

## 微咸水与淡水轮灌对春玉米土壤 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响

王帅杰<sup>1</sup> 杨培岭<sup>1\*</sup> 苏艳平<sup>1</sup> 商放泽<sup>2</sup> 魏琛琛<sup>1</sup> 任树梅<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 水利与土木工程学院, 北京 100083;

2. 清华大学 土木水利学院, 北京 100084)

**摘要** 为探究咸淡轮灌模式下春玉米土壤温室气体的排放特性,采用4种水质,即淡水和矿化度分别为2、3.5和5 g/L的微咸水;2种轮灌方式,即淡水—微咸水(1:1)和淡水—微咸水—微咸水(1:2)循环轮灌进行滴灌试验,分析了不同处理对农田土壤 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 排放和春玉米产量的影响。结果表明:1)1:2轮灌处理 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 日平均排放通量比1:1轮灌分别低10.26%、8.74%。2)矿化度为3.5和5 g/L微咸水处理 CO<sub>2</sub> 气体日均排放通量比2 g/L分别低27.82%、31.16%,N<sub>2</sub>O 气体日平均排放通量比2 g/L分别低4.46%、8.23%。3)相比2 g/L处理,3.5和5 g/L处理产量平均减少5.92%、11.05%;1:2轮灌比1:1轮灌产量平均减少2.00%。4)显著性分析表明:水质对 CO<sub>2</sub> 气体日平均排放通量和玉米产量的影响显著( $P < 0.05$ ),对 N<sub>2</sub>O 气体排放通量无显著影响( $P > 0.05$ );轮灌方式对 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 气体排放通量和玉米产量的影响不显著( $P > 0.05$ )。

**关键词** 玉米; 微咸水; 轮灌; CO<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>O; 土壤

中图分类号 S513;S512.4

文章编号 1007-4333(2018)10-0041-08

文献标志码 A

## Effects of alternative irrigation between brackish water and fresh water on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emission from spring maize soil

WANG Shuaijie<sup>1</sup>, YANG Peiling<sup>1\*</sup>, SU Yanping<sup>1</sup>, SHANG Fangze<sup>2</sup>,  
WEI Chenchen<sup>1</sup>, REN Shumei<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract** In order to investigate the influences of alternative irrigation between brackish water and fresh water on greenhouse gas emission from spring maize soil, drip irrigation experiments with four kinds of water quality and two different irrigation methods were conducted. The results showed that: The average daily emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O flux of 1:2 alternative irrigation were respectively reduced by 10.26% and 8.74% compared with that of 1:1 alternative irrigation. The average emission of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O flux were 27.82% and 31.16% lower than that of 2.0 g/L and the average emissions flux of N<sub>2</sub>O gas were 4.46% and 8.23% lower than that of 2.0 g/L, respectively. Compared to 2.0 g/L brackish water treatment, the corn yield of 3.5 g/L and 5.0 g/L treatment respectively decreased by 5.92% and 11.05% on average. The corn yield of 1:2 alternative irrigation treatment was 2.00% lower than that of 1:1 on average. The results significant difference analysis showed that: The water quality had a significant effect on the daily average emission of CO<sub>2</sub> flux and maize yield ( $P < 0.05$ ), whereas the water quality did not have significant effects on N<sub>2</sub>O emission flux ( $P > 0.05$ ); The effect of alternative irrigation on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O emission fluxes and maize yield were not significant ( $P > 0.05$ ).

**Keywords** maize; brackish water; alternative irrigation; CO<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>O; soil

收稿日期: 2018-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(51679239)

第一作者: 王帅杰, 硕士研究生, E-mail: 826529191@qq.com

通讯作者: 杨培岭, 教授, 主要从事农业水土资源、灌溉理论与技术研究, E-mail: yangpeiling@126.com

我国水资源短缺、供需矛盾及农业用水浪费严重等问题已成为制约社会经济可持续发展的重要瓶颈<sup>[1]</sup>。一般认为含盐量为 2~5 g/L 的水资源为微咸水<sup>[2]</sup>,在我国西北、华北及沿海地区,地下微咸水资源十分丰富,且大部分埋深较浅,可开发利用的潜力巨大<sup>[3]</sup>。微咸水作为一种非常规水资源,以色列、美国、法国、日本等国家对微咸水开发已有较长时间,其技术日臻完善。而我国宁夏、内蒙古、甘肃、新疆等省区,均有利用咸水或微咸水进行灌溉并获得高产的经验<sup>[4]</sup>。因此,科学利用微咸水是缓解农业灌溉用水紧缺的新途径。

气候变化是人类面临的重大挑战,由人类活动造成的温室气体大量排放是导致气候变化的主要原因。大气中 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 两种温室气体对温室效应的贡献率占比为 80%,是温室气体的主要贡献者<sup>[5]</sup>。据统计,每年约 5%~20% 的 CO<sub>2</sub> 和 80%~90% 的 N<sub>2</sub>O 来源于土壤<sup>[6]</sup>,因此,作为土壤生态系统的重要组成部分和温室气体排放重要来源的农田土壤,其温室气体减排刻不容缓<sup>[7]</sup>。Tam 等<sup>[8]</sup>研究表明,土壤中不同的盐分含量对土壤微生物的生存和酶的活性有着重要的影响,可能会改变土壤的呼吸作用、硝化和反硝化作用,引起农田温室气体排放的变化。Neubauer 等<sup>[9]</sup>通过盐水入侵模拟试验发现,潮汐淡水湿地土壤盐度升高使 CO<sub>2</sub> 排放通量降低;Wong 等<sup>[10]</sup>在长江三角洲的研究结果表明,N<sub>2</sub>O

排放通量与盐度呈显著负相关关系;而邹其会等<sup>[11]</sup>研究表明清水和再生水灌溉对农田土壤温室气体 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放通量没有显著区别;郭永辰等<sup>[12]</sup>对咸淡水轮灌小麦试验发现,与淡水灌溉相比,生长期用咸水灌溉的产量降低 21.3%,而咸淡水轮灌处理仅减少 2.2%。春玉米作为一种较耐盐作物,研究咸淡水轮灌对春玉米土壤温室气体排放的影响有重要意义。

本研究拟采用淡水与 3 种矿化度的微咸水在 2 种轮灌方式下的滴灌试验,探讨微咸水轮灌对农田土壤温室气体排放的影响,以为农田土壤温室气体减排的合理微咸水灌溉模式提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验区概况

本试验于 2017 年 4—10 月在内蒙古自治区巴彦淖尔市临河区曙光试验站进行。试验区地处东经 107°24',北纬 40°46',多年平均气温 6.7℃;夏季高温干燥,蒸发量大,光照强,昼夜温差大;春秋季节时间较短;冬季漫长寒冷,土壤冻期较长,最大冻结深度 1.31 m,多年平均无霜期 160 d 左右。多年平均日照时数达 3 193 h,降雨多集中在 7—8 月,多年年均降雨量 142.1 mm,年均蒸发量 2 306.5 mm。试验用地土壤质地为粉砂壤土,地下水埋深浅。试验区土壤理化性质见表 1。

表 1 试验区土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical profiles of soil in experimental area

| 深度/cm<br>Depth | 不同颗粒质量分数/%<br>Different size particle mass fraction |         |         | 土壤质地<br>Soil<br>texture | 土壤密度/<br>(g/cm <sup>3</sup> )<br>Volume density | 田间持水量/%<br>Field capacity | 饱和含水率/%<br>Saturated<br>water content |
|----------------|---|---------|---------|-------------------------|---|---------------------------|---------------------------------------|
|                | 粘粒 Clay   | 粉粒 Silt | 砂粒 Sand |                         |   |                           |                                       |
|                | 0~20  | 7.694   | 62.379  |                         |   |                           |                                       |
| >20~40         | 4.137   | 57.845  | 38.018  | 粉砂壤土                    | 1.48  | 20.1                      | 30.6                                  |
| >40~60         | 3.477   | 55.746  | 40.777  | 粉砂壤土                    | 1.49  | 19.6                      | 33.4                                  |
| >60~80         | 12.907  | 79.086  | 8.008   | 粉砂粘壤土                   | 1.44  | 26.8                      | 34.2                                  |
| >80~100        | 17.894  | 80.699  | 1.407   | 粉砂粘壤土                   | 1.43  | 29.9                      | 34.1                                  |

### 1.2 试验设计

采用 4 种不同的灌水水质,即淡水和矿化度分别为 2、3.5 和 5 g/L 的微咸水;2 种轮灌方式,淡水—微咸水(1:1)和淡水—微咸水—微咸水(1:2)的循环轮灌方式。采用全因素设计,试验共计 6 个处理,每个处理 3 个重复。每个小区面积 4 m×

10 m,共计 18 个小区。各小区随机分布,每个小区间设置 1 m 隔离带,避免处理间的相互影响。2017 年 4 月 26 日采用人工点播方式播种,于 2017 年 9 月 13 日测产收获,生育期共 140 d。试验采用玉米膜下滴灌种植方式,一膜一带,一膜两行。玉米大行行距 70 cm,小行行距 40 cm,株距 30 cm。小行玉

米行间铺设滴灌带,壁厚 4 mm,灌水器工作流量均为 2 L/h,灌水器间距 30 cm。施肥量为内蒙古河套地区具有代表性的施肥量。

2017 年 4 月 22 日施入底肥,底肥施磷酸二铵 375 kg/hm<sup>2</sup>、尿素 75 kg/hm<sup>2</sup>,在 6 月 27 日、7 月 15 日和 8 月 14 日分别追施尿素,追氮量共 217.7 kg/hm<sup>2</sup>,3 次追施比例为 2 : 2 : 1,施肥采用施肥泵,随灌水施肥。所有处理的灌水频率为 6 d/次,前期每次灌溉 15 mm;7、8 月份日蒸发量大时,每次灌水 22.5 mm;

8 月中下旬,每次灌水 15 mm。全生育期共计灌水 16 次,总灌水量 300 mm;降雨 9 次,总降雨量 37.3 mm。全生育期内降雨和灌溉情况见图 1。试验所用淡水为地下水,由于当地的地下咸水主要在 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup> 这 3 种离子含量上与淡水存在较大差异,故本试验所用微咸水为淡水中添加 KCl、NaCl 配置而成,摩尔质量比例为 1 : 2,灌溉水质参数见表 2。滴灌处理除水质和轮灌方式不同外,其余田间管理措施均相同。

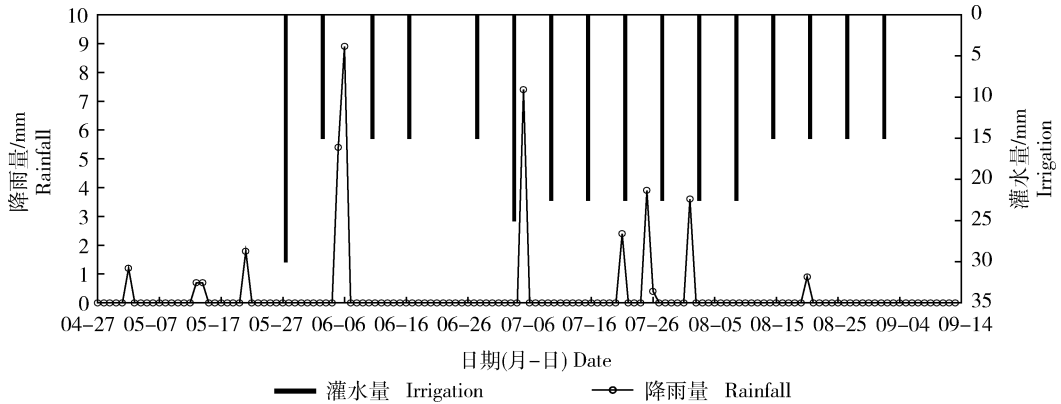


图 1 2017 年春玉米全生育期内灌水与降雨情况

Fig. 1 Irrigation and rainfall in the spring of 2017

表 2 灌溉水质参数

Table 2 Irrigation water quality

mg/L

| 水源<br>Water source                 | 矿化度<br>Salinity | 离子含量 Ion content |                  |                                  |                 |                               |                               |                               |
|------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                    |                 | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> 和 K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
| 当地地下水 Local ground water           | 1 157           | 90.2             | 48.6             | 193.8                            | 141.8           | 0                             | 240.2                         | 442.4                         |
| 当地咸水 Local salt water              | 2 804           | 70.1             | 79.0             | 825.0                            | 974.9           | 0                             | 336.2                         | 518.8                         |
| 灌溉微咸水<br>Irrigation brackish water | 2 000           | 90.2             | 48.6             | 567.8                            | 610.8           | 0                             | 240.2                         | 442.4                         |
|                                    | 3 500           | 90.2             | 48.6             | 1 233.6                          | 1445            | 0                             | 240.2                         | 442.4                         |
|                                    | 5 000           | 90.2             | 48.6             | 1 899.6                          | 2 279           | 0                             | 240.2                         | 442.4                         |

### 1.3 取样和测试方法分析

土壤温室气体 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 均采用封闭静态箱-气相色谱仪测定,春玉米生育期内每 7 d 采集 1 次气体样品,由于灌水频繁,只在施肥灌水处理后第 1、3、5、7 天分别进行加测。

温室气体测定装置由顶箱和地箱 2 部分组成。顶箱尺寸为 0.5 m × 0.5 m × 0.5 m,箱体顶部封闭,箱体框架为不锈钢材制成,四周及顶部均用 3 cm 厚的塑料泡沫及黄色胶带密封。地箱尺寸为 0.5 m × 0.5 m × 0.15 m,地箱不封闭,箱体由不锈钢制成,四周分别有两排圆孔,气体采样前 1 周将地箱埋入

土体 15 cm 深。每次采集气体前向地箱的水槽中加入 1/2 的水密封,用带有三通阀的聚苯乙烯注射器抽取箱内气体 50 mL 注入集气袋,在罩箱后第 0、10、20 和 30 min 的 4 个时间点共采集 4 次。采集后的样品利用气相色谱仪(Agilent 7890A)测定,温室气体排放通量计算式为:

$$F = \rho \times \frac{V}{A} \times \frac{\Delta c}{\Delta t} \times \frac{273}{T}$$

式中:  $F$  为 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 排放通量,mg/(m<sup>2</sup> · h);  $\rho$  为 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 在标准状态下的密度,mg/cm<sup>3</sup>;  $V$  为顶箱体积,m<sup>3</sup>;  $\Delta c/\Delta t$  为 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O 浓度随时间变化的斜

率(采用线性回归拟合);  $T$  为开氏温度, K。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同矿化度微咸水及轮灌方式对土壤 CO<sub>2</sub> 排放的影响

土壤呼吸作用是土壤产生 CO<sub>2</sub> 的主要来源<sup>[13]</sup>。土壤中有机的含量及矿化速率、土壤动植物的呼吸作用、土壤微生物类群的数量及活性等都是决定土壤呼吸强度的主要因素<sup>[14]</sup>。本试验所有处理保持灌水量、施肥量、作物生长等因素一致,探究不同矿化度微咸水及轮灌方式对土壤 CO<sub>2</sub> 气体排放的影响。微咸水灌溉会增加土壤中盐分含量,随着灌溉水矿化度的增加,土壤积盐程度加重,致使土壤微生物类群数量及活性降低,从而影响土壤呼吸作用<sup>[11,15]</sup>。春玉米生育期内土壤中 CO<sub>2</sub> 气体日排放通量的动态变化见图 2。淡水与矿化度为 2、3.5 和 5 g/L 微咸水 1:1 轮灌 3 种处理在整个生育期内 CO<sub>2</sub> 日排放通量分别为 576.70、437.39 和 407.41 mg/(m<sup>2</sup>·h)。与 2 g/L 微

咸水灌溉处理相比,3.5 和 5 g/L 微咸水处理 CO<sub>2</sub> 气体日排放通量减少 24.16% 和 29.35%。春玉米生育期内,低矿化度的处理 CO<sub>2</sub> 日排放通量相对较高,高矿化度的处理相对较低。显著性分析表明,水质对土壤 CO<sub>2</sub> 气体日排放通量差异显著 ( $P < 0.05$ )。

淡水与矿化度为 2、3.5 和 5 g/L 微咸水 1:2 轮灌 3 种处理在整个生育期内 CO<sub>2</sub> 日排放通量分别为 540.25、368.77 和 361.47 mg/(m<sup>2</sup>·h)。与 2 g/L 微咸水处理相比,3.5 和 5 g/L 微咸水处理 CO<sub>2</sub> 气体日排放通量减少 31.74% 和 33.09%。4 种水质在 2 种轮灌方式下,农田土壤 CO<sub>2</sub> 气体排放规律相同,水质对 CO<sub>2</sub> 排放通量有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。1:2 轮灌处理与 1:1 相比,矿化度为 2、3.5 和 5 g/L 微咸水处理 CO<sub>2</sub> 排放通量降幅达 6.32%、15.69% 和 11.28%,这是由于 1:2 轮灌处理灌溉咸水的次数增加,土壤盐分的累积程度增大,抑制土壤微生物和作物的呼吸作用,减少土壤 CO<sub>2</sub> 的排放,但轮灌方式对土壤 CO<sub>2</sub> 气体日排放通量差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

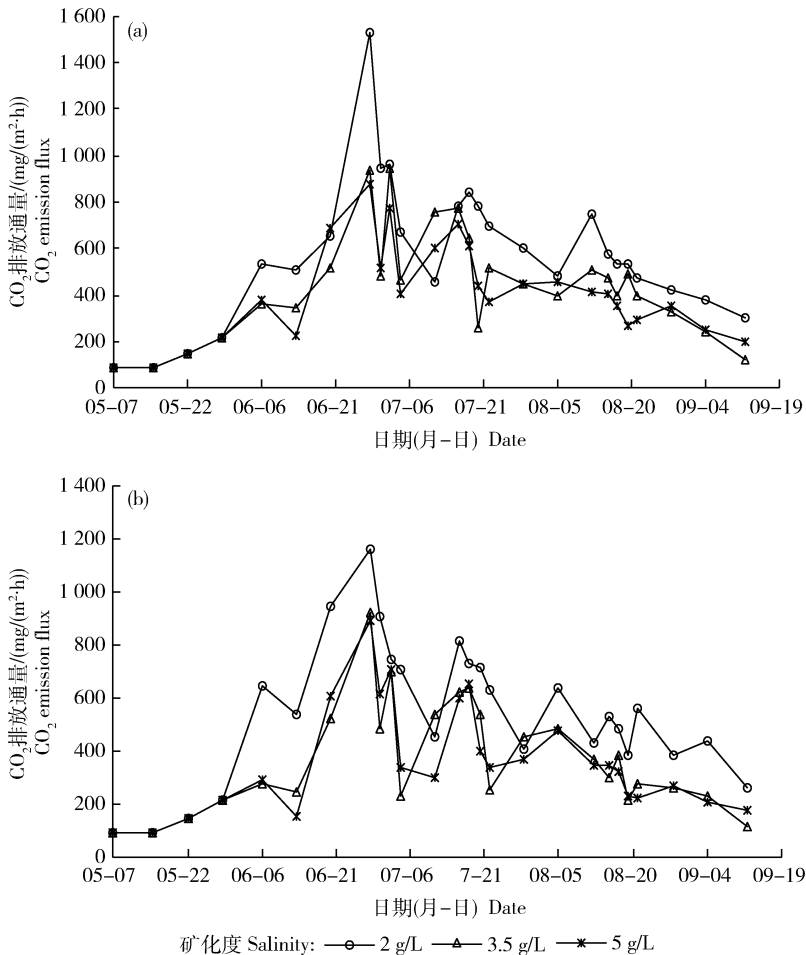


图 2 1:1 轮灌 (a) 和 1:2 轮灌 (b) 农田土壤 CO<sub>2</sub> 排放通量

Fig. 2 CO<sub>2</sub> emission fluxes under 1:1 (a) and 1:2 (b) alternative irrigation

## 2.2 不同矿化度微咸水及轮灌方式对土壤 N<sub>2</sub>O 排放的影响

土壤中 N<sub>2</sub>O 的产生是一个复杂过程,主要来源于土壤的硝化和反硝化作用,约占土壤总体排放量的 63%<sup>[16]</sup>。好氧条件下硝化作用产生的 N<sub>2</sub>O 占主导地位,而厌氧条件下主要由反硝化作用产生。氮肥的施用、氮肥种类、施肥量等都会显著影响 N<sub>2</sub>O 的排放,且与氮肥施肥量呈现正相关关系<sup>[17]</sup>;而土壤中盐分含量会抑制硝化过程,减少 N<sub>2</sub>O 的排放<sup>[18]</sup>。春玉米生育期内农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放的动态变化见图 3。滴灌淡水与矿化度为 2、3.5 和 5 g/L 微咸水 1:1 轮灌 3 种处理在整个生育期内 N<sub>2</sub>O 日排放通量分别为 47.96、46.95 和 44.52 μg/(m<sup>2</sup>·h)。与 2 g/L 微咸水灌溉处理相比,3.5 和 5 g/L 微咸水处理 N<sub>2</sub>O 气体日排放通量下降 2.11% 和 7.17%。所有处理在 3 次追肥后,N<sub>2</sub>O 的排放量明显增加,然后下降为施肥前的水平,变化较为明显。

这是因为施肥后,土壤中氮素含量增加,为硝化和反硝化作用提供丰富的氮源,加快硝化与反硝化作用,释放更多 N<sub>2</sub>O。随着微咸水矿化度增加,减少 N<sub>2</sub>O 的排放,但所有处理在整个春玉米生育期内 N<sub>2</sub>O 排放通量相差不大,显著差异分析表明不同矿化度的微咸水水质处理间 N<sub>2</sub>O 排放通量无显著性( $P>0.05$ )。

滴灌淡水与矿化度为 2、3.5 和 5 g/L 的微咸水 1:2 轮灌 3 种处理在整个生育期内 N<sub>2</sub>O 的日排放通量分别为 44.86、41.73 和 40.66 μg/(m<sup>2</sup>·h)。与 2 g/L 微咸水灌溉处理相比,3.5 和 5 g/L 微咸水处理 N<sub>2</sub>O 气体日排放通量降幅达 6.98% 和 9.36%。4 种水质在 2 种轮灌方式下,农田土壤 N<sub>2</sub>O 气体排放规律相似。1:2 轮灌处理与 1:1 相比,2、3.5 和 5 g/L 微咸水处理 N<sub>2</sub>O 气体排放通量降幅为 6.55%、11.12% 和 9.30%。说明同种水质条件下,咸水轮灌次数多的处理 N<sub>2</sub>O 的排放通量减少,这与 CO<sub>2</sub> 的排放规律相似。这是由于 1:2 轮灌处理咸水灌溉

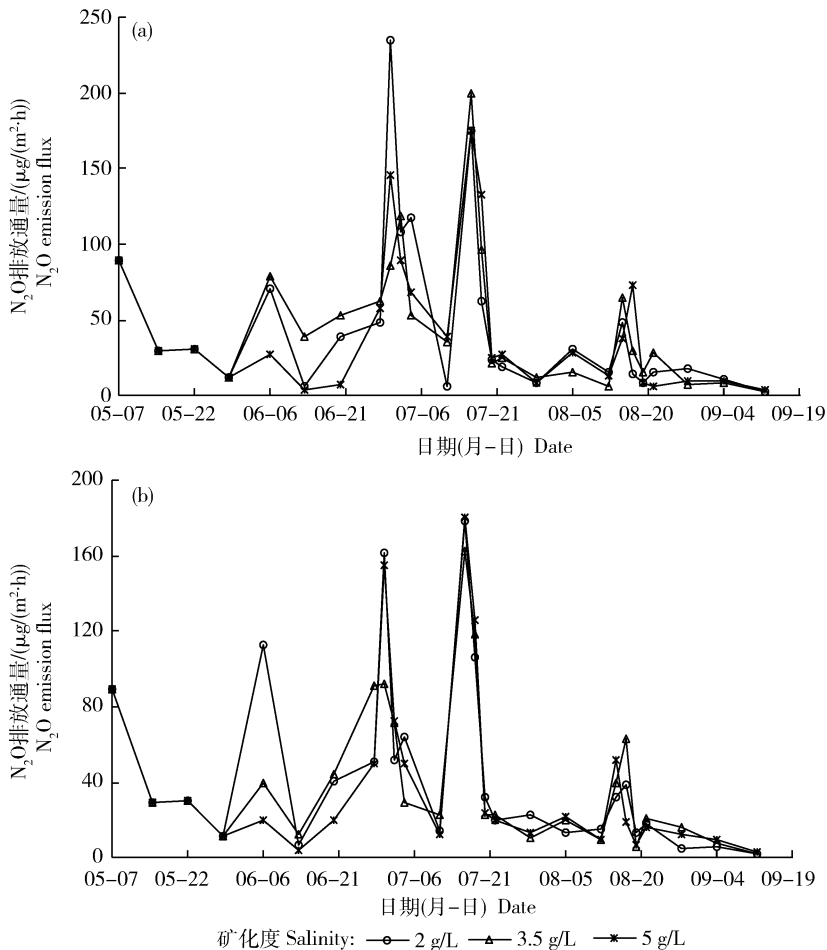


图 3 1:1 轮灌 (a) 和 1:2 轮灌 (b) 农田土壤 N<sub>2</sub>O 排放通量

Fig. 3 N<sub>2</sub>O emission fluxes under 1:1 (a) and 1:2 (b) alternative irrigation

次数多,导致土壤盐分累积多,盐分对硝化和反硝化细菌活性产生影响,抑制了 $N_2O$ 的排放。但差异性分析表明轮灌方式和灌水水质对农田土壤 $N_2O$ 排放通量都没有显著影响( $P>0.05$ )。

### 2.3 不同矿化度微咸水及轮灌方式对春玉米产量的影响

郑春莲等<sup>[19]</sup>利用不同矿化度咸水灌溉试验表明,咸水灌溉会造成玉米减产,作物产量随着灌溉水矿化度的升高而降低;盐分水平相同情况下<sup>[20]</sup>,咸淡水轮灌的作物产量要高于咸水灌溉的产量和咸淡水混灌作物产量。本试验选用当地常用春玉米品种“西蒙3358”。滴灌淡水与矿化度为2.0、3.5和5.0 g/L微咸水1:1轮灌3种处理产量分别为14 651.27、13 208.37和12 956.82 kg/hm<sup>2</sup>(表3),与2.0 g/L微咸水处理相比,3.5和5.0 g/L微咸水处理春玉米的产量分别减少9.84%和11.57%。随着灌溉水

矿化度增加,作物产量下降。滴灌淡水与矿化度为2.0、3.5和5.0 g/L的微咸水1:2轮灌3种处理产量分别为13 914.13、13 635.91和12 448.82 kg/hm<sup>2</sup>;与2.0 g/L微咸水处理相比,3.5和5.0 g/L微咸水处理春玉米的产量下降2.00%和10.54%。相同水质下,1:2轮灌的2.0、3.5和5.0 g/L微咸水处理与1:1相比,玉米产量分别减少5.03%、增加3.23%、减少3.92%。对试验的春玉米产量进行显著性分析发现淡水与咸水轮灌方式对玉米产量无显著性差异( $P>0.05$ );相同轮灌方式下,不同矿化度的微咸水处理春玉米的产量则有显著差异( $P<0.05$ )。这是因为在施肥灌水相同情况下,高矿化度的微咸水盐分含量高,对作物生长有抑制作用;而淡咸水轮灌对土壤盐分进行淋洗,咸水轮灌次数多造成土壤盐分累积效果并没有微咸水自身含有的高盐分作用明显。

表3 不同处理春玉米产量

Table 3 Spring maize yield under different treatments

kg/hm<sup>2</sup>

| 灌水处理<br>Irrigation treatment   | 产量<br>Yield | 灌水处理<br>Irrigation treatment   | 产量<br>Yield  |
|--|-------------|--|--------------|
| 1:1轮灌, 2 g/L微咸水<br>1:1 alternative irrigation,<br>2 g/L brackish water     | 14 651.27a  | 1:2轮灌, 2 g/L微咸水<br>1:2 alternative irrigation,<br>2 g/L brackish water     | 13 914.13ab  |
| 1:1轮灌, 3.5 g/L微咸水<br>1:1 alternative irrigation,<br>3.5 g/L brackish water | 13 208.37bc | 1:2轮灌, 3.5 g/L微咸水<br>1:2 alternative irrigation,<br>3.5 g/L brackish water | 13 635.91b   |
| 1:1轮灌, 5 g/L微咸水<br>1:1 alternative irrigation,<br>5 g/L brackish water     | 12 956.82bd | 1:2轮灌, 5 g/L微咸水<br>1:2 alternative irrigation,<br>5 g/L brackish water     | 12 448.82cde |

注:不同字母表示0.05水平显著差异。

Note: Different letters indicate significant differences at the 0.05 level.

## 3 讨论

微咸水作为重要的补充水源被应用到农业灌溉中,造成的盐碱等环境问题逐渐受到关注。研究表明内陆盐碱土壤中的细菌、真菌和放线菌数量随着土壤盐碱化程度的加重而减少,微生物的活性、多样性及利用碳源的能力降低<sup>[21]</sup>,影响土壤温室气体的排放。目前微咸水灌溉对土壤 $CO_2$ 和 $N_2O$ 气体排放影响的研究较少,邹其会等<sup>[11]</sup>通过比较不同矿化度的微咸水和淡水灌溉试验发现,微咸水的EC越

大, $CO_2$ 排放通量越小。聂明华等<sup>[22]</sup>对长江口潮滩湿地土壤的呼吸速率进行测定发现,水体盐度的升高,土壤呼吸速率下降。这都与本试验的研究结果类似。本试验发现微咸水灌溉抑制土壤 $CO_2$ 排放,随着灌溉水矿化度的增大,抑制作用更明显,水质对 $CO_2$ 气体排放有显著影响( $P<0.05$ )。尚会来等<sup>[23]</sup>向生活污水中投加NaCl的室内试验表明,高盐度的生活污水 $N_2O$ 排放主要来自硝化过程,且远高于低盐度的生活污水;张文等<sup>[24]</sup>通过长期的微咸水棉田滴灌试验发现,微咸水灌溉促进土壤中 $N_2O$ 气体

的排放;但也有研究发现<sup>[25]</sup>, N<sub>2</sub>O 排放通量随氯化钠浓度的增加而降低。本试验研究结果表明,随着微咸水矿化度的升高, N<sub>2</sub>O 气体排放通量减少,但水质对 N<sub>2</sub>O 排放没有显著性差异。这可能是因为短期内土壤盐分含量升高抑制了参与硝化与反硝化作用的微生物与相关酶,但影响并不明显;不仅如此,随着微咸水轮灌次数增加,温室气体 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放通量降低,这可能是由于咸水灌溉次数的增加,增加了土壤盐分含量,但短期内轮灌对土壤盐分累积造成的差异没有灌溉水质不同所引起的差异明显,显著分析表明轮灌方式对 N<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 排放通量无显著影响。长期微咸水灌溉对温室气体 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放,是否仍有相同规律还需验证。

微咸水灌溉后造成大量盐分累积在土壤表层,改变了土壤的理化性质,对作物生长和土壤微生物活动产生影响。本试验发现咸淡轮灌方式下,作物产量相对减少较低,由于温室气体排放机理较为复杂,且随着微咸水矿化度升高和灌溉时咸水轮灌次数增加,温室气体 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放通量减少,保证作物产量同时减少了农田温室气体的排放。但由于灌溉的微咸水自身矿化度的差异和轮灌方式不同,灌溉对表层土壤盐分淋洗程度有差异,造成土壤表层盐分的累积程度不同;对土壤呼吸作用、硝化和反硝化作用及作物的生长情况也会产生影响,引起土壤温室气体排放特征的变化。是否会因轮灌咸水次数的增加或种植作物的变化等对农田土壤 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放造成差异,还需进一步研究。

## 4 结 论

1)在整个春玉米全生育期内,分别在 2 种轮灌方式下,微咸水灌溉抑制农田土壤 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 气体的排放,且不同处理排放规律均为:2.0 g/L 微咸水处理气体排放通量 > 3.5 g/L 微咸水处理气体排放通量 > 5.0 g/L 微咸水处理气体排放通量。随着微咸水矿化度的升高,气体排放通量减少;微咸水灌溉对土壤温室气体 CO<sub>2</sub> 的排放有显著差异( $P < 0.05$ ),对 N<sub>2</sub>O 的排放没有显著差异。

2)在整个春玉米全生育期内,相同水质条件下,与 1:1 轮灌处理相比,1:2 轮灌处理同样抑制农田土壤 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 气体的排放,随着微咸水灌溉次数增加,气体排放通量有所减少;但轮灌方式对土壤温室气体 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放无显著差异( $P > 0.05$ )。

3)微咸水滴灌条件下,春玉米的产量均有所下

降。同种水质下,1:1 轮灌处理的产量下降较少;同种轮灌方式,高矿化度的微咸水处理产量下降明显。显著性分析表明灌溉水质对春玉米产量有显著性差异,但同种水质下,轮灌方式则无显著差异。

## 参考文献 References

- [1] 康绍忠,蔡焕杰,冯绍元. 现代农业与生态节水的技术创新与未来研究重点[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 1-6  
Kang S Z, Cai H J, Feng S Y. Technique innovation and research fields of modern agricultural and ecological water-saving in the future[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1): 1-6(in Chinese)
- [2] 张启海,周玉香. 微咸水灌溉发展的基础与措施探讨[J]. 中国农村水利水电, 1998(10): 12-13  
Zhang Q H, Zhou Y X. Investigation on the basis and measure of brackish water irrigation development [J]. *China Rural Water and Hydropower*, 1998(10): 12-13(in Chinese)
- [3] 农业部. “948”项目“微咸水农田灌溉技术”验收技术文件报告[R]. 北京: 中国农科院土壤研究所, 2000: 55  
Ministry of Agriculture. Acceptance technical document report of the "948" project on technology of farmland irrigation with brackish water" [R]. Beijing: Soil Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2000: 55 (in Chinese)
- [4] 王艳娜,侯振安,龚江. 咸水资源农业灌溉应用研究进展与展望[J]. 中国农业科学学报, 2007, 23 (2): 393-397  
Wang Y N, Hou Z A, Gong J. Development and expectation of utilization of saline water resources in agriculture irrigation [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23 (2): 393-397(in Chinese)
- [5] Kiehl J T, Trenberth K E. Earth's annual global mean energy budget[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78(2): 197-208
- [6] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis: Summary for policymakers[R]. UK: The Centre for Climate Change Mitigation of Cambridge University, 2007
- [7] Fuzzi S. Overview of the biogenic sources of atmospheric trace compounds due to agricultural activities [J]. *Aerobiologia*, 1996, 12(1): 129-132
- [8] Tam N F Y. Effects of waste water discharge on microbial populations and enzyme activities in mangrove soils [J]. *Environmental Pollution*, 1998, 102(1998): 233-242
- [9] Neubauer S C. Ecosystem responses of a tidal freshwater marsh experiencing saltwater intrusion and altered hydrology [J]. *Estuaries and Coasts*, 2013, 36(3): 491-507
- [10] Wong V N L, Greene R S B, Dalal R C. Soil carbon dynamics in saline and sodic soils: A review[J]. *Soil Use and Management*, 2009, 26(1): 2-11
- [11] 邹其会,任树梅,杨培岭. 再生水与微咸水灌溉对土壤温室

- 气体排放的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 24(2): 80-82
- Zou Q H, Ren S M, Yang P L. Effects of reclaimed water irrigation and brackish water irrigation on soil greenhouse gas emissions[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 24(2): 80-82 (in Chinese)
- [12] 郭永辰, 陈秀玲, 高巍. 咸水与淡水联合运用的灌溉策略[J]. 河北水利科技, 2000(S1): 16-21
- Guo Y C, Chen X L, Gao W. Irrigation strategies used in combination with salt water and fresh water[J]. *Hebei Water Technology*, 2000(S1): 16-21(in Chinese)
- [13] 高大伟, 任树梅, 杨培岭. 再生水滴灌夏玉米配施不同氮肥对 CO<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 农业机械学报, 2014, 45(S1): 168-174
- Gao D W, Ren S M, Yang P L. Impact of reclaimed water drip irrigation with different nitrogen fertilizers on CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O Emissions in summer maize field [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(S1): 168-174(in Chinese)
- [14] 王义祥, 翁伯琦, 黄毅斌. 土地利用和覆被变化对土壤碳库和碳循环的影响[J]. 亚热带农业研究, 2005, 27(3): 44-51
- Wang Y X, Wong B Q, Huang Y B. Effects of land use cover changes on soil carbon storage and carbon cycle [J]. *Subtropical Agriculture Research*, 2005, 27(3): 44-51 (in Chinese)
- [15] 马洁, 朱珠, 姚宝林. 阿拉尔灌区微咸水滴灌对土壤水分盐分分布影响的试验研究[J]. 节水灌溉学报, 2010(5): 40-42, 45
- Ma J, Zhu Z, Yao B L. Experimental research on effect of soil moisture and salinity distribution under light-saline water of drip irrigation in Alar irrigated area[J]. *Journal of Water-saving Irrigation*, 2010(5): 40-42, 45(in Chinese)
- [16] Mkhabela M, Gordon R, Burton D. Ammonia and nitrous oxide emissions from two acidic soils of Nova Scotia fertilised with liquid hog manure mixed with or without dicy and iamide [J]. *Chemosphere*, 2006, 65(8): 1381-1387
- [17] Debbie K E, Mc Taggart I P, Smith K A. Nitrous oxide emissions from intensive agricultural systems: Variations between crops and seasons, key driving variables, and mean emission factors [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(D21): 26891-26899
- [18] Inubushi K, Barahona M A, Yamakawa K. Effects of salts and moisture content on N<sub>2</sub>O emission and nitrogen dynamics in yellow soil and Andosol in model experiments[J]. *Biology and Fertility of Soil*, 1999, 29(4): 401-407
- [19] 郑春莲, 曹彩云, 李伟. 不同矿化度咸水灌溉对小麦和玉米产量及土壤盐分运移的影响[J]. 河北农业科学, 2010, 14(9): 49-51, 55
- Zheng C L, Cao C Y, Li W. Effects of saline water irrigation on the yield of wheat and maize and soil salt movement[J]. *Journal of Hebei Agricultural Science*, 2010, 14(9): 49-51, 55(in Chinese)
- [20] Al-Sulaimi J, Viswanathan M N, Naji M, Sumait A. Impact of irrigation on brackish ground water lenses in north Kuwait [J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 31: 75-90
- [21] 李凤霞, 王学琴, 郭永忠. 宁夏不同类型盐渍化土壤微生物区系及多样性[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 107-111
- Li F X, Wang X Q, Guo Y Z. Microbial flora and diversity in different types of saline-alkali soil in Ningxia[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 107-111 (in Chinese)
- [22] 聂明华, 刘敏, 侯立军. 长江口潮滩土壤呼吸季节变化及其影响因素[J]. 环境科学学报, 2011, 31(4): 824-831
- Nie M H, Liu M, Hou L J. Seasonal variation of soil respiration and its influence factors in tidal flat of Yangtze estuary [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(4): 824-831(in Chinese)
- [23] 尚会来, 彭永臻, 张静蓉. 盐度对污水硝化过程中 N<sub>2</sub>O 产量的影响[J]. 环境科学学报, 2009, 30(4): 1079-1083
- Shang H L, Peng Y Z, Zhang J R. Effects of salinity concentration on N<sub>2</sub>O production during nitrification [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 30(4): 1079-1083 (in Chinese)
- [24] 张文, 周广威, 闵伟. 长期咸水滴灌对棉花产量、土壤理化性质和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(8): 1583-1590
- Zhang W, Zhou G W, Min W. Effects of drip irrigation with saline water on cotton yield, soil physical and chemical properties, and soil N<sub>2</sub>O emission [J]. *Journal of Agricultural Environmental Science*, 2014, 33(8): 1583-1590(in Chinese)
- [25] Dong C S, Kewei Y, Ronald D, D. Influence of salinity level on sediment denitrification in a Louisiana estuary receiving diverted Mississippi river water[J]. *Archives of Agronomy & Soil Science*, 2008, 54(3): 249-257

责任编辑:刘迎春