

华北半湿润地区微咸水滴灌对番茄生长和产量的影响

万书勤, 康跃虎, 王 丹, 刘士平

(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)

摘 要: 为了安全有效地开发和利用微咸水资源, 必须了解微咸水灌溉对作物和土壤安全性的影响。该研究连续 3a (2003~2005 年) 在华北半湿润地区就滴灌条件下不同盐分浓度微咸水和土壤基质势对番茄地下、地上部分生长和产量的影响进行了研究。试验结果发现不同盐分浓度微咸水 (1.1~4.9 dS/m) 和土壤基质势 (滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势下限控制在 -10~-50 kPa) 处理对番茄根干重密度、根长密度、最大叶面积指数、总叶绿素含量和产量等都没有明显的影响, 且不同盐分浓度和土壤基质势处理间没有显著的交互影响。因此, 华北半湿润地区滴灌条件下, 番茄缓苗阶段后用 $EC < 5$ dS/m 的微咸水灌溉, 对番茄的生长和产量是安全的。

关键词: 微咸水; 滴灌; 番茄; 生长; 产量

中图分类号: S275.6; S642.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2008)-8-0030-06

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.(in Chinese with English abstract)

0 引言

随着淡水资源供需矛盾的日益突出, 增辟灌溉水源成为各国解决水资源危机普遍关注的问题。许多国家或地区淡水资源贫乏, 但丰富的微咸水资源却没有被开发利用。近年来微咸水灌溉技术的研究得到了国内外学者的高度重视, 并且在一些国家和地区, 微咸水已经成为当地解决农业水资源短缺的一条有效途径^[1,2]。

但与淡水相比, 微咸水中含有大量的盐分, 如果灌溉管理不当, 容易引起作物根区土壤溶液渗透势下降, 从而引起作物吸水困难, 发生水分胁迫, 严重时会使细胞失水收缩, 造成“生理干旱”而最终导致死亡^[3]。因此为了高效安全地利用微咸水资源, 有必要就微咸水灌溉对作物生长和产量的影响进行深入的研究。

番茄是中国主要的蔬菜大宗品种之一, 也是春夏季的骨干蔬菜之一, 对盐分较敏感。有研究表明当根区土壤饱和提取液电导率 (EC_e) 超过 2.5 dS/m 番茄的产量就开始降低, 并且 EC_e 每升高 1 dS/m 番茄产量降低 10%^[4]。但是也有许多研究发现, 当采用合理的微咸水灌溉技术, 可以利用微咸水甚至较高盐分浓度的半咸水、咸水来灌溉番茄。例如 Mizrahi 等发现温室砂土上栽培的番茄, 其生长中后期可以用 3 dS/m 的稀释海水灌溉, 其产量不受影响且品质提高^[5]。Pasternak 和 De Malach 在以色列砂壤土上研究发现, 高频灌溉 (每天滴灌 5 次) 条件下, 可以用 6.2 dS/m 的半咸水灌溉番茄, 其生长和产量都不

受到明显的影响^[6]。Mitchell 等在加利福尼亚州粘壤土上的研究指出, 沟灌条件下即使番茄每周用 8.1 dS/m 的咸水灌溉, 仍可以获得令人满意的经济产量^[7]。

该文主要涉及微咸水灌溉条件下作物的安全, 研究微咸水滴灌对番茄地下、地上部分生长和产量的影响, 初步为我国华北半湿润地区微咸水滴灌技术的推广与应用提供基础数据和参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验连续 3a (2003~2005 年) 在中国科学院地理科学与资源研究所通州农田水循环与现代节水灌溉试验基地完成^[8]。试验区属暖温带半湿润大陆性季风气候, 多年平均气温 11~12℃。多年平均降水量为 620 mm, 主要集中在 6、7、8 三个月。暴雨主要集中在 7 月下旬至 8 月上旬, 次降雨量可达 70~95 mm, 有利于土壤盐分的淋洗。试验小区土壤质地主要为粉砂壤土, 耕作层平均土壤容重约为 1.35 g/cm³, 土壤有机质含量为 1.3%, 土壤盐分平均含量为 1.0 g/kg, 土壤溶液 (水土比为 5:1) 电导率和 pH 分别为 0.4 dS/m 和 7.7。

1.2 试验设计

本试验根据河北沧州地区不同含水层微咸水离子成分, 在通州当地地下淡水 ($EC_i = 1.1$ dS/m) 的基础上配制了 4 个不同盐分浓度微咸水 (Electrical conductivity of saline water: EC_i) (表 1), 对番茄进行灌溉。同时本试验还布置了 5 个土壤基质势 (Soil Matric Potential: SMP) 处理, 控制滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势的下限分别为 -10、-20、-30、-40、-50 kPa。5 个盐分处理 (K 处理) 和 5 个土壤基质势 (S 处理) 处理交叉组合, 共 25 个处理 (KS 处理)。每个处理重复 3 次, 共 75 个小区^[8]。

收稿日期: 2007-05-13 修订日期: 2007-12-06

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KSCX2-YW-N-003); 中国科学院百人计划; 天津市科技发展计划项目 (06YFGZNC00100, 06YFGZNC06700)
作者简介: 万书勤 (1978—), 女, 江西南昌人, 主要从事农田水循环与农业水资源高效利用方面的研究。北京朝阳区安外大屯路甲 11 号 中国科学院地理科学与资源研究所, 100101。Email: wansq@igsnrr.ac.cn

表 1 2003~2005 年不同盐分处理灌溉水的平均 EC 值、离子含量及 SAR

Table 1 Electrical conductivity of saline water (EC), ionic composition and sodium adsorption ratio (SAR) for different saline water treatments in 2003~2005

$\overline{EC_i}$ / $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$	离子含量/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$								钠吸 附比 SAR*
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	
1.1	0.4	6	2.7	1.7	0.6	4	0.7	2.7	1.3
2.2	0.4	10.8	6	5	1	5	2.6	10.5	4.3
2.9	0.4	13.8	9.2	5.8	2.2	7.2	3.4	13.5	4.4
3.5	0.4	17.7	13	6.4	1.2	8.3	4.3	17.3	5.7
4.2	0.4	19.4	13.8	8.5	2	8.1	5.4	21.5	6.8
4.9	0.4	23.1	17.1	9.8	2.3	9.8	6.4	25.7	7.4

注：*根据 FAO 灌溉水质评价指标，本试验配制的微咸水 SAR 符合灌溉水质标准。

1.3 农艺措施

试验研究对象为番茄（*Lycopersicon esculentum* Mill），品种 L-402，属于无限生长型，中熟品种，适宜春季露地栽培。

2003 年番茄移苗前用拖拉机翻地，翻地前施入腐熟的有机肥和磷酸二铵复合肥作为底肥，施肥量分别为 $37.5\text{ m}^3/\text{hm}^2$ 和 $300\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。2004 年和 2005 年人工翻地，仅施磷酸二铵复合肥作为底肥。翻地前将磷酸二铵复合肥条施在垄中间，2004 年施肥量为 $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ ，因为 2004 年番茄生育后期出现缺肥症状，2005 年将底肥量提高到

$600\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

番茄起垄种植，垄肩宽 0.6 m，垄高 0.15 m，垄长 4.4 m，两垄中心间隔 1.4 m。每小区 3 垄，小区面积为 18.48 m^2 。每垄种植两行番茄，垄上番茄行距 0.3 m，株距 0.4 m，种植密度大约是 $35700\text{ 株}/\text{hm}^2$ 。

番茄在温室中育苗，6~7 叶时移苗至大田。当移植的番茄基本缓苗后，所有处理覆膜（黑色聚乙烯膜）。2003~2005 年番茄移苗、覆膜、试验处理和收获的日期详见表 2。

表 2 2003~2005 年番茄移苗、覆膜、处理和收获的日期

Table 2 Dates of transplanting, mulching, treating and harvesting in 2003~2005

年份	移苗日期	覆膜日期	试验处理日期	收获开始日期	收获结束日期	收获天数/d
2003	5 月 6 日	5 月 18 日（12DAT*）	5 月 31 日（25DAT）	7 月 3 日（58DAT）	8 月 25 日（111DAT）	53
2004	4 月 16 日	4 月 24 日（8DAT）	5 月 22 日（36DAT）	6 月 20 日（65DAT）	7 月 25 日（100DAT）	35
2005	4 月 19 日	5 月 6 日（17DAT）	5 月 26 日（37DAT）	6 月 27 日（69DAT）	7 月 26 日（98DAT）	29

注：*DAT: 番茄移苗后的天数。

番茄仅保留主枝，侧枝全部打掉，并且为了保证果实品质，及时打顶，每株只保留 4 个花果序。根据田间实际情况，进行番茄病虫害防治。

为了能充分利用降雨淋洗土壤中的盐分，当年试验结束后揭掉黑膜。

1.4 灌溉与追肥

采用重力式滴灌，圆形水桶（桶高 0.5 m，容积大约为 120 L）放在距离地面 1.2 m 高处。滴灌管放在垄中心两行作物之间，滴头间距 0.2 m。本试验重力滴灌工作压力在 1.2 m~1.7 m 之间变化，滴头平均流量为 $0.9\text{ L}/\text{h}$ 。

番茄移苗后连续灌 4 桶淡水（大约 25 mm）作为缓苗水，之后利用表头式负压计指导灌溉。在番茄的缓苗阶段，当滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势降到 -20 kPa 时开始灌溉。

番茄缓苗阶段结束后，开始进行不同盐分和土壤基质势处理，即当滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势降低到设定的范围时，用配制的不同盐分浓度微咸水进行灌溉。在利用微咸水灌溉时，为了使作物根区的盐分控制在作物可以忍受的盐分范围，设计灌水量时考虑淋盐需水量。本试验设计当盐分浓度分别为 1.1、2.2、2.9、3.5、4.2、4.9 dS/m 时，每次的灌水量分别为 5.1、5.4、5.7、6.0、

6.3、6.3 mm。

另外，将尿素配制成质量浓度为 30% 的溶液，每次灌溉前加入灌溉水中，进行施肥灌溉。2003 年、2004 年、2005 年番茄整个生育期内所有处理追肥量分别为 106、345、260 kg/hm^2 。

1.5 测定内容

1.5.1 地下部分根干重密度和根长密度

2003 年和 2004 年番茄生育末期（番茄拉秧前 2 个星期），分别在 K1S2、K3S1、K3S3、K3S5、K5S2 处理，和 K1S1、K1S2、K1S5、K3S2、K5S2 处理中选择有代表性的番茄 1 株，用根钻（内径为 55 mm，高度为 10 cm，体积为 237.46 cm^3 ）取根，其中取样位置分别为距离滴灌带 0、15、35、52.5、70 cm，深度分别为 0~10、10~20、20~30、30~50、50~70、70~90 cm。烘干称重测根干重，根长由基于地理信息系统的分析方法获得^[9]。

1.5.2 叶面积指数

在番茄的不同生育期不同处理选 10 株有代表性的番茄，用数字图像处理技术的方法获得叶面积^[10]，再换算成叶面积指数。

1.5.3 叶绿素含量

在番茄不同生育期不同处理选择有代表性的植株 3

株, 各取其上部功能叶 5 片, 采用丙酮无水乙醇混合液 (体积比 1:1) 法提取叶绿素, 用分光光度计法测定叶绿素含量^[11]。

1.5.4 番茄产量

番茄进入采收期后, 每 2~5 d 人工摘收一次。每次收获时, 每个小区番茄按行摘收、计数并且称重。

2 试验结果与分析

2.1 番茄生育阶段的主要气象要素

2003 年、2004 年、2005 年番茄整个生长发育阶段的平均温度相差不大, 分别为 23.7、21.9、22.5℃。但是 2003 年番茄定植 2 周后, 周平均最低温度就超过了 15℃, 而在 2004 年和 2005 年番茄定植 5 周后, 周平均最低温度才超过 15℃。

三年番茄整个生长阶段的平均空气相对湿度相差不大。但是 2003 年番茄移苗 2 周内的周平均空气相对湿度为 73.4%, 明显高于 2004 年和 2005 年同期的值 (48.1% 和 38.3%)。而在番茄生长的最后 3 周内, 2004 年和 2005 年的周平均空气相对湿度都大于 83%, 明显高于 2003 年同期值 (69.5%)。

2003 年、2004 年、2005 年番茄整个生育阶段的累计降雨量分别为 224.8、273.3、273.0 mm。三年番茄幼苗和缓苗期、开花着果期和结果期的降雨量分别占总生育期降雨量的 6%、52% 和 42% (2003 年), 26%、25% 和 50% (2004 年), 19%、17% 和 64% (2005 年)。2004 年和 2005 年番茄结果期的降雨量明显偏多。

2003 年、2004 年、2005 年番茄整个生育阶段 20 cm 蒸发皿平均蒸发量分别为 585.9、607.0、626.8 mm, 日平均蒸发量分别为 5.3、6.0、6.4 mm。2004 年和 2005 年番茄定植后前 2 周内遇到大风天气, 日平均蒸发量分别为 7.3 和 10.3 mm, 明显高于 2003 年同期值 (5.4 mm)。

对三年番茄生长发育阶段主要气象资料进行分析, 可以知道 2004 年和 2005 年番茄缓苗期时间较长, 主要是因为缓苗阶段遭遇持续的低温、较低的空气相对湿度以及大风; 而这两年番茄结果期持续时间偏短, 主要与生育后期过多的降雨以及过高的空气相对湿度有关。

2.2 不同处理对番茄生长的影响

2.2.1 对番茄根系生长的影响

作物根区土壤过量盐分的存在会降低土壤溶液的渗透势, 致使作物根系吸水困难, 影响养分的吸收和根系的生长, 并引起根系以及地上部分生理和形态上的变化。因此了解微咸水滴灌条件下作物根系的分布规律, 有助于解释作物生长发育的变化机理。

1) 根干重密度

2003 年滴灌条件下不同处理番茄根干重密度在土体中的分布规律相似: 垂直方向上, 仅有大约 13% 和 3% 的根系分别分布在 20~50 cm 和 50~90 cm 深度, 而 84% 左右的根系都集中在 0~20 cm 的表层土壤。水平方向上, 大约 71% 的根系都集中在距离滴头 15 cm 处 0~20 cm 的表层土壤, 8% 左右的根系分布在靠近水源 0~90 cm 深度范围的土体中, 而在远离水源 (距离滴头 35 cm 以外)

的大范围土体中仅有 13% 的根系。2003 年 K3S1 和 K3S3 处理的根干重密度分别为 4113×10^{-6} 和 $4209 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^3$, 明显大于其他处理的根干重密度, 这可能是土壤空间变异造成的 (表 3)。

2004 年番茄根干重密度在土体中的分布规律同 2003 年的类似, 但垂直方向上 91% 左右的根系都集中在 0~20 cm 的表层土壤, 水平方向上大约 80% 的根系都集中在距离滴头 15 cm 处 0~20 cm 的表层土壤 (数据略)。

两年不同盐分和土壤基质势处理对番茄根干重密度都没有明显的影响。滴灌条件下番茄的根系 (根干重密度) 主要分布在距离滴头 15 cm 处 0~20 cm 的表层土壤, 并且在相对比较湿润的年份 (2004 年), 根系更加趋向于集中在 0~20 cm 的表层土壤。

表 3 2003 年番茄生育末期不同处理根干重密度
Table 3 Root dry weight density for different treatments
in the late growing period of tomatoes in 2003

处理	根干重密度 / 10^{-6} g/cm^3	深度 /cm	占总根干重密度的比例/%				
			离滴头的距离/cm				
			0	15	35	52.5	70
K1S2	1770	0~20	11	71	0	1	3
		20~50	8	1	0	1	0
		50~90	1	2	1	0	0
K3S1	4113	0~20	2	59	10	1	2
		20~50	1	23	0	0	1
		50~90	0	0	1	0	0
K3S3	4209	0~20	4	78	1	6	2
		20~50	2	2	0	0	1
		50~90	1	1	0	0	2
K3S5	1453	0~20	4	68	3	2	4
		20~50	2	5	0	5	3
		50~90	1	1	0	0	1
K5S2	1953	0~20	1	80	3	0	1
		20~50	2	3	0	4	2
		50~90	0	1	1	1	0

2) 根长密度

2003 年不同处理番茄根长密度在土体中的分布规律没有明显的差异, 滴灌条件下番茄的根系仍比较庞大, 在 90 cm 深度和距离滴头 70 cm 远处都有根系的存在 (表 4)。在距离滴头 15 cm 处 0~20 cm 的表层土壤中, 不同处理根长密度大约占总根长密度的 46%, 而由以上根干重密度的分析可以知道, 该层根干重密度占总根干重密度的 71%, 这说明该部分的根系主要是比较粗壮的主根系。另外大约 17% 的根系 (根长密度) 分布在靠近水源处, 29% 左右的根系分布在远离水源 (距离滴头 35 cm 以外) 处。2004 年滴灌条件下番茄根长密度在土壤中的分布规律与 2003 年的类似 (数据略)。

由以上分析可知, 不同盐分和土壤基质势处理对番茄根干重密度和根长密度都没有明显的影响。滴灌条件下番茄粗大的主根系主要分布在 0~20 cm 的表层土壤中, 在 90 cm 深度和距离滴头 70 cm 远处仍有根系的存在, 但都是比较细小的须根系。另外, 降雨对番茄根长分布

规律的影响较小，而对根重分布规律的影响较大。

Papadopoulos 和 Rendig, Cuartero 和 Fernández-Muñoz 指出相对于地上部分，作物地下部分更加耐盐，番茄根系的耐盐度阈值大约为 4~6 dS/m^[12,13]。另外，Goldberg 等认为作物根系的生长具有很强的避逆性，根系会朝着土壤中含水量高和含盐量低的地方生长，并指出在一个灌溉季节内，积盐区的盐渍化不一定危害作物的生长^[14]。

表 4 2003 年番茄生育末期不同处理根长密度
Table 4 Length density for different treatments in the late growing period of tomatoes in 2003

处理	根长密度 / cm·cm ⁻³	占总根干重密度的比例/%					
		深度 /cm	离滴头的距离/cm				
			0	15	35	52.5	70
K1S2	5.3	0~20	0	15	35	52.5	70
		20~50	16	56	2	3	1
		50~90	9	2	0	2	2
K3S1	6.2	0~20	1	3	1	0	1
		20~50	6	45	3	3	5
		50~90	5	17	1	1	5
K3S3	8.1	0~20	2	1	6	0	0
		20~50	23	40	7	3	6
		50~90	4	6	1	0	5
K3S5	5.9	0~20	2	1	0	0	2
		20~50	2	41	9	4	10
		50~90	4	4	3	8	6
K5S2	5.1	0~20	2	3	1	1	2
		20~50	6	47	8	1	3
		50~90	3	6	2	9	4

2.2.1 对番茄地上部分生长的影响

1) 叶面积

作物的产量主要决定于水和同化物质这两种物质的输入^[15]。叶是作物蒸腾作用和光合作用的器官，叶面积的生长影响着水分和同化物质的输入，从而影响着作物的产量。Hsiao 指出许多作物的营养生长特别是叶面积的增大对水分和盐分等的胁迫特别敏感^[16]，分析作物在盐分胁迫下生长和生物量的减少，尤其是叶面积的变化有助于评价作物对盐分的抵抗能力^[17]。

表 5 2003 年番茄不同处理最大叶面积指数
Table 5 Maximum leaf area index of tomatoes for different treatments in 2003

基质势/ - kPa		LAI _{max}					
		10	20	30	40	50	平均
盐分 /dS·m ⁻¹	1.1	3.8	3.4	4.4	3.6	4.0	3.8
	2.2	3.9	3.9	2.8	3.5	3.8	3.6
	2.9	4.0	3.5	2.7	4.4	3.3	3.6
	3.5	3.5	3.4	2.8	3.8	3.2	3.3
	4.2	3.7	3.8	3.8	3.1	3.4	3.6
	平均	3.8	3.6	3.3	3.7	3.5	3.6

方差分析结果：P_{盐分}=0.57, P_{土壤基质势}=0.61, P_{交互}=0.12。

从表 5 可知，2003 年不同盐分处理最大叶面积指数（Maximum Leaf Area Index: LAI_{max}）没有明显的差异，不同土壤基质势处理对 LAI_{max} 也没有明显的影响，并且不同盐分和土壤基质势处理没有显著的交互影响。2004 和 2005 年（数据略）不同处理 LAI_{max} 也没有明显差异，并且这两年所有处理的平均 LAI_{max} 要明显小于 2003 年的值。

2) 叶绿素

叶绿素是作物进行光合作用的主要色素，盐分胁迫下作物叶绿素含量不仅关系着作物光合同化过程，而且也是衡量作物耐盐性的重要生理指标之一^[18]。

由表 6 可知，2003 年番茄生育中期不同盐分处理总叶绿素含量没有明显的差异，不同土壤基质势处理对总叶绿素含量也没有明显的影响，并且不同盐分和土壤基质势处理没有显著的交互影响。2004 和 2005 年（数据略）不同处理总叶绿素也没有明显差异，并且这两年所有处理的平均总叶绿素含量值要明显小于 2003 年的值。

表 6 2003 年番茄生育中期不同处理总叶绿素含量
Table 6 Total chlorophyll content for different treatments in the middle growing period of tomatoes in 2003

总叶绿素含量 /mg·g ⁻¹							
基质势/ - kPa	10	20	30	40	50	平均	
盐分 /dS·m ⁻¹	1.1	2.4	2.4	2.5	2.8	2.8	2.6
	2.2	3.1	2.9	2.5	2.8	2.6	2.8
	2.9	2.7	2.8	3.2	2.7	3.1	2.9
	3.5	2.3	2.3	2.8	2.6	3.3	2.6
	4.2	2.7	2.3	2.5	2.9	2.9	2.7
	平均	2.6	2.5	2.7	2.8	2.9	2.7

方差分析结果：P_{盐分}=0.36, P_{土壤基质势}=0.20, P_{交互}=0.10。

2.3 不同处理对番茄产量的影响

表 7 和表 8 分别表示 2003、2004 和 2005 3 年不同处理番茄产量和产量方差分析结果。从产量方差分析结果可以知道，三年不同盐分对番茄的产量没有显著的影响，不同土壤基质势处理对番茄的产量也没有明显的影响，并且不同盐分和土壤基质势处理没有显著的交互影响。因此在华北半湿润地区只要采用合理的微咸水灌溉技术，就可以利用 EC<5 dS/m 的微咸水灌溉番茄，并且滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势只需要控制在 - 50 kPa 之上。

微咸水滴灌不同盐分和土壤基质势处理对番茄的产量没有明显的影响，但是不同年份番茄的生长和产量却有显著的差异。2003 年所有处理番茄的平均产量为 74.5 Mg/hm²，分别是 2004 年和 2005 年平均产量的 1.4 倍和 1.7 倍。2004 年和 2005 年试验阶段不利的气象条件使得这两年番茄缓苗期较长、结果期偏短，这很可能是造成年际间番茄产量有明显差异的主要原因。另一可能的原因是有机底肥。番茄对土壤要求不太严格，但适宜微酸性和中性的土壤，pH 在 6~7 为宜^[19]。试验区耕层土壤的 pH 值为 7.8，偏碱性，2003 年施入的有机底肥对偏碱

性土壤有一定的改良作用,改善了土壤的物理、化学和生物状况,提高了土壤的肥力,从而提高了番茄的产量。另外,番茄连种可能也是引起产量降低的原因之一。

表 7 三年微咸水灌溉不同处理番茄产量

Table 7 Tomato yield for different treatments in 2003~2005

年份	产量/Mg·hm ⁻²						
	基质势/ - kPa	10	20	30	40	50	平均
2003	1.1	73.9	72.4	75.1	71.9	74.1	73.5
	2.2	78.3	76.2	76.1	77	72.8	76.1
	2.9	72.8	75.3	73.4	73.9	74.2	73.9
	3.5	76.7	74.3	75.2	70.5	70.5	73.4
	4.2	78.1	75.9	72.9	76	75.4	75.6
	平均	75.9	74.8	74.5	73.9	73.4	74.5
2004	1.1	53.1	52.6	54.3	52.9	55	53.6
	2.2	51.3	53.4	49.2	53.2	50.5	51.5
	2.9	53.1	52.2	52	50.8	52.8	52.2
	3.5	50.3	50.1	52.9	53.4	50.2	51.4
	4.2	49.5	54.3	51.6	50.1	52.5	51.6
	平均	51.5	52.5	52	52.1	52.2	52.1
2005	1.1	42.2	46.1	38.8	41	43.7	42.3
	2.2	39.7	44.9	44.4	45.4	40.8	43.1
	3.5	42	45.7	44	41.4	46	43.8
	4.2	44.3	47.1	42.5	44.7	42.5	44.2
	4.9	44.9	42.1	43	41.9	43.5	43.1
	平均	42.6	45.2	42.5	42.9	43.3	43.3

表 8 三年微咸水灌溉不同处理番茄产量方差分析结果

Table 8 Analysis of variance of tomato yields for different treatments in 2003~2005

	2003 年			2004 年			2005 年		
	F	P	F _{0.05}	F	P	F _{0.05}	F	P	F _{0.05}
基质势	0.51	0.73	2.56	0.24	0.92	2.42	0.43	0.79	2.42
盐分	0.83	0.51	2.56	2.03	0.09	2.42	0.24	0.92	2.42
交互	0.35	0.99	1.85	1.45	0.12	1.69	1.68	0.05	1.69

4 结 论

不同盐分和土壤基质势处理对番茄根干重密度和根长密度没有明显的影响,滴灌条件下番茄粗大的主根系主要分布在 0~20 cm 的表层土壤中,但在 90 cm 深度和距离滴头 70 cm 远处仍有比较细小的须根系。不同盐分和土壤基质势处理对番茄 LAI_{max}、总叶绿素含量和产量没有明显的影响,并且不同盐分和土壤基质势处理没有显著的交互影响。

由此可以认为,在我国华北降雨量大约为 600 mm 的半湿润地区或者类似的半湿润地区,当没有足够的淡水用于作物灌溉时,滴灌条件下番茄缓苗阶段后可以利用

EC<5 dS/m 的微咸水灌溉,并且可以通过负压计控制滴头正下方 0.2 m 深度土壤基质势≥-50 kPa 来指导灌溉。

[参 考 文 献]

- [1] Oster J D. Irrigation with poor quality water[J]. Agric Water Manage, 1994, 25: 271—297.
- [2] Mantell A, Frenkel H, Meiri A. Drip irrigation of cotton with saline-sodic water[J]. Irrig Sci, 1985, 6: 5—106.
- [3] West D W, Hoffman G J, Fisher M J. Photosynthesis, leaf conductance and water relations of cowpea under saline conditions[J]. Irrig Sci J, 1986, 7: 183—193.
- [4] Maas E V. Salt tolerance of plants[J]. Applied Agric Res, 1986, 1: 12—26.
- [5] Mizrahi Y, Taleisnik E, Kagan-Zur V, et al. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1988, 113: 202—205.
- [6] 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]. Agric Water Manage, 1995, 28: 121—132.
- [7] Mitchell J P, Shennan C, Grattan S R, et al. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity[J]. J Amer Soc Hort Sci, 1991, 116: 215—221.
- [8] 万书勤, 康跃虎, 王 丹, 等. 微咸水滴灌对黄瓜产量及灌溉水利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 30—35.
- [9] 郑纯辉, 康跃虎, 姚素梅, 等. 基于地理信息系统技术的作物根系分析方法[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 181—183.
- [10] 杨劲峰, 陈 清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155—159.
- [11] 李合生. 植物生理生化实验原理合技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [12] Papadopoulos I, Rendig V V. Tomato plant response to salinity [J]. Agron J, 1983, 75: 696—700.
- [13] Cuartero J, Fernández—Muñoz R. Tomato and salinity[J]. Scientia Hortic, 1999, 78: 83—125.
- [14] Goldberg D, Gornat B, Rimón D. Drip irrigation: principles, design and agricultural practices[M]. Kfaur Shmaryahu, Israel: Drip Irrigation Science Publication, 1976.
- [15] Ho L C, Grange R I, Picken A J. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit[J]. Plant, Cell and Environ, 1987, 10: 157—162.
- [16] Hsiao T C. Plant responses to water stress[J]. Annu Rev Plant Physiol, 1973, 24: 519—570.
- [17] Aslam M, Qureshi R H, Ahmed N. A rapid screening technique for salt tolerance in rice[J]. Plant Soil, 1993, 105: 99—107.
- [18] Rao G G, Rao G R. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigment pea and Gingelly under NaCl salinity[J]. Indian Journal Experimental Biology, 1986, 19: 768—770.
- [19] 卢育华. 蔬菜栽培学各论(北方本)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.

Effect of saline water on tomato growth and yield by drip irrigation in semi-humid regions of north China

Wan Shuqin, Kang Yuehu, Wang Dan, Liu Shiping

(Key Laboratory of Water Cycle and Related Land Surface Processes, Institute of Geographical Sciences and Natural Resource Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to facilitate the safe and efficient use of saline water for irrigation, it is necessary that the effects of saline water irrigation on crops and soil safety should be understood. A three-year (2003~2005) field experiment was carried out to investigate the effects of saline water and soil matric potential (SMP) on tomato growth and yield under drip irrigation in semi-humid regions of North China. The experiment results indicated that there are no obvious effects on tomato root dry weight density, root length density, maximum leaf area index (LAI_{max}), total leaf chlorophyll content and yield with the increasing of electrical conductivity of saline water (EC_i) from 1.1 dS/m to 4.9 dS/m when the SMP at 0.2 m depth immediately under drip emitters was controlled from - 10 kPa to - 50 kPa. Furthermore, the EC_i and SMP treatments have no interactive effects on tomato growth and yield. So, in semi-humid regions of North China, saline water with EC value less than 5 dS/m can be used to irrigate tomato after seedlings survival stage by drip irrigation, and the saline water is safe to tomato growth and yield.

Key words: saline water; drip irrigation; tomato; growth; yield