

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.03.021

周利颖, 李瑞平, 苗庆丰, 等. 排盐暗管间距对河套灌区重度盐碱土盐碱特征与肥力的影响. 土壤, 2021, 53(3): 602–609.

排盐暗管间距对河套灌区重度盐碱土盐碱特征与肥力的影响^①

周利颖, 李瑞平*, 苗庆丰, 窦旭, 田峰, 于丹丹, 孙晨云

(内蒙古农业大学水利与土木建筑工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 为合理设计暗管排盐参数, 提高河套灌区盐碱土的改良效果, 通过布设田间试验, 在轮灌方式下, 对比分析了 10、20、30 m 暗管间距条件下土壤盐离子、碱化程度和肥力指标特征, 研究了暗管间距对河套灌区重度盐碱土脱盐治碱效果的影响。结果表明: ①10、20、30 m 间距处理 0~10 cm 土层淋洗前土壤含盐量分别为 17.22、17.74 和 17.17 g/kg, 秋浇前分别为 10.78、11.56、11.95 g/kg, 不同暗管间距处理的土壤脱盐率表现为: 10 m>20 m>30 m。②灌水后各处理土壤碱化指标均表现出先增大后减小的变化趋势, 10、20、30 m 间距处理 0~10 cm 土层土壤 pH 在秋浇前较第 3 次淋洗后分别降低了 4.47%、3.72% 和 2.96%, 说明小间距的暗管布设更具有缓解土壤碱化程度的潜力。③暗管排水过程中会使土壤养分大量流失, 各间距处理的流失量依次为 10 m>20 m>30 m。

关键词: 暗管排水; 间距; 淋洗; 土壤; 含盐量; 碱化度; 肥力

中图分类号: S276 文献标志码: A

Effects of Underground Drainage Pipe Spacing on Salt and Alkali Characteristics and Fertility of Heavy Saline Soil in Hetao Irrigation Area

ZHOU Liying, LI Ruiping*, MIAO Qingfeng, DOU Xu, TIAN Feng, YU Dandan, SUN Chenyun

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: In order to determine the optimal spacing of underground drainage pipes and promote the improvement of saline-alkali soil in Hetao irrigation area, a field experiment with rotation irrigation was conducted, soil salt contents, alkalization degrees and fertility indexes under 10, 20 and 30 m spacings were determined and compared. The results showed that soil salt contents of 0–10 cm soils with 10, 20 and 30 m spacings were 17.22, 17.74 and 17.17 g/kg respectively before leaching, and were 10.78, 11.56 and 11.95 g/kg respectively before autumn irrigation. Soil desalination rates of different spacings were as follows: 10 m>20 m>30 m. Soil alkalization indexes increased first and then decreased after irrigation. pH of 0–10 cm soils with 10, 20 and 30 m spacings before autumn irrigation decreased by 4.47%, 3.72% and 2.96% respectively compared with that after the third leaching, indicating that small spacing was more effective to alleviate soil alkalization. But underground pipe drainage could lead to severe soil nutrient loss, which was in an order of 10 m >20 m >30 m.

Key words: Underground pipe drainage; Space; Leaching; Soils; Salt content; Degree of alkalization; Fertility

盐碱土改良一直以来都是世界性难题^[1]。河套灌区不同程度的盐碱化土壤面积约有 30 多万 hm^2 ^[2], 土壤盐碱化问题严重制约当地农业的可持续发展^[3]。目前灌区改良盐碱地的方法多种多样, 包括在土壤中掺加生物质炭、秸秆深埋等土壤改良手段^[4-6]。然而, 这些方法在重度盐碱地区无法从根本上使土壤达到彻底脱盐的效果, 因此有必要探索更为快捷的改良模式。暗管排水技术可以达到较好的控盐效果, 能够有效降低地下水位, 防止土壤返盐, 为作物生

长提供良好的环境, 目前暗管排盐治碱技术的应用相当广泛^[7-10], 而且暗管排水技术还具有便于施工与维修、方便田间管理等优点。因此, 河套灌区应用暗管排水技术可以达到较好的淋盐效果。

暗管设计参数对土壤排盐效果有很大的影响, 为使灌排改良方案更为合理, 国内外许多学者对暗管的布设方案进行了大量的研究^[11-15]。詹世坦和丁昆仑^[16]认为暗管间距小于 40 m 的排水系统改良效果较好。张金龙等^[17]在田间分别布设了暗管间距 3、6、9 m

①基金项目: 内蒙古自治区科技重大专项项目(zdxx2018059)和国家自然科学基金项目(51839006; 51769021)资助。

* 通讯作者(nmgjrp@163.com)

作者简介: 周利颖(1995—), 女, 内蒙古赤峰人, 硕士研究生, 主要从事灌溉理论与新技术研究。E-mail: 1475531298@qq.com

的小区,研究发现暗管间距为3 m的小区不仅脱盐效率高,而且更为均匀。农田暗管布设参数的确定,是暗管排水系统设计的主要任务,与排水效果、投资收益等密切相关。

目前我国对于暗管排水技术的研究多集中于盐分淋洗效果方面,通过对盐渍化、碱化程度进行综合比较的研究较少。河套灌区土壤盐碱化程度十分严重,同时降低土壤盐渍化、碱化程度是改良灌区盐碱地的首要问题。本文通过田间试验,设计了不同排水暗管间距处理,研究对比了灌区重度盐碱地在轮灌条件下土壤盐渍化、碱化和肥力特征,以期为合理设计暗管排水技术参数、提高盐碱土壤改良效果提供理论

依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于河套灌区乌拉特前旗西山咀农场四、五分场紧靠排干沟的田间重度盐碱地进行。试验区地处中温带大陆性气候区,常年降雨少、蒸发强,具有气温多变、干燥多风和无霜期较短的特点,当地的地下水位一般在1.0~1.8 m,雨季、灌期达到0.4 m。试验区土壤次生盐渍化程度严重,基本物理性质见表1。本研究期间2019年5—8月的土壤降雨量、气温变化如图1所示,总计降雨61.6 mm。

表1 试验地土壤物理性质
Table 1 Physical properties of tested soil

土层深度 (cm)	颗粒组成(美国农部制)(%, V/V)			质地	容重 (g/cm ³)	田间持水率 (%, V/V)	饱和含水量 (%, V/V)
	砂粒	粉粒	黏粒				
0~20	26.33	60.50	13.17	粉壤土	1.51	24	38
20~40	32.32	45.39	22.29	粉壤土	1.49	25	39

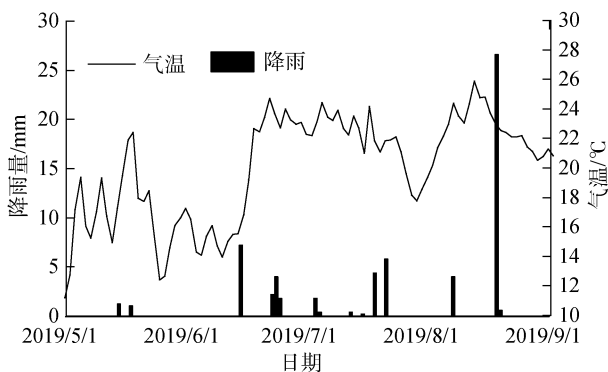


图1 试验区降雨量和气温动态变化

Fig. 1 Rainfall and temperature in experimental area

1.2 试验方法

试验共布设3个小区,依据试验区土壤性质、地下水位等实际情况,在参考暗管埋设理论公式计算暗管埋深与间距的基础上^[18-19],分别埋设10、20、30 m间距的暗管,埋设深度(较深一端)均为1.1 m。每个小区铺设4根暗管,10、20、30 m间距处理的小区面积分别为6 000、12 000和18 000 m²。暗管材料为带孔PVC波纹管,管径80 mm,坡降1%,每根暗管长200 m,管外包有无纺布,周围均铺设10 cm滤料。暗管铺设采用挖掘机挖管沟、铺设滤料和暗管、回填的工序。暗管铺设完成后,在小区土壤表层施加脱石膏,施用量为2 t/667m²,另施加细沙(沙丘沙)5.67 m³/667m²,农家肥6 m³/667m²,利用开沟机对研究区每隔3 m开0.6~0.8 m的纵向深沟以打破

犁底层,回填后再深翻、旋耕整地,以在改善土壤物理性质的基础上对研究区土壤进行暗管排盐。暗管排水端为连接十排干分支的排水沟,排水期间用水泵将斗沟中的水统一抽入十排干。

试验区利用覆膜的方法种植耐盐作物湖南稷子,施肥量为尿素260 kg/hm²、磷酸二铵290 kg/hm²和硫酸钾150 kg/hm²。采用轮灌的灌溉模式,灌溉淋洗分3次进行:第1次日期为2019年5月15日,灌水量为300 mm;第2、3次灌水时间分别为当年6月26日、7月16日,灌水量均为130 mm。

1.3 取样与测试分析

对每个试验小区在4根暗管的中央纵向对称线上距暗管一端每隔50、100、150 m分别进行采样,各处采测点取3次重复。取样过程共分为5次,第1次为淋洗前,取样日期为5月15日;第2、3、4次分别为第1、2、3次淋洗后,采样时间分别为6月3日、7月12日和8月2日;第5次为秋浇前,取样时间为10月8日。每次分层取0~10、10~20、20~40 cm土层土样,经风干、粉碎后过1 mm筛备用,对各样品分别进行盐离子、碱化指标和肥力指标测定,土壤含盐量通过电导率(EC值)按照式(1)计算得到^[20],土壤脱盐率的计算公式如式(2)所示。

$$Q=3.471EC+0.015 \quad (1)$$

式中:EC为土壤电导率,mS/cm;Q为土壤含盐量,g/kg。

$$N = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中： N 为土壤脱盐率，%； S_1 为灌水前土壤盐分初始值，g/kg； S_2 为灌水后土壤盐分终值，g/kg。

1) 盐离子测定。土壤中可溶性 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 和 Na^+ 的测定依据土壤可溶性盐的分析方法^[21-22]，其中， Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 测定采用 EDTA 滴定法； K^+ 、 Na^+ 测定利用火焰光度计法； Cl^- 测定采用 AgNO_3 滴定法； HCO_3^- 和 CO_3^{2-} 测定利用双指示剂盐酸中和滴定法。电导率采用电导率仪 (DDS-308A) 测得。

2) 碱化指标测定。土壤阳离子交换量 (CEC) 采用乙酸钠浸提火焰光度计法测定，交换性 Na^+ 采用乙酸铵浸提火焰光度计法测定^[22]。土壤碱化度 (ESP) 为交换性 Na^+ 占阳离子交换量的百分率^[23]。土壤 pH 采用 pHB-4 型酸度计测得。

3) 肥力指标测定。土壤全氮含量采用凯氏蒸馏法利用凯氏定氮仪测得，有效磷含量采用 Olsen 法测得，速效钾含量采用乙酸铵浸提-火焰光度法测定，土壤有机质含量采用重铬酸钾-外加热法测定。

1.4 数据处理

利用 Excel 2019 处理数据，Origin 2018 进行绘图。采用单因素方差分析法 (one-way ANOVA) 及最小显著性差异法 (LSD) 比较各处理土壤肥力和脱盐率的差异，显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同排盐暗管间距对土壤盐分的影响

1) 土壤阳离子含量。利用暗管排水排盐对灌区重度盐碱地进行改良，不同暗管间距处理的土壤阳离子变化明显不同，土壤中 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 含量随 3 次灌溉淋洗的变化过程如图 2 所示。从图 2 可知，0 ~ 40 cm 土层不同阳离子随 3 次灌溉淋洗的变化过程基本一致，每次淋洗后不同阳离子含量都呈明显下降的趋势。 Na^+ 是研究区土壤中含量最多的阳离子，其淋洗效率在阳离子中最高，与淋洗前土壤中的 Na^+ 含量相比，10、20、30 m 暗管间距处理在第 1 次淋洗后 0 ~ 40 cm 土层分别降低了 34%、19%、18%，在第 2 次淋洗后相对于第 1 次淋洗后分别降低了 13%、7%、5%，在第 3 次淋洗后相对于第 2 次淋洗后分别降低了 20%、19%、11%，说明 10 m 暗管间距处理的淋洗效果明显比 20、30 m 间距处理好，而 20 m 与 30 m 暗管间距处理的淋洗效果差异略小。 K^+ 含量占阳离子的比例较低，各处理 K^+ 含量的变化过

程较弱。灌区土壤 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量相对较高，10、20、30 m 间距处理 0 ~ 40 cm 土层在第 3 次淋洗后 Ca^{2+} 含量分别降低了 23%、20%、18%， Mg^{2+} 含量分别降低了 55%、48% 和 36%，进一步说明 10 m 间距处理的脱盐效果优于 20、30 m 间距处理。

2) 土壤阴离子含量。图 3 为不同暗管间距条件下土壤中阴离子的动态变化过程。由图 3 可知， Cl^- 作为土壤中含量最多的阴离子，其淋洗效率最高，10、20、30 m 间距处理 0 ~ 40 cm 土层在淋洗前分别为 5.92、6.04、6.55 g/kg，第 3 次淋洗后分别为 3.01、3.13 和 4.09 g/kg，分别降低了 49%、48% 和 38%。而各处理的 SO_4^{2-} 含量 0 ~ 40 cm 土层在淋洗前分别 1.63、1.31 和 1.48 g/kg，第 3 次淋洗后分别为 0.75、0.81、0.87 g/kg，较淋洗前分别降低了 54%、38%、41%。由此可见，小间距的暗管布置有利于土体的迅速排盐，排盐效果明显优于较大的间距。暗管排水过程中会使灌区土壤中 HCO_3^- 含量有小幅度的增加趋势，但由于其含量较小，不会影响各处理盐分的降低趋势。

3) 土壤含盐量与脱盐率。表 2 为不同暗管间距处理土壤含盐量及脱盐率随灌水轮次的变化规律。由表 2 可知，10、20、30 m 暗管间距处理的土壤盐分含量在每次淋洗后都表现出不同程度的降低，各处理不同土层土壤含盐量在淋洗前后呈显著差异 ($P < 0.05$)。淋洗前各间距处理 0 ~ 10 cm 土层的土壤含盐量分别为 17.22、17.74 和 17.17 g/kg，通过 3 次灌水淋洗，秋浇前分别为 10.78、11.56、11.95 g/kg，经过不停的淋洗和蒸发的反复循环过程，土壤的盐渍化程度明显降低，但土壤的盐渍化程度仍属于重度盐碱地，仍需要进行多年淋洗。从表 2 还可以看出，土壤表层的脱盐率较大，脱盐率的大小随土层深度的增加而降低。10、20、30 m 暗管间距处理 0 ~ 10 cm 土层在第 1 次淋洗后的脱盐率分别达到了 44.05%、30.90% 和 23.63%，第 2 次淋洗的脱盐率分别为 21.38%、21.21% 和 9.18%，第 3 次淋洗的脱盐率分别为 16.29%、16.15% 和 11.95%。因此，暗管的布设间距越小，土壤的脱盐率越大，灌区重度盐碱地适宜采用小间距暗管多次淋洗的方式进行治理。

2.2 不同排盐暗管间距对土壤碱化特征的影响

1) 土壤碱化度及交换性 Na^+ 含量。图 4 为不同暗管间距处理土壤碱化度、交换性 Na^+ 含量的动态变化过程，可见，不同土层土壤的碱化度与交换性 Na^+ 含量的变化趋势一致，表现为每次灌水淋洗后增加、秋浇前降低的特点。10、20、30 m 间距处理在 0 ~ 40 cm

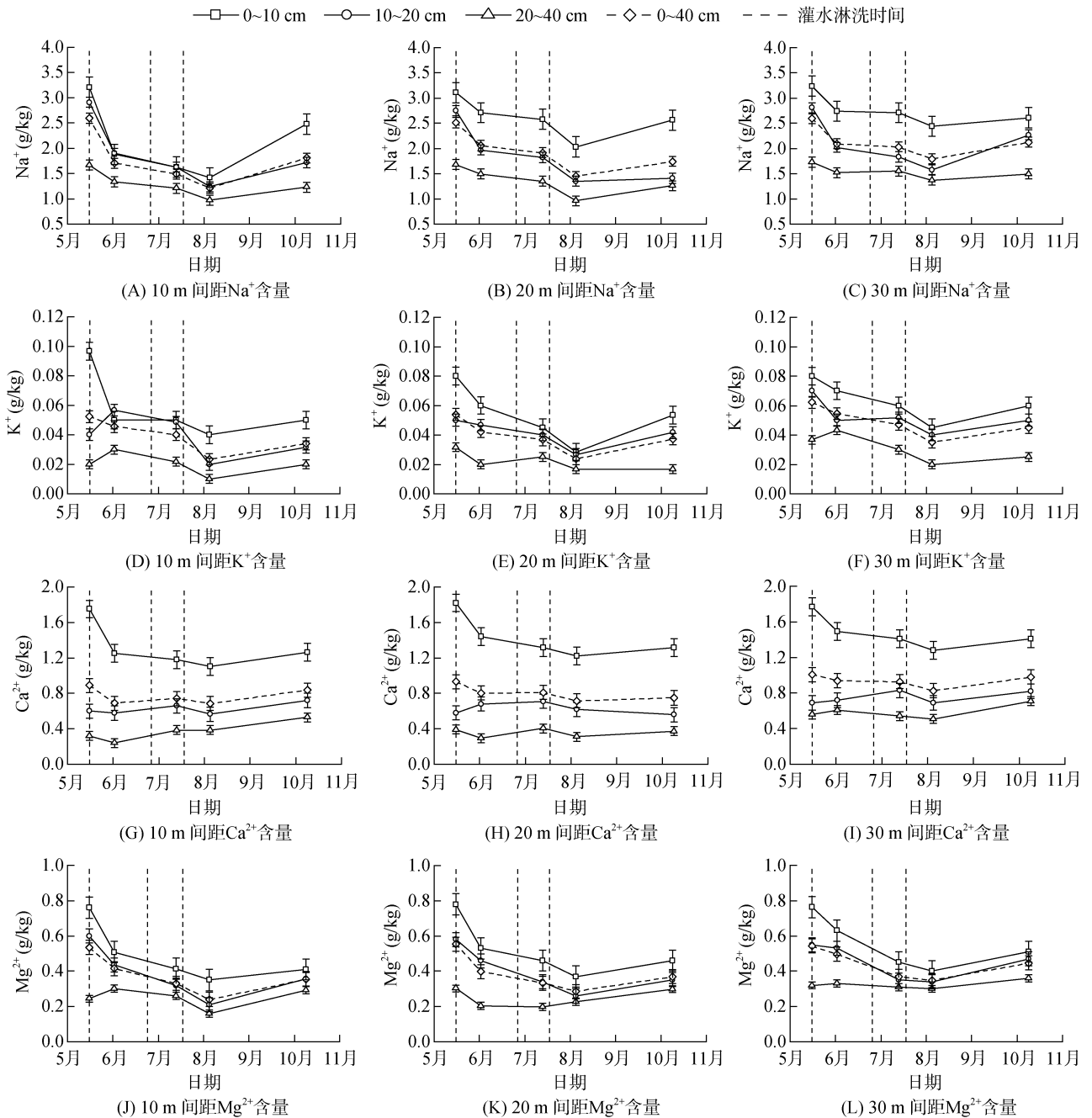


图 2 不同暗管间距处理土壤阳离子含量

Fig. 2 Soil cation contents under different underground pipe spacings

土层淋洗前的交换性 Na^+ 含量分别为 1.20、1.30、1.13 cmol/kg ，第 3 次灌水后的交换性 Na^+ 含量分别为 1.59、1.41、1.42 cmol/kg ，而秋浇前分别为 1.19、1.03、1.15 cmol/kg ，各处理的交换性 Na^+ 含量虽然在灌水后表现出增加的趋势，10 m 间距处理土壤交换性 Na^+ 含量增加幅度略大，但当停止灌水后土壤中的交换性 Na^+ 含量开始逐渐降低，甚至低于淋洗前的交换性 Na^+ 含量，10 m 间距处理依然略大于 20 m、30 m 间距处理，但总体差异不大。10、20、30 m 间距处理 0

~ 40 cm 土层的土壤碱化度在淋洗前分别为 15.43%、17.79%、13.76%，第 3 次淋洗后的碱化度分别为 18.41%、18.23% 和 16.40%，而秋浇前的土壤碱化度依次为 15.97%、15.23% 和 11.87%，与交换性 Na^+ 含量的变化趋势相似。

2) 土壤 pH。表 3 为不同暗管间距处理土壤 pH 随灌水淋洗轮次的变化规律，与土壤碱化度的变化趋势相似，各间距处理的土壤 pH 在灌水后会增大，而秋浇前的土壤 pH 较第 3 次淋洗后有所下降，各处理

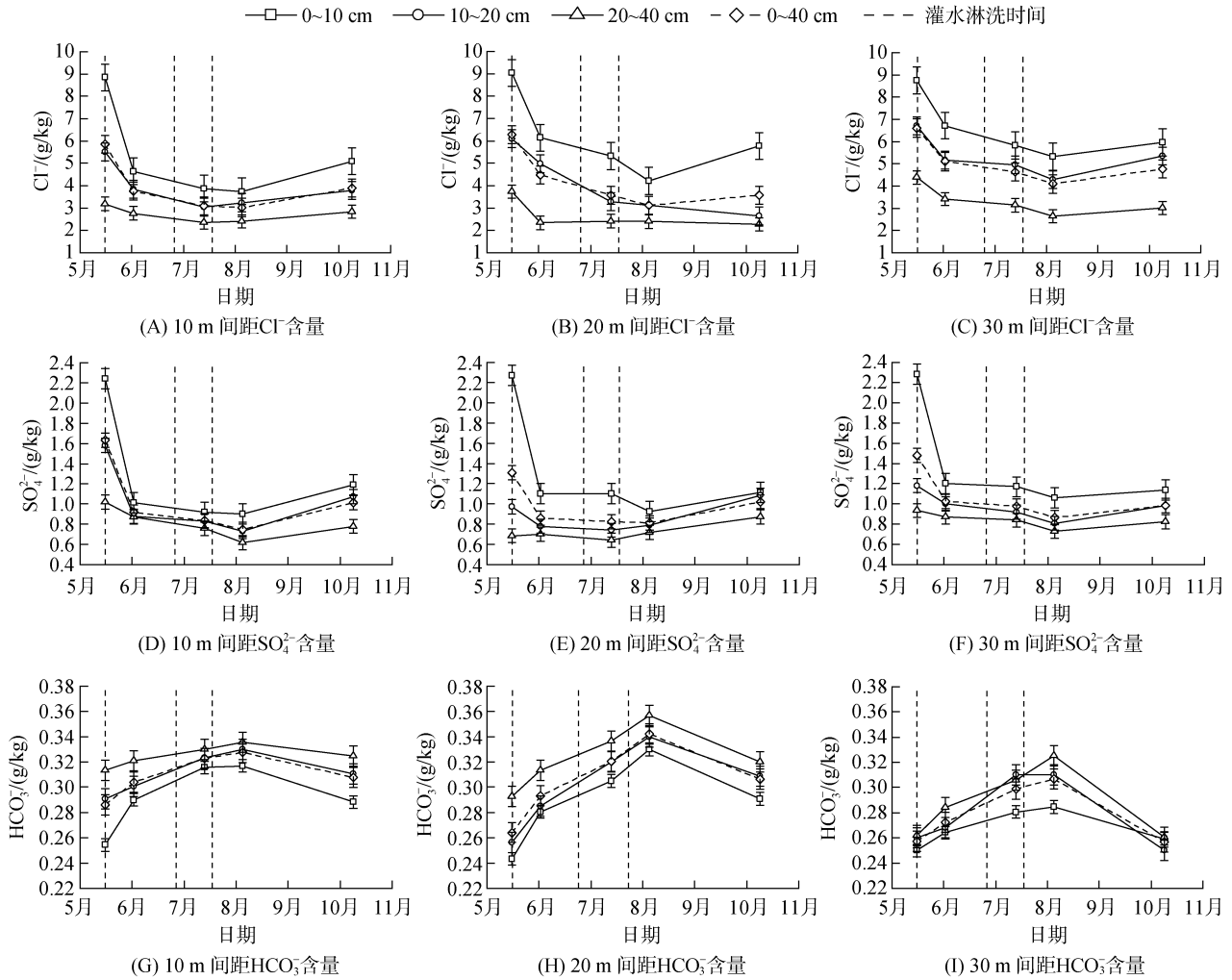


图 3 不同暗管间距处理土壤阴离子含量

Fig. 3 Soil anion contents under different underground pipe spacings

表 2 不同暗管间距对土壤含盐量与脱盐率的影响

Table 2 Soil salt contents and desalination rates under different underground pipe spacings

暗管间距 (m)	土层 (cm)	淋洗前 (g/kg)	1 次淋洗后		2 次淋洗后		3 次淋洗后		秋浇前 (g/kg)
			含盐量(g/kg)	脱盐率(%)	含盐量(g/kg)	脱盐率(%)	含盐量(g/kg)	脱盐率(%)	
10	0~10	17.22 a	9.63 c	44.05	7.57 d	21.38	6.34 e	16.29	10.78 b
	10~20	11.53 a	8.00 b	30.61	6.86 c	14.27	5.92 d	13.71	7.99 b
	20~40	6.78 a	5.86 b	13.56	5.32 c	9.17	4.92 d	7.61	6.01 b
20	0~10	17.74 a	12.26 b	30.90	9.66 d	21.21	8.10 e	16.15	11.56 c
	10~20	11.28 a	8.51 b	24.57	7.73 c	9.17	6.94 d	10.13	6.41 e
	20~40	7.11 a	5.80 b	18.41	5.49 c	5.40	4.96 d	9.61	5.42 c
30	0~10	17.17 a	13.11 b	23.63	11.91 c	9.18	10.39 d	12.79	11.95 c
	10~20	12.26 a	9.76 c	20.41	9.25 d	5.22	8.14 e	12.04	10.20 b
	20~40	8.23 a	7.08 b	14.01	6.71 c	5.14	6.11 d	8.99	6.69 c

注：表中同行不同小写字母表示不同淋洗次数间土壤含盐量差异显著($P < 0.05$)。

淋洗前后土壤 pH 差异不显著($P < 0.05$)。10、20、30 m 间距处理 0~10 cm 土层土壤 pH 在第 1 次淋洗后与淋洗前相比分别增加了 1.68%、1.08% 和 0.36%，并

且 10~20、20~40 cm 土层也表现出 pH 的增加，幅度依次为 10 m>20 m>30 m，说明小间距的暗管建设会使灌水后初期的土壤 pH 增加程度更大。10、20、

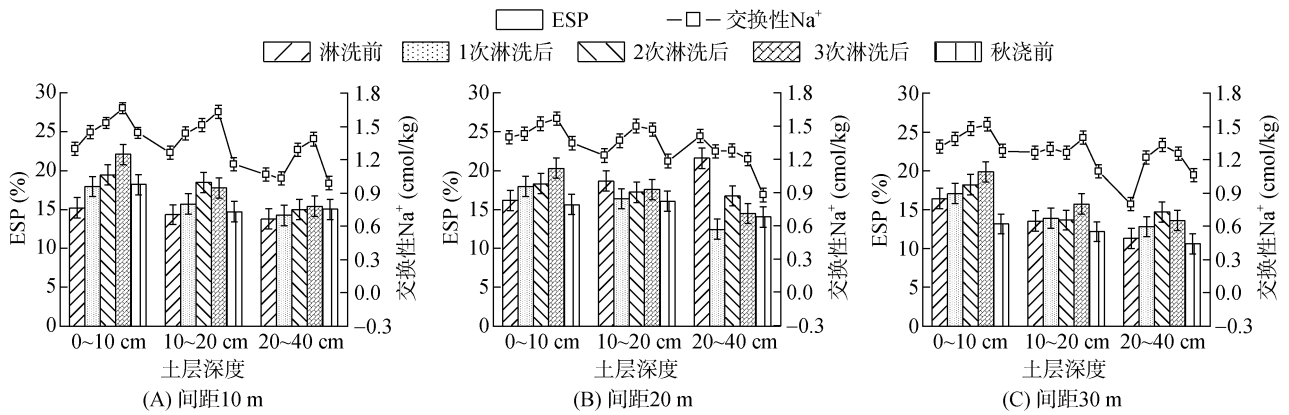


图 4 不同暗管间距对土壤碱化指标的影响

Fig. 4 Soil alkalinization indexes under different underground pipe spacings

表 3 不同暗管间距对土壤 pH 的影响

Table 3 Soil pH under different underground pipe spacings

暗管间距(m)	土层(cm)	淋洗前	1 次淋洗后	2 次淋洗后	3 次淋洗后	秋浇前
10	0~10	8.32	8.46	8.56	8.72	8.30
	10~20	8.25	8.39	8.42	8.46	8.23
	20~40	8.01	8.27	8.29	8.31	8.21
20	0~10	8.36	8.45	8.47	8.61	8.25
	10~20	8.39	8.37	8.34	8.44	8.24
	20~40	8.45	8.23	8.36	8.25	8.11
30	0~10	8.33	8.36	8.37	8.42	8.17
	10~20	7.90	8.22	8.20	8.33	8.06
	20~40	7.76	8.15	8.18	8.17	8.02

30 m 间距处理 0~10 cm 土层土壤 pH 在秋浇前分别为 8.30、8.25、8.17，较淋洗前分别降低了 0.24%、1.32%、1.92%，表明灌水淋洗后土壤 pH 呈先增大后减小的变化趋势。另外，10、20、30 m 间距处理 0~10 cm 土层土壤 pH 在秋浇前较第 3 次淋洗后分别降低了 4.47%、3.72% 和 2.96%，说明小间距处理的土壤 pH 降低幅度更大，长期使用小间距处理的暗管有利于缓解土壤碱化程度。

2.3 不同排盐暗管间距对土壤肥力特征的影响

不同暗管间距埋设条件下土壤肥力的变化过程不同，表 4 为各处理土壤全氮、有效磷、速效钾和有机质含量等肥力指标在 3 次灌水淋洗过程中的动态变化，可见，不同肥力指标在每次灌水淋洗后都明显下降。10、20、30 m 间距处理土壤全氮含量在第 1 次灌水淋洗后分别降低了 20%、18% 和 14%，第 2 次灌水淋洗后分别降低了 11%、7%、6%，第 3 次灌水淋洗后分别降低了 9%、5%、5%，秋浇前分别降低了 7%、5%、5%，说明不同暗管间距处理土壤养分淋失量表现为：10 m>20 m>30 m。各处理在每次灌水淋洗前后的土壤全氮含量存在显著性差异($P<0.05$)，间距较小

的处理在排盐效率较高的同时也使土壤肥力流失更多，而秋浇前土壤全氮含量的下降幅度小于每次灌水后的降低幅度，更说明暗管排水排盐过程伴随了一定的养分流失。另外 10、20、30 m 间距处理土壤有效磷含量在第 3 次灌水淋洗后较淋洗前分别降低了 44%、43% 和 41%，速效钾含量分别降低了 41%、30% 和 32%，有机质含量依次下降了 29%、11% 和 18%。不同土壤肥力指标基本表现为土壤养分流失比例随暗管布设间距的减小而增大，其中土壤有机质的流失速度与暗管埋设间距的关系并不十分明显，而且在秋浇前 30 m 间距处理土壤有机质含量高于第 3 次淋洗后，这可能是由于研究区耐盐作物的枯叶、根茬等在土壤中转化为有机质^[24]，使土壤中的有机质含量大幅度增加，而有机质含量降低的处理主要是由于灌区土壤盐渍化程度过于严重，造成作物大面积缺苗，导致研究区的土壤有机质含量处于一直下降的状态。

3 讨论

3.1 不同排盐暗管间距对土壤脱盐效果的影响

通过 3 次灌水淋洗，分析灌区重度盐碱地不同暗

表 4 不同暗管间距对土壤肥力的影响
Table 4 Soil fertilities under different underground pipe spacings

暗管间距(m)	肥力指标	淋洗前	1次淋洗后	2次淋洗后	3次淋洗后	秋浇前
10	全氮(g/kg)	0.91 a	0.73 b	0.65 c	0.59 d	0.55 e
	有效磷(mg/kg)	22.13 a	14.23 b	13.52 c	12.40 d	12.25 e
	速效钾(mg/kg)	355.67 a	326.00 b	255.83 c	211.00 d	182.83 e
	有机质(mg/kg)	11.67 a	10.54 b	9.58 c	8.27 d	7.96 e
20	全氮(g/kg)	0.84 a	0.69 b	0.64 c	0.61 d	0.58 e
	有效磷(mg/kg)	20.12 a	13.97 b	12.32 c	11.45 d	11.23 e
	速效钾(mg/kg)	334.67 a	312.50 b	247.33 c	232.83 d	224.00 d
	有机质(mg/kg)	10.86 a	10.01 b	9.81 b	9.65 b	8.95 c
30	全氮(g/kg)	1.02 a	0.88 b	0.83 c	0.79 d	0.75 e
	有效磷(mg/kg)	19.28 a	14.17 b	12.02 c	11.33 d	11.06 d
	速效钾(mg/kg)	341.67 a	322 b	275.17 c	232.33 d	223.67 e
	有机质(mg/kg)	13.13 a	12.39 b	11.47 c	10.76 d	12.37 b

注：表中同行不同小写字母表示不同淋洗次数间土壤肥力差异显著($P < 0.05$)。

管间距条件下的淋盐过程,对土壤中盐离子、碱化程度和肥力指标进行综合对比,可见针对灌区盐碱地盐碱程度高的特点,研究区适宜采用小间距的暗管布设,以极大程度地减小土壤盐渍化程度,使土体中的盐分随暗管排出。本研究中3次灌水淋洗后土壤的脱盐率在25%~60%,而张金龙等^[14]研究表明,对天津滨海地区进行3次漫灌淋洗的土壤脱盐率在56%~79%,高于本研究的脱盐率,其原因可能包括3个方面:①本研究试验区土壤具有干时泥泞的特点,导致田间采样时间略晚,部分盐分已经随水分迁移至土壤表层;②本试验采样点位于两根暗管中央的位置,属于暗管排盐过程中脱盐效果最差的区域^[25-26];③张金龙等^[14]的暗管布设间距为3、6、9 m,说明较小的暗管布设确实能起到使土壤的脱盐效率增加的作用。本研究在淋洗过程中 Cl^- 、 Na^+ 的含量一直较高,而且由于 Cl^- 和 Na^+ 本底含量较高,导致灌区要完成彻底脱盐需要一个长期的过程。灌区10 m暗管间距处理淋盐效果相对20、30 m间距处理要好,原因是密布暗管可以使盐分的运移距离缩短^[14],使土壤中的盐分更容易随暗管排出,能够加快暗管排水排盐进度,从而从根本上解决灌区重度盐碱地盐渍化程度严重的问题。调控不同盐离子使其适合作物的生长对于治理盐碱地十分重要,了解盐离子的变化过程对于指导河套灌区的农业发展具有指导意义。本文局限于对灌区暗管间距进行研究,对不同暗管埋深的淋盐效果差异性有待进一步研究。

3.2 不同排盐暗管间距对土壤碱化程度的影响

不同暗管间距处理的碱化度在灌水淋洗后初期表现出一定的上升趋势,当不再灌水后土壤碱化度开

始下降,10 m间距处理土壤碱化度比其他间距处理稍高,说明大量灌水条件下小间距的暗管布设使土壤碱化度增加幅度略大,但随着时间的推移会逐渐减小,较小的暗管间距依然可以起到减缓土壤碱化程度的作用,可使土壤碱化度由中度转变为轻度。总体来看,土壤脱盐过程伴随着土壤碱化现象,而且脱盐效果越好的小区碱化现象越明显,但灌水淋洗后土壤的碱化程度会大大降低,其原因是淋洗后初期土壤中 Na^+ 随水分上移,在土表聚积使土壤碱化度增大,后期由于暗管排水过程伴随着 Na^+ 被大量排出,从而降低了 Na^+ 的置换强度,说明长期使用暗管排水技术可以达到盐碱兼治的目的。

3.3 不同排盐暗管间距对土壤肥力的影响

通过对不同暗管间距进行综合对比,得出小间距的暗管布设对于降低土壤盐渍化的效果显著。目前关于暗管间距对比的研究较多^[12,27-28],但多数集中于土壤的排盐效果方面,针对土壤中盐离子、碱化程度和肥力指标等进行综合对比的研究较少。本研究结果表明,10 m间距的暗管布设与20、30 m间距相比其排盐效果更好,而且也能在一定程度上起到缓解土壤碱化程度的作用,但土壤肥力的流失程度大于20、30 m的暗管间距,这与黄静和姜超^[29]的研究结果一致,暗管排水过程会使土壤养分流失。因此,在利用暗管排水技术时应当与培肥相结合,盐渍化程度较为严重的地区可选择首先进行多次淋洗排盐,当土壤盐分含量满足作物生长要求后,对土壤进行培肥,以保证作物对肥力水平的生长需要。灌区重度盐碱地可以采用10 m暗管间距的布设方式,中度、轻度盐碱程度的土壤可以考虑适度增大暗管之间的距离,但过大的管

距可能导致土壤盐渍化程度差异较大,甚至起不到淋盐的作用,这还有待进一步研究。

4 结论

暗管排水可以降低土壤盐渍化程度,减小暗管间距能够加快土壤脱盐速度,从而达到改良灌区土壤盐碱化的目的。灌区 10 m 暗管间距的淋盐效果优于 20、30 m 间距,其土壤的脱盐速度更快。各暗管间距处理在灌水淋洗后初期土壤碱化度的增加幅度表现为 10 m>20 m>30 m,但由于暗管排水过程伴随着 Na⁺被大量排出,使 Na⁺的置换强度下降,后期土壤碱化度依然会逐渐降低,甚至低于淋洗前的初始值,说明长期使用暗管排水技术可以达到盐碱兼治的目的。不同肥力指标在每次灌水淋洗后其含量都明显下降,虽然 10 m 暗管间距处理脱盐率大于 20、30 m 间距处理,但各养分指标的流失量也大于 20、30 m 间距处理,因此灌区重度盐碱地在使用小间距暗管排盐技术时要更加注重土壤的培肥管理。

参考文献:

- [1] 郭全恩,王益权,郭天文,等. 半干旱盐渍化地区果园土壤盐离子相关性研究[J]. 土壤, 2009, 41(4): 664-669.
- [2] 张义强,王瑞萍,白巧燕. 内蒙古河套灌区土壤盐碱化发展变化及治理效果研究[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(S1): 118-122.
- [3] Flowers T J. Salinisation and horticultural production: Preface[J]. Scientia Horticulturae, 1999, 78(1): 1-4.
- [4] 卢闯,逢焕成,张宏媛,等. 春灌结合秸秆隔层促进土壤脱盐增加微生物多样性[J]. 农业工程学报, 2017, 33(18): 87-94.
- [5] 王婧,逢焕成,任天志,等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 52-59.
- [6] 勾芒芒,屈忠义. 生物炭与化肥互作对土壤含水率与番茄产量的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(11): 283-288.
- [7] 王秋菊,刘峰,常本超,等. 三江平原低湿地水田土壤理化特性及暗管排水效果[J]. 农业工程学报, 2017, 33(14): 138-143.
- [8] 张展羽,张月珍,张洁,等. 基于 DRAINMOD-S 模型的滨海盐碱地农田暗管排水模拟[J]. 水科学进展, 2012, 23(6): 782-788.
- [9] 刘永,王为木,周祥. 滨海盐土暗管排水降渍脱盐效果研究[J]. 土壤, 2011, 43(6): 1004-1008.
- [10] 刘玉国,杨海昌,王开勇,等. 新疆浅层暗管排水降低土壤盐分提高棉花产量[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 84-90.
- [11] 麦文慧,王红雨,马利军,等. 基于 VBA 的宁夏引黄灌区暗管排水间距计算方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(8): 64-72.
- [12] 钱颖志,朱焱,伍靖伟,等. 考虑排盐和控盐的干旱区暗管布局参数研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(13): 74-83.
- [13] 陈诚,罗纨,贾忠华,等. 江苏沿海滩涂农田高降渍保证率暗管排水系统布局[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 122-129.
- [14] 张金龙,张清,王振宇. 天津滨海盐碱土灌排改良工程技术参数估算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 52-55.
- [15] 王少丽,瞿兴业. 盐渍兼治的动态控制排水新理念与排水沟(管)间距计算方法探讨[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1204-1210.
- [16] 詹世坦,丁昆仑. 半干旱灌溉地区采用地下排水控制土地盐化的效果评价[J]. 中国水利, 2005(20): 55-58.
- [17] 张金龙,张清,王振宇,等. 排水暗管间距对滨海盐土淋洗脱盐效果的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 85-89.
- [18] Designing water table management systems with subirrigation[M]. Overholt Drainage School, Hancock County Agricultural Service Center, Findlay, Ohio, 2002.
- [19] Jerry Wright, Gary Sands. Planning an agricultural subsurface drainage system[Z]. University of Minnesota/Extension, 2009. <http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC7685.html>.
- [20] 白岗栓,杜社妮,于健,等. 激光平地改善土壤水盐分布并提高春小麦产量[J]. 农业工程学报, 2014, 29(8): 125-134.
- [21] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 景宇鹏,段玉,妥德宝,等. 河套平原弃耕地土壤盐碱化特征[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1410-1420.
- [24] 田玉福,窦森,张玉广,等. 暗管不同埋管间距对苏打草甸碱土的改良效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 145-153.
- [25] 张金龙,刘明,钱红,等. 漫灌淋洗暗管排水协同改良滨海盐土水盐时空变化特征[J]. 农业工程学报, 2018, 34(6): 98-103.
- [26] 衡通,王振华,李文昊,等. 滴灌条件下排水暗管埋深及管径对土壤盐分的影响[J]. 土壤学报, 2018, 55(1): 111-121.
- [27] 王振华,衡通,李文昊,等. 滴灌条件下排水暗管间距对土壤盐分淋洗的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 253-261.
- [28] 陈阳,张展羽,冯根祥,等. 滨海盐碱地暗管排水除盐效果试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(3): 38-41.
- [29] 黄静,姜超. 暗管排水条件下不同调控措施对土壤养分和烤烟产量的影响[J]. 江西农业学报, 2014, 26(11): 90-92.