

微咸水简易渗灌对温室番茄生长及生理特性的影响

杨 静^{1,2}, 刘孟雨^{1*}, 董宝娣¹, 乔匀周¹, 师长海¹,
翟红梅^{1,2,3}, 李东晓^{1,2}, 刘月岩^{1,2}

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心农业水资源重点实验室与河北省节水农业重点实验室, 河北 石家庄 050021;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 石家庄学院化工学院, 河北 石家庄 050035)

摘 要: 通过温室栽培试验, 研究了两种灌溉方式(地面沟灌、简易渗灌)和两个灌溉水盐分浓度(淡水、5 g/L 微咸水)共4个处理(1. 沟灌+淡水, 简称沟淡处理; 2. 沟灌+微咸水, 简称沟咸处理; 3. 简易渗灌+淡水, 简称渗淡处理; 4. 简易渗灌+微咸水, 简称渗咸处理)下的番茄生长、产量、品质、叶水势、光合特性及土壤盐分积累的变化。结果表明: (1) 两种灌溉方式比较, 淡水灌溉时, 简易渗灌的植株干物质量显著低于沟灌, 但微咸水灌溉时的这种差异不明显; 沟灌条件下, 微咸水灌溉比淡水灌溉植株干物质量降低7.06%, 而简易渗灌下的这种下降不明显; (2) 两种灌溉方式下, 微咸水灌溉均使番茄产量降低, 但未达到显著水平; 简易渗灌与沟灌相比, 果实产量提高约3.3%, 且渗咸处理的果实品质优于沟咸处理; (3) 淡水灌溉时, 两种灌溉方式间的叶片水势、叶绿素含量没有显著差异, 但微咸水灌溉时, 叶片水势降低0.07~0.15 MPa、叶绿素含量降低1.65%~21.8%, 简易渗灌下降幅度显著低于沟灌; (4) 沟灌条件下, 微咸水灌溉与淡水灌溉相比, 叶片光合速率、蒸腾速率与气孔导度分别降低14.29%、19.74%和33.46%, 均达显著水平, 但简易渗灌下的这种变化不明显, 且蒸腾效率显著升高; (5) 渗咸处理的0~40 cm 土层土壤积盐程度轻于沟咸处理。初步结论: 温室番茄实行微咸水简易渗灌, 使根层土壤积盐较轻、植株叶片水分状态较好、叶片光合等生理活动维持在较高的水平、蒸腾效率提高, 从而使果实产量提高、品质较优。

关键词: 番茄; 微咸水; 简易渗灌; 产量; 品质; 叶水势; 光合特性; 土壤盐分

中图分类号: S641.2; S275.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2012)03-0070-08

我国淡水资源缺乏且分布不均, 严重影响着农业与社会的持续发展, 开源节流是解决水危机的重要手段。河北沧州地区广泛分布着矿化度为25 g/L的微咸水资源, 到目前为止, 这部分水资源远远未得到充分利用。开展微咸水灌溉, 节约灌溉用淡水, 是该区农业及社会发展的一项重要措施。沧州南皮县温室大棚种植番茄已有多年基础, 形成一定的规模, 成为当地农民收入的重要组成部分。番茄需水量大, 生产中往往通过大量灌溉来提高产量, 对当地紧缺的淡水资源形成很大压力。因此, 寻找较为安全的番茄微咸水灌溉技术具有重要的现实意义。

番茄是世界各地广为种植的蔬菜作物, 对其研究的报道很多。在阿拉伯^[1]、西班牙^[2]、地中海^[3]等地的研究表明, 灌溉咸水造成番茄产量降低, 品质改变。而在以色列^[4]和美国加利福尼亚^[5]的研究发现, 用一定浓度的咸水灌溉番茄, 其生长和产量仍可以保持较好水平, 获得令人满意的经济效益。万书勤等在华北半湿润地区的研究发现, 滴灌条件下用

一定浓度的微咸水灌溉番茄, 其地下、地上部分生长和产量都没有受到显著影响, 整个土体0~90 cm深度土壤盐分没有明显增加^[6-7]。王淑红等在沈阳开展保护地地下渗灌番茄试验研究, 发现渗灌管理深30 cm且管下铺设防渗槽时, 有利于抑制盐分积累, 番茄株高、茎粗、果径等生长指标表现最佳, 产量和水分利用率也最高^[8]。近年来对其他作物的研究也表明, 如果采用合理的灌溉方式并辅以相应管理措施, 作物生长所受咸水灌溉的影响可以降低到能够接受的范围, 并且还能提高某些作物的品质和水分利用效率^[9-12]。但利用工业化生产的滴灌、渗灌系统投资较大、管理麻烦, 应用于农业生产较为困难。蔬菜简易渗灌技术, 是我们研究组在过去几年发展完善的一项技术, 投资小, 利用管理便捷。本试验将该技术用于微咸水灌溉番茄, 研究简易渗灌条件下5 g/L微咸水灌溉对温室番茄生长、产量和品质的影响, 分析其作用的生理机理, 为该地区咸水、微咸水灌溉提供理论依据和技术指导。

收稿日期: 2012-02-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADA3B03-08、2008BAD95B13-04); 中科院知识创新方向性项目(KSCX2-EW-J-5); 河北省自然科学基金(C2011503003); 中科院知识创新工程青年人才领域前沿项目(Y009063603); 石家庄市科学技术研究与发展指导计划(11149482)

作者简介: 杨 静(1987-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事作物水分关系与节水技术研究。

* 通讯作者: 刘孟雨(1962-), 男, 河北深泽人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事作物水分生理生态研究。E-mail: mengyuli@ms.sjziam.ac.cn.

1. 材料与方 法

1.1 试验地概况

本试验于2010年12月至2011年5月在中国科学院南皮农业生态试验站完成。试验站位于河北省南皮县冯家口镇,北纬38°06',东经116°40'。南皮站所代表的类型区为环渤海缺水盐渍化类型区,土壤多为脱盐潮土,有部分盐化潮土和滨海盐土。地势平坦,海拔高度20 m以下。该区年降水量400~500 mm,水面蒸发力1 900~2 200 mm,太阳总辐射559.36 kJ/(cm²·a),≥10℃积温4 300℃。缺水、盐碱是这一地区农业持续发展的主要障碍因子。

1.2 材料与设 计

供试材料为番茄品种金鹏1号。

表1 0~100 cm土壤盐分特性

Table 1 Selected chemical properties of the soil of 0~100 cm layer

| 项目 Item | 全盐 Total salt | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ and K ⁺ |
|---|---------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|------------------|------------------------------------|
| 质量含量(×10 ⁻³ %) Mass content | 549.74 | 147.97 | 55.55 | 203.74 | 48.93 | 44.49 | 49.07 |

简易渗灌处理种植方式:挖宽20 cm深30 cm沟,添加玉米秸秆20 cm厚,踩实,上层填土整平,玉米秸秆上下均匀撒施农家肥做底肥。每沟均匀设置3根垂直插于秸秆层,高出地面约30 cm的PVC管,浇水时从管口灌水。番茄种植在沟的两侧。

2010年12月17日定植番茄,每棵浇500 mL定植水。缓苗后2011年1月27日开始进行不同灌溉处理。每次每沟浇水75 L,地面沟灌处理直接小沟灌溉,简易渗灌处理向PVC管口灌水。至2011年5月3日试验结束共浇水7次。其它田间管理同当地温室栽培。

1.3 研究方 法

于番茄盛果期取样测定各项指标。晴朗天气,剪取倒数第3或4片功能叶片,迅速剪碎,用WP4露点水势仪测定叶水势。选择晴朗天气,于上午9:00~11:00选取番茄植株上倒数第3或4片功能叶,用CB-1102便携式光合蒸腾仪测定光合速率、蒸腾速率和气孔导度等。并通过测得数据计算叶片蒸腾效率 Pn/Tr (Pn 、 Tr 分别为叶片净光合速率和叶片蒸腾速率)。叶绿素含量测定参照文献^[13]。采用烘干法测定干物质质量,将番茄植株根、茎、叶分开,放入大培养皿中置于鼓风烘箱中105℃下杀青,然后80℃下烘干,重量不再变化后取出称重,计算干物质含量。在试验结束时测定1次。2011年3月17日开始采摘番茄,采收后将商品果直接称重,统

计过熟数量和产量,计算单果重。取第二穗果进行果实品质测定。可溶性总糖含量用蒽酮比色法测定,维生素C含量用钼蓝比色法测定,有机酸含量用滴定法测定,可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝G-250法测定^[14]。

在日光温室南北向种植番茄。小区长6 m,宽2 m,每小区种植4行番茄,株距40 cm,行距大沟60 cm,小沟40 cm。每个处理3次重复。每个处理间用深埋1 m的双层塑料布隔开,防止侧渗,地表修20 cm高畦埂分割小区。0~100 cm土壤盐分特性如表1所示。

计过熟数量和产量,计算单果重。取第二穗果进行果实品质测定。可溶性总糖含量用蒽酮比色法测定,维生素C含量用钼蓝比色法测定,有机酸含量用滴定法测定,可溶性蛋白质含量用考马斯亮蓝G-250法测定^[14]。

用土钻在每个小区行上两棵番茄之间取土,每点取0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm 5个土层土样,测定土壤盐分特性。用双指示剂滴定法测定HCO₃⁻含量,用AgNO₃滴定法测定Cl⁻含量,用EDTA间接络合滴定法测定SO₄²⁻含量,用EDTA滴定法测定Ca²⁺、Mg²⁺含量,K⁺、Na⁺含量以阴阳离子平衡法求得,再以各个阴阳离子的质量之和求得土壤的含盐量(%)。将开始处理前土壤含盐量作为土壤初始含盐量,试验结束后的土壤含盐量作为土壤最终含盐量,根据盐分平衡原理^[15],可以得到不同灌溉处理0~1 m深度范围内土壤盐分变化情况。

2 结果分 析

2.1 微咸水简易渗灌对番茄根冠比和生物量的影响

如表2所示,沟灌条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比干物质质量显著降低,降幅7.07%;简易渗灌条件下,微咸水灌溉干物质质量与淡水灌溉相比无显著差异。灌溉淡水,简易渗灌处理干物质质量略低于沟灌处理,未达到显著水平;灌溉微咸水,简易渗灌处理番茄干物质质量略高于沟灌处理,差异不显著。

沟咸与沟淡相比根干重和地上部分干重均降低, 渗咸与渗淡相比根干重和地上部分干重均无显著差异; 渗淡与沟淡相比, 根干重略有下降, 地上部分干重显著降低; 渗咸与沟咸相比, 根干重和地上部分干

重均略有升高但无显著差异。沟灌条件下, 微咸水灌溉与淡水灌溉相比根冠比显著降低 12.21%, 简易渗灌条件下, 微咸水灌溉与淡水灌溉相比根冠比略有下降但没有达到显著水平。

表 2 不同处理生物量和根冠比分析

Table 2 Analysis of biomass and root-shoot ratio under different treatments

| 处理 Treatment | 根干重(g/株) Root dry weight | 地上部干重(g/株) Aerial part dry weight | 干物质量(g/株) Dry matter quantity | 根冠比 Root-shoot ratio |
|---|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 沟淡 Furrow irrigation with fresh water | 5.88 ± 0.59a | 62.26 ± 3.74a | 68.15 ± 1.33a | 0.094a |
| 沟咸 Furrow irrigation with saline water | 4.84 ± 0.23b | 58.50 ± 1.21b | 63.33 ± 1.99b | 0.083b |
| 渗淡 Simplified infiltration irrigation with fresh water | 5.75 ± 0.32a | 58.33 ± 2.19b | 64.08 ± 1.51ab | 0.099a |
| 渗咸 Simplified infiltration irrigation with saline water | 5.48 ± 0.43ab | 58.68 ± 0.47b | 64.15 ± 1.46ab | 0.093a |

注: 不同字母表示差异达 5% 水平。

Note: Different letters mean significant difference at 5%.

2.2 微咸水简易渗灌对番茄产量和品质的影响

2.2.1 产量的变化 由图 1 看出, 地面沟灌和简易渗灌两种灌溉方式下, 与淡水灌溉相比微咸水灌溉有降低番茄产量的趋势, 但没有达到显著水平。简易渗灌两个处理番茄产量显著高于地面沟灌两个处理, 渗淡和渗咸产量分别为 7.62 kg/m² 和 7.53 kg/m², 沟淡和沟咸产量分别为 7.39 kg/m² 和 7.27 kg/m²。灌溉淡水, 简易渗灌与沟灌相比每平方米产量提高 0.23 kg; 灌溉微咸水, 简易渗灌与沟灌相比每平方米产量提高 0.26 kg。4 个处理番茄单果重无显著差异(图 2), 沟淡、沟咸、渗淡、渗咸单果重依次为 154.41、152.69、149.46、155.45 g。

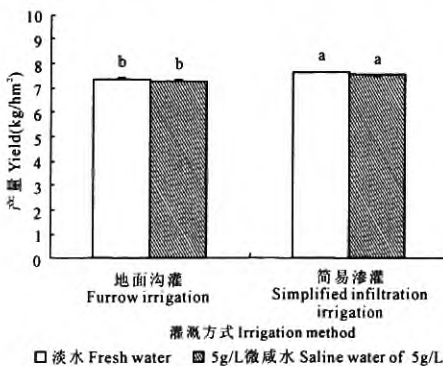


图 1 不同处理产量变化

Fig. 1 Changes of yield under different treatments

2.2.2 果实品质的变化 维生素 C (Vc) 和可溶性蛋白含量是番茄果实品质的两个重要指标。从表 3 看出, 地面沟灌和简易渗灌两种灌溉方式下, 与淡水相比, 微咸水灌溉番茄果实 Vc 含量有下降趋势但均没有达到显著水平, 4 个处理 Vc 含量无显著差

异。两种灌溉方式下, 微咸水灌溉均显著降低番茄果实可溶性蛋白质含量: 沟灌条件下, 微咸水灌溉与淡水灌溉相比果实可溶性蛋白质含量显著降低 11.43%; 简易渗灌条件下, 微咸水灌溉果实可溶性蛋白质含量比淡水灌溉降低 7.50%, 达到显著水平。灌溉淡水, 简易渗灌处理与沟灌处理相比果实可溶性蛋白质含量显著提高 14.29%; 灌溉微咸水, 简易渗灌处理比沟灌处理果实可溶性蛋白质含量提高 19.35%, 达到显著水平。渗咸可溶性蛋白质含量略高于沟淡, 差异不显著。

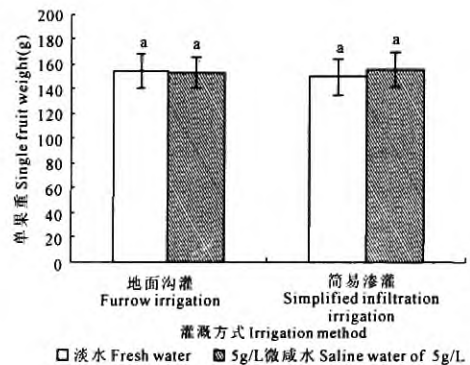


图 2 不同处理单果重变化

Fig. 2 Changes of fruit weight under different treatments

可溶性糖和有机酸含量影响番茄果实风味。从表 3 看出, 地面沟灌和简易渗灌两种条件下, 微咸水灌溉均显著提高番茄果实可溶性糖含量, 沟咸果实可溶性糖含量最高。沟灌条件下, 微咸水灌溉果实可溶性糖含量显著高于淡水灌溉; 简易渗灌条件下, 微咸水灌溉果实可溶性糖含量略高于淡水灌溉但没有达到显著水平。灌溉淡水和微咸水, 简易渗灌处

理果实有机酸含量比沟灌处理略有提高但均没有达到显著水平。沟灌和简易渗灌两种方式下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比糖酸比差异不显著,沟咸略高

于沟淡;简易渗灌处理与沟灌相比糖酸比显著降低,灌溉淡水和微咸水分别降低3.80%和5.01%;沟咸糖酸比最高。

表3 不同处理主要品质指标比较

Table 3 Comparison of main quality traits of tomato fruit under different treatments

| 处理 Treatment | 维生素C (mg/100g) Vitamine C | 可溶性蛋白质 (mg/g) Water-soluble protein | 可溶性糖(%) Water-soluble sugar | 有机酸(%) Organic acid | 糖酸比 Sugar-acid ratio |
|--|---------------------------------|--|-----------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 沟淡 Furrow irrigation with fresh water | 30.75 ± 0.55a | 1.05 ± 0.01b | 3.45 ± 0.14c | 0.23 ± 0.02b | 14.99ab |
| 沟咸 Furrow irrigation with saline water | 29.54 ± 0.73a | 0.93 ± 0.02c | 4.78 ± 0.17a | 0.32 ± 0.03a | 15.16a |
| 渗淡 Simplified infiltration irrigation with fresh water | 31.08 ± 0.86a | 1.20 ± 0.06a | 3.53 ± 0.12c | 0.25 ± 0.03b | 14.42b |
| 渗咸 Simplified infiltration irrigation with saline water | 30.27 ± 0.65a | 1.11 ± 0.01b | 4.03 ± 0.21b | 0.28 ± 0.2ab | 14.40b |

注:不同字母表示差异达5%。

Note: Different letters mean significant difference at 5% .

2.3 微咸水简易渗灌对番茄叶水势的影响

由图3可知,地面沟灌和简易渗灌两种条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比番茄叶水势显著降低,沟咸较沟淡降低0.15 MPa,渗咸较渗淡降低0.07 MPa。简易渗灌和沟灌处理灌溉淡水时叶水势分别为-0.54 MPa和-0.56 MPa,无显著差异;简易渗灌处理和沟灌处理灌溉微咸水时叶水势分别为-0.61 MPa和-0.71 MPa,渗咸叶水势显著高于沟咸0.1 MPa。

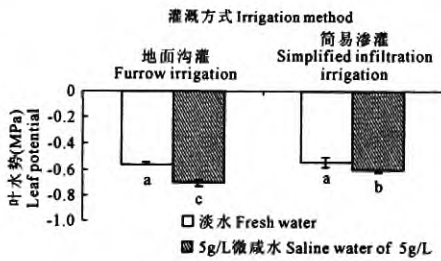


图3 不同处理叶水势分析

Fig.3 Analysis of leaf water potential under different treatments

2.4 微咸水简易渗灌对番茄叶片叶绿素含量的影响

由图4可看出,沟灌和简易渗灌两种条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比番茄叶片叶绿素含量显著降低:沟灌条件下,沟淡与沟咸叶绿素含量分别为1.33mg/g和1.04mg/g,沟咸比沟淡叶绿素含量降低21.73%;渗灌条件下,渗淡与渗咸叶绿素含量分别为1.21mg/g和1.19mg/g,无显著差异。灌溉淡水,渗淡比沟淡叶绿素含量略低但没有达到显著水平;灌溉微咸水,渗咸叶绿素含量显著高于沟咸,高出

14.12%。

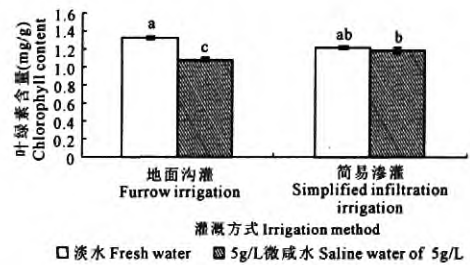


图4 不同处理番茄叶片叶绿素含量分析

Fig.4 Analysis of chlorophyll content under different treatments

2.5 微咸水简易渗灌对番茄光合特性的影响

表4为番茄光合参数分析。沟灌条件下,与淡水灌溉相比微咸水灌溉显著降低番茄光合速率,降幅14.29%;简易渗灌条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比光合速率略有降低但差异不显著。灌溉淡水,简易渗灌处理光合速率略高于沟灌处理;灌溉微咸水,简易渗灌处理光合速率显著高于沟灌处理,高出24.93%。沟灌条件下,与淡水灌溉相比微咸水灌溉显著降低番茄蒸腾速率,降幅19.74%;简易渗灌条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比蒸腾速率反而略有升高。灌溉淡水,简易渗灌处理蒸腾速率略低于沟灌处理;灌溉微咸水,简易渗灌处理蒸腾速率显著高于沟灌处理,高出36.39%。沟灌条件下,与淡水灌溉相比微咸水灌溉显著降低气孔导度,降幅33.46%;简易渗灌条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比气孔导度反而略有升高。灌溉淡水,简易渗灌处理气孔导度略低于沟灌处理;灌溉微咸水,简易渗

灌处理气孔导度显著高于沟灌处理,高出 44.02%。地面沟灌和简易渗灌两种灌溉方式下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比叶片蒸腾效率显著下降,沟咸比沟淡降低 4.27%,渗咸比渗淡降低 3.92%。灌溉淡

水,简易渗灌处理比沟灌处理蒸腾效率高 4.42%,达到显著;灌溉微咸水,简易渗灌处理比沟灌处理蒸腾效率高 4.79%,达到显著;渗咸蒸腾效率略高于沟淡,处于较好水平。

表 4 不同处理番茄净光合特性和蒸腾效率分析

Table 4 Analysis of photosynthetic characteristics and transpiration efficiency of tomato under different treatments

| 处理 Treatment | 光合速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] Photosynthetic rate | 蒸腾速率 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] Transpiration rate | 气孔导度 [$\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] Stomatal conductance | 叶片蒸腾效率 ($\mu\text{mol}/\text{mmol}$) Transpiration efficiency |
|---|--|---|---|---|
| 沟淡 Furrow irrigation with fresh water | 22.72 ± 1.65a | 3.99 ± 0.13a | 164.65 ± 3.87a | 6.33b |
| 沟咸 Furrow irrigation with saline water | 18.49 ± 0.86b | 3.05 ± 0.15b | 109.55 ± 2.32b | 6.06c |
| 渗淡 Simplified infiltration irrigation with fresh water | 24.77 ± 1.37a | 3.75 ± 0.18a | 152.95 ± 4.51a | 6.61a |
| 渗咸 Simplified infiltration irrigation with saline water | 23.10 ± 0.92a | 4.16 ± 0.12a | 157.77 ± 2.92a | 6.35b |

注:不同字母表示差异达 5% 水平。

Note: Different letters mean significant difference at 5%.

2.6 微咸水简易渗灌对土壤剖面盐分积累的影响

表 5 是不同处理对试验前后土壤全盐含量的影响。积累量为试验后土壤含盐量与实验前土壤含盐量的差值。淡水灌溉处理下,地面沟灌和简易渗灌两种灌溉方式均没有引起 0~100 cm 土层土壤全盐含量的升高,因为灌溉水的淋洗作用,土壤脱盐。微

咸水灌溉处理下,沟咸 20~40 cm 土层全盐含量升高 46.44%,其它土层脱盐;渗咸 20~40 cm 土层全盐含量升高 11.82%,40~60 cm 土层全盐含量升高 21.29%,60~80 cm 土层全盐含量升高 8.41%,表层 0~20 cm 和深层 80~100 cm 土层脱盐。

表 5 不同处理土壤全盐积累分析

Table 5 Analysis of total salt ion accumulation under different treatments

| 处理 Treatment | 土层深度 Soil depth (cm) | 试验前 Before test ($\times 10^{-3}\%$) | 试验后 After test ($\times 10^{-3}\%$) | 积累量 Accumulation amount ($\times 10^{-3}\%$) | 积累百分比 Accumulation rate(%) |
|--|----------------------------|--|---|--|-------------------------------|
| 沟淡 Furrow irrigation with fresh water | 0~20 | 118.95 | 92.14 | - | - |
| | 20~40 | 99.19 | 77.52 | - | - |
| | 40~60 | 110.70 | 71.02 | - | - |
| | 60~80 | 104.07 | 72.23 | - | - |
| | 80~100 | 110.98 | 66.55 | - | - |
| 沟咸 Furrow irrigation with saline water | 0~20 | 177.77 | 147.39 | - | - |
| | 20~40 | 99.23 | 145.32 | 46.08 | 46.44 |
| | 40~60 | 103.43 | 96.02 | - | - |
| | 60~80 | 97.06 | 89.62 | - | - |
| | 80~100 | 105.18 | 80.02 | - | - |
| 渗淡 Simplified infiltration irrigation with fresh water | 0~20 | 141.07 | 96.69 | - | - |
| | 20~40 | 106.47 | 80.32 | - | - |
| | 40~60 | 86.00 | 69.90 | - | - |
| | 60~80 | 97.11 | 74.07 | - | - |
| | 80~100 | 103.26 | 86.17 | - | - |
| 渗咸 Simplified infiltration irrigation with saline water | 0~20 | 150.71 | 138.74 | - | - |
| | 20~40 | 106.40 | 118.98 | 12.58 | 11.82 |
| | 40~60 | 90.95 | 110.31 | 19.36 | 21.29 |
| | 60~80 | 85.06 | 92.21 | 7.15 | 8.41 |
| | 80~100 | 105.39 | 95.41 | - | - |

注: - 表示盐分积累为负值,即土壤脱盐。

Note: - means soil desalination.

3 讨论

1) 本试验微咸水地面沟灌主要造成 20~40 cm 土层土壤积盐,而微咸水简易渗灌盐分分散在 20~80 cm 土层,0~40 cm 土壤盐分积累与微咸水地面沟灌相比较轻。这是由于简易渗灌系统秸秆层的存在,改变了水分、盐分运移规律,秸秆起到隔离抑盐的作用,0~40 cm 深度土壤盐分积累较轻。咸水灌溉带入的盐分与土壤本身化学元素及土壤颗粒发生相互作用,改变土壤理化特征,导致土壤水分和盐分运移规律的变化,影响土壤水分有效性和盐分分布^[16]。但如果盐分主要积累土层在根层以外,则对作物生长的影响较小^[17]。番茄作为浅根作物,根系主要分布在 0~40 cm 土层,进行微咸水灌溉时,实行简易渗灌能够维持较好的根层土壤环境,适于番茄生长。

2) 水势是植物水分状况的重要标志之一,它反映植物组织水分的能量大小。遇到盐胁迫,土壤水势会变得很低,植物通过降低组织水势来保持其持水力,应对水分胁迫。叶水势是植株水势的重要体现之一,一定范围内,植物受到的胁迫越严重,叶水势降低幅度越大。本试验地面沟灌和简易渗灌两种灌溉方式下,5 g/L 微咸水灌溉处理叶片水势显著低于淡水灌溉处理,简易渗灌条件下叶片水势的降低幅度较小,渗咸番茄叶水势水平显著高于沟咸。

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作用强弱,也是衡量作物耐盐性的重要生理指标之一^[18]。由于 NaCl 能促进叶绿素酶活性,使叶绿素分解,故咸水灌溉后叶绿素含量下降^[19]。本试验中,地面沟灌条件下,5 g/L 微咸水灌溉番茄叶片叶绿素含量显著低于淡水灌溉;简易渗灌条件下,与淡水灌溉相比 5 g/L 微咸水灌溉番茄叶片叶绿素含量下降,但没有达到显著水平。说明灌溉 5 g/L 微咸水,简易渗灌方式对番茄造成的水分、盐分胁迫较轻,番茄叶水势和叶绿素含量维持较高水平,利于叶片生理代谢活动的进行。

3) 光合作用是植物绿色细胞中发生的极其重要的代谢过程,是作物进行物质生产的基本过程。气孔导度表示植物气孔传导水汽和 CO₂ 的能力。在盐分胁迫下,叶片通过调节气孔的开度等方式来控制与外界水汽和 CO₂ 的交换,从而调节蒸腾速率和光合速率。叶片水汽交换与气孔导度直接相关,因此蒸腾速率变化趋势与气孔导度变化趋势一致,本试验即是如此:沟咸与沟淡相比气孔导度和蒸腾速

率均显著降低,渗咸与渗淡相比气孔导度和蒸腾速率反而略有升高但没有达到显著水平;渗淡与沟淡相比气孔导度和蒸腾速率略有降低但差异不显著,渗咸与沟咸相比气孔导度和蒸腾速率显著升高。而影响叶片光合速率的因素较多,光合速率下降可能是气孔导度下降引起,也可能是叶肉限制所致,本试验光合速率变化趋势与气孔导度变化趋势不尽相同:沟咸与沟淡相比,气孔导度和光合速率均显著降低;渗咸与渗淡相比,气孔导度略有升高而光合速率略有降低;渗淡与沟淡相比气孔导度略有降低而光合速率略升高,渗咸与沟咸相比,气孔导度和光合速率均显著升高。

蒸腾效率为一定生长期所积累的干物质量与消耗水分的比率,叶片水平表示为叶片光合速率和蒸腾速率的比值。其数值由光合和蒸腾速率数值计算得到,由于光合速率和蒸腾速率变化趋势和幅度差异,本试验 4 个处理蒸腾效率以渗淡最高,其次为沟淡和渗咸,沟咸最低。说明叶片水平水分利用效率渗淡最高;渗咸和沟淡差异不显著,沟咸显著低于其它 3 个处理。

4) 盐分胁迫干扰植物各种生理和代谢反应的结果,集中表现在对植物生长发育的干扰上,前者是盐分胁迫对植物分子水平和细胞水平的影响,后者则是盐分胁迫对植物整体水平的影响。沟灌条件下,微咸水灌溉植株干物质量显著低于淡水灌溉,而简易渗灌条件下,微咸水灌溉与淡水灌溉相比植株干物质量无显著差异。沟咸地上部、地下部干重与沟淡相比均显著降低,而渗咸与渗淡相比地上部和地下部干重均没有显著差异,说明沟咸对番茄地下、地上部分干物质积累均有抑制作用,而渗咸对番茄生长没有明显抑制作用。

两种灌溉方式下,与灌溉淡水相比,灌溉微咸水有使番茄减产的趋势,但均没有达到显著水平;简易渗灌两处理番茄产量显著高于地面沟灌。简易渗灌增产作用明显,可能是因为秸秆缓慢降解产生的热量有利于提高地温,产生的有机物作为肥料供给作物养分。产量由单果重和果实数量决定,本试验 4 个处理番茄单果重差异不显著,产量的差异由果实数量的差异引起,说明灌溉方式对番茄果实数量影响较大。与沟淡相比,沟咸提高番茄果实糖酸比,但降低营养物质可溶性蛋白质含量;渗咸与渗淡番茄果实糖酸比差异不显著,渗咸可溶性蛋白质含量显著低于渗淡但仍处于较高水平。综合看来,5 g/L 微咸水灌溉温室番茄,实行简易渗灌产量、品质较优。

4 结论

通过1 a数据可得到初步结论:温室番茄进行微咸水灌溉,实行简易渗灌根层土壤积盐较轻,使番茄保持较高的叶水势,较好地维持了植株叶片水分状态,叶片光合作用等生理活动维持在较高的水平,蒸腾效率较优,进而使植株干物质积累量较大,番茄产量提高,品质较好。关于连续使用微咸水灌溉对温室番茄生长和产量、品质的影响有待进一步的研究。

致谢:感谢中国科学院南皮农业生态系统试验站提供支持。

参考文献:

- [1] 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, 78:39-53.
- [2] Magán J J, Gallardo M, Thompson R B, et al. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soilless culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2008, 95(9):1041-1055.
- [3] Flowers T J, Ragab R, Malash N, et al. Sustainable strategies for irrigation in salt-prone Mediterranean: SALTMED[J]. *Agricultural Water Management*, 2005, 78(1/2):3-14.
- [4] 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.
- [5] Mitchell J P, Shennan C, Grattan S R, et al. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1991, 116:215-221.
- [6] 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.
- [7] 万书勤,康跃虎,王丹,等.华北半湿润地区微咸水滴灌番茄耗水量和土壤盐分变化[J].*农业工程学报*,2008,24(10):29-33.
- [8] 王淑红,张玉龙,虞娜,等.保护地渗灌管的埋深对土壤水盐动态及番茄生长的影响[J].*中国农业科学*,2003,36(12):1508-1514.
- [9] 雷廷武,肖娟,王建平,等.地下咸水滴灌对内蒙古河套地区蜜瓜用水效率和产量品质影响的试验研究[J].*农业工程学报*,2003,19(2):80-84.
- [10] Karlberg L, Rockstroma J, Annandale J G, et al. Low-cost drip irrigation - a suitable technology for southern Africa: An example with tomatoes using saline irrigation water[J]. *Agricultural Water Management*, 2007, 89(1/2):59-70.
- [11] 毕远杰,王全九,雪静.微咸水造墒对油菜生长及土壤盐分分布的影响[J].*农业工程学报*,2009,25(7):39-44.
- [12] Rajak D, Manjunatha M V, Rajkumar G R, et al. Comparative effects of drip and furrow irrigation on the yield and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in a saline and waterlogged vertisol[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 83(1/2):30-36.
- [13] 高俊凤,孙群,梁宗锁,等.植物生理学实验技术[M].西安:世界图书出版公司,2000.
- [14] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [15] 马文军,程琴娟,李良涛.微咸水灌溉下土壤水盐动态及对作物产量的影响[J].*农业工程学报*,2010,26(1):73-80.
- [16] 苏莹,王全九,叶海燕,等.咸淡轮灌土壤水盐运移特征研究[J].*灌溉排水学报*,2005,24(1):50-53.
- [17] 吴忠东,王全九.微咸水钠吸附比对土壤理化性质和入渗特性的影响研究[J].*干旱地区农业研究*,2008,26(1):231-236.
- [18] Rao G G, Rao G R. Pigment composition and chlorophyllase activity in pigment pea and Gingelley under NaCl salinity[J]. *Indian Journal Experimental Biology*, 1986, 19:768-770.
- [19] Liu J Y, Yi Y J, Zhang Q D. Effects of salt stress on chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat leave with different salt tolerance[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(2):46-49.

Effect of simplified infiltration irrigation with saline water on the growth and physiological characteristics of tomato in greenhouse

YANG Jing^{1,2}, LIU Meng-yu¹, DONG Bao-di¹, QIAO Yun-zhou¹, SHI Chang-hai¹,
ZHAI Hong-mei^{1,2,3}, LI Dong-xiao^{1,2}, LIU Yue-yan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Agricultural Water Resources, Institute of Genetics and Developmental Biology of Chinese Academy of Sciences, Hebei Provincial Key Laboratory of Water-saving Agriculture, Shijiazhuang, Hebei 050021, China;

2. Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. School of Chemical Engineering, Shijiazhuang University, Shijiazhuang, Hebei 050035, China)

Abstract: A greenhouse culture experiment was carried out to study the variation of the growth, yield, quality, leaf water potential and photosynthetic characteristic of tomato and soil salt accumulation under two irrigation methods (Furrow irrigation and simplified infiltration irrigation) with two kinds of water (Fresh water and 5 g/L saline water) including four treatments (Furrow irrigation with fresh water, Furrow irrigation with saline water, Simplified infiltration irrigation

with fresh water, Simplified infiltration irrigation with saline water). The results show that: (1) To compare the two irrigation methods, the plant dry matter is significantly less in simplified infiltration irrigation than in furrow irrigation when fresh water is used, but there is not much difference between the two methods when saline water is used. In furrow irrigation, the plant dry matter is 7.06% less with saline water than with fresh water, but there is not much difference between two kinds of water in simplified infiltration irrigation. (2) In two irrigation methods, irrigation with saline water reduces tomato yield, but not significantly. Compared with furrow irrigation, simplified infiltration irrigation increases fruit yield by 3.3%, and the fruit quality is better in this method when saline water is used. (3) When fresh water is used, there is not significant difference in leaf water potential and chlorophyll content between the two methods. When saline water is used, leaf water potential decreases by 0.07 ~ 0.15 MPa, chlorophyll content drops by 1.65% ~ 21.8%, and the decrease amplitude in simplified infiltration irrigation is much less than that in furrow irrigation. (4) In furrow irrigation, leaf photosynthesis rate, transpiration rate and stomatal conductance decrease by 14.29%, 19.74% and 33.46% with saline water compared to fresh water, reaching significant level, but there is not much variation in these indexes and the transpiration efficiency is greatly improved in simplified infiltration irrigation. (5) The salt accumulation in 0 ~ 40 cm soil layer in simplified infiltration irrigation is less than that in furrow irrigation when saline water is used. It is preliminarily concluded that simplified infiltration irrigation with saline water for greenhouse tomato keeps the salt accumulation in root layer in low level, leaf water in good state, leaf photosynthesis rate and transpiration efficiency in high level, thus increasing fruit yield and improving its quality.

Keywords: tomato; saline water; simplified infiltration irrigation; yield; quality; leaf water potential; photosynthetic characteristic; soil salt

(上接第 69 页)

Effect of vertical line source irrigation method on grape growth and water use efficiency in extremely arid regions

WANG Yong-jie¹, WANG Quan-jiu^{1,2*}, SU Li-jun¹, NAN Qing-wei¹

(1. Institute of Water Resource, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry Land Farming on the Loess Plateau, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The effects of irrigation methods on the manner and scope of soil moisture may influence the crop root water uptake, thereby affecting crop growth and water use efficiency. With conventional drip irrigation method as the control treatment, a field experiment was carried out to study the characteristics of grape growth and water use efficiency under vertical line source irrigation method. The results show that during the key stages of grape growth, under pre and post irrigation, the average moisture content of the soil root layer can be up to 75.1% and 82.8% of field capacity respectively, while under conventional drip irrigation the field water-holding ratio is 60% and 72%; and the net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance under vertical line source irrigation are higher than those under conventional drip irrigation, the net photosynthetic rate experiences both stomatal limitation and non-stomatal limitation, the non-stomatal limitation caused by water stress under vertical line source irrigation occurs later than under conventional drip irrigation, and the performance is not obvious; Vertical line source irrigation method in terms of aboveground biomass growth is slightly better than conventional drip irrigation method, but does not show significant differences between the two; Vertical line source drip irrigation method increases the yield by 1.2% compared to the conventional way; And it can also increase the water use efficiency in the leaf level by 68.8%.

Keywords: vertical line source irrigation method; soil moisture; physiological indexes; yield; water use efficiency; extremely arid region