

灌水量与施氮量对河套灌区耕地土壤水稳性团聚体的影响

张帆¹, 赖黎明^{1,2*}, 崔正涵¹, 王嫚¹, 姬鹏举¹

¹河套学院农学系 内蒙古巴彦淖尔

²河套学院内蒙古西部土壤资源综合利用与生态环境研究中心 内蒙古巴彦淖尔

【摘要】土壤水稳性团聚体是反映土壤结构是否合理的一个关键指标,但是,关于灌水量和施氮量对河套灌区耕地土壤水稳性团聚体影响的研究一直缺乏。本研究在河套灌区的田间试验为双因素(施氮量和灌水量)裂区试验设计,3个重复。主处理为灌水洗盐的灌水量,包含3个水平:I1、I2、I3(5110、4050、2985 m³/hm²);副处理为施氮量,包括4个水平:N1、N2、N3、N0(750、600、450、0 kg/hm²)。研究结果预示:施用氮肥能够增加0~30 cm土壤电导率。施用氮肥能够在N2下使水稳性团聚体含量达到最大。灌水量与施氮量交叉项对土壤电导率和土壤水稳性团聚体影响显著。在高灌水量下,施氮量显著增加土壤水稳性团聚体;在中灌水量下,中施氮量土壤水稳性团聚体含量最高。

【关键词】灌水量;施氮量;水稳性团聚体;pH;土壤电导率;河套灌区

【基金项目】内蒙古自治区自然科学基金项目(2020MS04001);河套学院创新团队(HTKCT-A202404)

【收稿日期】2024年8月12日 **【出刊日期】**2024年9月26日 **【DOI】**10.12208/j.jafs.20241014

Impacts of irrigation and nitrogen fertilization rates on soil water-stable aggregates in Hetao Irrigation District

Fan Zhang¹, Liming Lai^{1,2*}, Zhenghan Cui¹, Man Wang¹, Pengju Ji¹

¹Department of Agronomy, Hetao College, Bayannur, Inner Mongolia

²Research Center of Soil Resource Comprehensive Utilization and Ecological Environment in Western Inner Mongolia, Hetao College, Bayannur, Inner Mongolia

【Abstract】 Soil water-stable aggregate is a key indicator of soil structural integrity. However, little is known about the impacts of irrigation and nitrogen fertilization rates on it in the Hetao Irrigation District. In this study, a split plot experimental design with two factors (irrigation and nitrogen fertilization rate) and three replicates was built on the sunflower land in the Hetao Irrigation District. Main treatment was the irrigation rate, which includes three levels: I1, I2, and I3 (5110, 4050, and 2985 m³/ha). The sub-treatment was the nitrogen fertilization rate, which has four levels: N1, N2, N3, and N0 (750, 600, 450, and 0 kg/ha). The results indicated that applying nitrogen fertilizer could increase the soil electrical conductivity value of the 0~30 cm soil layer. The application of nitrogen fertilizer could maximize the content of water-stable aggregates at the N2. The interaction between irrigation rate and nitrogen fertilization rate had a significant influence on soil electrical conductivity and soil water-stable aggregate. Under a high irrigation rate, nitrogen fertilization rate significantly increased soil water-stable aggregate. At a medium irrigation rate, the content of water-stable aggregates in soil with medium nitrogen fertilization rate was the highest.

【Keywords】 Irrigation rate; Nitrogen fertilization rate; Soil water-stable aggregate; pH; Soil electrical conductivity; Hetao Irrigation District

河套灌区位于内蒙古自治区西部的巴彦淖尔市,北至阴山山脉的狼山和乌拉山,南临黄河,东邻

包头,西接乌兰布和沙漠。河套灌区属温带大陆性气候,冬冷少雪,夏高温干热,属于寒旱区,因此,

作者简介:张帆(2003-)女,汉族,内蒙古正镶白旗人,本科,研究方向为农业资源与环境;

*通讯作者:赖黎明(1965-)男,汉族,河南省汝南县人,研究方向为土壤质量评估与改良、农业生产对土壤与环境的影响。

土壤农业灌溉是必不可少。内蒙古河套灌区灌溉历史悠久, 引黄灌溉是该地区农业生产的关键灌溉途径, 灌水量成为农业增产的关键。因为该地区土壤盐渍化现象普遍, 所以, 耕地每年必须要进行灌水洗盐才能够保证出苗率。之前的灌水洗盐的灌水量过大, 洗盐的同时, 淋失了大量的土壤养分。该地区长期施入大量的氮肥, 使土壤中硝态氮大量淋失, 对地下水有严重的污染, 也增加了温室气体氧化亚氮的排放。水稳性团聚体是土壤肥力的基础, 盐碱土由于盐分含量高, 土壤 pH 较高, 土壤颗粒团聚作用微弱, 水稳性团聚体不仅数量很少, 而且大多为较小的团聚体^[1], 不利于形成发达的毛管孔隙, 一方面会造成盐分表聚, 另一方面抑制盐分淋洗^[2]。显然, 加强土壤颗粒团聚作用, 提高大团聚体数量, 是盐碱土改良的关键^[3], 所以探究该地区土壤水稳性团聚体对内蒙古河套灌区耕地土壤改良与肥力提升具有重要意义。

因此, 本研究的目的是评估灌水量与施氮量对河套灌区耕地土壤 pH、电导率、水稳性团聚体的影响, 为作物生产中的灌水与施肥、提升土壤质量、保持土壤可持续发展提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本试验试验点位于内蒙古巴彦淖尔市临河区双河镇(经纬度: 40° 43' 23.65" N, 107° 28' 53.68" E; 海拔高度: 1050 m), 地处河套灌区的中游。从 1986 到 2023 年的日均最高气温 15℃, 最低气温 2.02℃, 2023 年日均最高气温 17.9℃, 最低气温 1.84℃。1986 到 2023 年年均降水量为 143.94 mm, 2023 年平均降水量 290 mm。试验田土壤类型为灌淤土, 0~40 cm 土壤黏粒所占比例为 37.13%, 粉粒所占比例为 44.69%, 砂粒所占比例为 18.18%。pH 为 8.23, 盐含量 1.32 g/kg, 有机质含量 10.08 g/kg、阳离子交换量 10.72 cmol(+)/kg, 全氮为 0.66 g/kg, 硝态氮含量 4.18 mg/kg, 速效钾含量 144.96 mg/kg, 有效磷含量 15.75 mg/kg, 碱化度为 21.33%, 钠离子交换量 2.04 cmol(+)/kg^[4]。

1.2 试验设计

试验设计为双因素田间裂区(split-plot)试验法, 3 个重复。供试作物为向日葵(SH363)。主处理为灌水量, 灌溉水源为黄河水。包括 3 个水平: 5110、4050、2985 m³/hm²。河套灌区实际的灌水洗盐的平

均灌水量是 4050 m³/hm²。建议的理想灌水量是 2985 m³/hm², 约比实际灌水量 4050 m³/hm² 低 26%。5100 m³/hm² 是高出实际平均灌水量的 26% 的量。副处理为施氮量, 具有 4 个水平: 750、600、450、0 kg/hm² (不施肥, 作为对照)。其中, 600 kg/hm² 是当地实际平均施氮量。共有 36 个小区(每小区面积 9×9 m², 保苗 23800 株/hm², 行株距 60 cm×70 cm)。为了消除小区之间的侧向水分与肥料的移动, 小区之间设置 0.5~1 m 高的土埂并用塑料薄膜隔离。

肥料品种为尿素(N 含量 46%)、硫酸钾(K₂O 含量 40%)和重过磷酸钙(P₂O₅ 含量 46%)。磷肥(300 kg/hm²)与钾肥(75 kg/hm²)按农民实际施肥方法作为基肥一次性施入。氮肥作为追肥按试验设计分别施入量是 750、600、450、0 kg/hm², 在向日葵长到约 20 cm 高施入。其他的方面向日葵生产管理按实际生产者的措施进行。

1.3 土壤样品采集与实验室测试

土壤样品初次采集是在 2020 年 10 月内蒙古自治区巴彦淖尔市临河区双河镇, 为本研究的初始土壤数据的样品。在 2023 年 10 月 14 日在与土壤样品采集的相同地点用铁锹采耕层土壤, 最好在土不沾铲, 接触不变形时采集。在田间多点采集有代表性的原状土样, 剥去与铲面接触变形的部分, 采样量 1.5-2.0 kg。样品放入白铁盒或铝制盒, 以保持土壤的结构状态。在秋收之后 3 周内进行。土壤样品的采集为 1 个深度: 0~30 cm。按照随机多点混合原则, 每个小区采集 2 个样点, 共要采集土壤样品为 36(小区)×1(深度)×1(年)=36 份(样品)。

采集的样品被运回实验室内, 沿土壤的自然结构轻轻地剥开, 将原状土剥成直径小于 1cm 的小土块, 同时防止因外力的作用而变形, 并剔去粗根和小石块。将土样摊平, 置于透气通风处, 让其自然风干后进行实验。采用改进的 Yoder 法^[5], 对土壤样品的水稳性团聚体进行实验室测定(土壤团粒结构分析仪型号: TPF-100)称取 500 g 风干的土样。将孔径为 5 mm、3 mm、2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm 的筛组依次叠好, 孔径大的在上。把称好的土样倒入组筛, 进行干筛。筛完后对各级团聚体称重, 算出各级团聚体的百分含量。按其干筛百分数之比称取样品, 配成 50 g 供湿筛使用。另取一套筛组置于团粒分析仪的振荡架上, 放入桶中, 已称好的样品置于筛组上, 加水至筛组最上面筛子的上缘部分。振

荡仪以 30 次/min, 浸泡 3 min 震荡 8 min, 然后将振荡架慢慢拿出来, 使筛组离开水面, 等水淋干后, 轻轻冲洗筛子上的水稳性团聚体到培养皿。水稳性团聚体的某一级团聚体百分含量为:

$$\text{某级团聚体百分数} = \frac{\text{该级团聚体的烘干重}}{\text{烘干土样重}} \times 100\%$$

$$\text{总团聚体百分数} = \text{各级团聚体的和}$$

土样粉碎后用 2 mm 筛过筛后进行实验室测试分析土壤 pH 值、电导率。本研究的测试方法均采用国家标准化方法: HJ 962-2018《土壤 pH 值的测定电位法》, pH 仪器型号为: HJ 802-2016《土壤电导率的测定电极法》, 电导率仪器型号为 DDS-307A。

1.4 统计分析

运用 SAS9.4 统计软件中的 PROC GLIMMIX 方法(混合模型方法)比较不同灌水量和施氮量处理下的土壤 pH 值、电导率和水稳性团聚体的差异性, 显著水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH

不同灌水量(I1、I2、I3)与施氮量(N0、N1、N2、N3)下的 0~30 cm 土壤 pH 值的结果展示在表 1 和图 1。2023 年不同灌水量与施氮量下河套灌区 0-30 cm 深试验田中的土壤 pH 值平均数及其比较结果未有显著差异; 随着灌水量的增加, 土壤 pH 值有降低趋势; 随施氮量的增加, 总体上土壤 pH 值具有降低趋势。

在 0~30 cm 深度, 不同的灌水量下的土壤 pH 均值从小到大的顺序为: I1 (8.11) < I2 (8.225) < I3 (8.230); 在不同施氮量下的土壤 pH 均值从小到大的顺序为: N0 (8.01) < N2 (8.15) < N1 (8.21) < N3 (8.38) (表 1 和图 1)。灌水量与施氮量的交叉项(I×N)对应的 F 检验的 P 值 > 0.05 (表 1), 这预示着这个交叉项对土壤 pH 值的影响不显著。

2.2 土壤电导率

不同灌水量(I1、I2、I3)与施氮量(N0、N1、N2、N3)下的 0~30 cm 土壤电导率有显著差异(表 1 和图 2)。但是, 随着灌水量的增加, 土壤电导率有降低趋势; 随施氮量的增加, 土壤电导率有增加趋势。在 0~30 cm 深度, 不同的灌水量下的土壤电导率平均含量从小到大的顺序为: I2 (0.95 ms/cm) < I1 (1.04 ms/cm) < I3 (1.18 ms/cm); 在不同施氮量下的土壤电导率平均含量从小到大的顺序为: N2

(0.73 ms/cm) < N3 (0.95 ms/cm) < N1 (1.26 ms/cm) < N0 (1.29 ms/cm)。灌水量与施氮量的交叉项(I×N)对土壤电导率影响显著(表 2)。在 0~30 cm 土层中, 在高灌水量(I1)下, 高施氮量(N1)下的土壤电导率(0.71 ms/cm)显著低于不施氮量(N0)下的土壤电导率(1.39 ms/cm)。在中灌水量(I2)下, 高施氮量(N1)下的土壤电导率(1.69 ms/cm)显著高于中施氮量(N2)、低施氮量(N3)和不施氮量(N0)下的土壤电导率(0.53 ms/cm、0.76 ms/cm、0.80 ms/cm)。

在低灌水量(I3)下, 不施氮量(N0)下的土壤电导率(1.68 ms/cm)显著高于低施氮量(N3)的土壤电导率(0.80 ms/cm)。在 0~30 cm 土层中, 在高施氮量(N1)下, 高灌水量(I1)下的土壤电导率(0.71 ms/cm)显著低于中灌水量(I2)下的电导率(1.69 ms/cm)。

在低施氮量(N3)下, 低灌水量(I3)下的土壤电导率(0.81 ms/cm)显著低于高灌水量(I1)下的电导率(1.28 ms/cm)。在不施氮量(N0)下, 中灌水量下的土壤电导率(0.80 ms/cm)显著低于高灌水量(I1)和低灌水量(I3)下的土壤电导率(1.39 ms/cm, 1.68 ms/cm) (表 2)。

2.3 土壤水稳性团聚体

不同灌水量(I1、I2、I3)与施氮量(N0、N1、N2、N3)下的 0~30 cm 土壤水稳性团聚体有显著差异(表 1 和图 3)。但是, 随着灌水量的增加, 土壤水稳性团聚体含量有减少趋势; 随施氮量的增加, 土壤水稳性团聚体含量有减少趋势。在 0~30 cm 深度, 不同的灌水量下的土壤水稳性团聚体平均含量从小到大的顺序为: I1 (13.13%) < I3 (13.39%) < I2 (13.78%); 在不同施氮量下的土壤水稳性团聚体平均含量从小到大的顺序为: N1 (12.97%) < N3 (13.28%) < N0 (13.71%) < N2 (13.77%)。灌水量与施氮量的交叉项(I×N)对土壤水稳性团聚体影响显著(表 3)。

在 0~30 cm 土层中, 在中灌水量(I2)下, 高施氮量(N1)下的土壤水稳性团聚体(11.58%)显著低于中施氮量(N2)的土壤水稳性团聚体(16.41%)。在 0~30 cm 土层中, 在中施氮量(N2)下, 高灌水量(I1)下的土壤水稳性团聚体含量(12.70%)显著低于中灌水量(I2)下的水稳性团聚体(16.41%) (表 3)。

表 1 2023 年不同灌水量与施氮量下 0-30 cm 深试验田中的土壤 pH、电导率、水稳性团聚体的平均数及其比较结果

处理	土壤 pH	土壤电导率 ms/cm	土壤水稳性团聚体%
灌水量 (I)			
I1	8.11 ^{a†}	1.04 ^a	13.13 ^a
I2	8.225 ^a	0.95 ^a	13.78 ^a
I3	8.230 ^a	1.18 ^a	13.39 ^a
施氮量 (N)			
N1	8.21 ^a	1.26 ^a	12.97 ^a
N2	8.15 ^a	0.73 ^b	13.77 ^a
N3	8.38 ^a	0.95 ^a	13.28 ^a
N0	8.01 ^a	1.29 ^a	13.71 ^a
方差分析 (P>F)			
I	0.86	0.61	0.72
N	0.50	0.02	0.74
I×N	0.72	0.01	0.07

注[†]: 不同灌水量和施氮量下的指标均值对应的小写字母不同表示其均值具有显著差异。

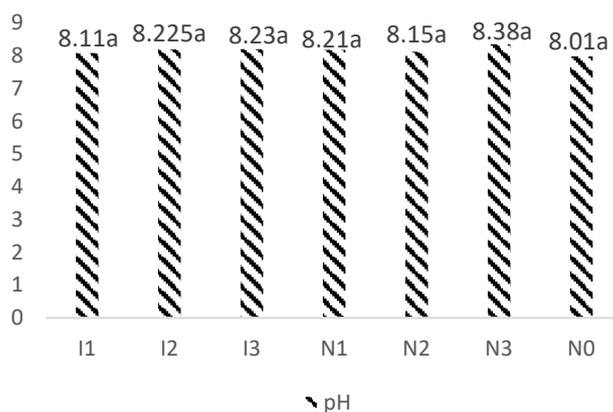


图 1 不同灌水量与施氮量下的土壤 pH 均值

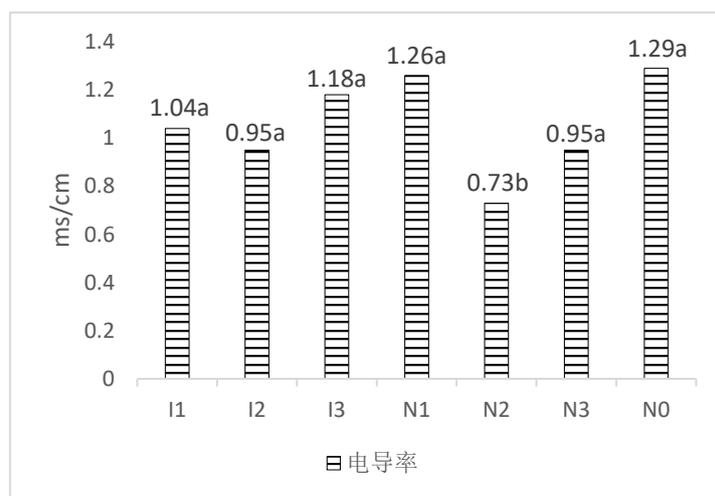


图 2 不同灌水量与施氮量下的土壤电导率均值

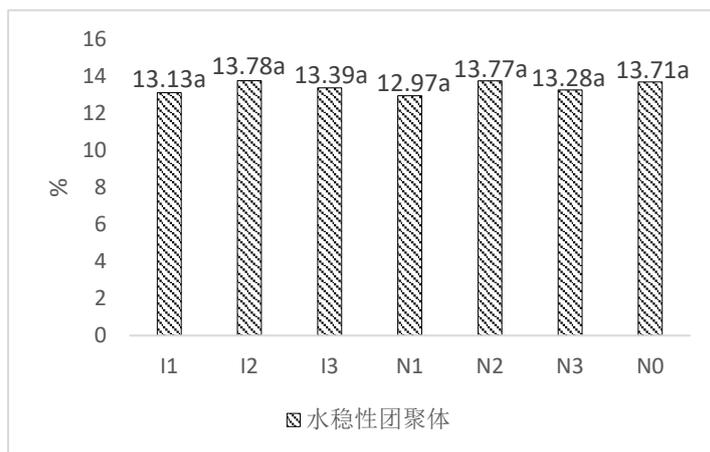


图3 不同灌水量与施氮量下的土壤水稳性团聚体均值

表2 2023年0-30 cm深试验地中灌水量与施氮量交叉项下的土壤电导率的平均数与比较结果

	N1	N2	N3	N0
I1	0.71 ^{bb†}	0.78 ^{aB}	1.28 ^{aA}	1.39 ^{aA}
I2	1.69 ^{aA}	0.53 ^{aB}	0.76 ^{bB}	0.80 ^{bB}
I3	1.37 ^{abAB}	0.88 ^{aB}	0.80 ^{bB}	1.68 ^{aA}

注[†]: 不同小写字母表示不同灌水量下的不同施氮量下的土壤电导率均值显著差异; 不同大写字母表示不同施氮量下的不同灌水量下的土壤电导率均值显著差异。

表3 2023年0-30 cm深试验地中灌水量与施氮量交叉项下的土壤水稳性团聚体的平均数及其比较结果

	N1	N2	N3	N0
I1	14.73 ^{aA†}	12.70 ^{bA}	13.95 ^{aA}	12.82 ^{aA}
I2	11.58 ^{bA}	16.41 ^{aA}	12.88 ^{aA}	14.27 ^{aA}
I3	12.59 ^{abA}	13.90 ^{aA}	13.00 ^{aA}	14.06 ^{aA}

注[†]: 不同小写字母表示不同灌水量下的不同施氮量下的土壤水稳性团聚体均值显著差异; 不同大写字母表示不同施氮量下的不同灌水量下的土壤水稳性团聚体均值显著差异。

3 讨论

3.1 灌水量对土壤 pH、电导率、水稳性团聚体的影响

本研究数据结果显示, 土壤 pH 值随着灌水量的增加具有减少的趋势(表1和图1)。灌水本身会使土壤中的钠离子、钙离子等阳离子可以与水中的氢离子进行交换, 使土壤中的碱性阳离子减少, 氢离子浓度相对增加, 土壤的 pH 值降低。这与之前研究成果相一致^[6]。这对于盐碱土的土壤肥力是提升的作用, 有利于作物生长。

本研究的观察值预示, 土壤电导率随着灌水量的增加具有减少趋势(表1和图2), 这是因为土壤中的盐分溶于水, 随水移动。随着灌水量增加, 土壤中盐分随水向下淋失, 盐浓度降低, 耕层土壤中盐

分减少电导率就下降。这与张美桃的研究成果相一致^[7]。土壤电导率的下降, 有利于提高本研究试验田土壤肥力, 耕层土壤电导率下降, 盐分含量降低, 有助于作物生长。

本研究发现显示, 土壤水稳性团聚体随着灌水量的增加而减少(表1和图3)。有机质是土壤团聚体的胶结物质之一^[8], 土壤中有机质是影响水稳性团聚体含量的因素。有研究表明随灌水量增加, 少部分有机质可能被淋失^[6], 导致土壤水稳性团聚体含量减少, 综上土壤水稳性团聚体会随灌水量的增加而减少。土壤水稳性团聚体含量减少会降低耕层土壤肥力, 对作物生长有消极影响。

3.2 施氮量对土壤 pH、电导率、水稳性团聚体的影响

本研究结果显示, 河套灌区向日葵地在四个不同处理 (N0、N1、N2、N3) 下土壤 pH 值随着施氮量的增加, pH 值有降低趋势 (表 1 和图 1)。这是因为尿素施入土壤, 经过氮素循环过程会释放 H^+ 加速土壤酸化^[9,10]。这与田沐雨等研究学者的研究成果相一致^[11]。施氮使盐碱地 pH 降低, 土壤肥力提升, 对作物生长有积极影响。

本研究结果预示, 河套灌区向日葵地在四个不同处理 (N0、N1、N2、N3) 下土壤电导率随着施氮量的增加, 电导率具有增加趋势 (表 1 和图 2)。这是因为施入的氮肥在土壤中转化为硝态氮和铵态氮, 它们属于盐类, 致使土壤中的盐含量会有所升高, 电导率就增加。这与王丽英等研究者的研究成果相一致^[12]。施氮使盐碱地, 电导率增加盐分也会增加, 土壤肥力下降不利于作物生长。

本研究结果预示, 河套灌区向日葵地在四个不同处理 (N0、N1、N2、N3) 下随着施氮量的增加, 水稳性团聚体含量有减少趋势 (表 1 和图 3)。这是因为施氮量的增加会使土壤盐分含量升高, 破坏土壤颗粒间的胶结物质, 有机质是水稳性团聚体的胶结物质, 所以土壤水稳性团聚体的含量下降, 土壤团聚体的数量和粒径都会减小。这对土壤肥力和作物生长的影响和灌水量对水稳性团聚体的影响相同。

3.3 灌水量与施氮量交叉项对土壤电导率与水稳性团聚体的影响

灌水量与施氮量交叉项对土壤电导率有显著影响。在 0~30 cm 土层中, 在高施氮量 (N1) 下, 高灌水量 (I1) 下的土壤电导率显著低于中灌水量 (I2) 下的电导率 (表 2)。这是由于土壤施氮肥后, 除了被作物吸收外, 土壤中还存在大量的氮素以硝态氮的形式存在^[13]。硝态氮在土壤中的主要以硝酸根离子的形式存在, 硝酸根和土壤胶体都带负电荷, 互相排斥, 容易被灌溉水冲到土层深处。低施氮量 (N3) 下, 高灌水量 (I1) 下的土壤电导率显著高于低灌水量 (I3) 下的电导率 (表 2)。这是因为是灌水对土壤盐分有淋洗作用, 灌水量越大, 淋洗作用越明显^[14]。在不施氮量 (N0) 下, 中灌水量下的土壤电导率显著低于高灌水量和低灌水量下的土壤电导率 (表 2)。这是因为灌水量有限, 土壤底层盐分会向地上返盐, 但灌水量有限, 盐分被带到地表的量也有限或者高灌水量使土壤孔隙被填充, 通气性

变差, 移动变慢, 使盐分积累。在 0~30 cm 土层中, 在高灌水量 (I1) 下, 高施氮量 (N1) 下的土壤电导率显著低于不施氮量 (N0) 下的土壤电导率 (表 2); 施氮后, 土壤中的铵根离子和硝酸根离子量增加。这些离子会与土壤中的钠离子吸附, 导致土壤盐碱化的离子被部分置换, 使得电导率降低。在低灌水量 (I3) 下, 不施氮量 (N0) 下的土壤电导率显著高于低施氮量下 (N3) 的土壤电导率 (表 2)。这可能是由于本实验取土时间在向日葵成熟期之后, 由于河套灌区气候干旱, 土壤水分随毛细管上升至地表, 土壤呈现返盐现象。在中灌水量 (I2) 下, 高施氮量 (N1) 下的土壤电导率显著高于中施氮量 (N2), 低施氮量 (N3), 不施氮量 (N0) 下的电导率 (表 2)。这是因为施氮量可以增加土壤中硝态氮的含量, 土壤中盐分含量和土壤电导率呈正比关系, 所以土壤中盐分含量升高^[13]。上述灌水量与施氮量的变化会使电导率升高或下降, 耕层土壤含盐量也会随之变化, 对于河套灌区盐碱地, 盐分升高会使土壤肥力下降同时也不利于作物生长, 盐分降低, 则反之。

灌水量与施氮量相互作用对降低土壤水稳性团聚体有显著影响。在 0~30 cm 土层中, 中施氮量 (N2) 下, 高灌水量 (I1) 下的土壤水稳性团聚体显著低于中灌水量 (I2) 下的水稳性团聚体 (表 3)。这可能是由于高灌水量会将土壤水稳性团聚体冲散, 也有可能高灌水量条件下, 土壤通气性受到影响, 土壤中微生物活动减少, 土壤有机质含量减少, 水稳性团聚体稳定性降低。在中灌水量 (I2) 下, 高施氮量 (N1) 下的土壤水稳性团聚体显著低于中施氮量 (N2) 下的水稳性团聚体 (表 3)。这是因为土壤施氮量过高, 盐分含量过高, 增强了颗粒分散作用^[15], 破坏了土壤结构和团聚体的水稳性^[16]。土壤含盐量增大会抑制土壤微生物活动, 减少了土壤团聚体的含量。本研究中, 随着施氮量增大, 粒径大于 0.25 mm 的水稳性团聚体含量减小, 这与其它研究结果一致^[17]。土壤中水稳性团聚体含量越高, 土壤肥力越旺盛越有助于作物生长。水稳性团聚体含量低, 则反之。

4 结论

(1) 随着灌水量增加, 土壤 pH 值、电导率和水稳性团聚体均有降低趋势; 随着增施氮量增加, 土壤水稳性团聚体与 pH 值均有降低趋势, 而土壤电导率有增加趋势。(2) 灌水量与施氮量交叉项对

土壤电导率有显著影响。在高灌水量下, 施氮显著降低土壤电导率; 在中灌水量下, 施氮显著增加电导率。(3) 灌水量与施氮量交叉项对土壤水稳性团聚体有显著影响。在高灌水量下, 施氮量显著增加土壤水稳性团聚体; 在中灌水量下, 中施氮量土壤水稳性团聚体含量最高。

本研究提供了河套灌区灌水量与施氮量对土壤水稳性团聚体影响的初步见解, 河套灌区特殊的地理位置和气候条件导致该地区土壤盐碱化, 未来的研究应考虑长期灌水和施氮对土壤微生物和氮素排放的影响, 以更全面地理解灌水量与施氮量对土壤水稳性团聚体的影响。

参考文献

- [1] Sahin U ,Angin I ,Kiziloglu M F . Effect of freezing and thawing processes on some physical properties of saline-sodic soils mixed with sewage sludge or fly ash [J]. *Soil & Tillage Research*, 2008, 99 (2): 254-260.
- [2] Daliakopoulos I ,Tsanis I ,Koutroulis A , et al. The threat of soil salinity: A European scale review [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 573 727-739.
- [3] Franzluebbers J A ,Wright F S ,Stuedemann A J . Soil Aggregation and Glomalin under Pastures in the Southern Piedmont USA [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64 (3): 1018-1026.
- [4] 高雪敖. 河套灌区灌水洗盐模式下的灌水量与施氮量互作对向日葵田土壤质量和产量的影响[D]. 乌鲁木齐市:新疆农业大学, 2022.
- [5] Elliott E T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1986, 50: 627-633.
- [6] 赖黎明,美丽,杨旸. 内蒙古河套灌区农业土壤特征与发展分析 [J]. *江苏农业科学*, 2022, 50 (2): 213-218.
- [7] 张美桃,杨培岭,任树梅,等. 灌溉水盐分及灌水量对土壤水盐分布与春玉米生长的影响 [J]. *水土保持学报*, 2022, 36(4):290-298.
- [8] 卢金伟.土壤团聚体水稳性及其与土壤可蚀性之间关系研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学. 2002.
- [9] 周晓阳,徐明岗,周世伟,等. 长期施肥下我国南方典型农田土壤的酸化特征 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (6): 1615-1621.
- [10] 孟红旗,刘景,徐明岗,等. 长期施肥下我国典型农田耕层土壤的 pH 演变 [J]. *土壤学报*, 2013, 50 (6): 1109-1116.
- [11] 田沐雨,于春甲,汪景宽,等. 氮添加对草地生态系统土壤 pH、磷含量和磷酸酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2020, 31 (9): 2985-2992.
- [12] 王丽英,武雪萍,张彦才,等. 适宜施氮量保证滴灌日光温室黄瓜番茄产量降低土壤盐分及氮残留 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31 (17): 91-98.
- [13] 张学科,白俊英,严海霞. 灌水量与施氮量对不同类型土壤中硝酸盐运移的影响 [J]. *节水灌溉*, 2020, (2): 83-87.
- [14] 刘雪艳,丁邦新,白云岗刘雪艳,丁邦新,白云岗,等. 微咸水膜下滴灌对土壤盐分及棉花产量的影响 [J]. *干旱区研究*, 2020, 37 (2): 410-417.
- [15] 李小刚,崔志军,王玲英,等. 盐化和有机质对土壤结构稳定性及阿特伯格极限的影响 [J]. *土壤学报*, 2002, (4): 550-559.
- [16] 徐爽. 化学物质对土壤团聚体稳定性及其它物理性状的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2015.
- [17] 朱梅珂,孔范龙,李悦,等. 不同水盐条件下胶州芦苇盐沼土壤水稳性团聚体的室内模拟实验研究 [J]. *湿地科学*, 2019, 17 (2): 228-236.

版权声明: ©2024 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS