

研究快报

黄淮海地区地下微咸水资源农业灌溉模拟研究

Simulation Study of Agricultural Irrigation with Saline Groundwater
in the Huang-Huai-Hai Region, China车升国¹, 左余宝^{1*}, 林治安¹, 赵秉强¹, 夏雪², 田昌玉¹, 唐继伟¹

(1.中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081; 2.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:基于黄淮海地区淡水资源匮乏,而咸水、微咸水资源丰富状况,为解决本地区水资源危机提供一项新的研究思路和技术支持,通过冻融技术,利用盐水融离原理,可降低融水盐分及危害性离子 Na^+ 、 Cl^- 等含量,为城市生活或农业灌溉提供水源;依据此原理进行咸水结冰灌溉,可促进表层土壤的脱盐作用,淋洗主要危害性离子 Na^+ 、 Cl^- 等,保持土壤根系分布密集层较低盐分水平和盐基离子平衡,缓解或消除盐分和盐基离子对作物生长的危害。因此,淡水资源不足而咸水资源丰富的区域,可把充分开发咸水资源作为解决本地区水资源危机的一项重要措施和有效途径。

关键词:微咸水;冻融脱盐;咸水结冰灌溉;咸水灌溉;土壤盐分

黄淮海地区淡水资源匮乏,而咸水、微咸水丰富,迫使人们更多考虑利用咸水进行农业灌溉。但长期咸水灌溉可能会引起土壤和地下水盐分含量增加,导致土壤次生盐渍化,恶化农业生态环境,阻碍农业生产的持续发展,不具有可持续利用性。可持续利用咸水资源的关键技术是控制灌溉水带入盐量的田间剖面分配,使土壤根系分布密集层保持低盐分水平,尽量降低盐分对土壤生态环境和作物生长的胁迫作用,但相应的抑制土壤根系活动密集层盐分累积的咸水灌溉措施缺乏深入探索,同时灌溉水矿化度的提高不仅引起土层剖面盐分总量分布的差异性,也影响盐基离子组成及离子平衡程度的垂直分布特征,而咸水灌溉条件下盐基离子剖面迁移规律的研究偏少。因此,本文以黄淮海地区地下微咸水为研究材料,通过实验室模拟,采用冻融法,研究微咸水冰晶融冻过程融水盐分含量及主要离子 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 的动态变化特征;然后依据此冰融模拟结果,设置咸水灌溉和咸水结冰灌溉两种灌溉方式的土柱模拟试验,研究咸水结冰灌溉条件下土壤含盐量以及 Cl^- 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 的垂直分布特征,阐明咸水结冰灌溉条件下土壤盐分离

子剖面垂直迁移机制,为区域可持续利用微咸水资源、解决水资源短缺和提高优质灌溉水源提供新的研究思路和技术参考。

1 咸水冻融与灌溉试验

试验于中国农业科学院德州试验站陵县试区进行。

1.1 咸水结冰融冻试验

机抽地下咸水(矿化度 $3.68 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$),用量筒量取 500 mL 地下咸水装入 550 mL 塑料瓶中,将盛有咸水的塑料瓶放入冷冻冰柜,调制温度 -15°C ,冷冻 24 h,使地下水保持冷冻状态。然后,控制室内温度 $28\sim 29^\circ\text{C}$,使地下水冰晶慢慢融化。融水以 50 mL 为基本单位,即每融解 50 mL 水进行收集分装,确定融冰进程为 10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90% 和 100%。

1.2 咸水结冰土柱模拟试验

取试区 0~20 cm 土层土壤经风干、碾压、均匀混合后过 1 mm 土筛,制备成试验土样,按 $1.35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的容重分层装入 100 cm 土柱。土样盐分为 $0.74 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土样离子组成为阴离子 HCO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的含量分别为 1.15 、 $0.20 \text{ cmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.82 \text{ cmol} \cdot \text{L}^{-1}$,阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Na^+ 的含量分别为 0.80 、 $0.67 \text{ cmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $10.36 \text{ cmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。模拟土柱埋入地下 80 cm,受自然阳光照射,但防止雨淋。灌溉水由矿化度为 $3.68 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的地下水和本地盐土配置而成,配置后咸水矿化度达 4.88

收稿日期: 2010-12-03

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903001);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金(2010-26)

作者简介: 车升国(1983—),男,山东临沂人,硕士,主要从事土壤生态和盐碱土改良研究。E-mail: cheshg@126.com

* 通讯作者: 左余宝 E-mail: ybzuo@163169.net

g·L⁻¹,灌溉水量为 200 mm。结冰灌溉处理所需咸水量置于冷冻箱内,在-15℃条件下结冰,成冰后置于土柱上方在自然条件下融化入渗。

2 结果与分析

表 1 显示,微咸水融冻措施可显著影响融水盐分含量($P<0.05$),融水盐度随融冻进程逐渐降低。融冻初期(10%),融水全盐含量最高,达 14.7 g·L⁻¹,随后逐渐降低,由 20%的 5.6 g·L⁻¹降低到 50%的 2.23 g·L⁻¹,当融冻进程为 60%时,融水的全盐含量已经下降为最初的 9.8%,仅为 1.14 g·L⁻¹,此时融水可作为农业灌溉用水。另外,通过模拟融冰进程与剩余冰晶含盐量模型, $Y=2.99e^{-0.025X}$ ($R^2=0.982\ 1, P<0.000\ 1, n=10$),可以算得当融解掉 15.8%的水后(79 mL),即出水率达 85%时,剩余冰晶盐分含量将会低于 2 g·L⁻¹;融掉 43.3%时(216.5 mL),出水率为 56.7%,可将冰晶盐分控制在 1 g·L⁻¹ 以下。同时,咸水冰晶融冻措施显著改变阳离子组成特征,Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻随着融解进程显著

降低,而 Ca²⁺则呈现先增加后降低的趋势。融冰前期,融水主要以 Cl⁻为主,Na⁺和 Mg²⁺居中,Ca²⁺最低;而随着融冻进程逐渐演变为 Na⁺、Mg²⁺、Cl⁻、Ca²⁺较为平衡的离子组成模式。

由表 2 可以看出,与咸水直接灌溉相比,咸水结冰灌溉使 0~40 cm 土层盐分含量降低 25.0%~69.8%,差异达显著水平($P<0.05$),而 40 cm 以下土层盐分含量显著升高。咸水结冰灌溉同时显著改变盐基离子 Cl⁻、Na⁺、Mg²⁺和 Ca²⁺的土壤剖面分布特征,降低表层中危害性较高的 Na⁺和 Cl⁻浓度,同时对危害性较小的 Mg²⁺和 Ca²⁺影响较小。这主要由于咸水冰晶融化时(表 1),高浓度咸水首先析出并入渗土壤,而后冰融的低矿化度微咸水(甚至淡水)对咸水中的盐分和土壤本身的盐分进行淋洗,使其向下迁移,进入土壤深层,从而促进土壤表层脱盐,使土壤根系分布密集层(0~40 cm)保持较低盐分水平,缓解盐分对作物的危害。

3 结论

(1)咸水冰晶融化过程中,融水全盐含量随融冻进程逐渐递减。而当融解掉 15%的水后,剩余冰晶盐分含量将会低于 2 g·L⁻¹;43.3%时,则可将剩余冰体盐分控制在 1 g·L⁻¹ 以下。地下咸水冰晶融冻时盐分含量与离子变化具有高度一致性,通过控制盐分含量可以达到控制离子组成和含量的目的。

(2)咸水结冰灌溉可促进表层土壤的脱盐作用,淋洗主要危害性离子 Na⁺、Cl⁻等,保持土壤根系分布密集层较低盐分水平和盐基离子平衡,缓解或消除盐分和盐基离子对作物生长的危害。因此,黄淮海平原丰富的微咸水资源通过冰晶融冻技术可达国家城市生活用水和农业灌溉用水标准,作为淡水资源开发利用,为解决本地区水资源危机提供一项重要措施和有效途径。

表 1 地下微咸水冰晶冻融过程盐分及离子含量的动态变化

融冻进程	融水体 积/mL	盐分/ g·L ⁻¹	Na ⁺ / cmol·L ⁻¹	Cl ⁻ / cmol·L ⁻¹	Mg ²⁺ / cmol·L ⁻¹	Ca ²⁺ / cmol·L ⁻¹
10%	50	14.71Aa	8.95Aa	16.78Aa	10.69Aa	0.05Ef
20%	50	5.65Bb	2.59Bb	6.00Bb	3.86Bb	0.12De
30%	50	3.50Cc	1.74Cc	3.68Cc	2.36Cc	0.12De
40%	50	2.85Dd	1.51Cc	3.00Cd	1.84Dd	0.20Cd
50%	50	2.24De	1.12Dd	2.07De	1.34Ee	0.20Cd
60%	50	1.44Ef	1.06Dde	1.38Ef	0.87Ff	0.24ABb
70%	50	1.12EFfg	1.00Dde	1.05EFfg	0.62FFGg	0.26Aa
80%	50	0.79FGgh	0.82DEe	0.70EFGgh	0.42Ggh	0.22BCc
90%	50	0.57FGih	0.50EFF	0.47FGh	0.22Gh	0.20Cd
100%	50	0.28Gi	0.21Fg	0.28Gh	0.26Gh	0.12De

注:大写字母表示同一列差异极显著($P<0.01$),小写字母表示同一列差异显著($P<0.05$)。

表 2 咸水结冰灌溉对土壤剖面盐分及离子含量垂直分布的影响

土层深度/cm	盐分/g·kg ⁻¹		Na ⁺ /cmol·kg ⁻¹		Cl ⁻ /cmol·kg ⁻¹		Ca ²⁺ /cmol·kg ⁻¹		Mg ²⁺ /cmol·kg ⁻¹	
	咸水	结冰	咸水	结冰	咸水	结冰	咸水	结冰	咸水	结冰
10	1.99Aa	0.60Bb	21.13Aa	13.70Bb	1.87Aa	0.25Bb	0.72Aa	0.63Ab	0.41Aa	0.46Aa
20	1.51Aa	0.91Bb	21.17Aa	19.70Aa	2.00Aa	0.33Bb	0.76Aa	0.47Bb	0.72Aa	0.51Ab
40	1.64Aa	1.23Bb	18.64Aa	19.99Aa	1.73Aa	0.85Bb	0.99Aa	0.75Bb	0.81Aa	0.73Aa
60	1.65Bb	2.61Aa	13.62Bb	16.54Aa	1.50Bb	2.05Aa	1.32Bb	1.92Aa	1.25Bb	1.80Aa
80	1.48Bb	2.79Aa	12.20Bb	16.05Aa	1.27Bb	3.90Aa	1.48Bb	2.20Aa	1.44Bb	1.88Aa

注:大写字母表示相同土层深度不同处理的盐分或离子差异达极显著水平($P<0.01$),小写字母表示差异达显著水平($P<0.05$)。