

# 模拟地下水咸化对高寒湿地土壤团聚体 稳定性和有机碳含量的影响

愚广灵<sup>1</sup>, 陈 末<sup>1</sup>, 买迪努尔·阿不来孜<sup>1</sup>, 胡 洋<sup>1</sup>, 贾宏涛<sup>1,2</sup>, 周建勤<sup>1,2</sup>

(1.新疆农业大学草业与环境科学学院, 乌鲁木齐, 830052; 2.新疆土壤与植物生态过程重点实验室, 乌鲁木齐, 830052)

**摘要:** 为探究高寒湿地地下水咸化对土壤团聚体稳定性和有机碳库的影响, 以巴音布鲁克高寒湿地季节性地表积水区和常年干燥区土壤为研究对象, 设对照、微咸水、咸水和盐水 4 个矿化度, 地下水 NaCl 含量分别为 0, 2, 6, 23 g/L, 使用湿筛的方法将土壤团聚体分成不同的粒径。结果表明: 地下水矿化度升高对 0—10 cm 土壤团聚体分布影响不大, 对 10—30 cm 土壤团聚体有显著影响。在 10—30 cm 土层中, >2 mm 土壤团聚体质量百分比随着矿化度升高先降低再升高, 在 2 g/L 处理下降至最低 1%~14%, 而在 23 g/L 处理下 >2 mm 团聚体质量百分比显著升高达到 5%~56%。季节性地表积水区 >2 mm 土壤团聚体质量百分比均高于常年干燥区。季节性地表积水区土壤团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)随着土层深度的增加呈现出先增大后减小的趋势, 而常年干燥区 MWD 和 GMD 随着土层深度的增加而减小。0—10 cm 土层土壤团聚体的 MWD 和 GMD 显著高于其他土层, 10—30 cm 土层内 23 g/L 处理下的 MWD(0.71~3.59 mm)和 GMD(0.25~1.64 mm)显著高于其余处理。0—10 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的减小先升高后降低; 20—30 cm 土壤团聚体有机碳含量与 0—10 cm 有机碳含量有着相似的趋势, 6, 23 g/L 在 2~0.25 mm 粒径中分配的有机碳显著高于其他处理。由此可见, 地下水矿化度升高对季节性地表积水区和常年干燥区 10—30 cm 土层的土壤团聚体稳定性和有机碳含量产生显著影响, 地下水矿化度为 2 g/L 对土壤团聚体产生破坏作用, 降低了土壤团聚体的稳定性; 而当矿化度升高为 23 g/L 时, 对 >2 mm 的土壤团聚体形成轻微的保护作用。随着土壤团聚体粒径的减小土壤有机碳含量降低, 大团聚体(>0.25 mm)中封存的土壤有机碳更多。

**关键词:** 地下水; 咸化; 高寒湿地; 土壤团聚体

**中图分类号:** S152.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-2242(2022)01-0212-07

**DOI:** 10.13870/j.cnki.stbcxb.2022.01.028

## Effects of Simulated Groundwater Salinization on Soil Aggregate Stability and Organic Carbon Content in Alpine Wetland

YU Guangling<sup>1</sup>, CHEN Mo<sup>1</sup>, Maidinuer Abulaizi<sup>1</sup>, HU Yang<sup>1</sup>, JIA Hongtao<sup>1,2</sup>, ZHOU Jianqin<sup>1,2</sup>

(1.College of Grassland and Environment Sciences, Xinjiang Agricultural University,

Urumqi 830052; 2.Xinjiang Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes, Urumqi 830052)

**Abstract:** The effect of groundwater salinization on the stability of soil aggregates and the organic carbon pool was explored using the soil in seasonally humid area and the perennial dry area of Bayinbuluk alpine wetland. Four levels of groundwater were used in this study including control (NaCl 0 g/L), brackish water (NaCl 2 g/L), salt water (NaCl 6 g/L), and brine water (NaCl 23 g/L). The soil aggregates were classified into different sizes by wet sieving method. Results showed that the groundwater salinization had not significant effect of soil aggregates in 0—10 cm depth, but had a significant effect on the percentage of soil aggregates in 10—30 cm depth. With the increase of salinity, the percentage of soil aggregates > 2 mm first decreased and then increased. In 10—30 cm soil cglayer, the lowest values of the percentage of soil aggregates > 2 mm with the value between 1% and 14% were found in the 2 g/L treatment, while the values (5%~56%) increased significantly in the 23 g/L treatment. The percentage of soil aggregates > 2 mm in seasonally humid area was higher than that in perennial dry area. The mean weight diameter (MWD) and geometric mean diameter (GWD) in seasonally humid area increased first and then decreased with increasing soil depth, while MWD

收稿日期: 2021-08-10

资助项目: 国家自然科学基金项目(31560171)

第一作者: 愚广灵(1998—), 女, 硕士研究生, 主要从事湿地土壤碳循环研究。E-mail: 1624914762@qq.com

通信作者: 周建勤(1975—), 男, 博士, 讲师, 主要从事土壤环境研究。E-mail: machine1229@163.com

and GMD in perennial dry area decreased with increasing soil depth. MWD and GMD in 0—10 cm depth were significantly higher than those in other soil depths, and MWD (0.71~3.59 mm) and GMD (0.25~1.64 mm) under the 23 g/L treatment in 10—30 cm depth were significantly higher than those under the other treatments. Content of aggregate associated organic carbon in 0—10 cm depth first increased and then decreased with decreasing aggregates size. Content of aggregate associated organic carbon in 20—30 cm depth had similar change trend as in the 0—10 cm depth. Contents of soil organic carbon in 2~0.25 mm soil aggregates under the 6 and 23 g/L were significantly higher than other treatments. In conclusion, the groundwater salinization had a significant effect on the soil aggregates stability and organic carbon content in the 10—30 cm depth in the seasonal humid area and the perennial area, and the groundwater salinity of 2 g/L have damage effects on soil aggregates, which reduces the stability of the soil aggregates. The salinity with the value of 23 g/L has mild protective effect on > 2 mm soil aggregate. With decrease of the aggregates size, the soil organic carbon content reduces, and the content of macro-aggregate (> 0.25 mm) associated organic carbon is higher than other soil aggregates.

**Keywords:** groundwater; salinization; alpine wetland; soil aggregate

湿地具有特殊的水文和土壤特征<sup>[1]</sup>,在全球碳循环中扮演着不可或缺的角色<sup>[2]</sup>。虽然面积仅占陆地面积的 5%~8%,却储存着占陆地土壤碳库约 20%~25% 的碳<sup>[3]</sup>。然而由于自然气候变化与人类活动破坏的影响,在过去 45 年中大约有 1/3 的自然湿地已经消失,全球湿地退化严重<sup>[4]</sup>,也会导致地下水咸化<sup>[5]</sup>。全球范围内有  $8.31 \times 10^8$  hm<sup>2</sup> 土壤受到咸化与盐渍化威胁<sup>[6]</sup>,其中,我国新疆地区盐渍化种类繁多,土壤退化及盐碱化现象突出<sup>[7]</sup>。据统计<sup>[8]</sup>,新疆地区盐渍化总面积达  $48 \times 10^6$  hm<sup>2</sup>,可以观察到干旱区湿地水体矿化度呈增加趋势。

土壤水是包含多种离子的稀溶液,而一般土壤团聚体水稳定性研究中通常使用纯水进行分散与筛分土壤,这有时与客观实际不符。吴雨晴等<sup>[9]</sup>研究发现,咸水灌溉可以改变土壤水稳性团聚体的粒级分布,随着灌溉水矿化度增加大团聚体质量分数降低。土地利用方式、海拔高度对土壤团聚体分布影响的研究<sup>[10-11]</sup>已有很多,但水质改变对土壤团聚体稳定性影响的研究相对薄弱。盐渍化导致的低土壤有机质含量和微生物数量与活性,抑制了土壤团聚体的形成与稳定<sup>[12]</sup>。而由 Na<sup>+</sup> 导致的分散性增加会促使团聚体的破坏,使得土壤有机质暴露更易降解,不利团聚体的形成<sup>[13]</sup>。土壤团聚体是土壤结构的基本组成单位<sup>[14]</sup>,又是土壤中进行养分交换的场所<sup>[15]</sup>。有机碳与土壤团聚体十分密切,大团聚体是土壤碳供应的主要来源<sup>[16]</sup>。土壤团聚体的团聚作用对土壤有机碳(SOC)起物理保护作用,同时,SOC 作为胶结物质也能促进团聚体的形成和稳定<sup>[17]</sup>。稳定的土壤团聚体可以抵抗外力破坏并保持其原有结构<sup>[18]</sup>,而且也有利于受团聚体物理保护的有机碳库免受矿化分解。

认识高寒湿地浅层地下水咸化背景下对土壤团聚体分布、团聚体稳定性和团聚体有机碳含量的影响对探明土壤团聚体及有机碳的稳定机制有十分重要

的意义<sup>[19]</sup>。本研究选取巴音布鲁克高寒湿地土壤为研究对象,使用不同矿化度盐溶液进行土壤团聚体筛分,探明地下水矿化度升高到不同浓度时团聚体分布和土壤有机碳(SOC)分配的响应机制,可以进一步解读高寒湿地碳库稳定机制,以及为湿地应对未来气候变化措施的制定提供参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区概况

研究区巴音布鲁克天鹅湖高寒湿地(42°40'—43°00' N,83°40'—84°35'E)位于新疆维吾尔自治区和静县,是我国唯一的天鹅自然保护区。湿地面积约为 770 km<sup>2</sup>,海拔 2 300~3 042 m,年均气温约-4.6℃,年最低气温达-49.6℃,表层土壤水溶性盐浓度为 1.54 g/L<sup>[20]</sup>,属于典型的干旱区高寒气候<sup>[21]</sup>。

## 1.2 试验设计

试验于 2019 年 8 月选择巴音布鲁克天鹅湖湿地植物生长季有代表性的 2 种水分区域,即季节性地表积水区(H 区)和常年干燥区(D 区)的土壤作为研究对象,采集 0—30 cm 原状土壤,带回实验室内进一步试验(表 1)。该地区土壤盐渍化的出现导致浅层地下水的咸化,土壤盐分类型主要为硫酸盐型和氯化物型<sup>[22]</sup>。本研究主要关注氯化盐地下水咸化,即 NaCl 浓度升高对土壤团聚体及有机碳含量的影响,试验采用不同矿化度 NaCl 溶液模拟地下水,采用物理筛分对土壤团聚体进行研究。设对照、微咸水、咸水和盐水 4 个矿化度,地下水 NaCl 含量分别为 0,2,6,23 g/L。

## 1.3 样品采集与试验方法

1.3.1 土样采集 土壤团聚体土样的采集,每个分区类型中随机选取 3 个样地,每个样地内均采用五点取样法,清除土壤表层杂物后,取 0—5,5—10,10—20,20—30 cm 共 4 层土样,采样时避免破坏土壤结构。采样完毕后,将土壤样品用硬质铝盒装好带回实验室,原状土

壤样品在室内自然风干,当土壤含水量达到塑限时,用手将大土块沿着土壤的自然破碎面轻轻掰开,然后将土

壤样品中的砾石及植物残体等杂物捡除,过 10 mm 土筛。待样品风干后,用于团聚体组分的分离备用。

表 1 研究区概况

| 水分条件         | 海拔/m | 土壤水分含量/% | 土壤状态          | 植被覆盖度/% |
|--------------|------|----------|---------------|---------|
| 季节性地表积水区(H区) | 2391 | 50~70    | 除冬季外,土壤保持湿润状态 | 84      |
| 常年干燥区(D区)    | 2390 | 30~40    | 除冬季外,土壤保持干燥状态 | 60      |

1.3.2 测试方法 本研究使用 Elliott<sup>[23]</sup> 的土壤团聚体湿筛法将团聚体分为>2, 2~0.25, <0.25 mm。从原始样品中取 100 g 风干土样,将土样放置在由 2, 0.25 mm 组成的套筛上,之后将筛子快速浸入蒸馏水中,用人工振动套筛 3 min,上下振幅 4 cm,振频 35 次/min。筛分完毕后将所有团聚体组分放置在烘箱 60 ℃下烘干称重,得到不同粒径团聚体分布。土壤有机碳含量采用重铬酸钾—浓硫酸外加加热法来测定。

1.4 分析指标及计算方法

(1)土壤团聚体平均重量直径(MWD)<sup>[24]</sup>

$$MWD = \sum_{i=1}^n \overline{d_i} \cdot w_i \tag{1}$$

式中:MWD 为平均重量直径(mm); $\overline{d_i}$  为各粒径的平均直径(mm); $w_i$  为团聚体第*i*个组粒径的质量分数。

(2)土壤团聚体几何平均直径(GMD)<sup>[24]</sup>

$$GMD = \exp \sum_{i=1}^n \ln \overline{d_i} \cdot w_i \tag{2}$$

式中:GWD 为平均重量直径(mm); $\overline{d_i}$  为各粒径的平均直径(mm); $w_i$  为团聚体第*i*个组粒径的质量分数。

1.5 数据统计

数据使用 Excel 2016、SPSS 25.0 和 Sigma Plot 14.0 软件进行统计,采用单因素方差分析(One-way

ANOVA)及多重比较(LSD, least significant difference)进行数据显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同矿化度盐溶液筛分对土壤水稳性团聚体分布的影响

由图 1 可知,H 区 0—5.5—10 cm 土层随着矿化度升高,>2 mm 土壤团聚体质量百分比没有显著变化,说明 H 区地下水矿化度升高对表层 0—10 cm 土壤团聚体影响不显著;D 区 0—5 cm 土层>2 mm 土壤团聚体质量百分比随着矿化度的升高而降低,在 0 g/L 处理下最大为 44%,5—10 cm 土层>2 mm 土壤团聚体质量百分比随着矿化度的升高先降低再升高,在 2 g/L 处理下质量百分比最低为 16%。10—20,20—30 cm 土层 H 区和 D 区>2 mm 土壤团聚体质量百分比均随着矿化度升高先降低再升高,均在 2 g/L 处理下达到最低,可以观察到 2 g/L 处理对>2 mm 团聚体产生破坏作用,而 23 g/L 处理则形成微弱保护作用;在 10—20 cm 土层 H 区和 D 区土壤团聚体组分均以<0.25 mm 土壤团聚体为主。H 区大团聚体质量百分比均高于 D 区,这主要由于 H 区高碳源输入、高土壤有机质含量导致。

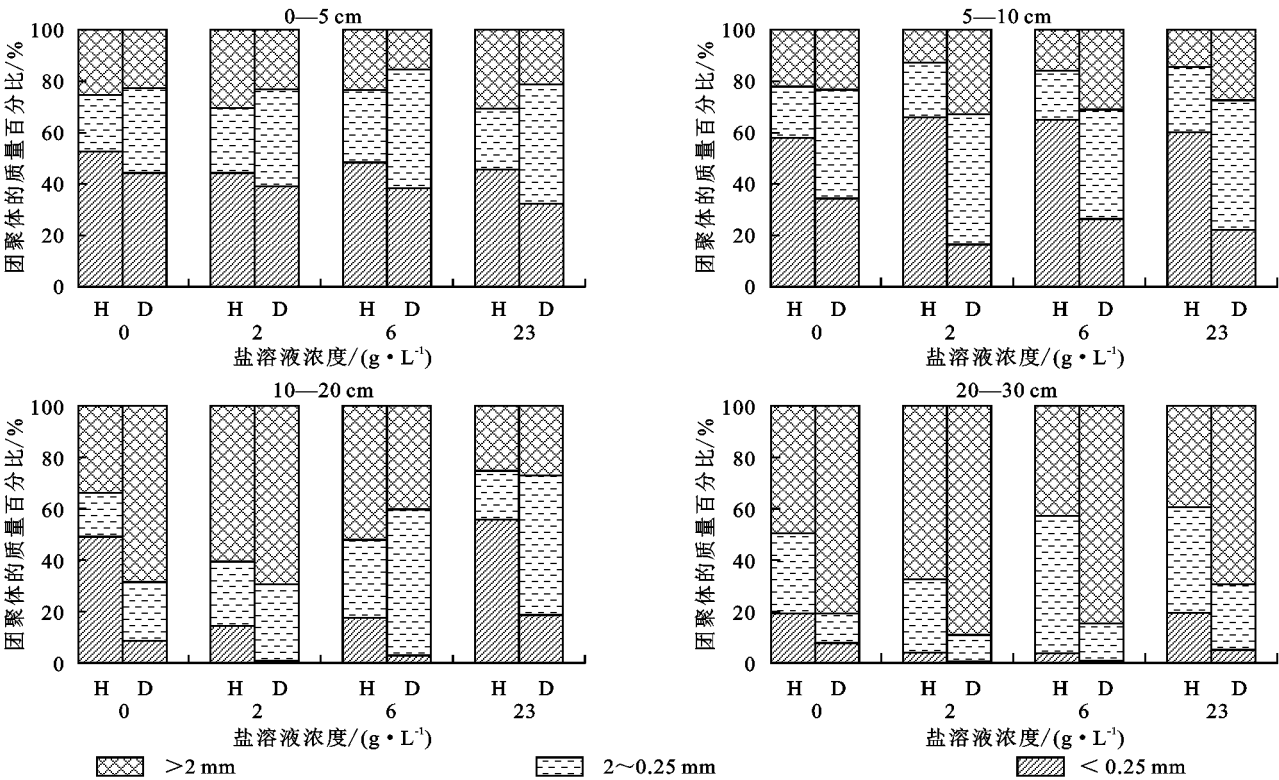


图 1 各土层土壤团聚体分布

2.2 不同矿化度盐溶液对土壤团聚体稳定性的影响

本研究发现,4 个处理下 MWD 和 GMD 随着土层的加深土壤团聚体稳定性先增大后减小。季节性地表积水区 5—10 cm 土层的 MWD 和 GMD 值显著高于其他 3 个土层深度,具有更高的团聚体稳定性。0—5 cm 土层中 0 g/L 处理下的 MWD 显著高于 2, 23 g/L 处理,盐分处理显著降低了土壤团聚体稳定性。在 5—10 cm 土层内,0 g/L 处理下 GMD 显著低于其他 3 个处理。在 10—20,20—30 cm 土层内,23 g/L 处理下的 MWD 和 GMD 显著高于其他 3 个处理(表 2)。

表 2 不同浓度盐溶液处理下对土壤团聚体稳定性指标的影响

| 水分<br>条件     | 盐溶液浓度/<br>(g · L <sup>-1</sup> ) | 平均重量直径(MWD)/mm |         |          |          | 平均几何直径(GMD)/mm |         |          |          |
|--------------|----------------------------------|----------------|---------|----------|----------|----------------|---------|----------|----------|
|              |                                  | 0—5 cm         | 5—10 cm | 10—20 cm | 20—30 cm | 0—5 cm         | 5—10 cm | 10—20 cm | 20—30 cm |
| 季节性地表<br>积水区 | 0                                | 3.44a          | 3.73b   | 3.18b    | 1.57b    | 1.56a          | 1.83b   | 1.22b    | 0.52b    |
|              | 2                                | 2.98c          | 4.21a   | 1.22c    | 0.64d    | 1.21b          | 2.56a   | 0.38c    | 0.27c    |
|              | 6                                | 3.25ab         | 4.14a   | 1.46c    | 0.88c    | 1.51a          | 2.35a   | 0.48c    | 0.47b    |
|              | 23                               | 3.04bc         | 3.91ab  | 3.59a    | 1.69a    | 1.23b          | 2.24a   | 1.64a    | 0.66a    |
| 常年干燥区        | 0                                | 3.06a          | 2.57a   | 0.86b    | 0.69a    | 1.64a          | 1.20a   | 0.29c    | 0.22ab   |
|              | 2                                | 2.80b          | 1.60d   | 0.47c    | 0.26b    | 1.30b          | 0.72c   | 0.25c    | 0.16b    |
|              | 6                                | 2.84b          | 2.10b   | 0.86b    | 0.32b    | 1.52a          | 0.89b   | 0.49b    | 0.18ab   |
|              | 23                               | 2.49c          | 1.93c   | 1.76a    | 0.71a    | 1.22b          | 0.89b   | 0.85a    | 0.25a    |

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著( $P<0.05$ )。

2.3 模拟地下水矿化度升高对不同深度土壤团聚体有机碳含量的影响

2.3.1 季节性地表积水区 由图 2 可知,0—5 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低先升高再降低,说明大团聚体保护的有机碳更多。6 g/L 处理下 2~0.25 mm 土壤团聚体分配的有机碳含量为 158 g/kg 显著高于其他处理( $P<0.05$ );5—10 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低而降低,在 2~0.25 mm 粒径 23 g/L 处理下被分配的有机碳含量为 142 g/kg,显著高于其他处理( $P<0.05$ );10—20,20—30 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低先升高再降低,2~0.25 mm 粒径 6 g/L 显著高于其他处理( $P<0.05$ ),<0.25 mm 粒径 2 g/L 显著高于其他处理( $P<0.05$ )。

2.3.2 常年干燥区 由图 3 可知,0—5 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低先升高再降低,2~0.25 mm 粒径下,6(63.2 g/kg),23 g/L(63.7 g/kg)处理的有机碳含量显著高于其余 2 个处理( $P<0.05$ ),说明表层 0—5 cm 土层地下水变为咸水/盐水可以增加 2~0.25 mm 粒径土壤团聚体有机碳含量;5—10 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低而升高,2~0.25 mm 粒径各处理分配差异不显著( $P>0.05$ );10—20,20—30 cm 土壤团聚体有机碳含量随着粒径的降低先升高再降低。

由表 2 可知,MWD 和 GMD 均随着土层的加深而减小。0—5 cm 土层的 MWD 和 GMD 值显著高于其他土层深度,说明在常年干燥区中 0—5 cm 的团聚体稳定性最强。在 0—5 cm 土层内,0 g/L 处理下的 MWD 和 GMD 显著高于其他 3 个处理;在 5—10 cm 土层内,2,6,23 g/L 处理下的 MWD 和 GMD 显著低于 0 g/L,0—10 cm 土层中地下水咸化会减弱土壤团聚体稳定性。在 10—30 cm 土层内,23 g/L 处理下的 MWD 和 GMD 显著高于其余 3 个处理( $P<0.05$ ),这与季节性地表积水区 10—30 cm 的研究结果一致。

2.4 土壤有机碳含量及其与团聚体稳定性的回归分析

2.4.1 季节性地表积水区 土壤有机碳(SOC)和 MWD 的相关性见图 4。在 0 g/L 处理下,SOC 和 MWD 间呈显著正相关( $R^2=0.716,P<0.01$ );在 2, 6 g/L 处理下,SOC 和 MWD 间呈显著正相关( $R^2=0.514,R^2=0.551,P<0.01$ );在 23 g/L 处理下,SOC 和 MWD 间呈现弱线性相关( $R^2=0.323,P=0.05$ )。可知在季节性地表积水区各土层中,较高的 SOC 含量促进了较大团聚体的稳定性。

2.4.2 常年干燥区 由图 5 可知,在 0,2,6 g/L 处理下,SOC 和 MWD 间呈显著正相关( $R^2$ 分别为 0.805, 0.982,0.911, $P<0.01$ );在 23 g/L 处理下,SOC 和 MWD 间呈显著正相关( $R^2=0.747,P<0.01$ )。可知在常年干燥区各土层中,较高的 SOC 含量促进了较大团聚体的形成。

3 讨论

3.1 地下水咸化对土壤水稳性团聚体分布及稳定性的影响

随着气候变化,湿地出现盐渍化现象,随着浅层地下水矿化度的增加,必然对土壤有机碳库稳定性产生影响。2 个研究区域水分条件不同,地下水埋深差异也很大。季节性地表积水区地下水埋深很浅而常年干燥区地下水埋深在 100 cm 以上。本研究发现,浅层地

下水矿化度的升高对季节性地表积水区和常年干燥

区土壤团聚体的稳定性的影响结果相似。

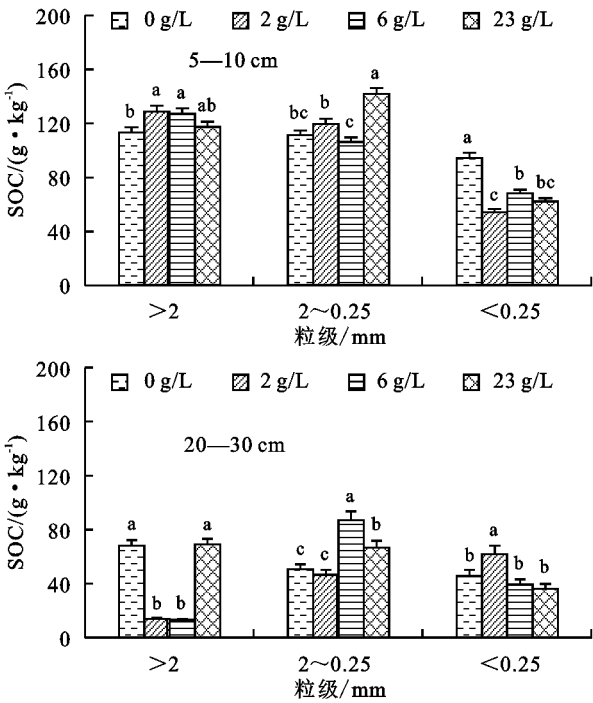
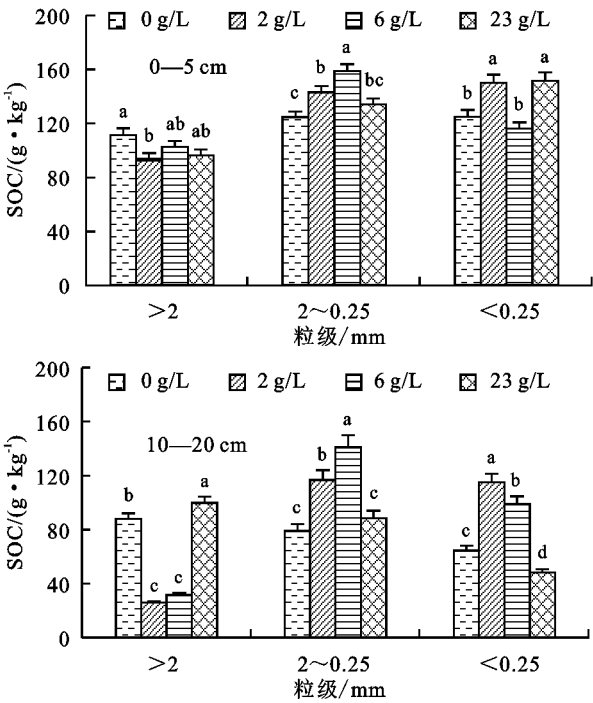


图 2 季节性地表积水区土壤团聚体有机碳含量

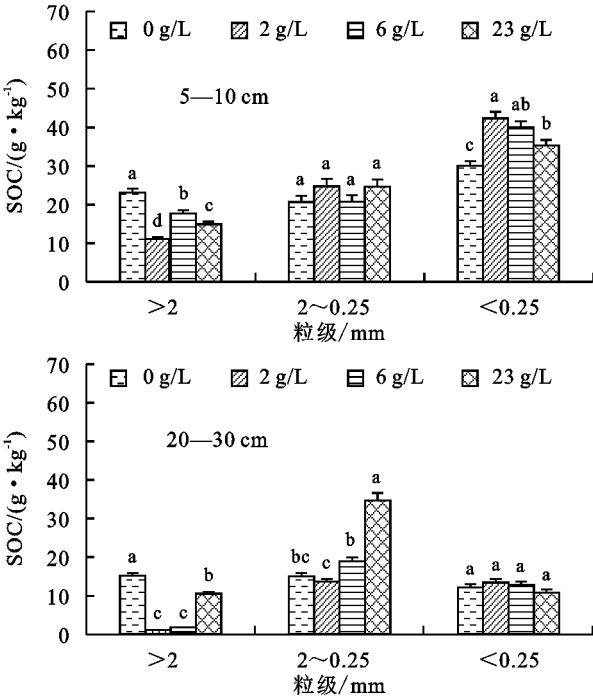
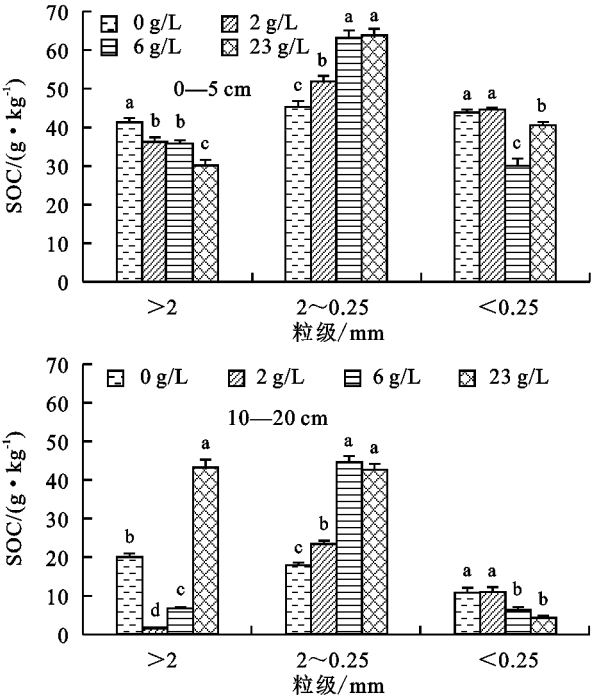


图 3 常年干燥区土壤团聚体有机碳含量

地下水咸化通过浸渍时间和矿化度等因素影响土壤团聚体稳定性,本研究中控制相同的浸渍时间不同的矿化度以研究对土壤团聚体稳定性的影响。由图 1 可知,0—5,5—10 cm 土层的团聚体质量百分比在不同处理下变化不大,说明浅层地下水矿化度升高对表层土壤 >2 mm 团聚体数量的影响不大。可能是因为表层土壤有机碳含量高和微生物比较丰富,部分菌丝和菌类分泌物有利于土壤胶结从而形成更多的大团聚体<sup>[25]</sup>。所以导致表层土壤中大团聚体比较稳定不易

被盐溶液分散。通常来说,通过一价离子聚沉的土壤团聚体,它们的结合力是比较弱的,容易因振荡等机械作用而分散。NaCl 盐溶液对 >0.25 mm 的团聚体具有进一步分散作用,但能够抑制 ≥1, ≥2 mm 的团聚体分散。10—20,20—30 cm 土层 >2 mm 的团聚体在 2 g/L 处理下被 Na<sup>+</sup> 破坏分散,所以所占质量分数降低,而在 23 g/L 处理下所占百分比上升,说明较高浓度盐溶液对 >2 mm 的土壤团聚体有微弱的保护作用,这与徐爽等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

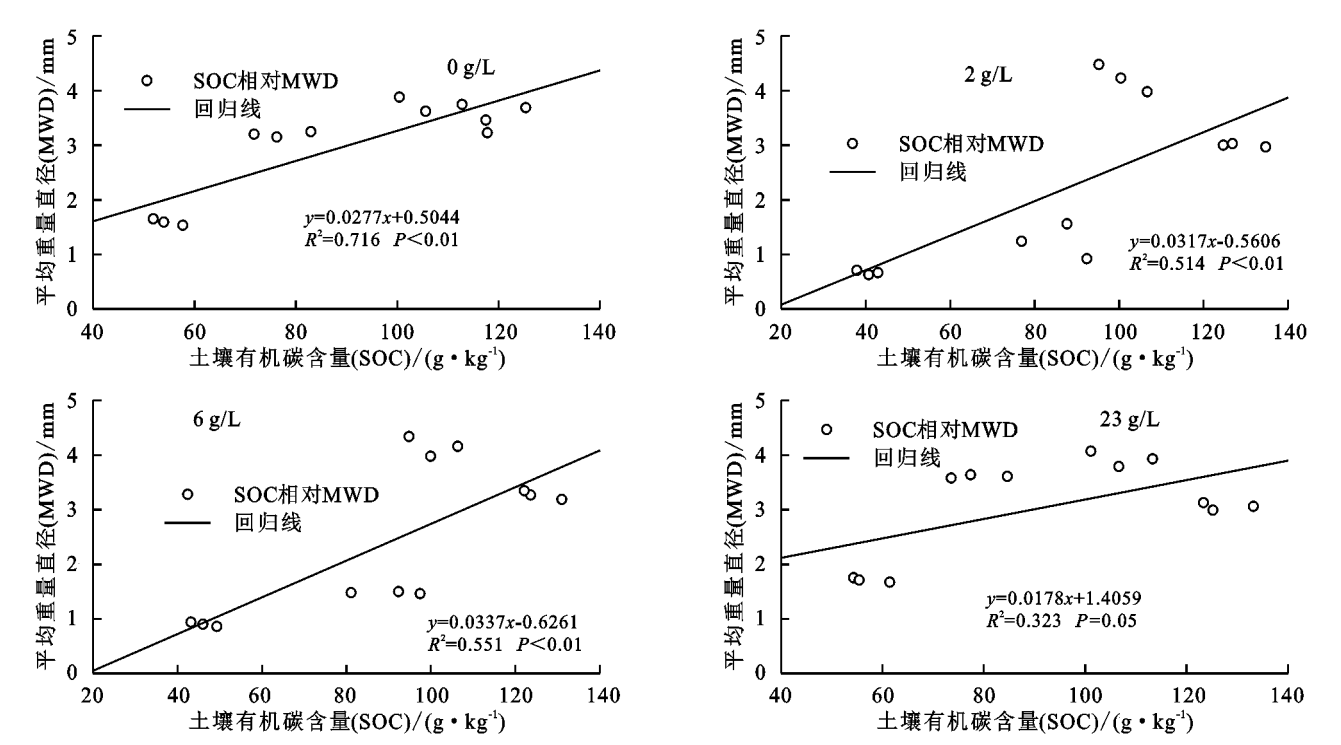


图4 季节性地表积水区土壤有机碳含量(SOC)与平均重量直径(MWD)间的关系

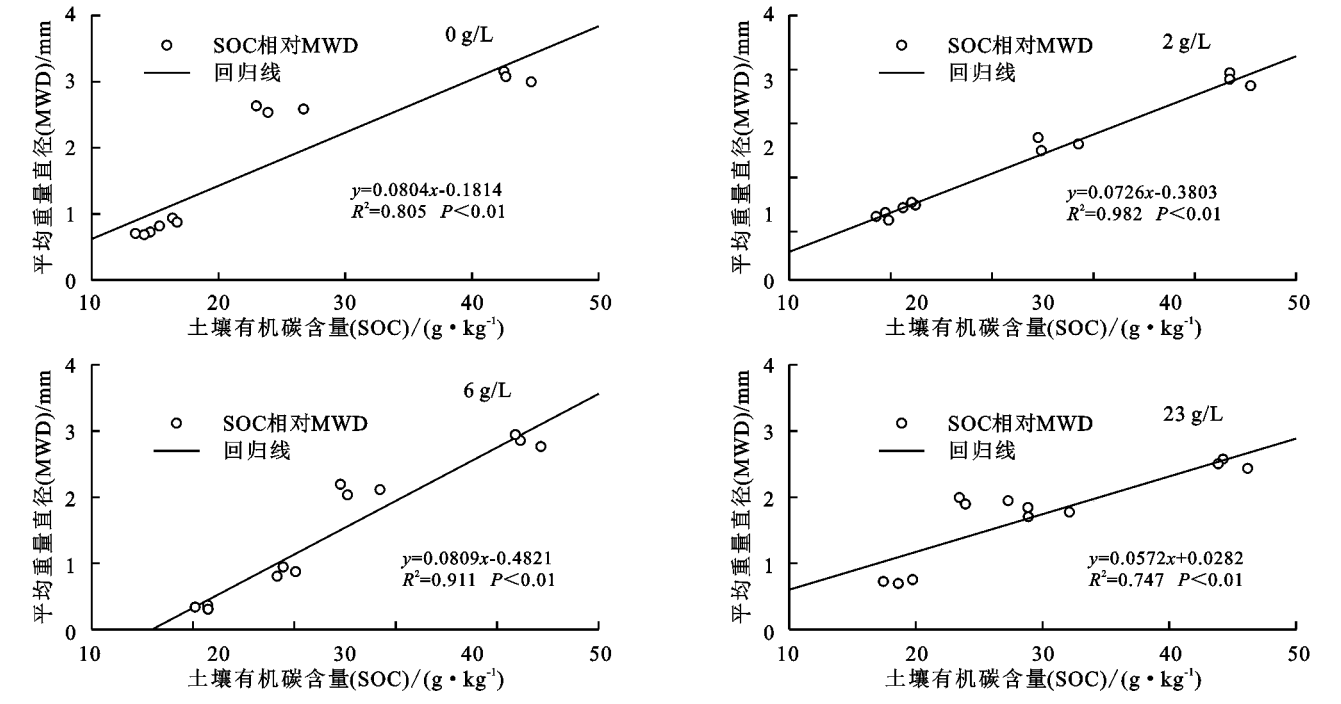


图5 常年干燥区土壤有机碳含量(SOC)与平均重量直径(MWD)间的关系

MWD 和 GMD 是评价土壤团聚体稳定性的重要指标。通常认为,大团聚体含量、MWD 和 GMD 越大,土壤团聚体分布状况与稳定性越好<sup>[27]</sup>。季节性地表积水区和常年干燥区均是 0—10 cm 土层 MWD 比较大,说明表层土壤团聚体比亚表层团聚体更稳定,这与前人<sup>[28]</sup>研究结果一致。地下水矿化度升高对 0—5,5—10 cm 土壤团聚体稳定性的影响不显著,可能是由于表层土壤高 SOC 含量对团聚体保护作用较强,不易受地下水矿化度的影响。而 10—30 cm 土层 23 g/L 处理下 MWD 和 GMD 显著高于其他处理,说明较高矿化度地下水对 10—30 cm 土层 >2 mm 土壤团聚体的微弱保护作用能增强亚表层土壤团聚体的稳定性。

### 3.2 地下水矿化度升高对不同深度土壤团聚体有机碳含量的影响

水分是影响土壤有机碳激发效应的重要因子,盐分影响土壤微生物活性,干扰土壤碳周转过程,从而影响土壤有机碳在不同粒径团聚体中的分布。季节性地表积水区水位较低,有机碳库含量及稳定性容易受到水位上升的影响;而常年干燥区地下水位非常

深,有机碳库不容易受到水位的影响。地下水不同矿化度不仅影响团聚体粒径的分布,同时也会导致土壤团聚体有机碳的重新分配。

季节性地表积水区和常年干燥区 0—10 cm 土层各粒径土壤团聚体有机碳含量都比较高,但随着土层深度的加深有机碳含量逐渐降低。0—10 cm 土层的 SOC 含量高可以归因于外界碳源的输入,主要来源是植物地表凋落物残体和植物根系残体和根系分泌物<sup>[29]</sup>。

微团聚体(<0.25 mm)是由有机分子与黏粒和阳离子相互胶结而形成的,微团聚体再通过与周围基本粒子或微团聚体之间相互胶结形成大团聚体(>0.25 mm)。同时,在大团聚体内部,由于颗粒有机质的分解,大团聚体分解形成微团聚体<sup>[9]</sup>。这可能是微团聚体有机碳含量低于大团聚体的原因。

Na<sup>+</sup> 是一种很强的分散剂,不仅能破坏土壤团聚体还能加快有机碳的矿化<sup>[30]</sup>。2,6 g/L 处理下,10—30 cm 土层>2 mm 土壤团聚体的有机碳含量显著低于 0,23 g/L 处理。可能是由于亚表层土壤微生物、有机质较少,Na<sup>+</sup> 的分散作用导致>2 mm 的土壤团聚体不是很稳定,容易受到地下水矿化度升高的影响,所以导致 2,6 g/L 处理下>2 mm 土壤团聚体有机碳含量低。10—30 cm 土层 2~0.25 mm 的土壤团聚体 6 g/L 高于其他处理,可以归因于 6 g/L 处理将>2 mm 的团聚体破坏致使 2~0.25 mm 粒径团聚体有机碳含量升高。可以发现,地下水矿化度升高对亚表层土壤团聚体有机碳的影响大于表层土壤团聚体有机碳。

## 4 结论

(1)0—10 cm 土层土壤团聚体稳定性比 10—30 cm 土层更强。地下水矿化度升高对 0—10 cm 土层土壤团聚体稳定性和有机碳含量无显著影响,而对 10—30 cm 土层影响显著。

(2)当地下水矿化度为 2 g/L 时,对 10—30 cm 土层土壤大团聚体产生破坏作用,因此,<0.25 mm 的土壤团聚体含量最多;而当地下水矿化度升高到本试验最高浓度 23 g/L 时,对>2 mm 土壤团聚体形成轻微的保护作用。

(3)随着粒径的减小,土壤团聚体有机碳含量先增加再降低,大团聚体(>0.25 mm)中封存的土壤有机碳更多。

### 参考文献:

- [1] 张鑫,耿玉清,徐明,等.鄱阳湖湖滨湿地土壤酶活性及影响因素[J].北京林业大学学报,2014,36(1):34-40.
- [2] Ji H, Han J G, Xue J M, et al. Soil organic carbon pool and chemical composition under different types of land use in wetland: Implication for carbon sequestration in

wetlands[J].Science of the Total Environment, 2020, 716:1-9.

- [3] 简兴,翟晓钰,王喻,等.土地利用方式改变对湿地土壤总有机碳与可溶性有机碳的影响[J].浙江农业学报, 2020,32(3):475-482.
- [4] An S Q, Tian Z Q, Cai Y, et al. Wetlands of Northeast Asia and High Asia: An overview[J].Aquatic Sciences, 2013,75(1):63-71.
- [5] 张杰,周金龙,乃尉华,等.新疆叶尔羌河流域平原区浅层地下水咸化空间分布及成因[J].农业工程学报, 2019, 35(23):126-134.
- [6] 刘亚磊.干旱内陆盆地地下水咸化与蒸发-累盐相互作用机理研究[D].武汉:中国地质大学,2019.
- [7] 新疆维吾尔自治区土壤普查办公室.新疆土壤[M].北京:科学出版社,1996.
- [8] 张寿雨,吴世新,贺可.基于开垦年龄的新疆盐渍化耕地时空特征分析[J].干旱区研究,2017,34(5):972-979.
- [9] 吴雨晴,郑春莲,李科江,等.咸水灌溉对麦—玉两熟制农田土壤水稳性团聚体的影响[J].水土保持学报,2021, 35(2):288-294,308.
- [10] 魏霞,贺燕,魏宁,等.祁连山区主要植被类型下土壤团聚体变化特征[J].农业工程学报,2020,36(2):148-155.
- [11] 苟天雄,刘韩,帅伟,等.川西高寒山地不同海拔高度土壤团聚体特征[J].水土保持研究,2020,27(1):47-53.
- [12] 魏守才,谢文军,夏江宝,等.盐渍化条件下土壤团聚体及其有机碳研究进展[J].应用生态学报,2021,32(1): 369-376.
- [13] 曾路生,高岩,李俊良,等.寿光大棚土壤团聚体中交换性盐基离子组成与土壤团聚性关系[J].水土保持学报, 2011,25(5):224-228,233.
- [14] Six J, CBossuyt H, Degryze S, et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics[J].Soil and Tillage Research,2004,79(1):7-31.
- [15] Chivenge P, Vanlauwe B, Six J. Organic resource quality influences short- term aggregate dynamics and soil organic carbon and nitrogen accumulation[J].Soil Biology and Biochemistry,2011,43(3):657-666.
- [16] 胡廷飞,王辉,谭帅.再生水灌溉模式对土壤团聚体及其有机碳分布的影响[J].农业环境科学学报,2020,39 (1):143-151.
- [17] 李海茹,广慧冰,刘刚,等.有机质影响溅蚀破坏土壤团聚体的主要作用机制[J].土壤学报,2021,58(1):106-114.
- [18] 王俊,李强,任禾,等.吉林省西部不同耕作模式下秸秆还田土壤团聚体特征[J].植物营养与肥料学报,2020, 26(4):603-612.
- [19] 李倩倩,许晨阳,耿增超,等.生物炭对壤土土壤容重和团聚体的影响[J].环境科学,2019,40(7):3388-3396.