息;肥料投入量、养分比例、施肥日期;灌溉日期、次数、用水量、产量等。

在试验前进行耕层土壤样品采集工作,在每个采样点位置10 m半径内,采用"S"法采集5钻土壤样品,最后将充分混合的土样用四分法保留1 kg。共采集土壤样品121个,用GPS记录每个采样点的经纬度,用激光粒度分析仪S3500(美国)测定土壤质地。

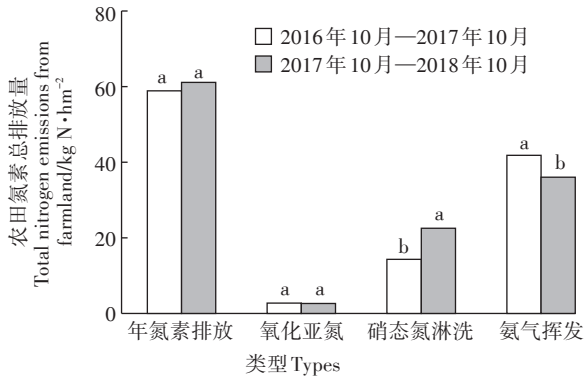
2 结果与分析

2.1 新安村不同轮作周期农田氮素排放强度

2016年10月—2018年10月,新安村两个轮作周期单位面积农田氮素排放量如图1所示,两个轮作周期单位面积农田氮素总排放量分别为58.9 kg N·hm^{-2}和61.2 kg N·hm^{-2},差异不显著,但具体到硝态氮淋洗和氨挥发则有明显差异,第二个轮作周期单位面积农田的硝态氮淋洗量显著高于第一个轮作周期,从14.3 kg N·hm^{-2}增加到22.9 kg N·hm^{-2},增幅为60.1%,氨挥发量从41.9 kg N·hm^{-2}减少到36.1 kg N·hm^{-2},降幅为13.8%,差异显著。氧化亚氮两个轮作周期差异不显著。不同季节单位面积农田氮素排放情况如图2所示,两个轮作周期单位面积农田氮素总排放量均表现为秋冬春季>夏季,秋冬春季为50.3 kg N·hm^{-2},夏季为33.3 kg N·hm^{-2}。氨挥发量、硝态氮淋洗量、氧化亚氮排放量也表现出相同趋势。其中秋冬春季硝态氮淋洗量、氨挥发量与夏季差异显著。

2.2 新安村不同方位农田氮素排放强度

从新安村氮素总排放强度空间分布(图3a)



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

图1 新安村不同轮作周期农田氮素排放

Figure 1 Nitrogen emission of farmland in different rotation cycles of Xinan Village

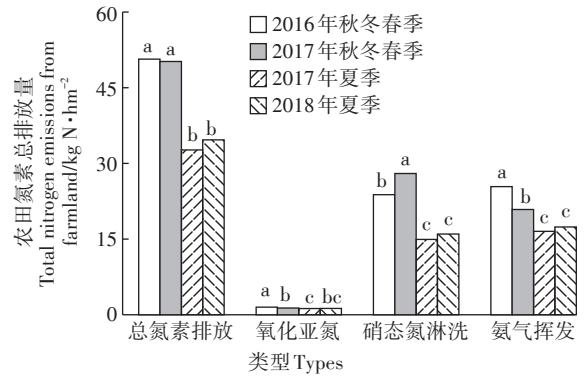


图2 新安村不同种植季节农田氮素排放

Figure 2 Nitrogen emission of farmland in different planting seasons of Xinan Village

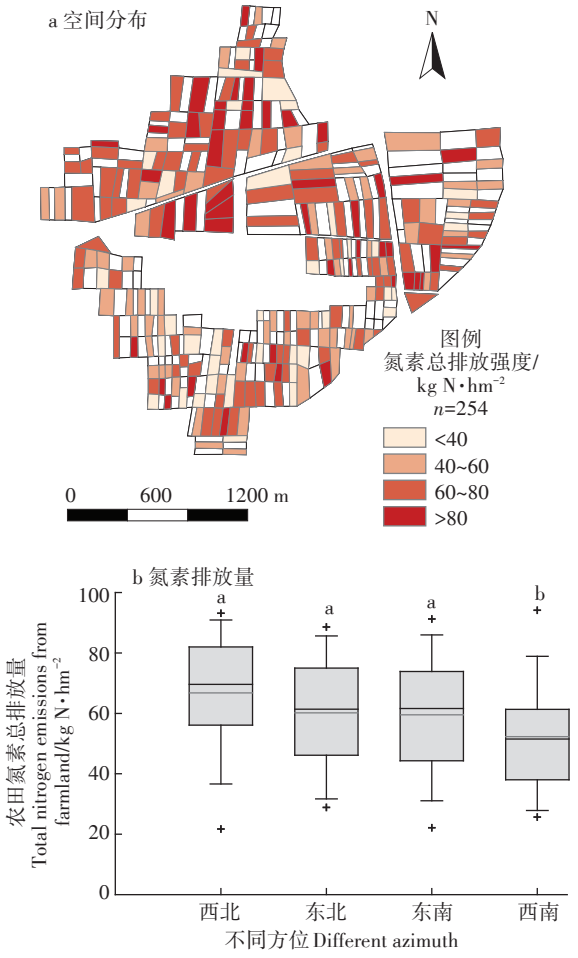


图3 新安村氮素总排放的空间分布和不同方位氮素排放量

Figure 3 Spatial distribution and average in different areas of total nitrogen emissions from Xinan Village

看，各临近地块间差异很大，没有明显的规律；而村域西南方位农田氮素总排放量整体低于其他方位（图3b）。新安村西南方位单位面积农田总氮素排放平均值为52.3 kg N·hm^{-2}，显著低于西北方位的66.8 kg N·hm^{-2}、东北方位的60.2 kg N·hm^{-2}和东南方位的59.6 kg N·hm^{-2}（P<0.05）；其他方位相互差异不显著。

2.3 新安村农田氮素排放特征与作物种类的关系

村域氮素排放特征与作物种类和面积紧密相关，不同作物需肥特性不同，农田氮素排放特征也不同。由图4可知，冬小麦、夏玉米和大豆单位面积农田氮素排放平均值分别为40.5、28.5 kg N·hm^{-2}和5.3 kg N·hm^{-2}，3种作物间氮素总排放量差异显著，大豆的氮素总排放量最小。新安村作物种类以冬小麦占比最大，大豆占比最小。因此增加大豆种植面积能够明显降低村域整体氮素排放量。

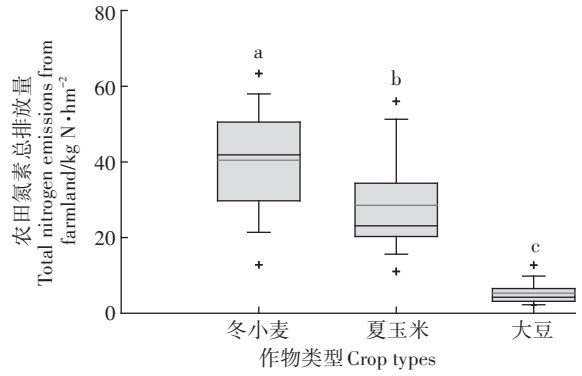


图4 不同作物种类农田氮素排放

Figure 4 Nitrogen emission from farmland of different crop species in Xinan Village

2.4 新安村农田氮素排放特征与施氮量的关系

大量研究表明，施氮量是影响氮素排放的重要因素，本文在村域尺度的研究也证明了这一点。由图5a可知，随着氮肥用量的不断增加，农田氮素总排放量也在不断增加。由此可见，农户氮肥用量的差异是造成单位面积农田氮素总排放量差异的重要因素。不同作物种类农田氮肥投入量明显不同（图5b），冬小麦单位面积农田氮肥用量区间为138.1~272.5 kg·hm^{-2}，平均值为214.7 kg·hm^{-2}，显著高于夏玉米（区间为121.1~207.0 kg·hm^{-2}，平均值为160.0 kg·hm^{-2}）、大豆（区间为0~41.2 kg·hm^{-2}，平均值为9.84 kg·hm^{-2}），因此，增加大豆种植面积可以有效减少村域整体氮素投入，从而降低村域氮素排放量。

2.5 新安村农田氮素排放特征与灌溉次数的关系

图6为不同轮作体系下灌溉次数与农田氮素总排放量的关系，由图可知，两个轮作体系均随农田灌溉次数的增加而呈现增加的趋势。在冬小麦-夏玉米轮作体系与农田氮素总排放关系中（图6a），灌溉次数≥8次的农田氮素总排放量显著高于灌溉6次和≤5次的。在冬小麦-大豆轮作体系与氮素总排放关系中（图6b），农田灌溉次数≥8次的农田氮素总排放量与灌溉次数≤5、6次和7次的相比差异均显著。

2.6 新安村农田氮素排放特征与土壤质地的关系

如图7a所示，新安村不同土壤质地条件下单位面积农田氮素排放存在显著差异，砂土质地单位面积农田氮素排放平均值为78.2 kg N·hm^{-2}，显著高于砂壤土的60.4 kg N·hm^{-2}和壤土的51.0 kg N·hm^{-2}，3种质地间相比均差异显著。砂土、砂壤土和壤土单位面积农田氮素总排放量区间分别为63.1~92.3、33.9~84.8 kg N·hm^{-2}和25.9~76.3 kg N·hm^{-2}。

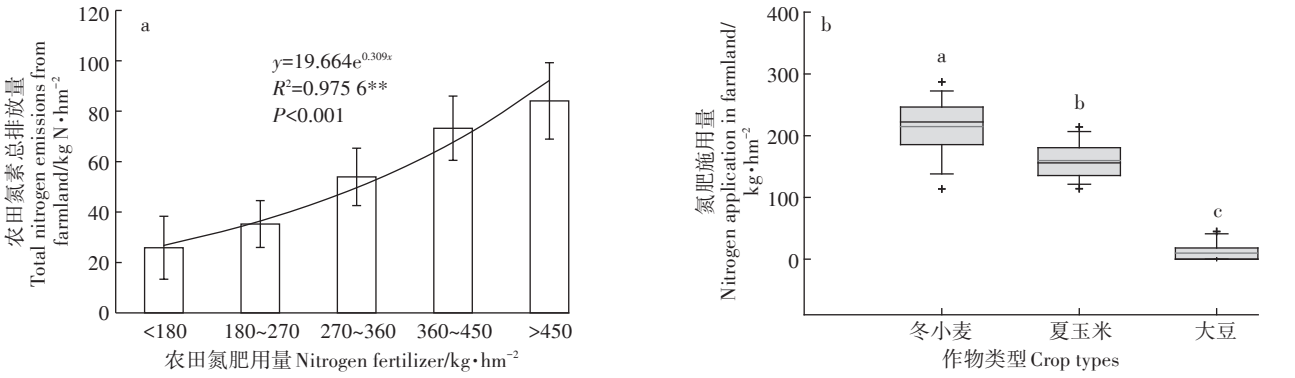


图5 新安村氮肥用量与氮素排放的关系及不同作物种类氮肥施用量

Figure 5 Relationship between nitrogen application amount and nitrogen emission, and nitrogen application of different crop species in Xinan Village

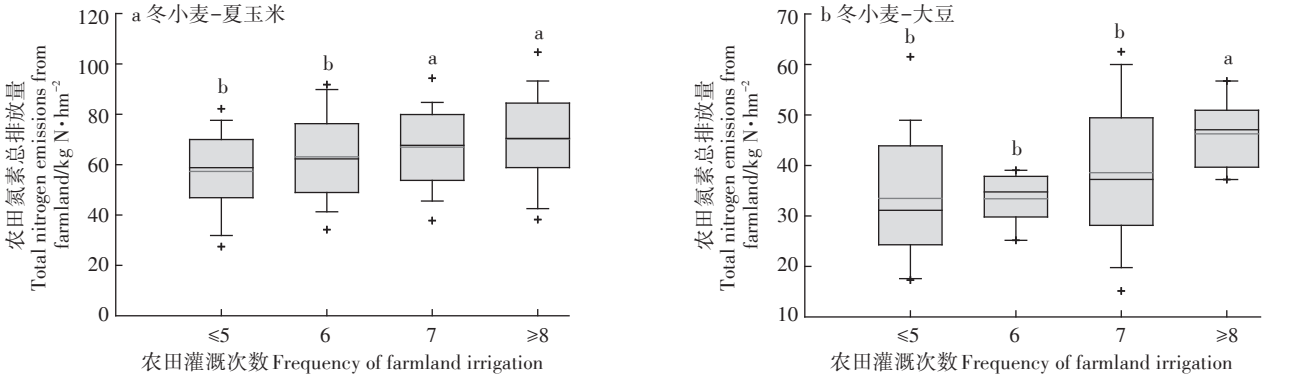


图6 新安村冬小麦-夏玉米和冬小麦-大豆农田灌溉次数与氮素排放的关系

Figure 6 Relationship between nitrogen emission and irrigation frequency of winter wheat-summer maize and winter wheat-soybean in Xinan Village

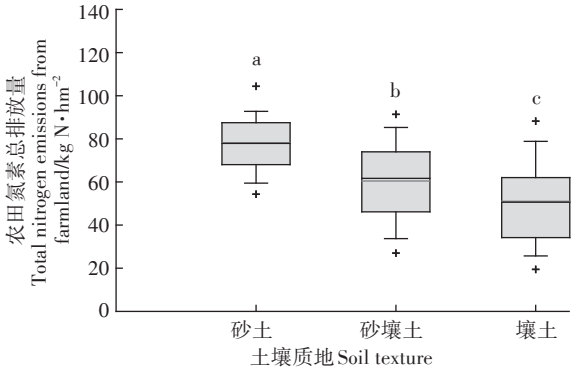


图7 新安村不同土壤质地农田氮素排放量

Figure 7 Nitrogen emission of farmland with different soil textures in Xinan Village

3 讨论

3.1 村域农田氮素排放特征

中国食物链系统养分流动模型——NUFER是在前人运用的基础上进行的,近年来已在不同区域尺度的氮素流动系统得到了验证与应用,具有很高的可信度[12]。本研究结果表明,在村域尺度下,农田氮素的排放强度在作物种植周期上略有不同。新安村2016—2018年两个轮作周期内,第二个轮作周期相比于第一个轮作周期单位面积农田硝态氮淋洗量增长了60.1%;氨挥发量减少了13.8%,这主要是受到了气象条件的影响[13]。张英鹏等[14]在山东德州的研究结果为农户习惯管理中夏玉米季淋洗量要高于冬小麦季,而本研究结果中,农田氮素排放均为秋冬春季>夏季(即冬小麦季>夏玉米季),这与村域农户的管理方式有关:小麦生长周期长于夏玉米/大豆;小麦返青后,为保证作物产量,农户选择大量追肥且以每10~15 d为周期,采用大水漫灌的方式进行灌溉,夏玉米种植过程中农户多选择在播种时施入底肥并灌溉,后期不再追肥灌溉,从而造成新安村农田单位面积硝态氮淋洗强度及氨挥发强度在秋冬春季>夏季。本研究年平均硝态氮淋洗量为7.0~29.6 kg N·hm^{-2},与杨宪龙等[15]研究的4 a平均淋失量2.7~18.9 kg N·hm^{-2}不同,

原因可能是硝态氮在土壤剖面中的累积和移动在年际间变异较大[16]。氧化亚氮的年排放量为1.2~3.7 kg N·hm^{-2},与张玉铭等[17]在河北栾城褐土上测定的氧化亚氮年排放量1.4~3.3 kg N·hm^{-2}相近。本文对村域农田氮素排放空间分布的分析结果不同于区域大尺度的研究结果[7-8],各邻近农田之间氮素排放量差异较大,规律不明显,但在村域不同空间方位分布上有一定的差异,原因是小农户自身生产的特点,造成农田氮素排放的差异[18]。因此,在村域尺度下对氮素减排措施的优化应以农户和田块的管理为重点。

3.2 村域农田氮素排放的影响因素

氮素排放与作物种类、施肥量、灌溉、土壤质地等多因素密切相关。本文研究表明,村域尺度上,作物种类和轮作制度对氮素排放影响显著,小麦排放最多,玉米次之,而大豆排放最小,这与一些研究结果是一致的[19-20]。有研究表明[20],水稻种植过程中,氨挥发占主导地位,其次是径流,渗漏损失最小,但豆科类植物加入轮作可有效降低氮素排放。众多研究表明,随着氮肥施用量增加,氮素总排放量增加,本文在村域尺度下也证明了这一点。从研究结果看,新安村单位面积农田施氮水平显著高于华北平原区域最佳施氮量[21],农户对氮肥的过量施用依然是影响村域尺度氮素排放的核心因素。灌溉也是影响氮素总排放的重要因素,李桢等[22]研究表明,在粉砂土壤上,当施氮水平不变时,过量灌溉会加剧单位面积农田氨挥发量。在本研究中,随着灌溉次数的增加,两种轮作体系的农田总氮素排放量都为增长趋势。金欣欣等[23]在华北平原的研究也表明,小麦季灌溉超过3水后,氮肥损失率会显著增加,因此,小麦生长季灌2水或3水是华北地区较好的选择。土壤含水量和土壤质地通常也是影响农田氮素排放的主要因子[24]。本文结果表明,随着土壤质地加重,氮素排放会减少,主要是土壤质地和结构决定土壤的透水性,粗质地土壤中的水分和硝态氮迁移深度会明显大于细质地土壤,更易造成硝态氮淋洗。有研究表明[25-27],不同质地土壤硝态氮含量为壤土>砂质壤土>壤质砂土,也说明随质地加重,土壤硝态氮更容易在土体累积而损失减少。

近年来,我国农田氮素排放量一直在呈现显著增加的趋势,由于受粮食经济利益的驱动,农田氮素排放量在未来还会增加,在保障产量的前提下优化氮肥用量是减少农田氮素排放最直接和有效的措施[28]。根据我国发展的现状,村域小农户是此项措施的直接行为人,因此,加强小农户对农田科学管理的意识是十分必要的。例如Huang等[29]在我国山东通过对农民进行技术培训,有效引导农民进行合理施肥,可以达到玉米农田氮肥施用减量的效果。采用氮肥后移措施可有效提高作物氮素吸收利用效率,减少氮素损失[30]。另外,新安村的灌溉方式为传统的大水漫灌,这是造成土壤硝态氮淋洗的重要原因,因此合理灌溉可减少硝态氮淋洗。调控土壤湿度也是降低土壤N_2O排放的关键所在[24]。新安村土壤质地存在差异,根据不同质地分布因地制宜种植作物,也是改善农田氮素排放的重要措施。

4 结论

(1)两个轮作周期单位面积农田氮素总排放量和氧化亚氮排放量差异不显著,但硝态氮淋洗量和氨挥发量差异显著,在季节上,单位面积农田氮素总排放量秋冬春季显著高于夏季。各邻近田块间氮素排放差异较大,空间规律不明显,但村域整体方位分布存在一定规律,西南方位氮素排放最低。

(2)作物种类、施氮量、灌溉次数与土壤质地对农田氮素排放均有不同程度的影响。作物氮素排放量表现为:冬小麦>夏玉米>大豆;两个轮作体系氮素总排放量均随施氮量、灌溉次数的增加而增加;随着土壤黏粒的减少,单位面积农田氮素总排放量增多。

(3)村域农田氮素排放特征更多受到农户管理因素的影响,减排重点应放在农户和田间管理上。建议采取以下措施:一是优化氮肥施用,如降低施氮量、施肥时期后移等。二是合理灌溉,采取喷灌或滴灌等。三是调整作物布局,如新安村可增加大豆种植面积。

参考文献:

[1] 黄 武, 牟海燕, 梁 煊, 等. 土壤酸化的防护与治理研究进展[J]. 四川化工, 2019, 22(5):9-13.
HUANG Wu, MOU Hai-yan, LIANG Xuan, et al. Advances in soil acidification prevention and treatment[J]. *Sichuan Chemical Industry*, 2019, 22(5):9-13.

[2] 张 鑫. 施肥对小麦-大豆轮作体系产量可持续性与温室气体排放的影响[D]. 北京:中国农业科学院, 2019.
ZHANG Xin. Effects of fertilization on yield sustainability and greenhouse gas emissions under wheat-soybean rotation system[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2019.

[3] 张 慧, 林美卿. 我国农业生态问题/原因及对策研究[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(2):86-90, 107.
ZHANG Hui, LIN Mei-qing. Studies on the China′s agricultural ecological problems, causes and countermeasures[J]. *Journal of Shandong Agricultural University*(*Social Science Edition*), 2019, 21(2):86-90,

107.

[4] 马怡斐, 柏兆海, 马 林, 等. 栾城城郊型农牧系统养分流动与环境排放时空特征[J]. 中国农业科学, 2018, 51(3):493-506.
MA Yi-fei, BAI Zhao-hai, MA Lin, et al. Temporal and spatial changes of nutrient flows and losses in the peri-urban crop-livestock system in Luancheng[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(3):493-506.

[5] 胡春胜, 张玉铭, 秦树平, 等. 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.
HU Chun-sheng, ZHANG Yu-ming, QIN Shu-ping, et al. Nitrogen processes and related environmental effects on agro-ecosystem in the North China Plain[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(10):1501-1514.

[6] 佟丙辛, 张华芳, 高肖贤, 等. 华北平原典型区域农牧系统氮素流动及其环境效应: 以河北省为例[J]. 中国农业科学, 2018, 51(3):442-455.
TONG Bing-xin, ZHANG Hua-fang, GAO Xiao-xian, et al. Nitrogen flow and environmental effects of crop-livestock system in typical area of North China Plain: A case study in Hebei Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(3):442-455.

[7] 李书田, 金继运. 中国不同区域农田养分输入、输出与平衡[J]. 中国农业科学, 2011, 44(20):4207-4229.
LI Shu-tian, JIN Ji-yun. Characteristics of nutrient input/output and nutrient balance in different regions of China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(20):4207-4229.

[8] 王激清, 马文奇, 江荣风, 等. 中国农田生态系统氮素平衡模型的建立及其应用[J]. 农业工程学报, 2007(8):220-225.
WANG Ji-qing, MA Wen-qi, JIANG Rong-feng, et al. Development and application of nitrogen balance model of agroecosystem in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007(8):220-225.

[9] Zhao Z Q, Bai Z H, Wei S, et al. Modeling farm nutrient flows in the North China Plain to reduce nutrient losses[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2017, 108(2):231-244.

[10] 李裕瑞, 刘彦随, 龙花楼. 黄淮海典型地区村域转型发展的特征与机理[J]. 地理学报, 2012, 67(6):771-782.
LI Yu-rui, LIU Yan-sui, LONG Hua-lou. Characteristics and mechanism of village transformation development in typical regions of Huang-huai-hai Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(6):771-782.

[11] 张可心. 基于产业兴旺的乡村振兴战略模式研究——以陕西省为例[D]. 西安:西北大学, 2019.
ZHANG Ke-xin. The model research of rural vitalization strategy based on thriving businesses: A case study of Shaanxi Province[D]. Xi'an:Northwest University, 2019.

[12] 马 林, 马文奇, 张福锁, 等. 中国食物链养分流动与管理研究[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(10):1494-1500.
MA Lin, MA Wen-qi, ZHANG Fu-suo, et al. Nutrient flow and management in the food chain in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(10):1494-1500.

[13] 罗文兵, 洪 林. 农田地表径流氮素流失特性分析[J]. 灌溉排水学报, 2011, 30(4):53-56.
LUO Wen-bing, HONG Lin. Characteristics of nitrogen losses in surface run off from farmland[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(4):53-56.

[14] 张英鹏, 李洪杰, 刘兆辉, 等. 农田减氮调控施肥对华北潮土区小麦-玉米轮作体系氮素损失的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4):1179-1187.
ZHANG Ying-peng, LI Hong-jie, LIU Zhao-hui, et al. Effect of reducing N and regulated fertilization on N loss from wheat-maize rotation system of farmland in chao soil region of North China Plain[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(4):1179-1187.

[15] 杨宪龙, 路永莉, 同延安, 等. 施氮和秸秆还田对小麦-玉米轮作农田硝态氮淋溶的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(3):564-573.
YANG Xian-long, LU Yong-li, TONG Yan-an, et al. Effects of application of nitrogen fertilizer and in corporation of straw on nitrate leaching in farmland under wheat-maize rotation system[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2013, 50(3):564-573.

[16] 巨晓棠, 刘学军, 张福锁, 等. 冬小麦/夏玉米轮作中NO_3^--N在土壤剖面的累积及移动[J]. 土壤学报, 2003, 40(4):538-546.
JU Xiao-tang, LIU Xue-jun, ZHANG Fu-suo, et al. Accumulation and movement of NO_3^--N in soil profile in winter wheat and summer maize rotation system[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(4):538-546.

[17] 张玉铭, 曾江海, 董文旭, 等. 小麦-玉米轮作系统中土壤氮素的硝化—反硝化损失[C]//氮素循环与农业和环境专辑——氮素循环与农业和环境学术讨论会论文集, 2001:248-254.
ZHANG Yu-ming, ZENG Jiang-hai, DONG Wen-xu, et al. Nitrification dinitrification of soil nitrogen in winter wheat-summer maize rotation system[C]//Abstract Proceeding of Workshop for Nitrogen Cycling Related to Agriculture and Environment, 2001:248-254.

[18] Cui Z L, Zhang H Y, Chen X P, et al. Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers[J]. *Nature*, 2018, 555(7696):363-366.

[19] 曾 科. 大豆/玉米和高粱生长对土壤氧化亚氮排放的影响[D]. 武汉:湖北大学, 2016.
ZENG Ke. Effect of soybean, maize and sorghum growth on N_2O emission from soil[D]. Wuhan:Hubei University, 2016.

[20] 张子璐, 刘 峰, 侯庭钰. 我国稻田氮磷流失现状及影响因素研究进展[J]. 应用生态学报, 2019, 30(10):3292-3302.
ZHANG Zi-lu, LIU Feng, HOU Ting-yu. Current status of nitrogen and phosphorus losses and related factors in Chinese paddy fields: A review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(10):3292-3302.

[20] 张亦涛. 基于农学效应和环境效益的华北平原主要粮食作物合理施氮量确定方法研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2018.
ZHANG Yi-tao. Study on determination method of reasonable nitrogen application of major grain crops in North China Plain based on agronomic effect and environmental benefit[D]. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.

[22] 李 祯, 史海滨, 李仙岳, 等. 不同水氮运筹模式对田间土壤氨挥发及春玉米籽粒产量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(4):799-807.

LI Zhen, SHI Hai-bin, LI Xian-yue, et al. Ammonia volatilization in soil and grain yield of the spring maize under different water-nitrogen management regimes[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(4):799-807.

[23]金欣欣, 张喜英, 陈素英, 等. 不同灌溉次数和灌溉量对冬小麦氮素吸收转移的影响[J]. 华北农学报, 2009(4):116-122.
JIN Xin-xin, ZHANG Xi-ying, CHEN Su-ying, et al. Effect of different irrigation frequency and amount on nitrogen uptake, translocation of winter wheat[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009(4):116-122.

[24]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 Li-li, WU Gen-yi. Advances in affecting factors of ammonia in farmland[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2019, 24(1):149-162.

[25] 曹文超, 宋　贺, 王娅婧, 等. 农田土壤N_2O排放的关键过程及影响因素[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(10):1781-1798.
CAO Wen-chao, SONG He, WANG Ya-jing, et al. Key production processes and influencing factors of nitrous oxide emissions from agricultural soils[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2019, 25(10):1781-1798.

[26] 王大鹏, 郑　亮, 吴小平, 等. 旱地土壤硝态氮的产生、淋洗迁移及调控措施[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(12):1731-1741.
WANG Da-peng, ZHENG Liang, WU Xiao-ping, et al. Review of soil nitrate formation, leaching transport and their control measures in upland farming systems[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(12):1731-1741.

[27] Silva R G, Holub S M, Jorgensen E E, et al. Indicators of nitrate leaching loss under different land use of clayey and sandy soils in Southeastern Oklahoma[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2005, 109(3/4):346-359.

[28] 赵　峥, 吴淑杭, 周德平, 等. 基于DNDC模型的稻田氮素流失及其影响因素研究[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(12):2405-2412.
ZHAO Zheng, WU Shu-hang, ZHOU De-ping, et al. Modeling N loss from paddy fields and sensitivity analysis with DNDC model[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2016, 35(12):2405-2412.

[29] Huang J, Xiang C, Jia X, et al. Impacts of training on farmers′ nitrogen use in maize production in Shandong, China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 67(4):321-327.

[30] 侯云鹏, 杨　建, 尹彩侠. 氮肥后移对春玉米产量、氮素吸收利用及土壤氮素供应的影响[J]. 玉米科学, 2019, 27(2):146-154.
HOU Yun-peng, YANG Jian, YIN Cai-xia, et al. Effect of postponing nitrogen application on the yield/nitrogen absorption and utilization and soil nitrogen supply in spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2019, 27(2):146-154.