

微咸水灌溉方式对设施番茄根区土壤矿质元素及离子含量的影响

田 萍, 李 娟, 李建设, 高艳明, 任 慧, 曹少娜
(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 采用单因素完全随机区组试验, 以 $EC = 3\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ 的微咸水直接灌溉为对照, 共设 5 个处理, 分别为: CK: 微咸水直接灌溉, T1: 淡水灌溉 (即试验温室井水)、T2: 混合水灌溉 (微咸水: 淡水 = 1:1)、T3: 微咸水和淡水按次轮灌、T4: 微咸水和淡水按生育期轮灌 (苗期、开花期用淡水处理, 果实发育期微咸水处理), 每个处理 3 次重, 研究了微咸水不同灌溉方式对沙土槽培下“京番 301”番茄坐果期、盛果期、盛果后期番茄根区土壤矿质元素含量的影响, 为微咸水的合理、安全利用提供理论参考。结果表明: 微咸水参与下的 4 种灌溉方式均可以提高番茄三个生育时期土壤全盐、速效钾及 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等离子含量; CK 处理可以提高坐果期、盛果后期土壤全氮、速效氮含量, 显著降低盛果期土壤全氮、速效氮含量及各时期土壤全磷、速效磷含量; T1 处理下, 番茄三个生育期土壤全磷、速效磷含量最高, 盛果期土壤全氮含量最高, T2 处理可以显著提高三个生育期番茄根区土壤中 铁、锰、锌、铜 4 种微量元素的含量。T3 处理下三个生育期番茄根区土壤中全量养分、速效养分含量居中, 盐分离子含量与 T2 及 T4 处理差异不显著, 但整体以 T4 处理土壤盐分离子积累最少。相比 T1 而言, T4 处理也可一定程度提高土壤中全量养分和速效养分含量。综上, 微咸水、淡水按次轮灌 (T4 处理) 为微咸水较为合理、安全的利用方式。

关键词: 微咸水; 灌溉方式; 土壤; 矿质元素
中图分类号: S274.3 **文献标志码:** A

Effect of saline water soil nutrients and ions content of greenhouse tomato under different irrigation methods

TIANG Ping, LI Juan, LI Jian-she, GAO Yan-ming, REN Hui, CAO Shao-na
(Agricultural College, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

Abstract: single factor randomized block experiment was conducted with direct irrigation with saline water ($EC = 3\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) as control. There were five treatments in total including CK: saline water direct irrigation, T1: fresh water irrigation, T2: well mixed water irrigation (saline water: freshwater = 1:1), T3: Saline water and fresh water rotation irrigation according to plant growth periods, T4: saline water, freshwater irrigation in sequence respectively, to study effect of saline water on contents of soil mineral elements in tomato root zone at fruit-set periods, full bearing period, later stage of full bearing period of different irrigation method of saline water, to provide a theory references to rational and secure use of saline water. Results showed that: Several irrigation methods of saline water can increase contents of total salts, available K and HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ of soil at three growth period of tomato; CK treatment can improve the content of soil total N, available N at tomato fruit-set and late growth period, decrease total N, available N at tomato full bearing period, decrease total P, available P at every period remarkably respectively. T1 treatment can get a higher total P and available P content of soil at the three periods, and soil total N content was the highest at full bearing period. T2 treatment can improve the content of Fe, Mn, Zn, Cu of root zone soil of tomato. At the three periods, the content of total and available nutrients of tomato root zone soil was between two parties, the content of salt ions have no significant difference with T2 and T4 treatment, and the T4 treatment was the lowest on the whole. Compared with T1, T4 treatment

收稿日期: 2016-11-24 修回日期: 2017-03-01
基金项目: 国家自然科学基金项目“微咸水灌溉方式对番茄果实糖积累及蔗糖代谢影响机理”(31560569); 宁夏科技支撑计划项目“设施高品质番茄与蔬菜定量精准灌溉研究”
作者简介: 田 萍 (1988—), 女, 山东临沂人, 在读硕士, 研究方向为蔬菜栽培生理与生态。E-mail: tianping1220@sina.com。
通信作者: 高艳明 (1963—), 教授, 现主要从事设施蔬菜无土栽培与营养施肥等研究工作。E-mail: myangao@163.com。

also can improve the content of total and available nutrients. In conclusion, saline water, freshwater irrigation in sequence (T4) is a comparatively rational and secure use pattern of saline water.

Keywords: saline water; irrigation method; soil mineral elements

近年来,随着人口的增加和经济的快速发展,可用于农业的淡水资源越来越少,因此世界各国已将微咸水的开发利用作为缓解水资源的重要举措,并把微咸水开发再利用作为弥补淡水资源短缺的重要途径之一^[1-2]。微咸水是指矿化度在 2~5 g·L⁻¹范围内的水资源^[3],我国拥有 200 亿 m³ 可利用微咸水,西北地区(新疆、甘肃、宁夏、陕西、青海、内蒙部分地区)地下可开采微咸水资源总量约为 88.6 亿 m³。宁夏地区可开采微咸水资源量约为 6.67 亿 m³·a⁻¹,微咸水所占水资源总量比例为 35.21%,是全国微咸水所占比例最高的个省级行政区之一^[4],所以在西北地区进行微咸水灌溉利用的研究很有必要。

微咸水灌溉利用方式主要有 3 种,即直接灌溉、咸淡水混灌和咸淡水轮灌^[5]。对于同一种矿化度的灌溉用水来说,灌水方式不同,其灌水效果不同^[6]。本文在前人研究的基础上,结合当地水质、土壤理化

性质以微咸水(EC = 3 mS·cm⁻¹)不同方式灌溉为处理,研究了不同生育期日光温室番茄根区土壤矿质元素及离子含量,阐明微咸水不同灌溉方式对设施番茄生育期土壤矿质元素及离子含量的影响,为微咸水合理、安全利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试番茄品种为京番 301,属于无限生长型,粉果,中熟品种。供试土壤为取自银川市良田镇植物园村的沙土。试验所用淡水(EC = 1.07 mS·cm⁻¹)为原温室井水,微咸水(EC = 3.0 mS·cm⁻¹)是根据宁夏银川地区微咸水的离子成分,在原温室地下淡水的基础上添加 4 种工业盐(NaHCO₃、MgSO₄·7H₂O、CaCl₂、K₂SO₄)配制而成。试验地水质及沙土理化性质见表 1。

表 1 供试水质及沙土理化性质											
Table 1 Water quality and physicochemical property of sandy soil in the experiment											
样品 Sample	pH	EC/ (mS·cm ⁻¹)	全盐量 Total salt content /(g·kg ⁻¹)	盐分离子组成 Composition of salt ions/(g·kg ⁻¹)							
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻
淡水样 Fresh water	7.5	1.07	0.534	0.003	0.113	0.111	0.115	0.299	0.106	0.390	0
沙土样 Sandy soil	8.9	0.08	0.220	0.007	0.019	0.056	0.013	0.008	0.204	0.126	0

1.2 试验设计

试验于 2016 年 2—7 月在宁夏大学农科实训基地 5 号日光温室进行,在防渗措施与灌水定额相同条件下,共设 5 个处理,分别为 CK:微咸水直接灌溉、T1:地下淡水灌溉、T2:混合水灌溉(微咸水:淡水 = 1:1)、T3:微咸水与淡水按生育期轮灌(苗期、开花期用淡水处理,果实发育期微咸水处理)、T4:微咸水与淡水按次轮灌,每个处理 3 次重复,共 15 个小区,小区完全随机排列,各处理除灌水方式不同外,其余管理措施均相同。

1.3 试验方法

2016 年番茄移苗前在温室中下挖栽培槽,槽长 6.5 m,槽宽 0.6 m,深 0.5 m,槽间距 0.9 m,槽四周、走道及底部覆盖 2 mm 厚的土工布(毛毡加一层塑料),以防水肥漏渗并隔离病虫害,之后向槽中填满沙土。人工翻地,翻地前各处理均施入等量底肥,分

别为生物有机肥 80 t·hm⁻²,活力木素 4 t·hm⁻²,尿素 0.1 t·hm⁻²,撒可富磷酸二铵 1 t·hm⁻²,沃夫特硫酸钾型复合肥(总养分 ≥ 51%)1.1 t·hm⁻²,重过磷酸钙 1.3 t·hm⁻²。2 月 23 日定植番茄,苗态 4 叶 1 心。番茄定植时浇透清水以促进缓苗,缓苗后开始微咸水不同灌溉方式处理。按次轮灌用 2 个容积为 180 L 的黑色水桶储水,其余 4 个处理各用 1 个水桶,桶底放入小型潜水泵,接通出水管,滴灌供液,每个小区安装 2 根滴灌带。另外,在第一穗花开花期及每穗果坐果期随滴灌追施沃夫特大量元素水溶肥料(含: N 16%,其中硝态氮占 9%, P₂O₅ 6%, K₂O 36%; B 0.2%、Cu、Zn、Fe、Mn 各 0.05%),每次每桶追施 500 g。单秆整枝,留 5 穗果,每穗留 4—5 个果实。7 月 6 日拉秧,拉秧前 5 天停止灌水。

1.4 试验测定项目及方法

在坐果期、盛果期、盛果后期分别取番茄根区 0

~ 20 cm 土壤样品测定养分、速效微量元素及八大离子含量。其中全盐测定用 5:1 水土比震荡浸提后用电导率仪进行,全氮测定用 H₂SO₄ 催化剂消煮 - 凯式定氮法,速效氮测定用饱和 K₂SO₄ 浸提 - 凯式定氮法,全磷测定用 H₂SO₄ - HClO₄ 消煮 - 钼锑抗比色法,速效磷测定用 0.5 mol·L⁻¹NaHCO₃ 浸提 - 钼锑抗比色法,速钾测定用 NH₄OAc 浸提 - 火焰光度法;速效铁、锰、锌、铜用 DTPA 溶液浸提 - 原子吸收光谱法测定。八大离子测定均用 5:1 水土比震荡浸提,CO₃²⁻、HCO₃⁻ 测定用双指示剂 - 中和滴定法,Cl⁻ 用硝酸银滴定法测定,SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 用 EDTA 络合滴定法测定,K⁺、Na⁺ 用火焰光度法测定^[8-9]。

2 试验结果与分析

2.1 微咸水灌溉方式对坐果期、盛果期、盛果后期番茄根区土壤养分及离子含量的影响

2.1.1 对全量养分含量的影响 表 2 数据表明,根区土壤表层 20 cm 中全盐、全氮含量在番茄坐果期~盛果期~盛果后期大致呈先减少后增加的趋势,这与盛果期番茄果实量多,需肥量增大,盛果后期果实大量减少,对养分需求量也随之减少有关。番茄

三个生育期土壤全盐含量均以 CK 最高,极显著高于其它 4 个处理,说明相对于其它灌溉制度,微咸水直接灌溉会增加土壤全盐含量。T1 和 T4 处理土壤全盐含量均较低,但到盛果后期时 T4 处理全盐含量显著大于 T1,这是因为随番茄生育期推进微咸水灌溉次数增多导致土壤中盐分离子积累造成的。坐果期、盛果后期 CK 处理土壤全氮含量最高,盛果期 T1、T2 处理土壤全氮含量最高,CK、T4 处理含量最低,分析原因可能是少量微咸水灌溉可以提高土壤氮素含量,但随着灌溉量增多,各种盐分离子不断累积,影响了土壤物理及化学性质,进而导致土壤养分失调,盛果后期植株养分需求减少,对氮的吸收减少,全氮含量又会有所增加。三个生育期番茄根区土壤全磷含量大致呈逐渐降低的趋势,T1 处理土壤全磷含量在番茄三个生育期均最高,极显著高于其它四个处理,说明相比于淡水灌溉微咸水以各种方式灌溉均会降低土壤全磷含量,这是因为一方面,微咸水参与灌溉可能增加了土壤中金属离子含量,进而导致磷被土壤的胶体颗粒或金属离子吸附而固定在土壤中;另一方面,微咸水灌溉可能降低了土壤中相关微生物活性,如氨化细菌、解有机磷和解无机磷细菌,进而使土壤中磷含量降低^[10]。

表 2 番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤全量养分含量

Table 2 Total nutrient contents of tomato root zone soil at three periods (fruit - set period, full bearing period, later stage of full bearing period)

处理 Treatment	全盐 Total salt content/(g·kg ⁻¹)			全氮 Total nitrogen/(g·kg ⁻¹)			全磷 Total phosphorus/(g·kg ⁻¹)		
	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period
CK	2.41 ± 0.16Aa	1.37 ± 0.02A	1.32 ± 0.04Aa	6.83 ± 0.11A	0.98 ± 0.14C	3.92 ± 0.14Aa	0.59 ± 0.02Dd	0.55 ± 0.33Bb	0.36 ± 0.01B
T1	1.54 ± 0.08BCc	0.93D	1.03 ± 0.03Cd	5.60 ± 0.24B	3.78A	2.71 ± 0.16Bc	0.80 ± 0.01Aa	0.60 ± 0.01Aa	0.62 ± 0.02A
T2	1.82 ± 0.05Bb	1.06 ± 0.03C	1.22 ± 0.04Bb	6.83 ± 0.34A	3.78 ± 0.14A	2.99 ± 0.16Bb	0.6 ± 0.02CDd	0.42 ± 0.02Cc	0.34 ± 0.01B
T3	1.67 ± 0.09BbCc	1.24 ± 0.08B	1.23 ± 0.05ABb	5.86 ± 0.52B	2.29 ± 0.16B	2.24 ± 0.14Cd	0.64 ± 0.02Cc	0.39 ± 0.01CcD	0.36 ± 0.03B
T4	1.51 ± 0.11Cc	0.90D	1.12 ± 0.03Cc	4.13 ± 0.21C	0.19 ± 0.08D	2.89 ± 0.08Bbc	0.71 ± 0.01Bb	0.35 ± 0.01Dd	0.24 ± 0.01C

注:表中大写字母代表在 0.01 水平差异显著,小写字母代表在 0.05 水平差异显著。下同。
Note: In the table, capital letters showed 0.01 level significant difference, lowercase letters showed 0.05 level significant difference. The same as below.

2.1.2 对速效养分含量的影响 由表 3 中的数据可知,番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤速磷、速钾含量及 CK、T4 处理速氮含量大致均呈先降低后升高的趋势,T1、T2、T3 土壤速氮含量呈先升高后降低的趋势。番茄三个生育期 CK 处理下土壤速氮含量在坐果期、盛果后期均最高,且与全氮含量变化趋势相同,速钾含量在盛果期、盛果后期均最高且与

其它 4 个处理差异极显著,这可能与微咸水灌溉带入的 K⁺ 在土壤中积累有关。T1 处理三个生育期番茄根区土壤速磷含量均较高,坐果期土壤速钾含量最高。盛果期、盛果后期 T4 处理速效磷、钾含量均较低。综合来看,淡水灌溉有利于提高土壤速效磷含量及盛果期速效氮含量,长时间微咸水灌溉可以增加土壤中速效氮及速效钾含量。

表 3 番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤速效养分含量

Table 3 Available nutrient contents of tomato root zone soil at three periods (fruit – set period, full bearing period, later stage of full bearing period)

处理 Treatment	速氮 Available nitrogen/(mg·kg ⁻¹)			速磷 Available phosphorus/(mg·kg ⁻¹)			速钾 Available potassium/(mg·kg ⁻¹)		
	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period	坐果期 Fruit-set period	盛果期 Full bearing period	盛果后期 Later stage of full bearing period
CK	63.47 ± 16.17a	37.33 ± 1.62D	119.47 ± 4.28Aa	117.44 ± 5.42Dd	164.79 ± 2.56AaB	164.30 ± 3.83C	124.31 ± 2.32C	100.16 ± 1.15Aa	142.81 ± 2.00A
T1	58.8 ± 14a	112.93 ± 4.28A	46.67 ± 3.23Cd	207.03 ± 4.99Aa	168.99 ± 4.76Aa	201.06 ± 2.78A	189.84 ± 2.32A	85.50 ± 1.15Dd	92.83D
T2	49.47 ± 21.39a	77.47 ± 4.28C	76.53 ± 3.23Bb	149.75 ± 9.43Cc	148.82 ± 9.00Cb	185.16 ± 4.25B	149.72 ± 2.32B	88.17 ± 1.15CcD	116.82 ± 2.00B
T3	35.47 ± 8.08a	96.13 ± 1.62B	78.4 ± 2.8Bb	181.02 ± 14.88Bb	151.20 ± 4.19BbC	154.88 ± 4.21D	121.63 ± 6.13C	92.16 ± 1.15Bb	118.82 ± 3.46B
T4	49.47 ± 8.08a	35.47 ± 1.62D	54.13 ± 3.23Cc	163.03 ± 4.94BCc	119.66 ± 3.42Dc	128.90 ± 2.70E	143.03 ± 4.01B	90.83BbC	101.49 ± 1.15C

2.1.3 对根区土壤离子含量的影响 由表 4 中的数据可以看出,番茄三个生育期土壤表层 20 cm 中 HCO₃⁻、SO₄²⁻、Mg²⁺ 含量均大致呈先减少后增加的趋势,盛果期含量最低,CK 处理土壤这 3 种离子含量在番茄三个生育期中均最大,T2、T3、T4 次之,T1 最小且与 CK 相比差异达极显著水平。随番茄生育期的推进土壤中 Cl⁻、Na⁺ 含量呈逐渐增加的趋势,盛果后期达到最大,CK 处理下土壤中这 2 种离子含量均高于其它处理。CK 处理土壤中钠离子含量在番茄三个生育期内均最大,且在坐果期、盛果期时与其它 4 个处理差异达极显著水平,随生育期的推进,T3 处理土壤中钠离子含量不断增加,至盛果后期时仅次于 CK 处理。T2、T4 处理钠离子含量居中,T1 处理三个生育期土壤钠离子含量均最低,与 CK 差异极显著。Ca²⁺、K⁺ 随番茄生育期的推进大致呈先

升高后降低的趋势,盛果期含量最高。坐果期、盛果期 T1 处理土壤 Ca²⁺ 含量最高,与其它 4 个处理相比差异显著,盛果后期 CK 处理土壤 Ca²⁺ 含量最高,T2、T3、T4 次之,T1 最低,且极显著小于其它 4 个处理,这可能是微咸水中钙离子含量较高且根区较高的盐分离子抑制植株吸收两方面原因导致的。番茄坐果期 CK 处理 K⁺ 含量最小,T1 处理含量最大,两者差异极显著,盛果期、盛果后期 CK 处理土壤 K⁺ 含量最高,T1 处理含量最低,两者差异极显著,这与 CK 处理土壤速效钾含量较高相对应。三个生育期 T2、T4 处理土壤钾离子含量均比较接近,差异不显著,T3 处理土壤中 K⁺ 变化趋势与钠离子相同,至盛果后期含量仅次于 CK 处理,这也是微咸水长期灌溉下离子在土壤中积累的结果。

表 4 番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤离子含量

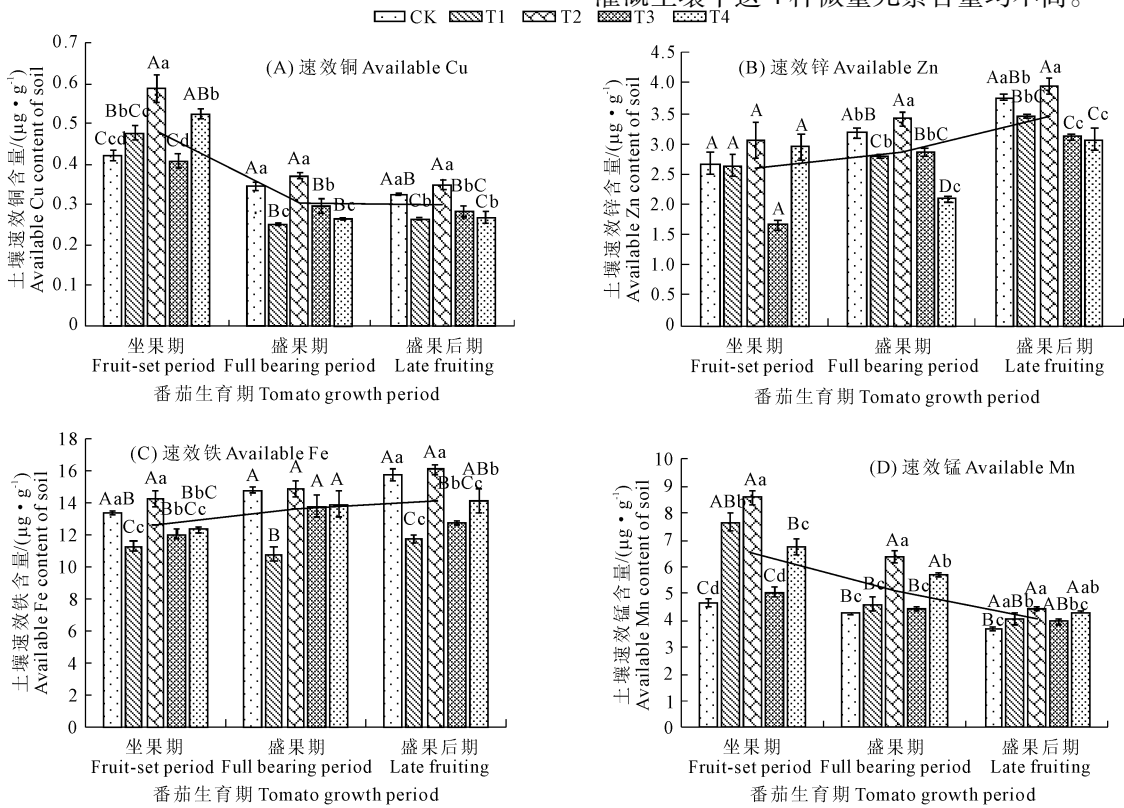
Table 4 Salt ions content of tomato root zone soil at three periods (fruit-set period, full bearing period, later stage of full bearing period)

项目 Item	盐分离子含量 The content of salt ions/(g·kg ⁻¹)							
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺
坐果期 Fruit-set period	CK	0.22 ± 0.01Aa	0.24 ± 0.02a	1.24 ± 0.08Aa	0.14 ± 0.01Bb	0.31 ± 0.01Aa	0.02 ± 0.01C	0.10Aa
	T1	0.12 ± 0.02Bc	0.24 ± 0.01a	0.4 ± 0.07Cc	0.21 ± 0.02Aa	0.09 ± 0.02Cc	0.11 ± 0.01A	0.07Cd
	T2	0.14 ± 0.01Bbc	0.26 ± 0.03a	0.63 ± 0.05Bb	0.10 ± 0.03BCc	0.18 ± 0.03Bb	0.05B	0.09Bb
	T3	0.14 ± 0.01Bbc	0.24 ± 0.01a	0.64 ± 0.04Bb	0.09 ± 0.01BCc	0.19 ± 0.01Bb	0.03C	0.07Ccd
	T4	0.15 ± 0.01Bb	0.23 ± 0.02a	0.54 ± 0.01BbC	0.07 ± 0.01Cc	0.16Bb	0.05B	0.08Cc
盛果期 Full bearing period	CK	0.16 ± 0.01Aa	0.34 ± 0.01Aa	0.58 ± 0.01Aa	0.15 ± 0.01ABb	0.04Aa	0.10 ± 0.01A	0.25Aa
	T1	0.11Cb	0.29 ± 0.03ABbc	0.36 ± 0.01Bb	0.18Aa	0.01Bb	0.06 ± 0.01C	0.14 ± 0.01De
	T2	0.13 ± 0.02BbC	0.31 ± 0.03AaBb	0.34 ± 0.12Bb	0.11 ± 0.01Cc	0.04 ± 0.01AaB	0.07 ± 0.01B	0.20 ± 0.01Bc
	T3	0.15AaB	0.31 ± 0.02AaBb	0.45 ± 0.09AaBb	0.13 ± 0.01BbCc	0.04 ± 0.01AaB	0.07B	0.22 ± 0.01Bb
	T4	0.12Cb	0.26 ± 0.01Bc	0.36 ± 0.03Bb	0.10 ± 0.02Cc	0.03 ± 0.02AaBb	0.07B	0.16 ± 0.01Cd
盛果后期 Later stage of full bearing period	CK	0.19A	0.35 ± 0.04Aa	0.61 ± 0.03A	0.1 ± 0.01A	0.09 ± 0.01a	0.08A	0.32 ± 0.01Aa
	T1	0.16B	0.25 ± 0.02Bb	0.32 ± 0.07B	0.06 ± 0.01B	0.08 ± 0.01a	0.03 ± 0.01B	0.18 ± 0.01De
	T2	0.17 ± 0.01B	0.33 ± 0.03Aa	0.36 ± 0.06B	0.09 ± 0.01A	0.08 ± 0.01a	0.04B	0.27 ± 0.01Bc
	T3	0.17 ± 0.01B	0.26 ± 0.03Bb	0.58 ± 0.04A	0.09 ± 0.01A	0.09 ± 0.01a	0.06 ± 0.01A	0.30Ab
	T4	0.16 ± 0.01B	0.31 ± 0.01AaB	0.52 ± 0.02A	0.09 ± 0.01A	0.09 ± 0.01a	0.03 ± 0.01B	0.23 ± 0.01Cd

2.2 对番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤微量元素含量的影响

如图 1 中 A、B、C、D 四个图所示,番茄坐果期 – 盛果期 – 盛果后期土壤速效铜和速效锰含量大致呈降低趋势,速效锌和速效铁呈上升趋势,且从图中可以看出三个生育期番茄根于土壤速效铜、锌、铁、锰含量均以 T2 处理最高。由图 1 中 A 图可知,番茄盛果期、盛果后期 CK 处理土壤速效铜含量仅次于 T2 处理,二者差异不显著,T1 处理土壤速效铜含量最低,与 CK、T2 差异极显著。如图 1 中 B 图所示,不同处理对番茄各生育期根区土壤速效锌含量的影响与速效铜相似,三个生育期均以 T2 处理最高。T3

处理坐果期根区土壤速效锌含量最低,CK 次之,盛果期、盛果后期 CK 处理含量仅次于 T2 处理。土壤速效铁含量如图 1 中 C 图所示,除 T2 处理外,CK 处理三个生育期番茄根区土壤中速效铁含量最高,与 T2 处理差异不显著,T1 处理含量最低,与 T2、CK 差异极显著。各处理对土壤速效锰含量的影响与铜、锌、铁稍有不同,除 T2 处理外,T4 处理下土壤速效锰含量较高,T1 次之,CK 处理番茄三个生育期土壤速效锰含量均最低,且与 T2 处理差异极显著。由此可知,微咸水:淡水 = 1:1 的混合水灌溉最有利于提高土壤中铁、锰、锌、铜的含量,微咸水整个生育期直接灌溉不利于土壤速效锰的积累,整个生育期淡水灌溉土壤中这 4 种微量元素含量均不高。



注:① 图中折线为番茄各生长期根区土壤速效铜、锌、铁、锰含量的平均值。② 图中大写字母代表在 0.01 水平差异显著,小写字母代表在 0.05 水平差异显著,下同。

Note: ① The line in the figure showed the average content of available Cu,Zn,Fe,Mn of every growth period. ② In the table, capital letters showed 0.01 level significant difference, lowercase letters showed 0.05 level significant difference. The same as below.

图 1 各处理番茄坐果期、盛果期、盛果后期根区土壤速效铁、锰、锌、铜的含量

Fig.1 Contents of available Cu,Zn,Fe,Mn of tomato root zone soil at three periods(fruit-set period, full bearing period, later stage of fruit bearing period) of every treatment

3 结论与讨论

微咸水灌溉方式不同,番茄不同生育期根区土壤中各种矿质元素和离子的含量也不同。微咸水灌溉一方面可以提高番茄坐果期、盛果前期、盛果后期根区土壤全盐、速效钾及 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等离子的含量,这与微咸水中含有较高浓度的矿物

质离子有关,但 Na^+ 含量的增多会导致土壤黏粒和团聚体分散,使土壤对水和空气的渗透性降低,并引起 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的缺乏和其他营养失调^[11];另一方面可以提高坐果期、盛果后期土壤全氮、速氮含量,显著降低盛果前期土壤全氮、速氮含量及各时期土壤全磷、速效磷含量,原因可能与微咸水参与下土壤 pH 及微生物含量的变化有关^[12],以上两点与淡水

灌溉下土壤全磷、速磷、速钾、盛果前期土壤全氮、速氮及钙离子含量均较高相呼应。微咸水:淡水 = 1:1 的混合水灌溉还可以显著提高番茄三个生育期根区土壤中铁、锰、锌、铜 4 种微量元素的含量,其影响机理有待进一步探索。微咸水、淡水按生育期轮灌下三个生育期番茄根区土壤中全量养分、速效养分含量居中,盐分离子含量与混合水灌溉及微咸水、淡水按次轮灌差异不显著,但整体以按次轮灌处理土壤中盐分离子积累最少。综上,微咸水灌溉方式对番茄不同生育期根区土壤中矿质元素和离子含量影响较大,根据植株生长情况合理利用微咸水不但可以有效避免微咸水中高浓度盐分离子对土壤及植株生长的不良影响,而且可以提高土壤养分含量,进而促进植株生长发育。该试验表明,相比淡水灌溉而言,微咸水、淡水按次轮灌可以一定程度提高土壤中全量养分和速效养分含量,相比微咸水参与下的其它 3 种灌溉方式而言,该处理番茄根区土壤中盐分积累较少。因此,微咸水、淡水按次轮灌为微咸水较为合理、安全的利用方式。

致谢:本文是在导师高艳明教授的课题支撑下完成的,所以首先要感谢我的导师为我提供的宝贵机会,其次要感谢我的合作指导教师李建设教授,最后感谢在试验过程和论文写作过程中为我提供帮助

的师姐师妹们,谢谢大家!

参 考 文 献:

[1] 郭永杰,崔云玲,吕晓东,等.国内外微咸水利用现状及利用途径[J].甘肃农业科技,2003,(8):3-5.

[2] 李志杰,马卫萍,刑文刚,等.微咸水灌溉利用的综合调控技术研究[J].土壤通报,2001,32(S):106-108.

[3] 王艳芳,曹玲,陈宝悦,等.咸淡水交替灌溉对芹菜生长及品质的影响[J].北方园艺,2014,(10):5-8.

[4] 汪洋.非耕地温室微咸水灌溉番茄、西瓜试验研究[D].宁夏大学,2014.

[5] 叶海燕,王全九,刘小京.冬小麦微咸水灌溉制度的研究[J].农业工程学报,2006,21(9):27-32.

[6] Mahmut C, Cevat K. Spatial and temporal changes of soil salinity in a cotton field irrigated with low - quality water[J]. Journal of Hydrology, 2003,272:238-249.

[7] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2005:265-274.

[8] 张行峰.实用农化分析[M].北京:化学工业出版社,2005:91-94.

[9] 袁文昊.土壤微生物活动下的氮、磷变化及对地下水水质的影响研究[D].西南大学,2009.

[10] 王丹,康跃虎,万书勤.微咸水滴灌条件下不同盐分离子在土壤中的分布特征[J].农业工程学报,2007,23(2):83-85.

[11] 郭永昌.连续多年地下微咸水灌溉对食葵土壤养分和微生物的影响[J].中国农村水利水电,2012,(9):27-29.

(上接第 76 页)

[8] Fan Jun, Gao Yu, Wang Quanjiu, et al. Mulching effects on water storage in soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau of northwestern China[J]. Agricultural Water Management, 2014,138:10-16.

[9] 赵旭,王汉宁,李玲玲,等.保护性耕作对坡耕地粮豆草等高带状种植作物生长与水土保持效果的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):7-12,30.

[10] 金风霞,麻冬梅,刘昊焱,等.不同种植年限苜蓿地土壤环境效应的研究[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):73-77.

[11] 方新宇,李军,王学春,等.黄土高原半湿润区苜蓿草地土壤干燥化与草粮轮作水分恢复效应[J].中国农业科学,2010,43(16):3348-3356.

[12] 罗珠珠,李玲玲,牛伊宁,等.陇中黄土高原半干旱区苜蓿地土壤干燥化特征及适宜种植年限[J].应用生态学报,2015,26(10):3059-3065.

[13] 孙剑,李军,王美艳,等.黄土高原半干旱偏旱区苜蓿-粮食轮作土壤水分恢复效应[J].农业工程学报,2009,25(6):33-39.

[14] 王俊,刘文兆,钟良平,等.长期连续种植苜蓿草地上部分生物量与土壤水分的空间差异性[J].草业学报,2009,18(4):41-46.

[15] 李瀚之,余新晓,樊登星,等.模拟降雨条件下黑麦草覆盖度对褐土坡面径流流速的影响[J].北京林业大学学报,2014,36(5):94-98.

[16] 王学春,李军,方新宇,等.半干旱区草粮轮作田土壤水分恢

复效应[J].农业工程学报,2011,27(1):81-88.

[17] 侯沛轩,孙佳美,余新晓,等.模拟降雨条件下植被调控坡面水沙输出过程研究[J].土壤,2016,48(4):819-823.

[18] 王龙涛,赵建伟,华玉妹,等.植草沟净化地表径流运行条件优化[J].环境工程学报,2016,10(9):4855-4860.

[19] 孙佳美,余新晓,樊登星,等.模拟降雨下植被盖度对坡面流体力学特性的影响[J].生态学报,2015,36(8):2574-2580.

[20] Zhou Z C, Shanguan Z P. The effects of ryegrass roots and shoots on loess erosion under simulated rainfall[J]. Catena, 2007,70(3):350-355.

[21] Marc F, Markus L, Boy F, et al. Root growth of maize in an Italian ryegrass living mulch studied with a non-destructive method[J]. European Journal of Agronomy, 2012,36(1):1-8.

[22] Matthew E, Joseph A G, Ian R, et al. Williams. Determination of the degree of polymerisation of fructans from ryegrass and chicory using MALDI - TOF Mass Spectrometry and Gel Permeation Chromatography coupled to multiangle laser light scattering[J]. Food Hydrocolloids, 2016,53:155-162.

[23] 何峰,李向林,万里强,等.四川低山丘陵地区多年生冷季型优良牧草引种试验[J].中国草地学报,2006,14(6):106-109.

[24] Lindsey H, Michelle D, Scott E J, et al. Effects of drought preconditioning on freezing tolerance of perennial ryegrass[J]. Environmental and Experimental Botany, 2012,79:11-20.