

冀南平原大棚微咸水滴灌对土壤水盐分布 及葡萄生长发育的影响

焦艳平^{1,2}, 王罕博^{1,2}, 陈文彬^{1,2}, 赵名彦^{1,2}, 顾宝群^{1,2}, 任佳梦³

(1.河北省水利科学研究院, 河北 石家庄 050051; 2.河北省农业节水技术创新中心, 河北 石家庄 050051;

3.太原理工大学水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:为确定适宜矿化度的微咸水滴灌方式,并为指导不同葡萄品种的微咸水滴灌灌溉制度提供理论依据,在冀南平原地区开展大棚葡萄微咸水滴灌试验,研究了淡水(CK)、 $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 微咸水($2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)、 $3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 微咸水($3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)和 $4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 微咸水($4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)4个不同矿化度水分灌溉处理对土壤水盐分布、葡萄生长和光合特性及果实品质的影响。结果表明:(1) $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的土壤盐分累积小于影响葡萄生长的盐分阈值,而 $3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的盐分累积已超出该盐分阈值。(2)微咸水滴灌会减缓生育前期葡萄新梢的生长速度,且矿化度越高减缓程度越大。(3)随着矿化度的增加,叶片净光合速率、胞间 CO_2 浓度呈现逐渐降低的趋势,但 $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理的叶片水分利用效率高于其他处理。(4) $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理‘火焰无核’葡萄的糖酸比高于该品种下的其他矿化度处理,且较CK处理显著提高11.5%,品质最佳;而 $3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理‘红巴拉多’葡萄的糖酸比显著低于其他3个处理,平均降低了9.5%,品质最差。(5)随着矿化度增加,2个品种葡萄产量呈现显著降低的趋势, $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理降低幅度较小。因此,微咸水($2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)滴灌能使葡萄叶片保持较高水平的净光合速率,同时显著降低无效蒸腾,提高了叶片水分利用效率和糖酸比,用于该地区大棚‘火焰无核’和‘红巴拉多’混种可促品质保产量。

关键词:微咸水滴灌;葡萄;盐分阈值;新梢生长;净光合速率;糖酸比

中图分类号:S275.6;S663.1 **文献标志码:**A

Effects of brackish water drip irrigation on soil water-salt distribution and grape growth in greenhouse of South Hebei Plain

JIAO Yanping^{1,2}, WANG Hanbo^{1,2}, CHEN Wenbin^{1,2}, ZHAO Mingyan^{1,2}, GU Baoqun^{1,2}, REN Jiameng³

(1. Hebei Institute of Water Science, Shijiazhuang, Hebei 050051, China; 2. Hebei Technology Innovation Center of Agricultural Water Saving, Shijiazhuang, Hebei 050051, China; 3. School of Hydraulic Science and Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: In order to determine the suitable salinity of brackish water drip irrigation and provide a theoretical basis for guiding the drip irrigation system of brackish water for different grape varieties, a drip irrigation experiment with brackish water for grape production in greenhouse was carried out in South Hebei Plain. The experiment studied the effects of four different salinity treatments of fresh water (CK), $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ brackish water ($2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), $3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ brackish water ($3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) and $4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ brackish water ($4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) on soil water and salt distribution, grape growth, photosynthetic characteristics and fruit quality. The results showed that: (1) The salt accumulation degree of $2\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ treatment was less than the salt threshold of normal grape growth; However, the salt accumulation of $3\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ and $4\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ treatments exceeded the salt threshold of normal growth. (2) Brackish water drip irrigation slowed down the growth rate of grape new shoots in the early stage, and the higher mineralization degree, the greater the mitigation degree. (3) With the increase of salinity, the net photosynthetic rate and intercellular CO_2 con-

收稿日期:2021-10-26

修回日期:2022-03-23

基金项目:河北省水利科技计划项目(2016-77, 2019-09, 2020-07);国家重点研发计划课题(2016YFC0401403)

作者简介:焦艳平(1970-),女,河北唐山人,博士,正高级工程师,主要从事农业灌溉用水及全社会节约用水研究。E-mail:1105678581@qq.com

王罕博(1986-),男,湖北襄阳人,博士,工程师,主要从事农田水利、作物生理抗逆性及土壤微生态环境研究。E-mail:wanghan-bo0014@163.com

centration of leaves showed a trend of gradual decrease. However, the highest water use efficiency was found at $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$. (4) The sugar-acid ratio coefficient of 'Flame Seedless' grapes in $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ treatment was higher than that of other salinity treatments of this variety, which was significantly higher than that in CK treatment by 11.5%, and it had the best quality. The sugar-acid ratio of 'Balado Red' grapes in $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ treatment was significantly lower than the other three treatments with an average reduction of 9.5%, and the quality of the grape was the worst. (5) With the increase of salinity, the grape yield showed a significant decrease trend, and the decrease range of $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ treatment was smaller. Therefore, drip irrigation with brackish water ($2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) maintained a higher net photosynthetic rate in grape leaves, which significantly reducing ineffective transpiration and improving leaf water use efficiency and sugar-acid ratio coefficient. This drip irrigation method of 'Flame Seedless' and 'Balado Red' greenhouse mixed planting improved the quality and keep the yield in this area.

Keywords: brackish water drip irrigation; grape; salt threshold; new shoot growth; net photosynthetic rate; sugar acid ratio

微咸水或者咸水与淡水按一定比例混合后用于农田灌溉,可以有效保障淡水资源短缺下的农业生产发展^[1]。我国微咸水资源储量多、分布广、开采条件较好^[2],高效利用微咸水资源已成为缓解淡水供需矛盾的重要途径。利用咸水进行灌溉必须要防止土壤中的盐分积累达到限制作物生长的水平,应控制水盐系统的盐分平衡以及尽量降低盐分对作物的危害程度。利用咸水灌溉的关键是选择恰当的灌溉方式。目前,咸水的灌溉方式主要有传统地面灌溉、普通喷灌以及微灌。现代农业微灌溉技术包括微喷灌、滴灌、渗灌等,均属于节水型灌溉方式。其中,滴灌被认为是咸水灌溉的较好方式,一方面相对于喷灌来说其可以完全避免叶面因直接吸收盐分受到损伤的情况,另一个优势是滴头下面土壤盐分的分布形状有利于作物生长,并且可使土壤维持一个较高的基质势^[3]。因此,研究如何合理推广应用微咸水滴灌技术成为缓解水资源短缺的关键举措。

早在上世纪末,因较喷灌具有更高的节水增产效果,滴灌便成为干旱缺水地区合理开发利用咸水资源的优选灌溉方式,国内外学者对此做了大量相关研究。有研究发现,深层土壤盐分含量随着微咸水矿化度增加而显著增加,滴灌对土壤上层的盐分有淋洗作用,可形成一个低盐区域,利于棉花根系的生长^[4]。膜下滴灌可使作物根区形成脱盐区,抑制深层渗漏^[5],也可缓解土壤次生盐渍化。在南疆地区采用淡咸水比为4:1,即矿化度为2.36~3.39 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的微咸水滴灌时,棉花植株体内盐分累积较少,对其养分吸收及品质的影响较小^[6];低盐度微咸水对棉花生长反而有促进作用,该研究将影响棉花吸水率和产量的盐分阈值定为6 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ ^[7];微咸水灌溉量对棉花籽棉产量的影响要大于灌溉水矿

化度的影响^[8]。滨海地区滴灌试验表明,利用电导率3.2~4.7 $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$ 的微咸水滴灌番茄,与淡水(0.7 $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$)滴灌相比,番茄株高、茎粗无明显差异,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 $\leq 15.4\%$ ^[9];吴蕴玉等^[10]的研究同样指出,微咸水滴灌可以提高番茄果实的密度、可溶性固形物、总酸、Vc和糖酸比;近期研究也发现,微咸水灌溉下的番茄可溶性固形物含量显著高于淡水处理,且添加生物炭有利于缓解微咸水胁迫,提高作物生物量^[11]。天津静海开展的田间试验中,油葵蕾期采用3 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的微咸水滴灌非但未抑制其生长,还促进了油葵品质的提升,使其株高、茎粗、盘粒数、百粒重及产量均超过淡水灌溉处理^[12]。以上研究均表明微咸水灌溉会提高作物果实的品质,且适宜的矿化度不但对作物生长和产量没有不良影响,反而会起到促进作用。

在以色列的内盖夫沙漠,使用微咸水滴灌盐中度敏感的葡萄藤,当盐分达到4.8 $\text{ms} \cdot \text{cm}^{-1}$,其绿叶面积指数最大值(GAI为5.2)降低了约40%,且单个叶片单位面积的气体交换速率受盐度的影响较小^[13]。也有研究指出,微咸水(3 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)灌溉不会对冬小麦抽穗开花期叶片光合作用产生负面影响。这些研究表明,适宜矿化度的微咸水灌溉一定程度上可提升作物叶片利用光能的潜力^[14]。

目前微咸水滴灌用于温室葡萄的生产模式研究还处于初级阶段,尤其在冀南平原微咸水资源比较丰富的地区,利用微咸水滴灌对葡萄叶片生理、生长发育、品质及产量影响的报道较少。本文通过研究冀南平原大棚微咸水滴灌对土壤水盐分布及葡萄生长的影响,分析不同矿化度微咸水滴灌下叶片光合作用、葡萄品质和产量特征的变化,为合理开发微咸水滴灌葡萄种植模式提供一定科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2017—2019 年在河北省南部邯郸市曲周县德众葡萄生态科普园进行。该站位于北纬 $36^{\circ}40'$, 东经 $114^{\circ}55'$, 海拔 39 m, 属于暖温带半湿润半干旱大陆性气候, 多年平均气温 13.2°C , 多年平均日照 $2\,454.4\text{ h}$, 多年平均无霜期 206.6 d , 多年平均降水量 518.5 mm 。该站浅层微咸水埋深 5 m, 矿化度为 $4.2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 1 m 土层田间持水量(重量含水量)为 21.9%, 土壤干容重为 $1.46\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, 土壤质地为潮土类砂壤土。耕作层土壤基本理化特性: 全氮 $0.96\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全磷 $0.83\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全钾 $25.22\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 有机质 $13.67\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $58.98\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷 $41.81\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾 $305.00\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 硝态氮 $23.70\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 铵态氮 $5.99\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 全盐 $1.33\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, pH 8.44。葡萄种植塑料大棚为拱形结构冷棚, 南北长度 100 m, 东西跨度 20 m, 拱形最高处距地面约 5 m, 顶部和两侧各有 2 个通风口用于降温控湿, 网纱材质。

1.2 试验设计

供试葡萄品种为‘火焰无核’与‘红巴拉多’混种, 试验植株为 2013 年定植株。起垄定植, 垄高 10 cm, 垄宽 50 cm, 垄间距 200 cm, 覆膜宽 60 cm, 葡萄株距 0.7 m, ‘火焰无核’与‘红巴拉多’均匀混种, 种植密度 $7\,200\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。每株葡萄留 8 个结果枝, 每枝留一个穗果, 弱枝不留。试验于 2017 年 8 月安装滴灌设施开始, 10 月土壤本底取样调查, 2018 年 5—10 月进行第 1 年度土壤水盐监测和葡萄生长调查, 2019 年 3—9 月进行第 2 年度土壤水盐监测和葡萄生长调查。

大棚试验区总面积 $104\text{ m}\times 20\text{ m}$, 共栽植 10 行葡萄, 分为 4 个小区, 每个小区为 1 个处理, 小区面积 $52\text{ m}\times 10\text{ m}$, 每个小区种植 5 行葡萄, 每行葡萄布置 1 条滴灌管, 滴头间距 30 cm, 设计工作压力 10 m, 流量 $3\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$, 小区随机区组分布, 3 个重复。

灌水方案: 根据压力变送器和电极电导率变送器信息反馈技术, 利用智能测控混合水设备使管道混合水矿化度维持在淡水 ($0.7\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)、 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 4 个水平, 4 个处理名称分别为 CK、 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。每个处理埋有 TDR 管 6 根, 每个重复 2 根, 1 根在滴灌管正下方, 1 根距离滴灌管 20 cm, 埋深 70 cm, 用于实时监测土壤含水率以指导灌水时间。当 20~40 cm 土层土壤含水率低于田间持水率的 65% 时开始灌水, 滴灌设

计湿润层深 40 cm, 设计湿润比 50%。试验开始前, 通过预试验确定每次灌水量: 萌芽期、开花期、果实膨大期单次滴灌灌水量 $270\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 。采收后和施用基肥时期单次灌水量 $360\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 打开支管旁通, 进行小孔出流沟灌。

施肥方案: 萌芽期、开花期和果实膨大期进行滴灌水肥一体化施肥, 萌芽期和开花期分别施尿素 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 果实膨大期施尿素 $75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、磷酸二氢钾 $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、氮磷钾复合肥 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。采收后和基肥期间(9 月下旬)施肥结合沟灌进行, 单次沟施有机肥 $12\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 在垄沟内进行机械旋耕。4 个处理施肥和生产管理措施一致, 根据实际情况喷施农药防治病虫害, 试验期内无大规模病虫害发生。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤水分和土壤浸出液电导率 2018 年 5—10 月和 2019 年 3—9 月葡萄生长季每隔 20~25 d 取一次样, 滴灌管正下方和距离滴灌管 20 cm 各取 2 处, 随机取样, 每个处理 4 个重复。采用土钻取土, 取样土壤深度分别为 0~7、7~15、15~25、25~35、35~50、50~60 cm, 实验室采用 FE30 梅特勒数显电导率仪测定土水比 1:5 的土壤浸提液电导率 ($EC_{1:5}$, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$); 取部分样本利用残渣烘干-质量法^[15]测定土壤水溶性盐总量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), 烘干法测土壤含水量。

1.3.2 新梢长度和新梢茎粗 2019 年选择每个处理滴头滴水正常、植株长势均一有代表性的中间行作为样本区, 每个区选 3 块并做标记。在新梢摘心前, 3 月 19 日—4 月 23 日, 7 d 为一个测量周期, 每个样本区选取长势一致、树体健康的 12 株葡萄, 对新梢长度及基径(新梢底部 1 cm 处直径)进行定期测量, 采用钢卷尺测量新梢长度 (cm), 用游标卡尺测量新梢茎粗 (mm)。

1.3.3 叶片光合速率 2019 年 4 月 12 日(葡萄花序展露期, 叶片生长较为茂盛时), 每个小区选 6 株长势一致的植株, 于晴天 8:00 开始对顶端嫩叶(自下而上倒数第一片完全展开叶)使用 LI-6400 型光合测定仪(环境温度和 CO_2 浓度不控制, 控制光强避免外界环境剧烈变化, 设置 6400-02B 红蓝光源, 蓝光占 10%, 叶室内光合有效辐射设定为 $1\,500\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 流速设定为 $300\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$), 测量叶片光合速率 P_n ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、蒸腾速率 T_r ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、气孔导度 G_s ($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、胞间 CO_2 浓度 C_i ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) 等生理指标, 并计算

叶片水分利用效率 $LWUE(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}) = P_n/T_r$, 气孔限制值 $L_s(\%) = (1 - C_i/C_a) \times 100\%$, 式中 C_a 为大气 CO_2 摩尔分数 ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$), C_i 为胞间 CO_2 浓度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)^[16]。

1.3.4 果实品质 可溶性固形物 (Soluble solid) 含量测定:果实采摘后,每个处理选取 30 穗果实,每个果穗分上、中、下 3 个部位各取 3 个果粒,直接挤汁用手持糖量计 (PAL-福, ATAGO, Japan) 测定总可溶性固形物含量 (%);重复 3×30 次。可滴定酸 (Titratable acidity) 含量测定:果实采摘后,每个处理选取 30 穗果实,每个果穗分上、中、下 3 个部位各取若干果粒,称取 100 g 样品,混合后挤汁过滤,蒸馏水定容 2 000 mL,取 25 mL 汁液于 50 mL 三角瓶中,加入酚酞指示剂 3 滴,用 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钠标准溶液滴定至微红色 1 min 不褪色;记录消耗氢氧化钠的体积 (V)。同一被测样品重复测定 3 次。可滴定酸 (%) = $V \times 0.1 \times K \times 80 \times 1\,000 / W$, 式中, V 为消耗氢氧化钠标准液的体积 (mL), W 为样品质量 (g), K 为主要酸的换算系数,以 0.067 (苹果酸) 计。还原糖 (Reducing sugar) 含量 (%) 采用斐林试剂比色法测定^[17],以葡萄糖计。糖酸比 (Sugar-acid ratio) 为还原糖与可滴定酸含量之比。

1.3.5 考种测产 根据地块大小和植株整齐度合理地确定测产样点,采用跳跃式取样法决定测产株。测定样点每行选取 10 株葡萄,通过调查每株果穗数、单穗重、单粒重,计算产量。产量 ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 平均单穗重 $\times$ 平均每株果穗数 $\times$ 每公顷株数。

1.4 数据处理及方法

采用 SAS 软件对数据进行处理和分析,采用 LSD 法 ($P < 0.05$) 进行差异显著性检验,相关性分析采用 Pearson 法。图形使用 Excel 2016 构建。

2 结果与分析

2.1 不同矿化度微咸水滴灌对土壤水分剖面分布的影响

图 1 为 2 年不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄坐果转色期土壤水分剖面分布图。坐果转色期深层土 (30~40 cm) 的含水量最高,较浅层土 (0~30 cm) 平均提高了 36.1%,差异达显著水平 ($P < 0.05$, 下同),这是因为葡萄在这个生育期要适当控水有利于转色,虽然没有灌溉但土壤水分即可满足作物生长所需。两年不同处理间土壤含水率变化基本一致,即随着灌溉矿化度的变化,各处理土壤水分含量在整个埋深上变化不显著,灌水是引起浅层土壤含水率上升的主要因素。

2.2 不同矿化度微咸水滴灌对土壤盐分分布和累积的影响

图 2 为 2018 年不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄各生育期土壤盐分剖面分布图 (供试 2 个葡萄品种平均值,下同)。每年 3 月底春灌完后,不同矿化度微咸水滴灌试验开始实施,由图 2 可知,整个葡萄生长季各处理的盐分分布基本表现为随着土层深度的增加而波动式提高,主要集中在 30~60 cm 土层,较 0~30 cm 土层平均显著高出 22.9% ($P < 0.05$)。

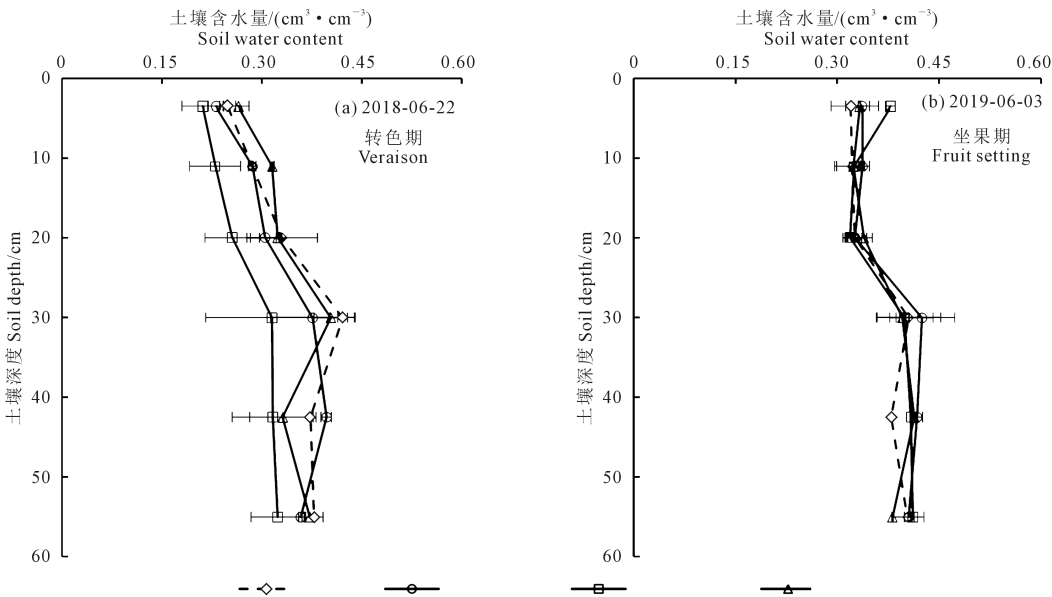


图 1 两年不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄坐果转色期土壤剖面水分分布
Fig.1 Soil profile water distribution of grape at fruit setting and veraison under two years of brackish water drip irrigation with different salinity

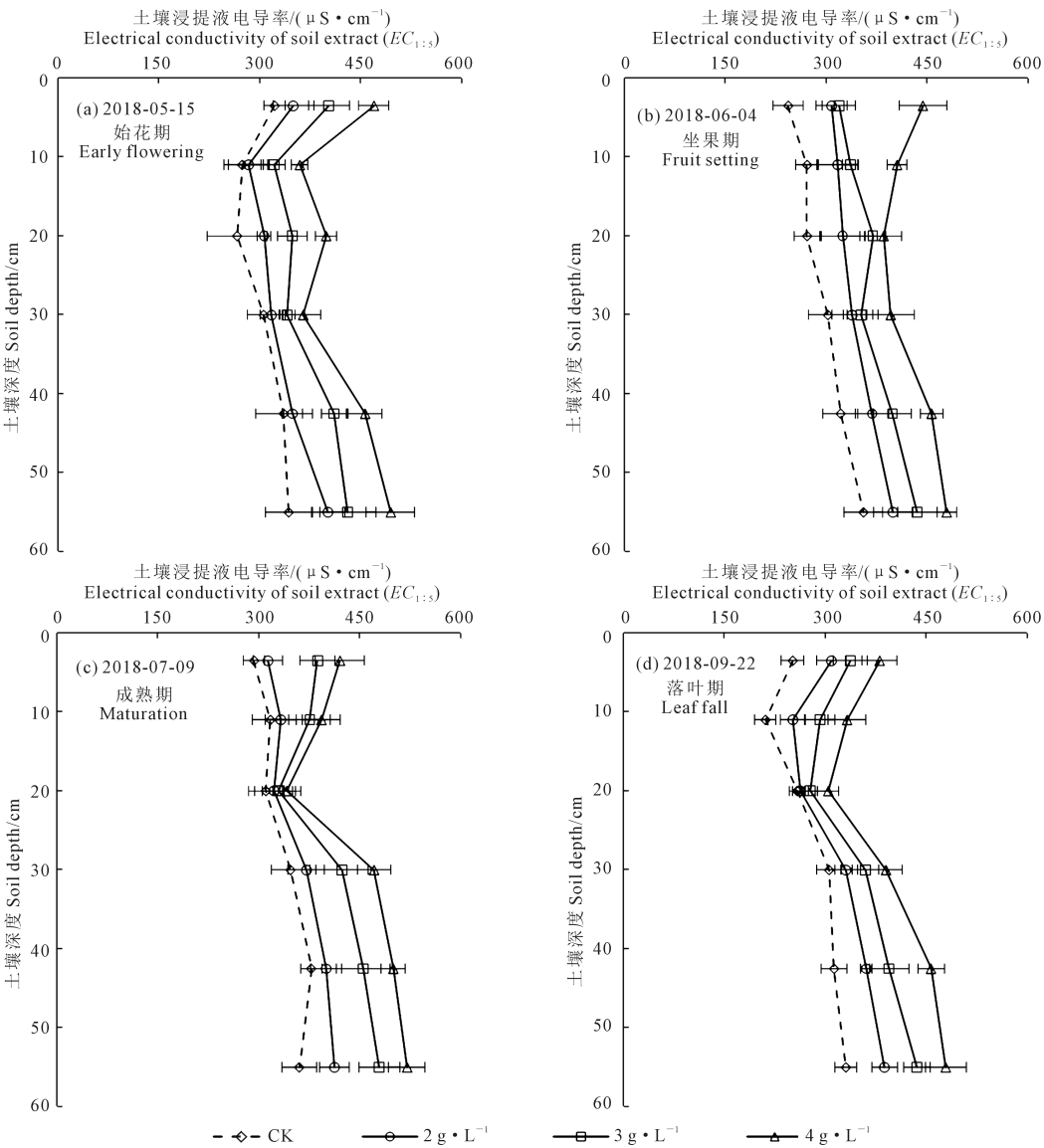


图 2 不同矿化度微咸水滴灌葡萄不同生育期的土壤剖面盐分分布 (2018 年)
Fig.2 Soil salt distribution in different growth stages of grapes under drip irrigation with brackish water with different salinity (2018)

葡萄全生育期,各处理的土壤盐分含量变化趋势基本一致,但处理间差异显著, $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的各土层盐分含量最高,其次是 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,均高于CK处理。 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理各土层盐分的平均含量较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高11.8%,较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高23.5%,较CK处理显著提高39.2%; $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理各土层盐分的平均含量较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高10.5%,较CK处理显著提高24.5%; $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理各土层盐分的平均含量较CK处理显著提高12.7%。但是,在葡萄转色期至落叶期,20 cm 土层4个处理的土壤盐分含量差异开始减小,尤其在成熟期,该土层4个处理之间差异不显著。

图 3 为 2019 年不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄各生育期土壤盐分剖面分布图。由图 3 可见,0~

60 cm 土层土壤主要集中在较深层土壤(30~60 cm),较0~30 cm 土层平均显著高出19.4%。春灌期4个处理之间各土层的盐分含量差异不大;坐果期3个微咸水($2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)滴灌处理的各土层盐分含量显著高于CK处理,平均高出29.0%;到了成熟期,4个处理之间的浅层土壤(0~30 cm)盐分含量差异显著, $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著增加22.0%, $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著增加19.6%, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较CK处理显著增加38.2%;落叶期,4个处理之间的深层土壤(30~60 cm)盐分含量差异逐渐显著, $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 显著增加24.7%, $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 显著增加15.3%, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较CK显著增加15.7%,整体表现为土壤盐分逐渐由浅层土向深层土扩散。

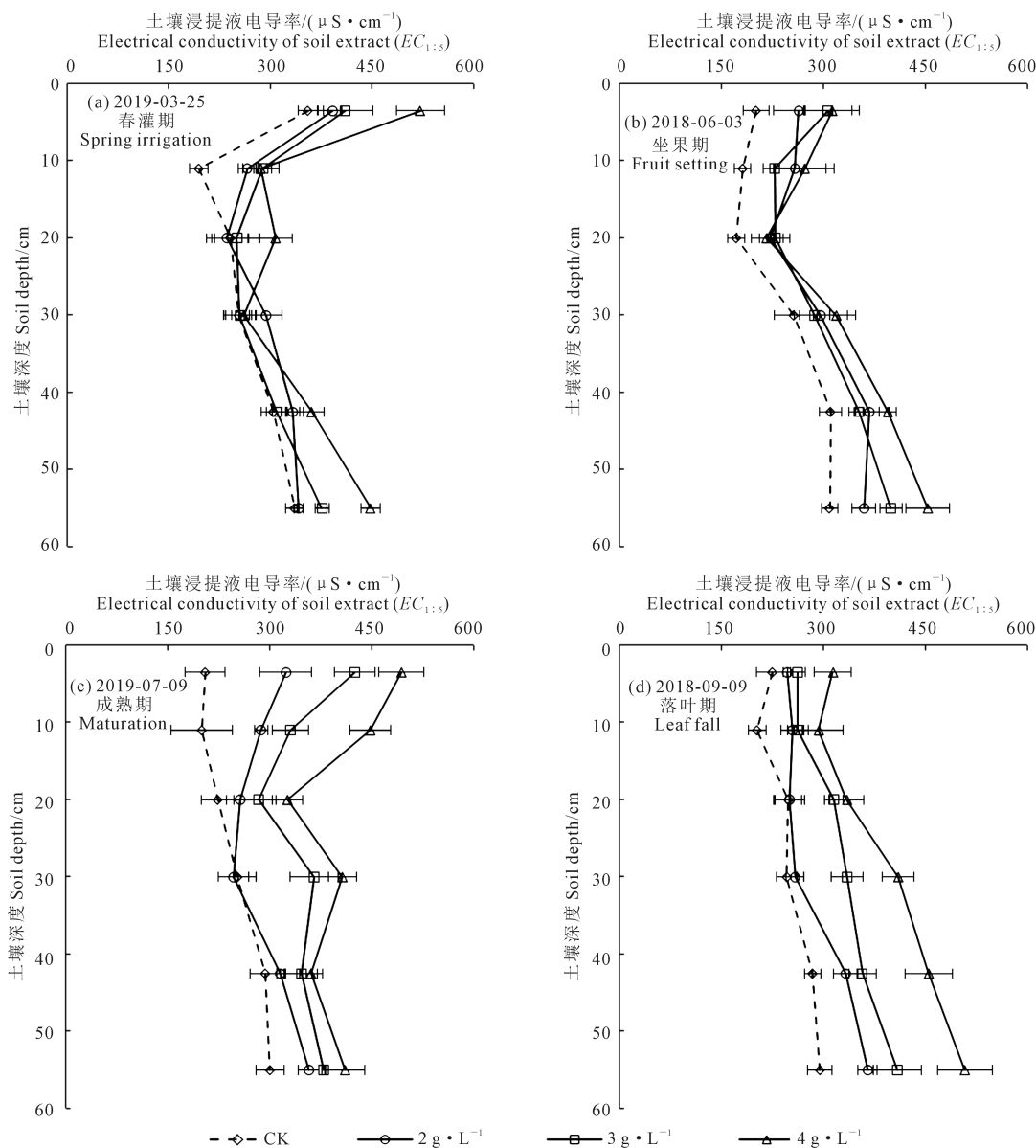


图 3 不同矿化度微咸水滴灌葡萄不同生育期的土壤剖面盐分分布 (2019 年)

Fig.3 Soil salt distribution in different growth stages of grapes under drip irrigation with brackish water with different salinity (2019)

综合分析 2 年不同矿化度微咸水滴灌试验的盐分分布数据发现,土壤盐分随着土层深度和灌溉水矿化度的增加而提高,土壤盐分主要集中在 30~60 cm 土层,这是因为滴灌点水源扩散的特点,会使盐离子被淋洗到深层土壤。另外,不同处理土壤各土层间盐分的差异随葡萄生育期推进也有明显变化,表现为春灌期~坐果期各处理浅层土盐分差异显著,成熟期~落叶期深层土的盐分差异显著,这是因为葡萄是深根系树种,到了生育后期,不同矿化度微咸水灌溉条件下葡萄生长状况不同,对土壤盐分的利用程度也出现了明显的差异。

表 1 为连续 2 a 不同矿化度微咸水滴灌后的土

壤剖面盐分累积情况。由表 1 可知,连续 2 a 灌溉,葡萄落叶后 2、3 $g \cdot L^{-1}$ 和 4 $g \cdot L^{-1}$ 处理的 0~30 cm 土体 2 a 平均盐分含量分别比 CK 处理增加 11.0%、24.4% 和 39.3% (仅 2 $g \cdot L^{-1}$ 处理与 CK 差异不显著),30~60 cm 土体 2 a 平均盐分含量分别比 CK 处理增加 15.7%、33.4% 和 66.3%;0~60 cm 土体 2 a 平均盐分含量分别比 CK 处理增加 13.6%、29.4% 和 54.1%,各处理差异均显著。说明 3 $g \cdot L^{-1}$ 和 4 $g \cdot L^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌均显著提高了 0~30 cm 和 30~60 cm 土体的盐分含量,而 2 $g \cdot L^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌显著提高 30~60 cm 土体的盐分含量。另外,2019 年 0~60 cm 土层土壤盐分含量略低于 2018 年,是因为试验开始之前当地葡萄种植已普遍采用

表 1 不同矿化度微咸水滴灌下不同土层深度的土壤电导率/($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)

Table 1 Soil electric conductivity at different depths under drip irrigation with brackish water of different salinity

年份 Year	土深/cm Soil depth	开花前 Before flowering				落叶后 After leaf fall			
		CK	2 g · L ⁻¹	3 g · L ⁻¹	4 g · L ⁻¹	CK	2 g · L ⁻¹	3 g · L ⁻¹	4 g · L ⁻¹
2018	0~30	287±29c	313±20c	357±23b	409±17a	240±15c	274±17b	302±20ab	339±23a
	30~60	328±34c	356±19bc	394±24ab	438±29a	316±18c	360±15b	397±23ab	442±25a
	0~60	308±31c	334±21bc	375±24b	423±23a	278±16c	317±16b	349±21ab	390±24a
2019	0~30	263±18c	298±19bc	316±29ab	371±29a	225±19b	250±15b	280±13a	314±29a
	30~60	298±17bc	322±13b	313±17bc	356±17a	275±15d	319±15c	367±26b	458±33a
	0~60	280±18b	310±16b	315±23b	364±23a	250±17d	284±15c	324±20b	386±31a

注:表中数字为平均值±标准差;各处理中的不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平下差异显著。下同。
Note: The figures in the table mean average± standard deviation; different lowercase letters in each treatment indicate significant difference at $P<0.05$ level. The same as below.

微咸水地面灌溉的方式,导致试验区土壤基础含盐量比较高,随着微咸水滴灌试验的实施含盐量有所降低,这也间接说明了微咸水灌溉葡萄的种植模式更宜采用滴灌。

根据换算公式 $EC_e = 1.33 + 5.88EC_{1:5}$ ^[18] 计算,连续 2 a 滴灌,葡萄落叶后 2、3 g · L⁻¹和 4 g · L⁻¹处理的 0~30 cm 土体盐分含量 EC_e 分别为 1.5、1.6 dS · m⁻¹和 1.8 dS · m⁻¹,各处理的 30~60 cm 土体盐分含量 EC_e 分别为 1.8、2.2 dS · m⁻¹和 2.7 dS · m⁻¹,与葡萄耐盐阈值 1.8 dS · m⁻¹^[19] 相比较,2 g · L⁻¹矿化度滴灌处理 2 个土层的盐分累积均小于影响葡萄正常生长的盐分阈值,但 3 g · L⁻¹和 4 g · L⁻¹矿化度滴灌处理的 30~60 cm 土体盐分累积已超出该阈值,可能会对葡萄生长产生不利影响。

2.3 不同矿化度微咸水滴灌对葡萄新梢长度和茎粗的影响

如图 4 所示,春季剪枝(3 月中旬)前所有处理新梢长度都处于增长状态,新梢生长趋势大致相同,4 月 9 日之前,CK 处理的新梢生长速度最快,2 g · L⁻¹和 3 g · L⁻¹处理的生长速度次之,4 g · L⁻¹处理的新梢生长速度最慢;4 月 9 日之后微咸水处理的新梢生长逐渐加快,表明微咸水滴灌会减缓生育前期葡萄新梢的生长速度,且矿化度越高减缓程度越大。不同矿化度微咸水滴灌对葡萄新梢长度和茎粗有显著影响,尤其在植株新梢生长期(3 月 26 日—4 月 16 日),微咸水矿化度对新梢长度和茎粗影响显著,各处理新梢长度和茎粗的平均值均表现为 4 g · L⁻¹<3 g · L⁻¹<2 g · L⁻¹<CK,4、3 g · L⁻¹和 2 g · L⁻¹处理分别比 CK 处理新梢长度的平均值低 37.1%、28.0%和 14.1%,分别比 CK 处理新梢茎粗的平均值低 19.3%、15.6%和 8.7%。

2.4 不同矿化度微咸水滴灌对葡萄叶片光合特征的影响

微咸水滴灌 1 a 后,于 2019 年 4 月 12 日对葡萄

花序膨大期不同处理的叶片光合特征参数进行了测定,由表 2 可知,微咸水灌溉 3 个处理的叶片净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂浓度和蒸腾速率均显著低于 CK 处理,分别平均降低了 20.8%、39.6%、10.0%和 27.3%;叶片气孔限制值均显著高于 CK 处理,平均增加了 31.3%。微咸水灌溉 3 个处理之间的叶片气孔导度和蒸腾速率差异不显著,但 3 个处理之间的叶片净光合速率、胞间 CO₂浓度和气孔限制值存在显著差异,随着灌溉微咸水矿化度的增加,叶片净光合速率、胞间 CO₂浓度呈现逐渐降低的趋势,而气孔限制值呈现逐渐增高的趋势;与 CK 处理相比,2、3 g · L⁻¹和 4 g · L⁻¹处理的叶片净光合速率分别显著降低了 12.1%、20.9%和 29.4%,胞间 CO₂浓度分别显著降低了 30.6%、42.0%和 46.0%,气孔限制值分别显著增加了 18.8%、32.9%和 42.2%。此外,2 g · L⁻¹的叶片水分利用效率最高,比 CK 处理显著高出 15.4%,其他 3 个处理(CK、3 g · L⁻¹和 4 g · L⁻¹)之间的叶片水分利用效率差异不显著,3 g · L⁻¹处理的略高于 CK 和 4 g · L⁻¹处理,CK 和 4 g · L⁻¹处理的叶片水分利用效率最低,可能是 2 g · L⁻¹矿化度微咸水灌溉引起了叶片小部分气孔关闭,蒸腾速率显著降低,但各项光合参数降低的幅度没有蒸腾速率降低幅度大,胞间 CO₂浓度和净光合速率依然保持着较高水平,但是 CK 处理的葡萄叶片气孔完全处于开放状态,蒸腾速率和无效蒸腾量较大,虽然光合参数比 2 g · L⁻¹处理有显著提高,但叶片失水更快,最终叶片水分利用效率显著低于 2 g · L⁻¹处理;而 3 g · L⁻¹和 4 g · L⁻¹处理的叶片气孔大部分关闭,不利于叶片与外界进行气体交换,胞间 CO₂浓度和净光合速率均降至较低水平,且降低幅度大大超过蒸腾速率的降低幅度,因此叶片水分利用效率也较低。

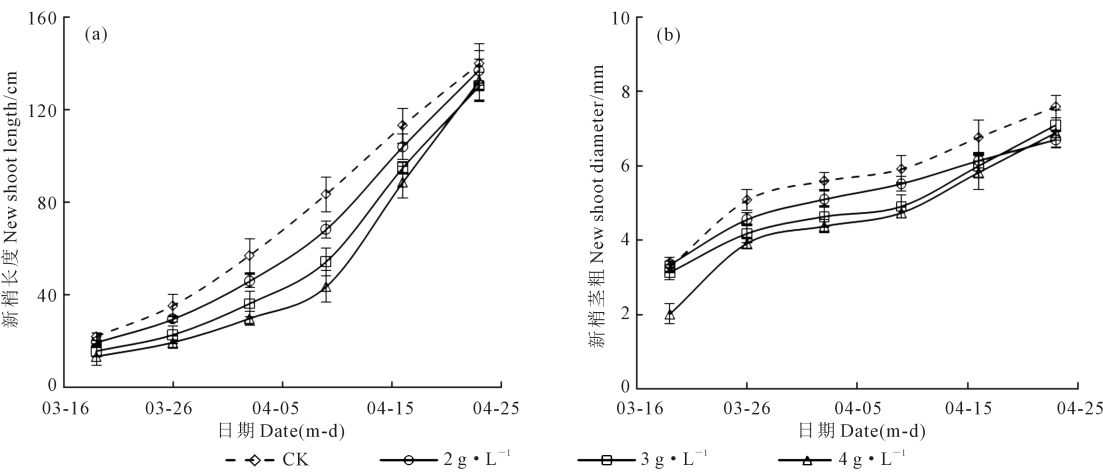


图 4 不同矿化度微咸水滴灌下葡萄植株新梢生长量的变化(2019 年)

Fig.4 Changes of grape new shoot growth under drip irrigation of brackish water with different salinity (2019)

表 2 不同矿化度微咸水滴灌下葡萄叶片的光合特征参数

Table 2 Photosynthetic characteristic parameters of grape leaves under drip irrigation of brackish water with different salinity						
处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate (P_n) /($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	气孔导度 Stomatal conductance (G_s) /($\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	胞间 CO_2 浓度 Intercellular CO_2 concentration (C_i) /($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	蒸腾速率 Transpiration rate (T_r) /($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	叶片水分利用效率 Leaf water use efficiency ($LWUE$) /($\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1}$)	气孔限制值 Stomatal limitation (L_s) /%
CK	9.26±0.29a	0.22±0.01a	326.63±3.42a	4.05±0.35a	2.28±0.13b	0.19±0.008d
2 g · L ⁻¹	8.14±0.23b	0.16±0.02b	305.90±6.27b	3.09±0.27b	2.64±0.17a	0.23±0.005c
3 g · L ⁻¹	7.32±0.28c	0.13±0.03b	294.45±6.63b	2.91±0.28b	2.51±0.13ab	0.26±0.004b
4 g · L ⁻¹	6.53±0.29d	0.12±0.03b	281.99±5.06c	2.85±0.23b	2.30±0.13b	0.28±0.004a

2.5 不同矿化度微咸水滴灌对葡萄籽粒品质和产量的影响

如图 5 所示,不同矿化度微咸水滴灌对各葡萄品种籽粒内在品质影响有所不同。不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种籽粒的可溶性固形物含量有显著影响,‘红巴拉多’的可溶性固形物质量分数变幅为 16.6%~19.1%,‘火焰无核’的可溶性固形物质量分数变幅为 18.6%~21.6%(图 5a)。不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种可溶性固形物的影响有所不同,随着矿化度的增加,‘红巴拉多’的可溶性固形物质量分数呈先减少后增加的趋势,而‘火焰无核’的可溶性固形物质量分数呈逐渐增加的趋势。3 g · L⁻¹处理‘红巴拉多’的可溶性固形物质量分数显著低于其他 3 个处理,平均降低 9.9%,而其他 3 个处理之间差异不显著;4 g · L⁻¹处理‘火焰无核’的可溶性固形物质量分数显著高于其他 3 个处理,平均高出 15.3%,其他 3 个处理之间差异不显著,表明较高矿化度水平的微咸水灌溉对提高‘火焰无核’籽粒可溶性固形物含量有促进作用。

如图 5b 所示,不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种籽粒的可滴定酸质量分数影响有显著差别,‘红巴拉多’的可滴定酸质量分数变幅为 24.7%~

25.7%,4 个处理之间差异不显著;而‘火焰无核’的可滴定酸质量分数变幅为 32.3%~43.5%,4 个处理之间差异均为显著水平,表现为随着矿化度的增加,可滴定酸质量分数呈先减少后增加的趋势,即 2 g · L⁻¹处理<CK 处理<3 g · L⁻¹处理<4 g · L⁻¹处理,4 g · L⁻¹处理较 3 g · L⁻¹处理提高 6.4%,3 g · L⁻¹处理较 CK 处理提高 12.4%,CK 处理较 2 g · L⁻¹处理提高 12.6%,表明合理矿化度的微咸水灌溉可降低‘火焰无核’籽粒可滴定酸的含量。

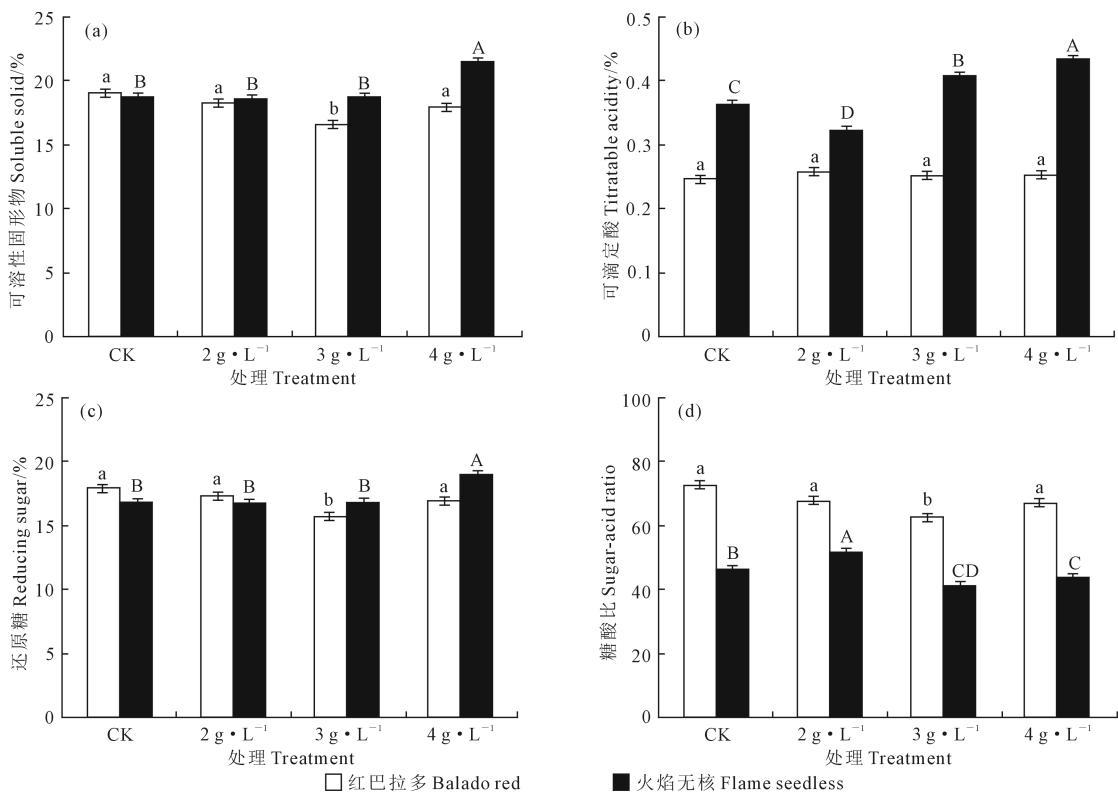
‘红巴拉多’还原糖质量分数变幅为 15.8%~18.0%,‘火焰无核’的还原糖质量分数变幅为 16.7%~19.0%(图 5c)。不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种的影响有所不同,随着矿化度的增加,‘红巴拉多’的还原糖质量分数呈先减少后增加的趋势,而‘火焰无核’的还原糖质量分数呈逐渐增加的趋势,与可溶性固形物变化趋势相同,分析结论一致。

由图 5d 可知,‘红巴拉多’的糖酸比变幅为 62.6%~72.6%,‘火焰无核’的糖酸比变幅为 41.3%~51.8%。不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种籽粒的糖酸比影响有显著差别,随着矿化度的增加,‘红巴拉多’的糖酸比呈先减少后增加的趋势,

而‘火焰无核’的糖酸比呈先增加后减少的趋势。 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的‘红巴拉多’葡萄籽粒糖酸比显著低于其他 3 个处理,平均降低了 9.5%,其他 3 个处理之间差异不显著,表明 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理有降低‘红巴拉多’葡萄糖酸比的风险,会降低果实的口感;‘火焰无核’葡萄籽粒的各处理糖酸比表现为 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理>CK 处理> $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理> $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 CK 处理显著提高 11.5%,CK 处理较 $4\text{ g}\cdot$

L^{-1} 处理显著提高 6.2%, $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理提高 5.9%,表明合理的微咸水灌溉方式($2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理)可以提高葡萄糖分并降低酸度,使‘火焰无核’葡萄口感更佳。

如图 6 所示,不同矿化度微咸水滴灌对 2 个葡萄品种产量有显著影响,随着矿化度的增加,2 个品种的葡萄产量均呈逐渐减少的趋势,而且 2 年变化趋势基本一致。从 2 a 数据来看,‘红巴拉多’葡萄



注:柱上不同小写和大写字母分别表示‘红巴拉多’和‘火焰无核’不同矿化度之间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters and capital letters in the bars indicated significant differences among different salinity of ‘Balado red’ and ‘Flame seedless’ respectively ($P<0.05$). The same below.

图 5 不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄果实内在品质指标(2019 年)

Fig.5 Internal quality indexes of grape berries under drip irrigation with brackish water of different salinity (2019)

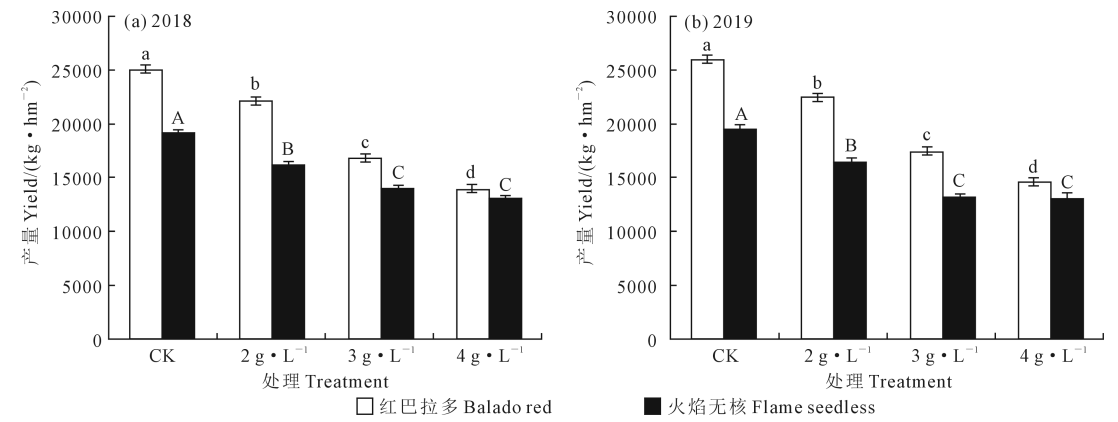


图 6 两年不同矿化度微咸水滴灌下的葡萄产量

Fig.6 Grape yield under drip irrigation with brackish water of different salinity in two years

产量规律为 CK 处理 $>2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 $>3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 $>4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理,处理之间均存在显著差异,CK 处理的产量较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高14.3%, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的产量较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高30.7%, $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的产量较 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高19.9%;‘火焰无核’葡萄产量规律为 CK 处理 $>2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 $>3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理,CK 处理较 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高18.7%, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理较 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理显著提高19.5%, $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理之间没有显著差异。以上结果表明微咸水滴灌不利于葡萄产量的形成,且随着灌溉微咸水矿化度的增加,葡萄产量呈现显著下降的趋势,因此,尽量选择低矿化度 $<2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的微咸水进行滴灌。

3 讨 论

微咸水灌溉会改变土壤水盐分布,给土壤带来一定量 Na^+ ,而 K^+ 、 Ca^{2+} 等离子势必减少,维持土壤平衡的离子关系被打破^[20],影响其他离子的渗透调节机制。此外,微咸水带来的盐分使土壤渗透势增加,土壤-植物根系-植物叶片的水势梯度下降,叶片细胞膨压降低、细胞扩张速度减小、叶绿体破坏,从而导致作物生长速度和光合作用减弱,最终对干物质积累和产量产生不良影响^[21]。但是,有研究表明低矿化度微咸水灌溉对作物叶片水分利用效率有积极作用。田德龙等^[22]指出,随着灌溉水矿化度增加,向日葵的叶片蒸腾速率下降,叶片水分利用效率会随之提高;张余良等^[23]发现在 $900\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 灌水量下,矿化度 $3.5\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 微咸水处理的冬小麦叶片蒸腾速率和气孔导度分别比淡水处理降低了19%和23%,叶片水分利用效率略有增加;Hnilicková等^[24]研究得出,当 NaCl 溶液浓度大于 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,芝麻菜叶片的蒸腾速率开始下降,到 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,叶片的气孔导度和净光合速率也开始显著降低,叶片水分利用效率有所增加,但是,当浓度超过 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,叶片的蒸腾速率、气孔导度和净光合速率不再随盐分浓度增加而改变。以上研究结果产生的原因可能是低矿化度的微咸水灌溉后土壤盐分含量缓慢上升,土壤溶液的渗透势随之增长,土壤-根系-叶片的水势梯度减小,起初引起部分气孔关闭,导致了叶片蒸腾速率和气孔导度一定程度下降,而净光合速率还维持在较高水平,进而提高了叶片水分利用效率;高矿化度的微咸水灌溉,使得土壤水势梯度显著下降,非气孔因素逐渐成为光合作用主导限制因素,光合器官的光合活性显著下降,叶片净光合速率呈现显著降低趋

势,作物生长受到抑制。本研究也发现,当微咸水矿化度为 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,土体盐分含量没有显著增加,葡萄叶片水分利用效率明显高于淡水处理;当微咸水矿化度 $\geq 3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,土体盐分含量显著增加,超过了葡萄植株耐盐阈值,叶片胞间 CO_2 浓度和净光合速率显著下降,大大减缓前期葡萄新梢的生长速度,并对后期葡萄籽粒的产量和品质造成不利影响。也有研究表明,咸水灌溉($\geq 3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)会抑制大多数葡萄的生长和生物量积累,导致葡萄新梢生长量、生物量、根冠比和存活率减小,显著降低葡萄的产量和品质^[25-26],与本文结论基本一致。

合理的微咸水灌溉以及管理不仅能够节约淡水资源,还能保证作物的产量和品质。研究表明,沙质土壤比粘性土壤更适合咸水灌溉,不会引起土壤的恶化,主要是靠地表的排水系统和季风雨的淋洗等综合作用^[27]。适量的微咸水灌溉可增加作物的抗逆能力,同时还可提高果实糖度,增加硬度,降低酸度等^[28]。温室大棚用微咸水灌溉的番茄含糖量比淡水灌溉的要高^[29]。不少研究^[2,30]还发现,微咸水灌溉比旱作具有不同程度的增产效果,微咸水($2\sim 4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$)灌溉的小麦玉米连作系统,比不灌水的雨养农业作物增产1.2~1.6倍;用微咸水灌溉的冬小麦、大麦比旱作条件下增产3~4倍。而且,在合理土壤改良的基础上,种植适宜的作物品种,采用适宜的矿化度微咸水滴灌,搭配富氧灌溉措施等^[31],非不会对土壤和作物造成危害,还能大大提高作物品质。本研究发现, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌可以提高葡萄果实糖分含量并降低其酸度,使‘火焰无核’葡萄口感更佳。很多研究证实适度的土壤盐胁迫可以提高果实可溶性固形物和还原糖的含量,降低可滴定酸的含量,糖酸比也显著性提高^[32-33],这可能是因为盐胁迫环境下,植株根系吸水功能受到抑制,产生渗透胁迫和离子失衡,在轻度胁迫下,植物体内淀粉会转化为可溶性糖,以降低细胞渗透势,维持细胞膨压^[34],同时盐分也为作物生长提供了必需的矿物质营养,有利于果实品质提升。也有研究表明,利用不同浓度的 NaCl 溶液喷施葡萄叶片,中、低浓度盐分可提高果实可溶性固形物和还原糖含量,但降低了果实的香气品质,而高盐度则不利于品质形成,原因之一在于其影响了叶片功能^[35-36]。本文结论与这些研究结果一致。

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^[37],有利于植物根系吸水;同时滴灌

点水源扩散的特点,会使盐分离子被淋洗到作物根系分布范围以外,盐分淋洗效果好^[38]。本研究也得出选择矿化度 $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的微咸水滴灌,不但对土壤环境没有显著影响,还会提高葡萄叶片水分利用效率和果实品质,保证产量,与原先的微咸水地面灌相比,各土层含盐量均有所降低,表明在大棚葡萄种植中,微咸水滴灌技术是最适宜的微咸水灌溉方式,具有很好的推广应用前景。另外,在微咸水滴灌方式下,将葡萄品种嫁接在特定砧木上,是否可以增强葡萄对土壤盐分胁迫的耐受性,仍有待进一步研究,这对于实现咸水资源的高效利用具有重要的理论意义和实用价值。

4 结 论

1) $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度滴灌处理的较深土层 (30~60 cm) 土壤盐分含量有所增加,其 0~60 cm 土层盐分累积均小于影响葡萄生长的盐分阈值;而 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度滴灌后土壤盐分累积已超出植株正常生长的盐分阈值,对葡萄生长产生不利影响。

2) 微咸水滴灌会减缓生育前期葡萄新梢的生长速度,且矿化度越高减缓程度越大。

3) 与其余微咸水灌溉处理相比, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌处理的叶片保持了较高水平的净光合速率,无效蒸腾量显著降低,叶片水分利用效率有所提高; $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $4\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌均显著抑制葡萄叶片的光合作用。

4) $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 矿化度微咸水滴灌可提高‘火焰无核’葡萄的糖酸比,使果实口感更佳; $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 微咸水会降低‘红巴拉多’葡萄糖酸比。随着矿化度增加葡萄产量呈现显著降低的趋势,与 $3\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 相比, $2\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的微咸水滴灌处理产量降幅较小。

参 考 文 献:

[1] 崔丙健,高峰,胡超,等. 非常规水资源农业利用现状及研究进展[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(7): 60-68.
CUI B J, GAO F, HU C, et al. The use of brackish and reclaimed waste water in agriculture;a review[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(7): 60-68.

[2] 刘静,高占义. 中国利用微咸水灌溉研究与实践进展[J]. 水利水电技术, 2012, 43(1): 101-104.
LIU J, GAO Z Y. Advances in study and practice of brackish water irrigation in China[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(1): 101-104.

[3] 陈书飞,何新林,汪宗飞,等. 微咸水滴灌研究进展[J]. 节水灌溉, 2010,(2): 6-9.
CHEN S F, HE X L, WANG Z F, et al. Development of research on drip irrigation of saline water[J]. Water Saving Irrigation, 2010,(2): 6-9.

[4] 胡宏昌,田富强,张治,等. 干旱区膜下滴灌农田土壤盐分非生育期淋洗和多年动态[J]. 水利学报, 2015, 46(9): 1037-1046.
HU H C, TIAN F Q, ZHANG Z, et al. Soil salt leaching in non-growth period and salinity dynamics under mulched drip irrigation in arid area [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2015, 46(9): 1037-1046.

[5] YANG G, CHEN D, HE X L, et al. Land use change characteristics affected by water saving practices in Manas River Basin, China using Landsat satellite images[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2017, 10(6): 123-133.

[6] 刘雪艳,丁邦新,白云岗. 微咸水膜下滴灌对棉花植株盐分、养分吸收及品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(4): 128-135.
LIU X Y, DING B X, BAI Y G. Effects of drip irrigation with brackish water under film mulch on salinity, nutrients and quality of cotton plants[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(4): 128-135.

[7] YANG G, LI F D, TIAN L J, et al. Soil physicochemical properties and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) yield under brackish water mulched drip irrigation [J]. Soil and Tillage Research, 2020, 199: 104592.

[8] 张建军,彭珂珊,曹伟. 不同矿化度微咸水亏缺灌溉对棉花生长与产量的影响[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(10): 41-47.
ZHANG J J, PENG K S, CAO W. Effects of different salinity brackish water deficit irrigations on cotton growth and yield[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2021, 67(10): 41-47.

[9] 李丹,万书勤,康跃虎,等. 滨海盐碱地微咸水滴灌水平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 D, WAN S Q, KANG Y H, 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.

[10] 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 Y Y, JIN X, XU Y, et al. Effects of saline water irrigation on tomato growth, quality and yield under straw mulching [J]. Water Saving Irrigation, 2015,(7): 21-24.

[11] 武育芳,杨官凯,曹行行,等. 不同基质下咸、淡水灌溉对番茄生长和品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(5): 153-159, 168.
WU Y F, YANG G K, CAO H H, et al. Effects of brackish and fresh water irrigation on tomato growth and quality under different substrates[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(5): 153-159, 168.

[12] 毕远杰,王全九,雪静. 油菜蕾期对微咸水水质的适应性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4): 31-36.
BI Y J, WANG Q J, XUE J. Adaptability study on salinity of irrigation water to bud stage of *Helianthus annuus* [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2009, 27(4): 31-36.

[13] BEN-ASHER J, TSUYUKI I, BRAVDO B A, et al. Irrigation of grapevines with saline water: I. Leaf area index, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis[J]. Agricultural Water Management, 2006, 83(1/2): 13-21.

[14] 庞桂斌,张立志,丛鑫,等. 微咸水灌溉下冬小麦光合作用与光响应曲线模拟[J]. 农业机械学报, 2021, 52(11): 333-342.
PANG G B, ZHANG L Z, CONG X, et al. Leaf photosynthesis and light response curve simulation of winter wheat under brackish water irrigation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Ma-

- chinery, 2021, 52(11): 333-342.
- [15] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000: 183-187.
- BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. 3th ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 183-187.
- [16] 庞桂斌,徐征和,王海霞,等.微咸水灌溉对冬小麦光合特征及产量的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(1): 35-41.
- PANG G B, XU Z H, WANG H X, et al. Effect of irrigation with slight saline water on photosynthesis characteristics and yield of winter wheat [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(1): 35-41.
- [17] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000: 201-202.
- LI H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 201-202.
- [18] 辛景峰,张国印,李韵珠.土壤盐渍度不同表示方法的比较和相关研究[C]//石元春,李韵珠,陆锦文.盐渍土的水盐运动.北京:北京农业大学出版社,1986: 158.
- XIN J F, ZHANG G Y, LI Y Z. Comparison and related research on different representation methods of soil salinization degree [C]//SHI Y C, LI Y Z, LU J W. Water and salt movement in saline soil. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1986: 158.
- [19] ZHANG X K, WALKER R R, STEVENS R M, et al. Yield-salinity relationships of different grapevine (*Vitis vinifera* L.) scion-rootstock combinations [J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2002, 8(3): 150-156.
- [20] 焦会青,盛钰,赵成义,等.基于COMSOL软件的绿洲盐渍化土壤中多离子耦合运移模型构建[J].农业工程学报,2018,34(15): 100-107.
- JIAO H Q, SHENG Y, ZHAO C Y, et al. Modeling of multiple ions coupling transport for salinized soil in oasis based on COMSOL [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(15): 100-107.
- [21] 张金林,李惠茹,郭姝媛,等.高等植物适应盐逆境研究进展[J].草业学报,2015,24(12): 220-236.
- ZHANG J L, LI H R, GUO S Y, et al. Research advances in higher plant adaptation to salt stress [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(12): 220-236.
- [22] 田德龙,史海滨,闫建文,等.盐分胁迫下水、肥对向日葵光合特性的影响[J].灌溉排水学报,2012,31(5): 73-77.
- TIAN D L, SHI H B, YAN J W, et al. Effects of water fertilizer on sunflower photosynthetic characteristics under the salt stress [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2012, 31(5): 73-77.
- [23] 张余良,陆文龙.微咸水灌溉对小麦生理特性及产量的影响[J].河南农业科学,2007,(8): 31-34.
- ZHANG Y L, LU W L. Effects of brackish water irrigation on output and physiological characters of wheat [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2007, (8): 31-34.
- [24] HNILICKOVÁ H, HNILICKA F, MARTINKOVA J, et al. Effects of salt stress on water status, photosynthesis and chlorophyll fluorescence of rocket [J]. Plant Soil and Environment, 2017, 63(8): 362-367.
- [25] HEPAKSOY S, BEN-ASHE J, DE MALACH Y, et al. Grapevine irrigation with saline water; effect of rootstocks on quality and yield of Cabernet Sauvignon [J]. Journal of Plant Nutrition, 2006, 29(5): 783-795.
- [26] 朱红,王录,孔令刚,等.磁化咸水灌溉对葡萄幼苗生长及离子稳态的影响[J].中国水土保持科学,2020,18(1): 131-139.
- ZHU H, WANG L, KONG L G, et al. Effect of irrigation with magnetized saline water on grape seedlings and Ionic homeostasis [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2020, 18(1): 131-139.
- [27] LETEY J, HOFFMAN G J, HOPMANS J W, et al. Evaluation of soil salinity leaching requirement guidelines [J]. Agricultural Water Management, 2011, 98(4): 502-506.
- [28] 吴忠东,王全九.微咸水连续灌溉对冬小麦产量和土壤理化性质的影响[J].农业机械学报,2010,41(9): 36-43.
- WU Z D, WANG Q J. Effect of saline water continuous irrigation on winter wheat yield and soil physicochemical property [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(9): 36-43.
- [29] GAWAD G A, 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.
- [30] 王辉.我国微咸水灌溉研究进展[J].节水灌溉,2016,(6): 59-63.
- WANG H. Advances in study of brackish water irrigation in China [J]. Water Saving Irrigation, 2016, (6): 59-63.
- [31] 翟红梅,冯俊霞,韩伟,等.微咸水富氧灌溉对番茄生长、品质及土壤微生物的影响[J].江苏农业科学,2017,45(12): 85-88.
- ZHAI H M, FENG J X, HAN W, et al. Effects of brackish water oxygen-enriched irrigation on tomato growth, quality and soil microorganisms [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(12): 85-88.
- [32] SUAREZ D L, CELIS N, ANDERSON R G, et al. Grape rootstock response to salinity, water and combined salinity and water stresses [J]. Agronomy, 2019, 9(6): 321.
- [33] 王杨.长期海水灌溉对赤霞珠果实品质及土壤性质的影响[D].泰安:山东农业大学,2016.
- WANG Y. The effects of continuous seawater irrigation on soil and fruit quality [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2016.
- [34] 夏世龙.盐碱条件对甜瓜生长发育与糖代谢的影响[D].大庆:黑龙江八一农垦大学,2015.
- XIA S L. The effects of saline-alkali conditions on growth and glucose metabolism of muskmelon [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2015.
- [35] PEPPI M C, FIDELIBUS M W. Effects of forchlorfenuron and abscisic acid on the quality of 'Flame Seedless' grapes [J]. HortScience, 2008, 43(1): 173-176.
- [36] 孙红,岳倩宇,相广庆,等.不同浓度的NaCl处理对葡萄果实品质形成的影响[J].植物生理学报,2018,54(1): 63-70.
- SUN H, YUE Q Y, XIANG G Q, et al. Impacts of different concentrations of NaCl on formation of grape berry quality [J]. Plant Physiology Journal, 2018, 54(1): 63-70.
- [37] 李菊,张富仓,王艳丽,等.灌水量和滴灌频率对甘肃省河西地区春玉米生长和水分利用的影响[J].中国农业大学学报,2021,26(10): 8-20.
- LI J, ZHANG F C, WANG Y L, et al. Effects of irrigation amount and drip irrigation frequency on spring maize growth and water use in Hexi area of Gansu Province [J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(10): 8-20.
- [38] DONG S D, WAN S Q, KANG Y H, et al. Establishing an ecological forest system of salt-tolerant plants in heavily saline wasteland using the drip-irrigation reclamation method [J]. Agricultural Water Management, 2021, 245: 106587.