

滨海盐碱地微咸水滴灌水盐调控对番茄生长及品质的影响

李丹^{1,2}, 万书勤^{1*}, 康跃虎^{1,2}, 李晓彬¹

(1.中国科学院 地理科学与资源研究所 陆地水循环及地表过程重点实验室, 北京 100101;

2.中国科学院大学 资源与环境学院, 北京 100049)

摘要:【目的】研究滨海缺水地区在盐碱地上利用微咸水灌溉进行绿色农业生产的可行性和安全性。【方法】以番茄为研究对象, 采用“滴灌水盐调控+垄作”模式, 以深层地下淡水(0.7 dS/m)为对照, 田间布置了4种不同电导率(3.2、4.7、6.2、7.8 dS/m)的微咸水, 研究微咸水灌溉对土壤剖面盐分分布和番茄生长、产量及品质性状等代表性指标的影响。【结果】利用3.2~7.8 dS/m的微咸水灌溉番茄, 试验结束时整个土体的盐分并没有显著增加, 在整个土体中进行了重新分布, 在距离滴头0~10 cm远的0~60 cm深度范围存在一个明显的盐分淋洗区, 盐分主要是被淋洗到70 cm深度以下和距离滴头20~40 cm远的垄坡和垄沟的表层(0~20 cm)。随着灌溉水电导率(EC_i)的增加, LAI、地上部和地下部生物量先增加后减少, 株高和茎粗有逐渐降低的趋势, 且当 $EC_i > 4.7$ dS/m时, 各生长指标较淡水处理显著降低。不同处理番茄叶片中叶绿素总量、类胡萝卜素、丙二醛和脯氨酸量差异不显著, 但微咸水灌溉显著降低了番茄叶片中可溶性糖量。随着 EC_i 的增加, 番茄果实中可溶性固形物、还原糖、有机酸量逐渐增多, 而果实糖酸比逐渐降低; 番茄的产量随着 EC_i 的增加而降低, 通过公式拟合发现, 当 $EC_i > 1.4$ dS/m时, EC_i 每增加1 dS/m, 番茄的产量降低9.7%。【结论】总体而言, 在淡水紧缺的滨海半湿润地区, 盐碱地上种植番茄可以利用电导率 ≤ 4.7 dS/m的微咸水进行灌溉, 尽管相对于淡水灌溉, 番茄的产量有所降低, 但可以节省300 mm以上的淡水量, 番茄的品质提高, 并且整个土壤剖面盐分可以维持平衡。

关键词: 微咸水; 滴灌; 生长指标; 生理指标; 果实品质; 番茄

中图分类号: S275.6; S274.1

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.gggs.2019408

李丹, 万书勤, 康跃虎, 等. 滨海盐碱地微咸水滴灌水盐调控对番茄生长及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(7): 39-50.

LI Dan, WAN Shuqin, KANG Yuehu, et al. Effects of Water-salt Regulation on Tomato Growth and Quality under Drip Irrigation with Brackish Water in Coastal Saline-alkali Soil [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(7): 39-50.

0 引言

【研究意义】近年来, 我国天津滨海新区、唐山曹妃甸新区等滨海地区社会经济的快速发展, 对城市生态环境建设和绿色农业发展提出了迫切需求。滨海开发地区的土壤多是直接在滩涂盐渍淤泥上发生发展的, 质地黏重, 不仅土壤表层积盐重, 而且心土层和底土层含盐量也很高, 地下水埋深浅且浅层地下水为咸水, 淡水资源严重不足。这些地区除了耐盐性极强的少数盐生植物外, 常见的乔木、灌木、花卉、草

坪和农作物等均难以生长, 开展生态环境建设和发展绿色农业的难度非常大。

【研究进展】目前滨海地区农业利用方式主要有“水改”和“旱改”, “水改”即种植水稻(或咸水稻), 利用稻田淹水, 以水压盐边利用边改良; “旱改”就是综合水利和农业生物措施等进行改良利用, 但是这种方式改良速度慢, 一般黏性泥质土壤需要6~7 a, 甚至10多年^[1]。Li等^[2-5]在曹妃甸泥质滨海盐碱地上, 采用“滴灌+砾石隔离层”模式、利用3.1~7.8 dS/m的微咸水灌溉, 在盐碱地原土上直接进行植被构建取得了成功, 这为在滨海盐碱地上发展绿色农业提供了新思路和技术支持。与植被建设不同, 农业生产种植对象多为1年生作物, 根系分布较浅, 且基本上不会遇到冬春季停止灌溉遭受盐分胁迫的问题, 因此滨海盐碱地农业生产可以考虑不采用砾石隔离层, 采用“滴灌水盐调控+垄作”模式以降低投入成本。番

收稿日期: 2019-11-28

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0400105); 国家自然科学基金青年项目(51709251, 51009126); 中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDJ-SSW-DQC028)

作者简介: 李丹(1994-), 女, 山东济宁人。硕士, 主要从事农田水循环与节水灌溉研究。E-mail: lid.17s@igsrr.ac.cn

通信作者: 万书勤(1978-), 女, 江西抚州人。副研究员, 主要从事农田水循环与节水灌溉研究。E-mail: wansq@igsrr.ac.cn

茄是绿色农业生产中非常重要的蔬菜之一。当番茄根区土壤饱和泥浆提取液电导率 (EC_e) 超过 2.5 dS/m 时, 产量就开始降低, 且 EC_e 每升高 1 dS/m 产量降低 9%~10%^[6], 属于对盐分较为敏感的蔬菜。但是也有许多研究发现, 番茄可以用微咸水灌溉, 并且一定的盐分胁迫能获得更好的果实品质^[7-11]。例如 Pasternak 等^[9]在砂壤土上研究发现, 高频滴灌 (每天灌 5 次) 条件下, 用 6.2 dS/m 的微咸水灌溉番茄, 其生长和产量不受明显的影响; 汪洋等^[10]发现设施滴灌条件下, 与淡水灌溉相比, 5.2 dS/m 微咸水灌溉番茄的产量降低了 44.8%, 但果实可溶性固形物、可溶性糖、有机酸、维生素 C 等量均显著增加。Abdel 等^[11]采用 1.2~7.5 dS/m 的微咸水灌溉番茄, 发现采用 7.5 dS/m 微咸水灌溉的番茄, 产量降低 50%, 但是果实中可溶性固形物和含糖量均随着电导率的增加而增加。目前农业生产中咸水/微咸水灌溉对作物的研究, 在设施农业以及非盐碱地上的研究居多, 在盐碱地上利用水盐调控咸水/微咸水滴灌蔬菜等盐分较为敏感作物、并且综合考虑产量和品质的研究尚少。

【切入点】本研究以对盐分较为敏感的番茄为研究对象, 在滨海盐碱地上, 采用“滴灌水盐调控+垄作”模式, 结合滴灌水肥一体化技术进行绿色番茄农业生产。【拟解决的关键问题】通过研究不同电导率微咸水对番茄生长、生理、产量和品质等指标的影响, 结合土壤剖面盐分平衡分析, 确定适宜的番茄灌溉水

电导率阈值, 为在淡水紧缺的滨海地区盐碱地上直接利用微咸水进行绿色农业生产提供一定理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

田间试验于 2017 年在中国科学院地理科学与资源研究所曹妃甸生态城滨海盐碱地试验基地进行, 该区属于典型的温带半湿润季风气候区, 多年平均气温 11.4 °C, 年均降水量 554.9 mm, 主要集中在 6—9 月份, 约占全年降雨量的 74%。

试验区土壤属于粉土, 经过旋耕处理后表层 0~10 cm 土壤体积质量为 1.34 g/cm³, 10~30 cm 平均为 1.55 g/cm³, 30 cm 以下土壤体积质量显著增大, 平均达到 1.68 g/cm³。土壤属于滨海中度盐渍土, 土壤盐分 (EC_e) 随着土层深度的增加而增加, 0~30 cm 的平均 EC_e 为 9.4 dS/m, 30 cm 以下平均 EC_e 达到 21.6 dS/m, 土壤饱和泥浆提取液 pH (pH_e) 随着土层加深变化不大, 平均为 7.6。

试验区基础土壤理化性质详见表 1。试验区存在 2 种水源, 深层地下淡水和浅层地下咸水, 其中深水井深 200 m 左右, 水的电导率平均为 0.7 dS/m, 浅层水井深 60 m 左右 (静水位~4 m), 水的电导率高达 70.2 dS/m。试验区地下水埋深浅, 在 0.5~2 m 范围内变化。

表 1 基础土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the original soil

土层/cm Soil depth	土壤颗粒机械组成/% Mechanical composition			土壤质地 Soil texture	土壤体积质量 Bulk density/(g cm ⁻³)	EC_e / (dS m ⁻¹)	pH_e
	<0.002 mm	0.002~0.05 mm	>0.05 mm				
0~10	0.8	79.9	19.3	粉土	1.34	8.7	7.7
10~20	0.6	79.9	19.6	粉土	1.51	9.0	7.7
20~30	0.9	77.3	21.8	粉壤土	1.58	10.6	7.7
30~40	0.7	80.7	18.6	粉土	1.71	12.2	7.6
40~60	0.3	82.9	16.8	粉土	1.62	17.2	7.5
60~80	0.6	80.9	18.5	粉土	1.79	21.4	7.4
80~100	0.6	80.6	18.8	粉土	1.62	31.0	7.3

1.2 试验设计

本试验设置 4 个不同盐分 (电导率) 梯度的微咸水灌溉处理, 灌溉水电导率 (EC_i) 分别为 3.2、4.7、6.2 和 7.8 dS/m, 以试验区深层地下淡水 (0.7 dS/m) 为对照。每个处理重复 3 次, 共 15 个小区, 采取完全随机区组试验设计。不同电导率微咸水由试验区深层地下淡水和浅层地下咸水按照不同比例混合配置而成, 灌溉水的主要离子成分详见表 2。每个小区长 4.8 m, 宽 4.8 m, 种植 6 行番茄。

番茄起垄种植, 垄肩宽 20 cm, 垄高 20 cm, 2 垄中心距离 80 cm, 每条垄中心布置 1 条滴灌带 (0.1 MPa 工作压力下, 滴头流量为 1.38 L/h), 滴头间距为 30 cm, 番茄种植在距离滴灌带 5 cm 远处, 番茄行距 80 cm, 株距 30 cm。番茄品种为“夏冠”, 2017 年 5 月 14 日在幼苗 4 叶时移栽至田间。根据田间实际情况当地该品种的农业管理措施对番茄进行打岔整枝, 留 5 层果, 每穗留 4~5 个果, 并根据实际情况喷施农药防治病虫害。

表 2 灌溉水的电导率 (EC_i)、pH (pH_i)、钠吸附比 (SAR_i) 及主要离子组成Table 2 Ionic composition, electrical conductivity (EC_i), pH (pH_i), and sodium adsorption ratio (SAR_i) of irrigation water

$EC_i/(dS\ m^{-1})$	主要离子量/(mmol L^{-1}) Ionic content					pH_i	$SAR_i/(mmol\ L^{-1})^{0.5}$
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	SO_4^{2-}		
0.7	0.90	0.31	6.08	0.09	0.33	8.53	6.34
3.2	2.01	2.69	26.52	0.49	1.78	8.50	12.38
4.7	2.44	4.03	36.99	0.70	2.55	8.40	14.69
6.2	2.88	5.62	49.28	0.94	3.42	8.36	17.00
7.8	3.26	7.41	65.26	1.29	4.30	8.08	20.10

1.3 灌溉与施肥

采用重力滴灌，将容积为800 L的圆形水桶放置在距离地面0.45 m高度处，实际水压为0.5~1.35 m，用于控制同一个处理的3个重复小区灌水，单次灌水量为6 mm。采用滨海盐碱地微咸水滴灌“三阶段”水盐调控方法^[12,20]进行灌溉、施肥。

第一阶段：土壤盐分强化淋洗阶段，迅速为刚移栽的番茄幼苗提供一个良好的水盐环境，具体为：番茄移栽后立即滴灌，当地面出现明水后停止灌溉，待明水消失后继续灌溉，直到用土壤电导率测定仪(Field Scout EC 110, 美国Spectrum公司)测得垄面10 cm深度范围内的原位土壤电导率(EC_s)降低到4 dS/m。

第二阶段：快速土壤水盐调控阶段，快速将番茄幼苗主根区范围内的土壤盐分淋洗到下层，使幼苗快速、安全地度过缓苗期，具体为：在番茄缓苗期，当滴头正下方20 cm处的土壤基质势降低到-5 kPa时，开始灌溉，每次灌水量为6 mm。

第三阶段：精准土壤水盐调控阶段，为番茄正常生长发育提供一个良好的水盐环境，具体为：番茄安全度过缓苗期后，当滴头正下方20 cm处的土壤基质势降低到-20 kPa时，开始水肥一体化施肥灌溉，每次灌水量为6 mm。

水肥一体化施肥量的计算方法：按照当地番茄测土配方施肥方案，整个生育期内需追施纯N (174 kg/hm²)、P (29 kg/hm²)、K (23 kg/hm²)，选择速溶的尿素和磷酸二氢钾；假设番茄施肥灌溉天数为100 d，计算出各肥料的日施用量，每次水肥一体化施肥量为日施肥量与灌溉间隔天数的乘积；在试验初期并未施入底肥，所有处理番茄生育期累积施入尿素373 kg/hm²，磷酸二氢钾56 kg/hm²。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 主要生长指标

1) 株高和茎粗

分别在番茄的开花坐果期和结果期，在每个试验小区内选择10株代表性番茄植株，用卷尺测定株高，游标卡尺测定茎粗。

2) 叶面积指数 (LAI)

在番茄开花坐果期，每个试验小区中各选1株代表性植株，用直尺测量所有枝叶的长度和最大宽度。按照枝叶长×最大枝叶宽×叶面积系数(0.56)计算出植株叶面积，然后除以单株占地面积，计算出叶面积指数(LAI)。叶面积系数的获取方法为：选择完整的、大小各异的番茄叶片50片，分别利用称质量复印法得到叶面积的绝对数值，利用直尺法计算出的番茄叶面积，将二者结合后得出该生育期叶面积系数0.56^[13]。

3) 番茄植株生物量测定

取下上述测定叶面积的所有植株，按照茎、叶、根分开，分别测定鲜质量和干质量，然后计算总鲜质量和干质量。挖取根系时，以番茄植物为中心，挖1个20 cm(平行滴灌带)×40 cm(垂直滴灌带)的长方形，每10 cm为1层，一直到50 cm深度(基本没有根系)。采用田间直接挖掘方法来获取根系生物量，将选定植株的根系与土壤一同挖掘出来，将土壤中的根系全部挑选出来后，利用水流进行冲洗，最后分别称量鲜质量和烘干后的干质量。

1.4.2 主要生理指标

在番茄结果期，每个试验小区选择10株代表性植株，取其上部功能叶3片，采用95%乙醇提取、紫外分光光度计(HACHDR5000, USA)法测定色素量^[14]，紫外分光光度计(HACHDR5000, USA)法测定丙二醛和可溶性糖量^[15]，酸性茚三酮法测定脯氨酸量^[15]。每个处理重复3次。

1.4.3 番茄主要品质指标

在番茄结果盛期，每个试验小区选择成熟果实10个，采用数显糖度计(阿贝折射仪)法测定可溶性固形物，酸碱滴定方法测定有机酸^[16]，斐林试剂法测定还原糖量^[17]。还原糖量除以有机酸量计算出糖酸比。

1.4.4 土壤水分和土壤盐分

在番茄开花坐果期和结果末期，在每个试验处理(3个重复)用土钻取土，取土位置分别为距离滴灌带0、10、20、30和40 cm远处，取样深度分别为0~10、10~20、20~30、30~40、40~50、50~60、60~80和80~100

cm。取一部分土样,用烘干法测定土壤含水率。另一部分土样自然风干,经磨碎后过 1 mm 筛,制作饱和泥浆并用电导率仪(DDSJ-308A,上海)测定浸提液的电导率(EC_e)。

1.5 数据处理及分析

采用 Excel 2016 分析数据,利用 Surfer 13 和 Origin 2019 进行绘图,运用 R 3.4.3 对数据进行单因素方差分析及多重比较检验(LSD),表中数据用平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ SD)表示。文中 EC_e 平均值通过加权平均法计算。

2 结果与分析

2.1 番茄生长季内的降雨量和灌水量

2017 年番茄生长季降雨 25 次,累计降雨量为 315 mm,有 8 次降雨大于 20 mm,11 次大于 10 mm,番茄幼苗期(5 月 17 日—6 月 24 日)、开花坐果期(6 月 25 日—7 月 29 日)和结果期(7 月 30 日—9 月 29 日)降水量分别为 139.7、61.3 mm 和 114.0 mm,占总生育期降水量的 44.3%、19.5%、36.2%。

从图 1 可以看出,在番茄进入开花坐果期之前(6 月底),各处理的灌水量没有差异,为 150 mm;之后不同处理的灌水量开始逐渐出现差异,试验结束时不同处理番茄整个生育期累积灌水量分别为 330、324、372、336 mm 和 336 mm,其中 EC_i 为 4.7 dS/m 处理的灌水量较多,这主要是因为该处理番茄的长势最好,但总体上所有处理灌水量没有显著差异,平均为 340 mm。

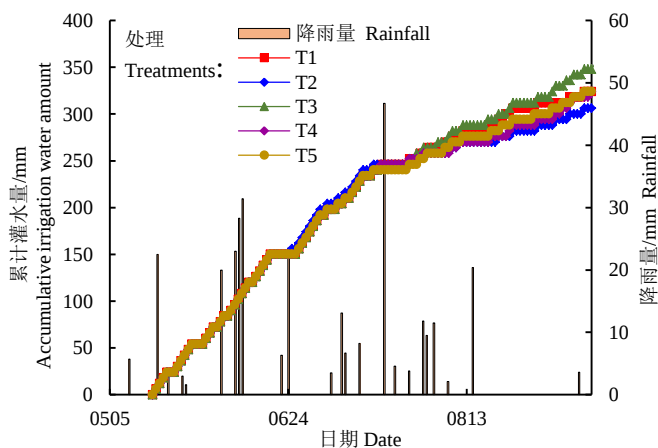


图 1 番茄生育期降雨量和累计灌水量

Fig.1 Rainfall and accumulative irrigation water amount during the growth period of tomato

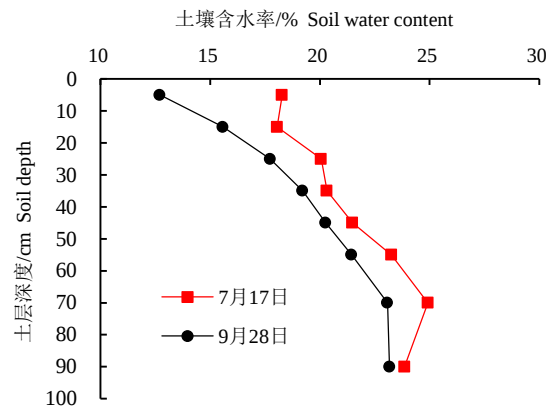
2.2 土壤水分和盐分分布状况

2.2.1 剖面土壤水分分布状况

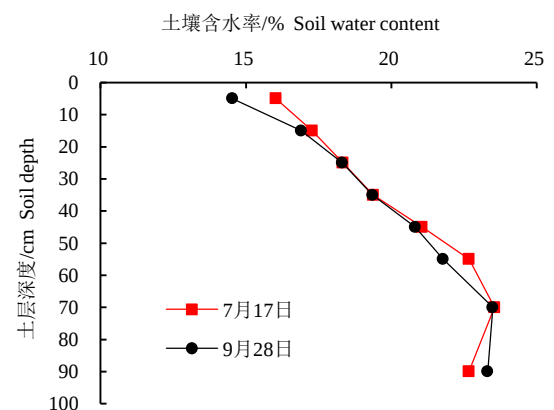
图 2 为在番茄开花坐果期(7 月 17 日)和结果末期(9 月 28 日)0~100 cm 深度剖面土壤质量含水率。

从图 2 可以看出,不同处理间的土壤含水率随着

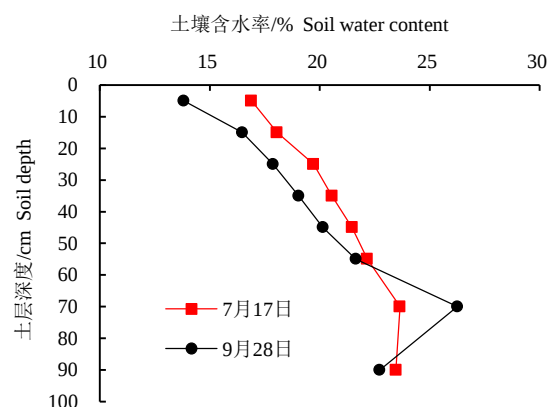
土层深度的增加而增加,随着番茄生育期的推进略有降低,且在结果末期不同处理间平均土壤含水率没有明显差异。



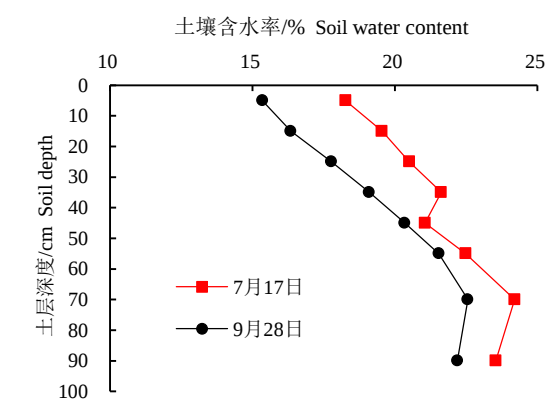
(a) 0.7 dS/m



(b) 3.2 dS/m



(c) 4.7 dS/m



(d) 6.2 dS/m

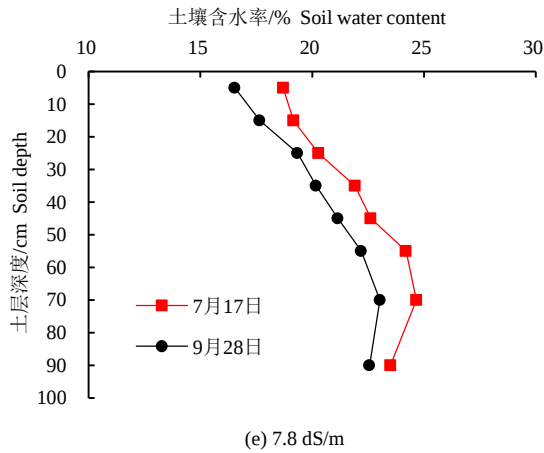


图2 不同生长阶段不同处理0~100 cm 深度剖面土壤水分
Fig.2 Soil moisture at 0~100 cm depth profile in different growth stages and treatments

各处理 0~30 cm 土层深度土壤含水率 7 月 17 日基本保持在田间持水率 (平均 24.3%) 的 76% 左右, 9 月 28 日降低到田间持水率的 68% 左右; 各处理 30~60 cm 土层深度土壤含水率 (7 月 17 日) 基本维持在田间持水率 89% 左右, 9 月 28 日降低到田间持水率的 84% 左右; 所有处理 60 cm 深度以下土壤含水率都在田间持水率的 95% 以上, 这主要是因为试验区地下水埋深浅。

由此可知, 番茄安全度过缓苗期后, 控制滴头正下方 20 cm 处土壤基质势阈值为 -20 kPa 的精准土壤水盐调控方法, 可在 0~60 cm 深度范围 (番茄根系主要分布区域以上) 创造一个良好的土壤水分环境, 保证番茄生长盛期的蒸腾耗水。

2.2.2 土壤盐分空间分布状况

图 3 为番茄开花坐果 (7 月 17 日) 和试验末期 (9 月 28 日) 不同处理根系主要分布区域 (0~50 cm 深度土体) 土壤盐分 (EC_e) 空间分布图。7 月 17 日所有处理在距离滴头 10 cm 远的 0~40 cm 深度范围内存在一个低盐区, 盐分主要在垄沟和 40 cm 深度以下范围积累; 0.7、3.2、4.7、6.2 和 7.8 dS/m 处理, 低盐区的平均 EC_e 分别为 5.4、2.9、5.7、6.6 和 5.1 dS/m, 0~50 cm 深度土体平均 EC_e 分别为 11.2、9.1、15.8、15.8 和 13.6 dS/m, 3.2 dS/m 处理的 EC_e 明显较低, 这主要是土壤盐分空间分布变异性造成的。9 月 28 日试验末期, 除 3.2 dS/m 处理外, 所有处理低盐区的盐分都降低了、范围也增大了, 0~50 cm 深度土体的盐分也降低了; 0.7、3.2、4.7、6.2 和 7.8 dS/m 处理, 低盐区土体的平均 EC_e 分别为 3.4、5.2、5.3、4.8 和 4.8 dS/m, 0~50 cm 深度为 7.8、12.1、10.4、10.0 和 9.8 dS/m, 各处理的平均 EC_e 同 EC_i 没有明显关系, 这很可能是因为土壤本身的盐分量掩盖了灌溉水盐分对土壤盐分的影响。

综上可知, 番茄安全度过缓苗期后, 控制滴头正下方 20 cm 处土壤基质势阈值为 -20 kPa 的精准土壤水盐调控方法, 可在距离滴头 10 cm 远的 0~40 cm 深度范围内形成一个低盐区, 并且随着番茄的生长发育, 该低盐区的盐分不断降低、范围不断增大, 为滨海盐碱地微咸水灌溉 (3.2~7.8 dS/m) 生长条件下的番茄, 提供了一个相对较好的土壤盐分环境。

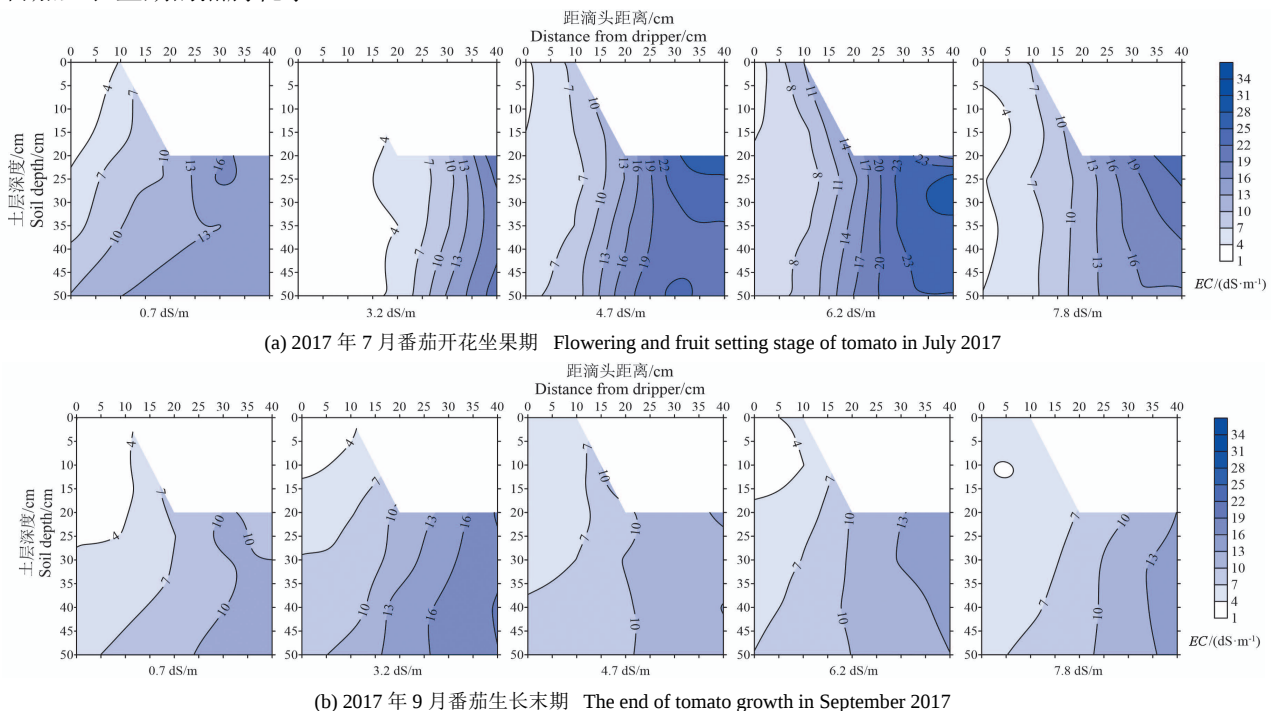


图3 不同生长阶段不同处理番茄根系主要分布区域土壤盐分空间分布图

Fig.3 Spatial distribution of soil salinity at different growth stages and different treatments in the main distribution areas of tomato root systems

2.2.3 剖面土壤盐分平衡状况

图4表示试验开始前和末0~100 cm土壤盐分。从图4可以明显看到,与试验开始前的 EC_e 相比,所有处理在距离滴头0~10 cm远的0~60 cm深度范围存在一个明显的盐分淋洗区,该区域的 EC_e 明显降低,0.7、3.2、4.7、6.2和7.8 dS/m处理盐分淋洗区的平均 EC_e 分别为5.0、6.6、6.3、5.8和5.3 dS/m,较试验开始前分别降低了63%、49%、49%、54%和55%;同淡水灌溉(0.7 dS/m)相比,3.2、4.7、6.2和7.8 dS/m处理该区域的平均 EC_e 分别增加了31%、26%、16%和6%,随着 EC_i 的增加,盐分淋洗区的 EC_e 反而降低,这可能是受到灌溉水带入盐分、土壤盐分空间分布变异的共同影响。各处理70 cm深度的 EC_e 显著增加,略低于试验开始前的值,90 cm深度处的 EC_e 超过试验开始前的值,说明上层的土壤盐分被淋洗到70 cm深度以下,现阶段在90 cm深度处累积。

与试验开始前的 EC_e 相比,所有处理在距离滴头20~40 cm远的0~20 cm深度和70 cm深度以下范围都存在一个明显的盐分增加区,0.7、3.2、4.7、6.2和7.8 dS/m处理2个盐分增加区的平均 EC_e 分别为

10.0、16.5、17.3、14.3和16.0 dS/m (0~20 cm深度),及32.1、36.7、29.8、32.5和32.0 dS/m (70 cm深度以下),较试验开始前分别增加了13%、87%、97%、63%和83% (0~20 cm深度),及21%、39%、13%、22%和19% (70 cm深度以下),累积区盐分的增加率同 EC_i 没有明显的关系。

在试验末期,0.7、3.2、4.7、6.2和7.8 dS/m处理0~100 cm深度剖面平均 EC_e 分别为17.3、21.2、17.9、18.5和17.6 dS/m,较试验开始前的平均 EC_e (18.0 dS/m)分别降低了4%、-18%、0.3%、-3%和2%,除3.2 dS/m处理外,其他处理整个土体盐分没有显著变化。3.2 dS/m处理的 EC_e 明显增加,这很可能是由于土壤盐分空间分布变异性造成的。

综上可知,采用“三阶段”土壤水盐调控方法,在滨海盐碱地微咸水灌溉(3.2~7.8 dS/m)条件下,整个土壤剖面的盐分并不会明显增加,而仅是在整个土体中进行了重新分布,在距离滴头0~10 cm远的0~60 cm深度范围存在一个明显的盐分淋洗区,盐分主要是被淋洗到70 cm深度以下和距离滴头20~40 cm远的垄坡和垄沟的表层(0~20 cm)。

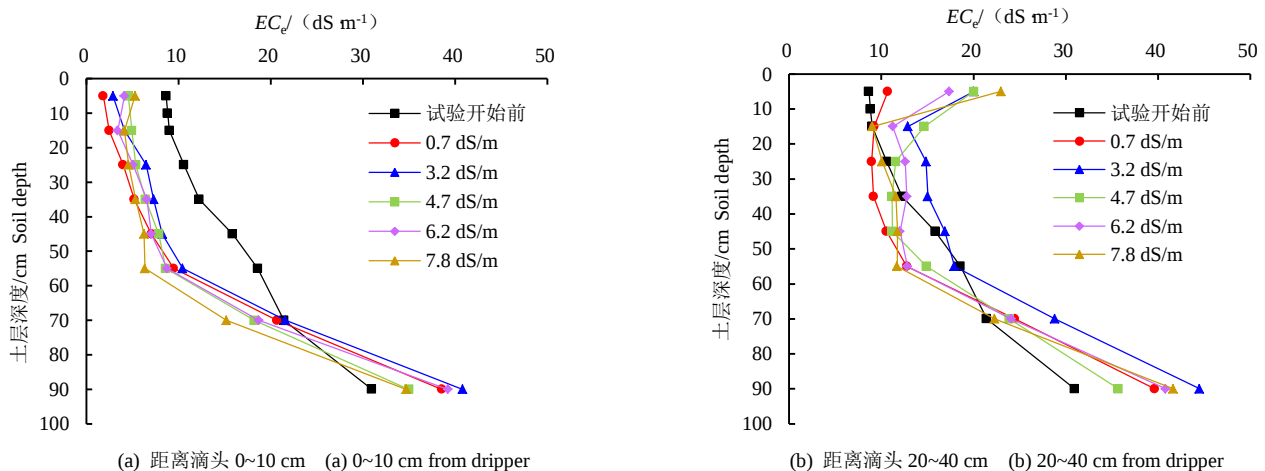


图4 试验开始前和末期0~100 cm土壤盐分
Fig.4 Soil salinity at 0~100 cm depth before and after experiment

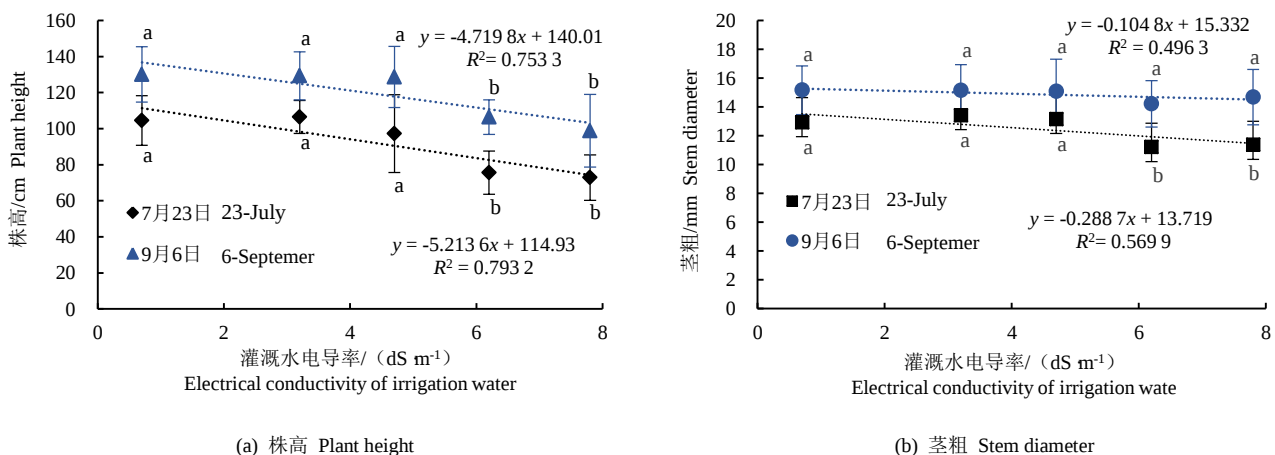


图5 不同处理下番茄的株高和茎粗
Fig.5 Plant height and stem diameter in different treatments

2.3 微咸水滴灌对番茄主要生长和生理指标的影响

2.3.1 对番茄生长指标的影响

从图 5 (a) 和图 5 (b) 番茄开花坐果期 (7 月 23 日) 和结果期 (9 月 6 日) 不同处理的株高和茎粗可以知道: 0.7、3.2 和 4.7 dS/m 处理间番茄的株高和茎粗没有明显差异, 但当 $EC_i \geq 6.2$ dS/m 时, 番茄的株高和茎粗明显降低 ($P < 0.05$), 并且随着番茄生育期的延长处理间的差异有减小的趋势, 如 7 月 23 日开花坐果期, 6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 处理的茎粗比前 3 个处理的平均茎粗分别降低了 14.7% 和 13.7%, 到 9 月 6 日结果期, 仅分别降低 6.0% 和 3.0%。

在开花坐果期 (7 月 27 日), 番茄 LAI 先随着 EC_i 的增加而增加, 在 4.7 dS/m 时达到最大值, 之后随着 EC_i 的增加显著降低 ($P < 0.05$); 与 0.7、6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 处理相比, 4.7 dS/m 处理的 LAI 分别增加了 78.4%、131.4%、168.3% (图 6)。

同 LAI 的变化规律基本一致, 开花坐果期 (7 月 27 日) 番茄的茎、叶、根和植株总的鲜质量和干质量都是先随着 EC_i 的增加而增加, 其中地上部茎叶在 3.2 dS/m、地下部根系在 4.7 dS/m 达到最大值, 之后

都随着 EC_i 的增加而显著降低 (表 3); 与 0.7、6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 处理相比, 3.2 dS/m 处理地上部茎叶的鲜质量和干质量, 分别平均增加了 41.4%、159.2%、115.0%, 4.7 dS/m 处理的地下部根系的鲜质量和干质量, 分别平均增加了 55.9%、142.6%、130.5%。综上可知, 对于番茄而言, 适当盐分范围内的微咸水 (3.2~4.7 dS/m) 灌溉可以促进生长, 但当 $EC_i \geq 6.2$ dS/m 时, 会明显抑制生长。

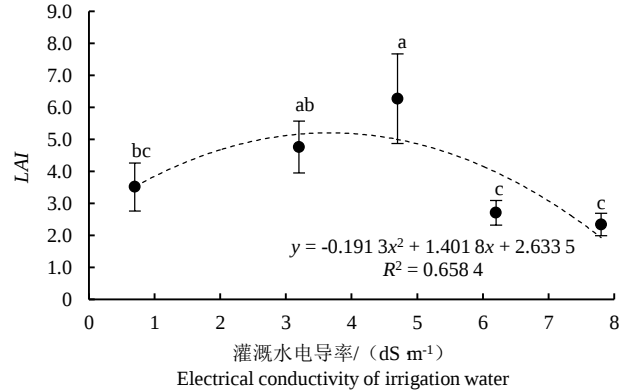


图 6 番茄开花坐果期不同处理的叶面积指数 (LAI)

Fig.6 Leaf area index (LAI) of tomato in different treatments during the flowering and fruit-setting stage

表 3 番茄开花坐果期不同处理番茄植株生物量

Table 3 Biomass of tomato plants in different treatments during the flowering and fruit-setting stage

g

EC_i / ($dS \cdot m^{-1}$)	地上部分 Above-ground part				地下部分 Underground part		总鲜质量 Fresh weight	总干质量 Dry weight
	茎鲜质量 Stem fresh weight	茎干质量 Stem dry weight	叶鲜质量 Leaf fresh weight	叶干质量 Leaf fresh weight	根鲜质量 Root fresh weight	根干质量 Root dry weight		
	weight	weight	weight	weight	weight	weight		
0.7	121.23abc	23.53ab	205.61ab	35.66abc	40.16b	5.43bc	367.00ab	64.62ab
3.2	163.23a	33.20a	294.02a	52.44a	47.23ab	6.81ab	504.47a	92.45a
4.7	151.38ab	30.03a	292.46a	50.34ab	63.03a	8.41a	506.87a	88.78a
6.2	58.30c	11.70b	129.04b	21.39c	26.51b	3.40c	213.85b	36.49b
7.8	75.52bc	12.58b	164.38ab	26.07bc	27.33b	3.65c	267.23ab	42.29ab

注 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

Note Different letters in the same column are the significant difference at level 0.05, the same as below.

2.3.2 对番茄叶片生理指标的影响

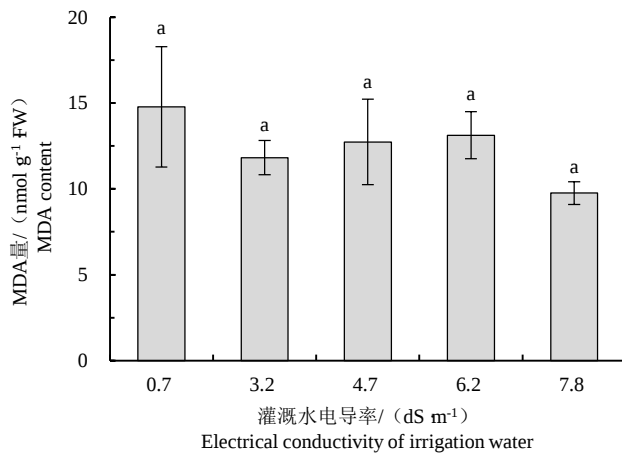
由表 4 可知, 番茄叶片叶绿素 a 量随着 EC_i 的增加而降低, 其中 7.8 dS/m 处理的值较淡水 (0.7 dS/m) 处理的值降低了 37.5%, 而其他处理间的差异并不显著 ($P < 0.05$)。叶绿素 b 量、叶绿素总量和类胡萝卜素量均随着 EC_i 的升高呈降低的趋势, 但各处理间差异并不显著。微咸水灌溉对番茄叶片中的丙二醛 (MDA) 量图 7 (a) 和脯氨酸图 7 (b) 都没有显著的影响, 但叶片中的可溶性糖量图 7 (c) 随着 EC_i 的增加而显著降低, 同淡水 (0.7 dS/m) 处理相比, 3.2、4.7、6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 叶片可溶性糖量分别降低了 30.4%、29.1%、27.6% 和 51.2%。

表 4 番茄结果期不同处理番茄叶片中的叶绿素 a 量、叶绿素 b 量、类胡萝卜素量和叶绿素总量

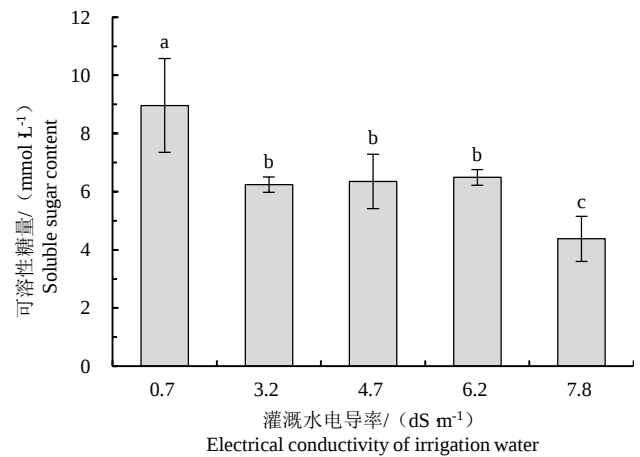
Table 4 Content of chlorophyll a, b, carotenoid and total chlorophyll content in tomato leaves under different treatments during the fruiting stage

mg/g

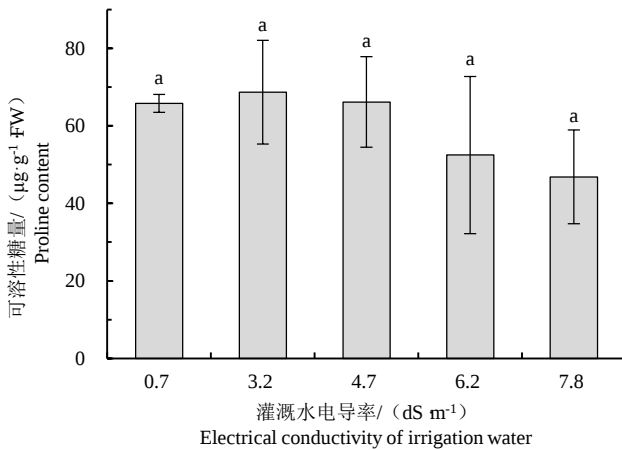
EC_i /($dS \cdot m^{-1}$)	叶绿素 a 量 Chlorophyll a content	叶绿素 b 量 Chlorophyll b content	叶绿素总量 Chlorophyll content	类胡萝卜素量 Carotenoid content
	mg/g	mg/g	mg/g	mg/g
0.7	1.23 ± 0.09a	0.20 ± 0.08a	1.43 ± 0.38a	0.36 ± 0.09a
3.2	1.04 ± 0.06ab	0.16 ± 0.05a	1.20 ± 0.29a	0.30 ± 0.06a
4.7	1.05 ± 0.07ab	0.16 ± 0.06a	1.21 ± 0.34a	0.31 ± 0.07a
6.2	0.97 ± 0.02ab	0.14 ± 0.04a	1.11 ± 0.29a	0.29 ± 0.02a
7.8	0.77 ± 0.09b	0.10 ± 0.04a	0.87 ± 0.28a	0.23 ± 0.09a



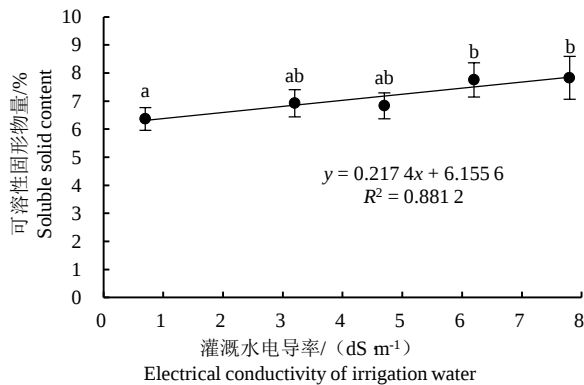
(a) MDA



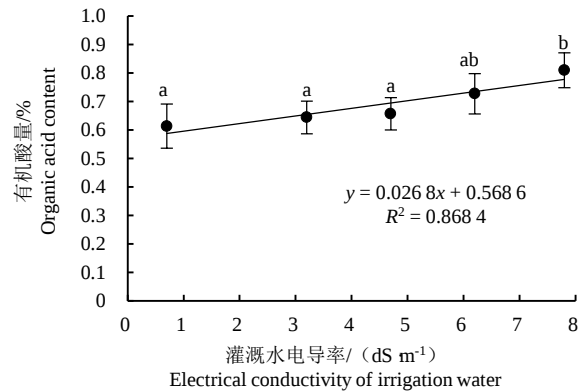
(c) 可溶性糖 Soluble sugar



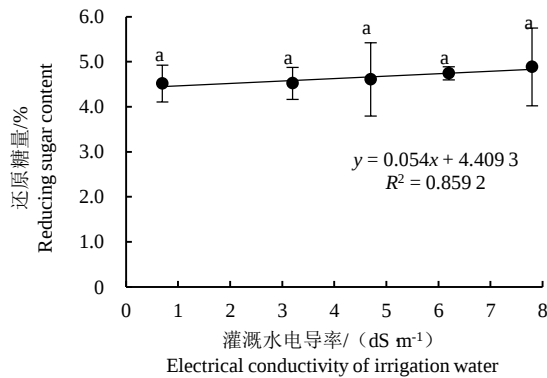
(b) 脯氨酸 Proline



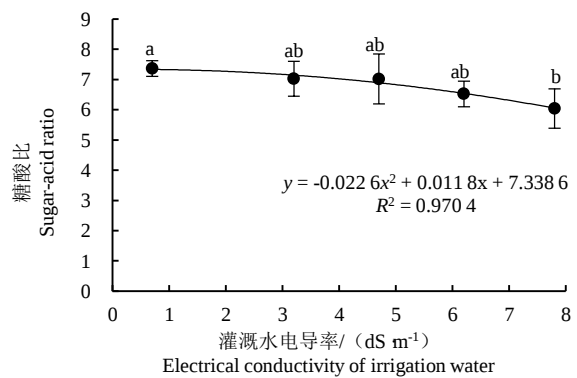
(a)可溶性固形物量 Content of soluble solids



(b) 有机酸量 Organic acid



(c) 还原糖 Reducing sugar



(d) 糖酸比 Sugar-acid ratio

图7 番茄结果期不同处理番茄叶片生理指标

Table 7 Physiological indicator of tomato leaves in different treatments during the fruiting stage

2.3.3 微咸水滴灌对番茄品质的影响

番茄果实中的可溶性固形物量和有机酸量都随着 EC_i 的增加而增加,与淡水 (0.7 dS/m) 处理相比, 6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 处理可溶性固形物量分别增加了 22.0% 和 23.1% 图 8 (a)、有机酸量分别增加了 18.6% 和 32.0% 图 8 (b); 番茄果实中还还原性糖量随着 EC_i 的升高呈增加的趋势,但各处理间的差异并不显著图 8 (c); 番茄果实的糖酸比随着 EC_i 的升高而降低图 8 (d), 0.7、3.2、4.7、6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 糖酸比的分别为 7.4、7.0、7.0、6.6 和 6.0。

图8 不同处理番茄的品质指标

Fig.8 Quality index of tomatoes in different treatments

2.3.4 微咸水滴灌下番茄产量

番茄的产量随着 EC_i 的增加而降低（图 9），与淡水（0.7 dS/m）灌溉相比，3.2、4.7、6.2 dS/m 和 7.8 dS/m 处理的产量分别降低 16.6%、15.4%、52.4% 和 67.5%。

7.8 dS/m 处理番茄产量较淡水（0.7 dS/m）处理显著降低，而其他处理间产量的差异并不显著（ $P < 0.05$ ）。

不同处理番茄的相对产量如图 10 所示，番茄的相对产量同 EC_i 的关系可以用公式 $y = 100 - 9.7(x - 1.4)$ 表示，即当 $EC_i > 1.4$ dS/m 时， EC_i 每增加 1 dS/m，

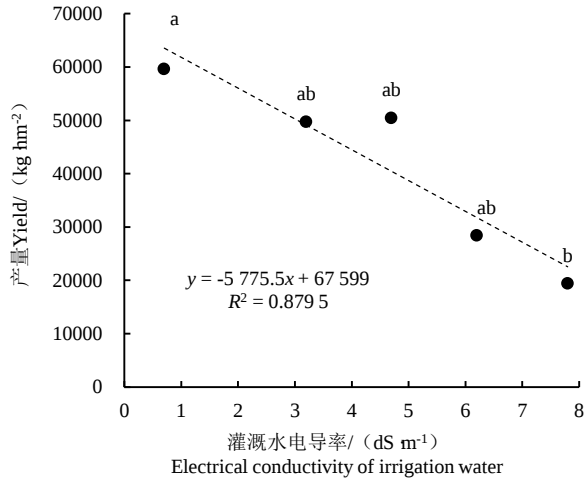


图 9 不同处理番茄的产量

Fig.9 Yield of tomato in different treatments

番茄的产量降低 9.7%。其中 4.7 dS/m 处理番茄的实际产量为淡水（0.7 dS/m）灌溉的 84.6%，但由上述公式可知，采用 4.7 dS/m 微咸水灌溉，番茄产量降低 32.0%。总体上，采用 4.7 dS/m 微咸水灌溉，番茄产量的降低率不超过 32.0%。

综上分析可知，综合考虑番茄的产量、品质和土壤剖面盐分平衡等，当利用 $EC_i \leq 4.7$ dS/m 的微咸水灌溉时，可以获得较高的番茄产量和风味品质，且土壤盐分并不会显著增加。

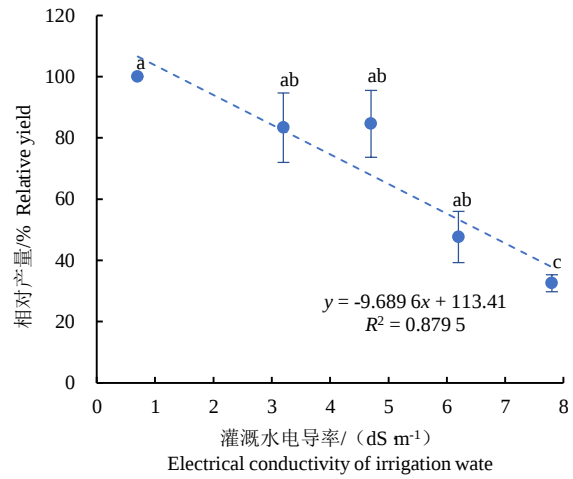


图 10 不同处理番茄的相对产量

Fig.10 Relative yield of tomato in different treatments

3 讨论

滴灌小流量、长时间、高频率的灌溉特点，可以使作物根系范围土壤含水率始终保持或接近于充分供水的条件，土壤总水势始终维持在较高的水平有利于植物根系吸水，是目前最适合利用微咸水/咸水的灌溉方式^[18]。受到灌溉水带入盐分、降雨、植株蒸腾耗水、土面蒸发以及土壤盐分空间分布变异等诸多因素的影响，土壤盐分始终处于一个积累与淋洗的动态变化过程中^[19]，故在取土样的特定时期，不同微咸水灌溉处理土壤盐分空间分布表现出较大的变异性，但总体上滴灌点水源扩散的特点，会将盐离子淋洗到作物根系分布范围以外，盐分淋洗效果好^[20]。本研究发现盐分淋洗区和盐分累积区的土壤盐分同 EC_i 没有显著关系，甚至在番茄开花坐果出现了高电导率处理土壤盐分量更低的现象，但采用微咸水（3.2~7.8 dS/m）灌溉 1 a 后，整个土壤剖面的盐分没有显著增加，仅是在整个土体中进行了重新分布。李晓彬等^[20]在滨海泥质重度盐碱地上，采用“滴灌+砾石隔离层”模式、利用 3.2~7.8 dS/m 的微咸水灌溉，也发现灌溉 6 个月后 0~120 cm 土层土壤由极重度盐渍土变为中度盐渍土，3 a 后变为轻中度盐渍

土，但由于初始土壤含盐量很高，1 m 以上整个土壤剖面盐分与 EC_i 没有显著关系。窦超银等^[21]在宁夏干旱区地下水浅埋重度盐碱地上，采用“滴灌+高垄+覆膜”模式、利用 11.4 dS/m 的咸水灌溉枸杞，同样发现 1~3 a 内咸水覆膜滴灌主要是改变土壤盐分在剖面的分布，明显降低了作物根区土壤含盐量，土壤盐分主要迁移到垄坡和垄沟的表面。

咸水/微咸水灌溉条件下，尤其是高频微咸水滴灌条件下，从灌溉刚开始到结束的一段时间内，植物根区一定范围内土壤溶液的含盐量主要受灌溉水带入盐分的影响^[22]，因此尽管在取土样的某个特定时期，不同微咸水灌溉处理土壤盐分空间分布表现出较大的变异性，但是微咸水灌溉一段时间后， EC_i 会表现出对植物生理、生长和品质等指标的影响；当植物根区土壤溶液中的含盐量超过其盐害阈值，植物会发生一系列形态结构的变化与代谢和功能的变化，如发生膜脂过氧化作用产生丙二醛，产生某些特殊的产物如脯氨酸、可溶性糖类等渗透调节物质来调节细胞渗透压等；当盐分胁迫累积到一定的程度，植物的生理、生长、品质等指标也会受到影响。这是一个复杂的生理生化过程，并且不同的生理、生长和品质指标对盐分胁迫的响应不同。孟庆英等^[23]研究发现，不同质量

浓度 (0、50、100、150 和 200 mmol/L) NaCl 胁迫下番茄生理指标的响应不同, 表现为丙二醛、可溶性糖和叶绿素量都是先升高后降低然后趋于平稳, 而脯氨酸量不断升高。本研究在番茄开花坐果期, 不同微咸水处理叶片中的丙二醛、脯氨酸、叶绿素总量和类胡萝卜素量等都没有显著差异, 而叶片中的可溶性糖量随着 EC_i 的增加显著降低, 这很可能是因为丙二醛、脯氨酸、叶绿素总量和类胡萝卜素量等物质对盐分胁迫相对不敏感, 而叶片可溶性糖对盐分胁迫反应非常敏感。短期低盐胁迫有利于幼苗的生长^[24-25], 如曹晓晓等^[24]提出一定质量浓度的盐胁迫 (30% Mocledon 配方) 可以促进单叶蔓荆幼苗生长, 李红彦等^[25]发现 0.1 mol/L 的 Na_2SO_4 盐胁迫有利于番茄幼苗的生长。本研究番茄开花坐果期的 LAI 、地上部和地下部生物量都随着 EC_i 的增加先升高, 但当 $EC_i > 4.7$ dS/m 时, 明显影响番茄的生长, 这也说明了适当盐分范围内的微咸水 (3.2~4.7 dS/m) 灌溉可促进番茄生长。此外, 一定的盐分胁迫有利于提高番茄果实的品质^[7-11], 并且果实的风味与糖酸比有很大关系, 当糖酸比为 7~10 时, 果实风味浓郁, 而低酸高糖的果实比较平淡, 高酸低糖显得酸味较重, 低酸低糖的果实淡而无味, 都不受消费者青睐^[26]。本研究发现采用 3.2~7.8 dS/m 的微咸水灌溉番茄, 可以提高果实的可溶性固形物量和有机酸量, 但当 $EC_i \geq 6.2$ dS/m 时, 因果实中有机酸量增加更多, 果实的糖酸比降低到 7 以下, 果实酸味加重, 风味品质降低。

本研究发现番茄的产量随着 EC_i 的增加而降低, 当 $EC_i > 1.4$ dS/m 时, EC_i 每增加 1 dS/m, 番茄的产量降低 9.7%。Kang 等^[27]、万书勤等^[28]在华北半湿润地区 (北京通州、天津静海) 非盐渍土上利用 1.1~10.9 dS/m 的微咸水/咸水灌溉番茄, 发现采用控制滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势阈值为 -20 kPa 的水盐调控方法, 当 $EC_i \leq 4.9$ dS/m 时, 微咸水灌溉不影响番茄的生长和产量, 当 $EC_i > 4.9$ dS/m 时, EC_i 每升高 1 dS/m, 番茄产量降低 6.7%。尽管 2 个田间试验在类似的半湿润地区开展, 且滴灌水盐调控措施类似, 即番茄缓苗期后土壤基质势阈值均控制在 -20 kPa, 但是由于本研究初始土壤盐分量高 (0~30 cm 土层平均 EC_e 为 9.4 dS/m), 已经超过了番茄的耐盐阈值 (2.5 dS/m), 所以呈现出更低的微咸水电导率阈值和更高的产量降低率。

4 结论

当利用电导率为 3.2~4.7 dS/m 的微咸水滴灌番茄, 与淡水 (0.7 dS/m) 滴灌相比, 番茄株高、茎粗、叶片中丙二醛和脯氨酸量没有明显差异, 果实中可溶性

固形物、还原糖和有机酸量增加, 果实品质提高, 产量降低率 $\leq 15.4\%$; 同时, 土壤剖面 (0~100 cm) 的平均 EC_e 较试验开始前 (18.0 dS/m) 降低了 0.3%, 土壤盐分量相对稳定。因此, 在曹妃甸半湿润区淡水紧缺的滨海盐碱地上, 利用 $EC_i \leq 4.7$ dS/m 的微咸水灌溉番茄, 能够在保证产量、土壤盐分平衡的情况下, 生产出品质好的番茄。本研究仅为 1 a 试验结果, 不同生长阶段番茄各生长生理指标、品质指标等的变化规律、长期微咸水滴灌的安全性等, 还需要进一步的试验研究。

参考文献:

- [1] 王遵亲, 祝寿泉, 俞仁培等. 中国盐渍土[M]. 北京: 科学出版社, 1993. WANG Zunqin, ZHU shouquan, YU Renpei, et al. Chinese saline soil [M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [2] LI Xiaobin, KANG Yaohu, WAN Shuqin, et al. A vegetation reconstruction method to plant *Sedum spectabile* Boreau using drip irrigation with saline water on a coastal saline soil in region around Bohai Gulf[J]. Paddy and Water Environment, 2016, 14(4): 491-498.
- [3] LI Xiaobin, KANG Yaohu, WAN Shuqin, et al. Response of Daylily (*Heemerocallis hybridus* cv. 'Stella de oro') to saline water irrigation in two coastal saline soils[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 205: 39-44.
- [4] LI Xiaobin, KANG Yaohu, WAN Shuqin, et al. Response of *Symphyotrichum novi-belgii* and *Dianthus chinensis* L. to saline water irrigation in a coastal saline soil[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 203: 32-37.
- [5] LI Xiaobin, WAN Shuqin, KANG Yaohu, et al. Chinese rose (*Rosa chinensis*) growth and ion accumulation under irrigation with waters of different salt contents[J]. Agricultural Water Management, 2016, 163: 180-189.
- [6] MAAS EUGENE V, GRATAN S R. Crop yields as affected by salinity[M]. Agronomy, 1999 (38): 55-110.
- [7] EL-MOGY M M, GARCHERY C, STEVENS R. Irrigation with salt water affects growth, yield, fruit quality, storability and marker-gene expression in cherry tomato[J]. Acta Agriculturae Scandinavica Section B-soil and Plant Science, 2018, 68(8): 727-737.
- [8] 吴蕴玉, 金星, 徐元, 等. 秸秆覆盖条件下微咸水灌溉对番茄生长和产量品质的影响[J]. 节水灌溉, 2015(7): 21-24. WU Yunyu, JIN Xing, XU Yuan, et al. Effects of saline water irrigation on tomato growth, quality and yield under straw mulching[J]. Water Saving Irrigation, 2015(7): 21-24.
- [9] PASTERNAK D, DE MALACH Y. Irrigation with brackish water under desert conditions X. Irrigation management of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mills) on desert sand dunes[J]. Agricultural Water Management, 1995, 28(2): 121-132.
- [10] 汪洋, 田军仓, 高艳明, 等. 非耕地温室番茄微咸水灌溉试验研究

- [J]. 灌溉排水学报, 2014, 33(1): 12-16.
- WANG Yang, TIAN Juncang, GAO Yanming, et al. Brackish water irrigation of greenhouse tomato in non-cultivated land[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(1): 12-16.
- [11] ABDEL GAWAD G, ARSLAN A, GAIHBE A, et al. The effects of saline irrigation water management and salt tolerant tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria (1999–2002)[J]. Agricultural Water Management, 2005, 78(1/2): 39-53.
- [12] CHEN Xiulong, KANG Yaohu, WAN Shuqin, et al. Chinese rose (*Rosa chinensis*) cultivation in Bohai Bay, China, using an improved drip irrigation method to reclaim heavy coastal saline soils[J]. Agricultural Water Management, 2015, 158: 99-111.
- [13] 赵世杰. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002.
- ZHAO Shijie. Techniques of Plant Physiological Experiment[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.
- [14] 万书勤. 微咸水滴灌对蔬菜生长及耗水规律的影响研究[D]. 北京: 中国科学院地理科学与资源研究所, 2006.
- WAN Shuqin. The Effects of Saline Water on Crop Growth and Water Consumption under Drip Irrigation[D]. Beijing: Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, 2006.
- [15] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006.
- CHEN Jianxun, WANG Xiaofeng. Experimental Guidance on Plant Physiology[M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 2006.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 食品中总酸的测定: GB/T 12456—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [17] 杨林娥, 彭晓光, 杨庆文, 等. 斐林试剂法测定还原糖方法的改进[J]. 中国酿造, 2010, 29(5): 160-161.
- YANG Lin'e, PENG Xiaoguang, YANG Qingwen, et al. Improvement of the determination of reducing sugar with Fehling's reagent method[J]. China Brewing, 2010, 29(5): 160-161.
- [18] 王全九, 徐益敏, 王金栋, 等. 咸水与微咸水在农业灌溉中的应用[J]. 灌溉排水, 2002, 21(4): 73-77.
- WANG Quanjiu, XU Yimin, WANG Jindong, et al. Application of saline and slight saline water for farmland irrigation[J]. Irrigation and Drainage, 2002, 21(4): 73-77.
- [19] 郑九华, 于开芹, 张立河. 咸水灌溉[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- ZHENG Jiuhua, YU Kaiqin, ZHANG Lihe. Saline water irrigation[M]. Beijing: China Water Power Press, 2010.
- [20] 李晓彬. 咸水滴灌滨海盐碱地土壤水盐调控机制与植被构建方法研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2016.
- LI Xiaobin. The mechanism of water and salt regulation under drip irrigation with saline water and the method of vegetation construction in coastal saline land[D]. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2016.
- [21] 窦超银, 康跃虎. 地下水浅埋区重度盐碱地不同滴灌种植年限土壤盐分分布特征[J]. 土壤, 2010, 42(4): 630-638.
- DOU Chaoyin, KANG Yuehu. Characteristics of soil salinity distribution in saline-sodic soil with shallow water table under mulch-drip irrigation in different planting years[J]. Soils, 2010, 42(4): 630-638.
- [22] GOLDBERG D, GORNAT B, RIMON D. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices[M]. Israel: Drip Irrigation Science Publication, 1976.
- [23] 孟庆英, 张必弦, 张海玲, 等. NaCl 胁迫下番茄若干生理指标的变化[J]. 北方园艺, 2008(11): 30-33.
- MENG Qingying, ZHANG Bixian, ZHANG Hailing, et al. Changes of several physiological indicators in tomato under NaCl stress[J]. Northern Horticulture, 2008(11): 30-33.
- [24] 曹晓晓, 刘庆超, 刘庆华, 等. 盐胁迫对单叶蔓荆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(8): 53-57.
- CAO Xiaoxiao, LIU Qingchao, LIU Qinghua, et al. Effects of salt stress on the seed germination and young seedling growth of *vitex trifolia* var. *simplicifolia*[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(8): 53-57.
- [25] 李红彦. Na₂SO₄ 盐胁迫处理对番茄生理生化与产量品质的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009.
- LI Hongyan. Effects of Na₂SO₄ stress on yield, quality and physiological and biochemical characteristics in tomato[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2009.
- [26] 丁剑, 田园, 张喜春. 番茄品系不同时期果实糖酸含量的变化[J]. 北京农学院学报, 2017, 32(2): 29-33.
- DING Jian, TIAN Yuan, ZHANG Xichun. Changes of sugar and acid contents in tomato fruits at different development stages[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2017, 32(2): 29-33.
- [27] KANG Yaohu, WAN Shuqin, CHEN Ming. Drip irrigation with saline water in North China Plain[C]//4th IASME. In WSEAS international conference on water resources, hydraulics and hydrology, Cambridge, UK, 2009, 207-217.
- [28] 万书勤, 康跃虎, 王丹, 等. 华北半湿润地区微咸水滴灌对番茄生长和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(8): 30-35.
- WAN Shuqin, KANG Yuehu, WANG Dan et al. Effect of saline water on tomato growth and yield by drip irrigation in semi-humid regions of north China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(8): 30-35.

Effects of Water-salt Regulation on Tomato Growth and Quality under Drip Irrigation with Brackish Water in Coastal Saline-alkali Soil

LI Dan^{1,2}, WAN Shuqin^{1*}, KANG Yuehu^{1,2}, LI Xiaobin¹

(1.Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes,

Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, UCAS, Beijing 100049, China)

Abstract: **【Background】** With the growing demand for agricultural products and the increasing shortage of agricultural freshwater resources in coastal areas, the development of drip irrigation with brackish water can play a crucial role in relieving the pressure of agricultural water supply. Because most of the soil in coastal areas have a heavy texture and high salinity, and therefore crop growth is challenging. Previous studies have shown that brackish water irrigation can significantly change soil moisture, salinity distribution, and crop quality. However, few studies have conducted systematic experiments to analyze the effects of drip irrigation with brackish water on the crop qualities under water-salt regulation methods. Thus, we introduced drip irrigation and a water-salt regulation method into tomato planting to bridge this gap. This study has potential contributions to urban eco-environment construction, green agricultural development, and exploitation of brackish water, especially in coastal areas with a large amount of brackish water available in shallow groundwater. **【Objective】** This study aims to investigate the feasibility and safety of green agricultural production under drip irrigation with brackish water in coastal saline-alkali soil. **【Method】** To research the effect of brackish water irrigation on tomato growth, yield, quality characteristics, and salinity distribution of the soil profile, we used the conductivity of deep underground water(0.7 dS/m) as a control check and conducted four tomato treatments with brackish water of different conductivity (3.2 dS/m, 4.7 dS/m, 6.2 dS/m, 7.8 dS/m). The tomatoes were subjected to saline drip irrigation and ridge cultivation using a water-salt regulation method. **【Result】** The salinity of the entire soil did not increase significantly, whereas the salinity of the soil profile was redistributed when tomatoes were irrigated with brackish water of 3.2 to 7.8 dS/m. There was an apparent salt leaching zone in the area 10 cm wide and 0~60 cm deep from the dripper. The salinity was mainly washed down to a depth of 70 cm and the surface of ridges and ditches (0~20 cm) that were 20~40 cm away from the dripper. With the increase of irrigation water electrical conductivity (EC_i), LAI , fresh weight, and dry weight increase and then decreased, while the plant height and stem thickness gradually decreased. Moreover, all indicators reduced significantly compared with fresh water treatment(0.7 dS/m) when the conductivity exceeded 4.7 dS/m. No significant difference in chlorophyll, malondialdehyde (MDA), carotenoid, and proline content under different treatments, while brackish water irrigation significantly reduced the content of soluble sugar in the leaves. With the increase of EC_i , the contents of soluble solids, reducing sugar, and organic acid in tomato fruits gradually increased, whereas the sugar-acid ratio and yield gradually decreased. Besides, when EC_i exceeded 1.4 dS/m, for every 1 dS/m increase of EC_i , the yield decreased by approximately 9.7% employing formula fitting. **【Conclusion】** In summary, the brackish water irrigation with a conductivity of 4.7 dS/m or less can be used to irrigation in coastal saline-alkali soil where freshwater scarce. Although the yield was reduced, over 300 mm of the water can be saved compared to freshwater irrigation and the quality of tomatoes was also improved, and the salinity balance across the soil profile can be maintained.

Key words: brackish water; drip irrigation; growth indicator; physiological indicator; fruit quality; tomato

责任编辑: 赵宇龙