

不同矿化度灌溉水对春小麦种子萌发特性的影响

杨娜^{1,2,3}, 白新禄^{1,2,3}, 胡志伟^{1,2,3}, 王德胜^{1,2,3}, 支金虎^{1,2,3}

(1. 塔里木大学农学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 南疆干旱区特色作物遗传改良与高效生产兵团重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300; 3. 南疆绿洲农业资源与环境研究中心, 新疆 阿拉尔 843300)

摘要: 为解决南疆小麦生产上日益缺水的问题, 探索了小麦种子萌发对不同水质的响应, 将3个春小麦品种的种子置于4种不同矿化度的水环境中进行发芽试验, 对不同品种萌发和根系生长指标进行测定分析。结果表明: 随着矿化度的升高, 3个春小麦品种的萌发特性指标均下降。根据主成分分析将7个小麦萌发及根系生长指标简化为2个关键因子指标, 建立综合评价体系, 最终得出综合排名前三的处理分别为: 蒸馏水浇灌新春15号、自来水浇灌新春15号和蒸馏水浇灌新春8号, 主成分综合得分分别为1.56、0.81、0.53; 微咸井水浇灌新春6号综合排名最低。综合分析认为, 蒸馏水浇灌新春15号综合表现最好, 但使用蒸馏水灌溉成本过高, 由于新春15号耐盐性最强, 可推荐在生产中应用; 并结合实际情况推荐在当地春小麦生产中用绿化灌溉水全部或部分替代农业灌溉水进行灌溉。

关键词: 春小麦; 矿化度; 种子萌发; 根系特征; 综合评价

中图分类号: S512.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)01-0069-06

doi: 10.3969/j.issn.2097-2172.2024.01.012

Effects of Irrigation Water with Different Contents of Total Dissolved Solids on the Germination Characteristics of Spring Wheat Seeds

YANG Na^{1,2,3}, BAI Xilu^{1,2,3}, HU Zhiwei^{1,2,3}, WANG Desheng^{1,2,3}, ZHI Jinhu^{1,2,3}

(1. College of Agriculture, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China; 2. Key Laboratory of Genetic Improvement and Efficient Production of Characteristic Crops in Arid Region of Southern Xinjiang, Alar Xinjiang 843300, China; 3. Research Centre of Agricultural Resources and Environment in Southern Xinjiang, Alar Xinjiang 843300, China)

Abstract: In order to solve the issue of water shortage, explore the response of wheat seed germination to different water quality, germination experiment was conducted on 3 spring wheat varieties (Xinchun 15, Xinchun 8 and Xinchun 6) seeds in 4 different germination water with diverse contents of total dissolved solids (distilled water 0 mg/L, tap water 495 mg/L, green irrigation water 772 mg/L and brackish well water 4 152 mg/L), germination and root growth parameters of different varieties were determined and analyzed. The results showed that with the rise of salinity, three spring wheat varieties germination parameters were decreased. According to the principal component analysis, 7 wheat germination and root growth parameters were simplified to two key factors, and a comprehensive evaluation system was established. The top three treatments were: Xinchun 15 with distilled water, Xinchun 15 with tap water and Xinchun 8 with distilled water. The comprehensive scores of principal components were 1.56, 0.81 and 0.53, respectively, and the comprehensive ranking of Xinchun 6 with brackish well water was the lowest. According to the comprehensive analysis, the comprehensive performance of Xinchun 15 with distilled water was the best, but the irrigation cost of using distilled water is too high. Due to the strongest salt tolerance of Xinchun 15, this variety can be promoted in local production. Combined with the actual situation, it is recommended to use green irrigation water to completely or partially replace agricultural irrigation water for irrigation in local spring wheat production.

Key words: Spring wheat; Total dissolved solid content; Seed germination; Root characteristic; Comprehensive evaluation

全球大部分小麦分布在干旱半干旱地区, 中国要分布在北方, 其水资源仅占全国总量的9.7%^[1]。干旱半干旱面积约占全国陆地总面积的47%, 我国淡水资源短缺问题一直存在^[2], 人均淡水资源

收稿日期: 2023-10-16

基金项目: 塔里木大学校长基金创新团队项目(TDZKCX202301)。

作者简介: 杨娜(1999—), 女, 甘肃张掖人, 硕士, 研究方向为植物营养与环境。Email: 1850895310@qq.com。

通信作者: 支金虎(1978—), 男, 甘肃张掖人, 教授, 博士, 主要从事植物营养与环境的相关研究工作。Email: zjhzy@163.com。

源量仅为世界人均水平的 1/3^[3]。我国农业用水量占全国用水总量的 60%以上^[4]，农业用水的供需矛盾日益突显^[5]。合理开发利用地下咸水资源灌溉农业已成为各国关注的焦点。据统计，我国地下 10~100 m 处微咸水资源储量约 2 000 亿 m³/a，适宜被开采利用^[6]。合理开发利用其他水资源、发展新型农业灌溉技术、提高农业用水生产效率是缓解农业淡水资源紧缺的有效途径^[7]。研究表明，咸水、微咸水灌溉是解决淡水资源短缺的有效途径之一^[8-9]。合理利用微咸水不会造成作物减产^[10-13]。也有研究表明微咸水属于劣质水，用于农业灌溉会导致土壤发生次生盐碱化，并且盐分胁迫会严重影响作物的生长发育，造成作物水分亏缺、离子毒害、养分失衡及氧化应激反应，导致作物细胞损伤、生长减弱，甚至死亡^[14]。相同灌水量下，小麦株高、叶面积指数、产量、干物质随着灌溉水矿化度的增加而降低，相同矿化度下，株高、叶面积指数、干物质随着灌水量的减少而减少^[15]。国内外专家普遍认为当土壤中的盐分低于作物耐盐水平的情况下，作物可以正常生长，不影响其产量，但土壤中的盐分过高时作物产量开始下降^[16]。

鉴于对微咸水灌溉的不同认识，我们在新疆阿拉尔地区利用不同矿化度水对春小麦的发芽特性进行了研究。新疆阿拉尔地区位于我国西北内陆干旱地区，常年降水稀少，水资源短缺是当地农业发展最主要的制约因素。研究灌溉水矿化度对小麦发芽生长的影响对该地区咸水资源高效利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试春小麦品种为新春 6 号、新春 8 号、新春 15 号，均由新疆农业科学院提供。试验用水为蒸馏水(矿化度 0 mg/L，塔里木大学农学院提供)、自来水(矿化度 495 mg/L，采自塔里木大学园艺试验站)、绿化灌溉水(矿化度 772 mg/L，采自塔里木大学绿化用水管道)、微咸井水(矿化度 4 152 mg/L，采自阿拉尔市气象局)，各试验用水的水质矿化度均由塔里木大学农学院采用重量法测定。

1.2 试验设计与方法

试验为 2 因素多水平设计，供试春小麦品种 3

个，试验用水 4 种。共设 12 个处理，重复 3 次。试验处理及编号见表 1。挑选籽粒大小一致、健康、籽粒饱满的种子，用体积分数为 1%的高锰酸钾(KMnO₄)溶液浸泡 30 min，用蒸馏水反复冲洗 3~5 次，置于铺 3 层滤纸的培养皿内，每皿摆放 30 粒种子。分别加入 4 种不同矿化度的水。将培养皿放置于恒温培养箱(温度 25 ℃、湿度 40%)中，在黑暗条件下培养 10 d。萌发第 1 天开始测定发芽率，第 3 天测定发芽势，第 10 天测定根系特征指标。

表 1 不同矿化度水质处理各春小麦品种试验处理编号

试验用水	春小麦品种		
	新春6号	新春8号	新春15号
蒸馏水(CK)	CK-6	CK-8	CK-15
自来水(W1)	W1-6	W1-8	W1-15
绿化灌溉水(W2)	W2-6	W2-8	W2-15
微咸井水(W3)	W3-6	W3-8	W3-15

1.2.1 种子活力指标及测定 种子活力指标主要有发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数等，试验期间测定不同处理的发芽率、发芽势，并计算发芽指数和活力指数。

发芽率=(计数正常幼苗数/检测种子粒数)×100%

发芽势=(第 3 天发芽种子总数/供试种子总数)×100%

发芽指数(GI)=∑(Gt/Dt)

式中，Dt 为发芽天数，Gt 为与 Dt 相对应的每天发芽种子数。

活力指数(VI)=S×GI

式中，S 为一定时期内幼苗正常生长的高度。

1.2.2 根系的测量 利用 LA-S 植物图像分析系统(杭州万深检测科技有限公司)测量根总长、根平均直径、根总面积、根总体积。

1.3 数据处理

运用软件 Excel、SPSS 26.0 对数据进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 不同矿化度水质对不同品种春小麦萌发的影响

2.1.1 发芽率与发芽势 水体矿化度的增加会降低各供试春小麦的发芽率与发芽势，不同矿化度

水质对春小麦发芽势的影响大于发芽率(表 2)。蒸馏水(CK)处理下,发芽率与发芽势最高,W3(微咸井水)处理最低,且不同春小麦品种表现不同。新春 15 号发芽率与发芽势分别降低了 16.67、5.56 个百分点,新春 8 号分别降低了 11.33、6.78 个百分点,新春 6 号分别降低了 16.67、8.89 个百分点。由于 W1(自来水)与 W2(绿化灌溉水)间发芽率与发芽势有小幅降低,新春 15 号发芽率与发芽势分别降低了 1.11、1.11 个百分点,新春 8 号分别降低了 4.25、0.11 个百分点,新春 6 号分别降低了 0.34、3.34 个百分点。在不同矿化度下,均以新春 15 号的发芽率和发芽势最高,新春 8 号居第 2 位,新春 6 号最低。在 CK 水质条件下,发芽率新春 15 号与新春 8 号差异不显著,与新春 6 号差异显著;新春 8 号与新春 6 号差异不显著。在 W3 水质条件下,发芽率新春 15 号与新春 8 号差异不显著,二者均与新春 6 号差异显著。在 W1、W2 水质条件下,发芽率新春 15 号、新春 8 号、新春 6 号间差异均不显著。不同水质条件下新春 15 号、新春 8 号、新春 6 号的发芽率差异均不显著。同一水质条件下,发芽势新春 15 号与新春 8 号差异不显著,但均与新春 6 号差异显著;不同水质条件下新春 15 号、新春 8 号、新春 6 号的发芽势差异均不显著。

另外,不同品种的发芽率、发芽势在各处理

间存在一定差异(表 2),处理 CK-15 发芽率、发芽势均最高,分别为 48.89%、35.56%;处理 W3-6 均最低,分别为 10.00%、2.22%。处理 CK-15 的发芽率与处理 W2-8、W3-8、CK-6、W1-6、W2-6、W3-6 均差异显著,与其余处理均差异不显著;CK-8 与 W1-6、W2-6、W3-6 均差异显著,与其余处理均差异不显著;W3-6 与其余处理均差异显著。处理 CK-15 的发芽势与处理 CK-6、W1-6、W2-6、W3-6 均差异显著,与其余处理均差异不显著;处理 CK-6、W1-6、W2-6、W3-6 间差异均不显著。

2.1.2 发芽指数与活力指数 水质矿化度对 3 个春小麦品种的发芽指数与活力指数的影响相同,发芽指数均随着矿化度的增加而逐渐降低,活力指数随着矿化度的增加呈先降低后升高再降低(表 2)。在 CK 下发芽指数、活力指数均最高,W3 处理下均最低。W3 处理下新春 15 号的发芽指数、活力指数较 CK 分别降低了 12.49%、69.14%。新春 8 号较 CK 分别降低了 27.30%、51.84%。新春 6 号较 CK 分别降低了 60.00%、88.98%。新春 8 号的 4 个处理在不同水质下的发芽指数均最高,新春 6 号最低。新春 15 号 4 个处理在不同水质下的活力指数显著高于其他品种。由活力指数的变化规律可看出,除在 W1~W2 水平(495~772 mg/L 矿化度范围)内,各品种小麦的活力指数均上升

表 2 不同矿化度水处理下不同春小麦品种种子的萌发指标^①

处理	发芽率 /%	发芽势 /%	发芽指数	活力指数
CK-15	48.89±0.07 a	35.56±1.93 a	24.42±1.32 a	97.36±0.26 a
W1-15	38.89±0.19 abc	33.33±5.28 a	24.12±1.90 a	69.61±0.39 c
W2-15	37.78±0.20 abc	32.22±1.92 a	22.64±7.21 a	78.94±2.6 b
W3-15	32.22±0.14 abc	30.00±8.82 a	21.37±8.97 a	30.05±0.27 g
CK-8	42.22±0.13 ab	34.56±1.93 a	30.29±8.47 a	48.40±0.91 d
W1-8	35.36±0.04 abc	31.11±6.94 a	25.54±2.86 a	31.14±6.90 f
W2-8	31.11±0.02 bc	31.00±6.62 a	24.91±2.34 a	41.85±1.2 e
W3-8	30.89±0.02 bc	27.78±3.85 a	22.02±0.62 a	23.31±0.37 h
CK-6	26.67±0.03 bcd	11.11±1.92 b	7.55±0.25 b	20.15±0.49 i
W1-6	23.33±0.03 cd	7.78±4.84 b	6.73±0.23 b	8.27±0.91 k
W2-6	22.99±0.06 cd	4.44±1.07 b	4.17±0.07 b	8.48±0.15 j
W3-6	10.00±0.06 d	2.22±1.02 b	3.02±0.02 b	2.22±0.11 l

①不同小写字母表示各参数间差异显著性($P<0.05$),下同。

外, 其余范围均会使小麦活力指数降低。

另外, 不同品种春小麦种子的发芽指数、活力指数在各处理间存在一定的差异(表 2)。各处理发芽指数以 CK-8 最高, 为 30.29; W3-6 最低, 为 3.02。活力指数以 CK-15 最高, 为 97.36; W3-6 最低, 为 2.22。其中处理 CK-15 的发芽指数与处理 CK-6、W1-6、W2-6、W3-6 均差异显著, 与其余处理均差异不显著; 处理 CK-6、W1-6、W2-6、W3-6 间差异均不显著。活力指数各处理间差异均达显著水平。

2.2 不同矿化度水质对不同品种春小麦种子幼根的影响

随着水质矿化度的升高, 各供试春小麦的幼苗根系长度、根表面积、根体积、平均直径均呈下降趋势(表 3)。矿化水处理 W1、W2、W3 与 CK 相比, 根系长度新春 15 号分别降低了 26.80%、33.96%、55.95%, 新春 8 号分别降低了 15.31%、47.73%、57.79%。新春 6 号分别降低了 14.73%、17.78%、25.14%。其中以新春 15 号受水质矿化度影响最大。

根表面积也随水质矿化度的升高而呈逐渐降低趋势。在水平的 3 个矿化水处理下, W1-15、W2-15、W3-15 的根表面积分别较 CK-15 降低了 20.06%、22.96%、47.10%, W1-8、W2-8、W3-8 的根表面积分别较 CK-8 降低了 22.44%、41.39%、54.07%, W1-6、W2-6、W3-6 的根表面积分别较 CK-6 降低了 23.11%、40.02%、47.91%。可知,

新春 15 号的根表面积在 CK ~ W2 水平(矿化度为 0 ~ 772 mg/L)时受影响最小, 为 20.06% ~ 22.96%; 新春 6 号根表面积在 W2 ~ W3 水平(矿化度为 772 ~ 4 152 mg/L)时受影响最小, 为 8.68%。

矿化度的升高对根体积影响较大。在 3 个水平的矿化水(W1、W2、W3)处理下, 根体积新春 15 号分别较 CK-15 降低了 9.30%、13.63%、31.72%; 新春 8 号分别较 CK-8 降低了 22.30%、33.20%、49.75%, 新春 6 号分别较 CK-6 降低了 26.61%、38.58%、46.39%。新春 15 号、新春 8 号的根体积在不同矿化度水平间差异不显著, 而新春 6 号的根体积在不同矿化度水平间存在显著差异, 其中 CK-6 与 W1-6、W2-6、W3-6 均差异显著, W1-6、W2-6、W3-6 间差异均不显著。

在 3 个水平的矿化水(W1、W2、W3)处理下, 根系平均直径新春 15 号分别较 CK-15 降低了 15.79%、26.32%、39.47%, 新春 8 号分别较 CK-8 降低了 7.41%、11.11%、29.63%, 新春 6 号分别较 CK-6 降低了 18.52%、22.22%、37.04%。

2.3 小麦测试各指标与水质矿化度间的相关性

各品种小麦测定的指标与矿化度之间的皮尔逊相关系数均符合 $|r| > 0.5$, 表明各项指标均具有中度及以上相关性, 试验所测指标与矿化度之间均呈负相关, 3 个供试春小麦品种的发芽势(-0.992**、-0.953*、-0.996**)与矿化度显著或极显著负相关, 发芽指数(-0.972*、-0.958*、-0.981*)均与矿化度显著负相关, 根系长度(-0.979*、-0.981*、

表 3 不同矿化度水处理下不同春小麦品种的根系特征指标

处理	根系长度 /cm	根表面积 /cm ²	根体积 /cm ³	根系平均直径 /cm
CK-15	68.19±26.13 ab	56.18±9.19 cd	7.85±1.56 bc	0.38±0.04 a
W1-15	49.91±10.21 b	44.91±9.73 cd	7.12±1.70 bc	0.32±0.03 ab
W2-15	45.03±3.32 b	43.28±5.32 cd	6.78±0.85 bc	0.28±0.04 bc
W3-15	30.04±5.32 b	29.72±3.29 d	5.36±0.89 c	0.23±0.06 bed
CK-8	114.66±5.75 ab	87.14±4.56 cd	9.91±0.82 bc	0.27±0.01 cd
W1-8	97.10 a±2.45 b	67.59±5.54 cd	7.70±0.70 bc	0.25±0.02 bed
W2-8	59.93±2.84 b	51.07±1.82 cd	6.62±0.43 b	0.24±0.05 bed
W3-8	48.40±5.34 ab	40.02±4.47 ab	4.98±4.88 bc	0.19±0.02 bed
CK-6	136.49±30.12 a	119.13±12.38 a	15.37±1.47 a	0.27±0.01 bed
W1-6	116.39±20.10 ab	91.6±24.39 ab	11.28±1.88 b	0.22±0.06 cd
W2-6	112.22±3.12 ab	71.45±13.52 cd	9.44±1.40 bc	0.21±0.04 cd
W3-6	102.17±30.62 ab	62.05±26.71 cd	8.24±2.32 bc	0.17±0.02 d

-0.952*) 均与矿化度显著负相关, 根系体积 (-0.961*、-0.991**、-0.965*) 与矿化度显著或极显著负相关, 新春 8 号的活力指数 (-0.996**) 与矿化度极显著负相关, 新春 15 号的根系平均直径 (-0.998**) 与矿化度极显著负相关, 新春 6 号的根系平均直径 (-0.976*) 与矿化度显著负相关。说明矿化度对小麦萌发起到显著抑制作用。

2.4 不同矿化水处理下各春小麦品种测试指标的主成分分析

影响小麦根系生长指标有 2 个成分, 其主成分特征值大于 1, 方差贡献率达到了 90.786%, 剩余方差贡献率较小, 忽略不计 (表 4)。将原本 7 项指标转换为 2 个独立的综合指标, 可解释根系生长指标的全部信息, 主成分 1 中仅有根系长度的负荷值为负数, 主成分 2 中负荷值为负数的为发芽指数和发芽势 (表 5)。综合分析表达式为: $F_{\text{综合}} = 0.73248 \times F_1 + 0.17538 \times F_2$ 。

表 4 影响小麦根系生长指标的 2 个成分的特征值以及方差贡献率

成分	特征值	方差贡献率 /%	方差累积贡献率 /%
1	5.127	73.248	73.248
2	1.228	17.538	90.786

表 5 影响小麦根系生长指标的 2 个成分的特征向量

成分	主成分1	主成分2
发芽指数	0.167	-0.316
活力指数	0.186	0.121
发芽率	0.187	0.052
根系长度	-0.105	0.554
根系体积	0.162	0.408
根系平均直径	0.168	0.379
发芽势	0.179	-0.285

经计算, 处理 CK-15 主成分综合得分最高。各处理排名由高到低依次为 CK-15、W1-15、CK-8、W2-15、W1-8、W2-8、W3-15、CK-6、W3-8、W1-6、W2-6、W3-6。其中综合得分最高的处理为 CK-15, 得分 1.56; 综合得分最低的处理为 W3-6, 得分 -1.20。由此可知, 处理 CK-15 为最佳处理, 用蒸馏水浇灌新春 15 号时种子萌发及根系生长效果表现最好 (表 6)。

表 6 不同小麦品种及水质对小麦根系生长指标的综合评价

处理	F_1	F_2	$F_{\text{综合}}$	综合排名
CK-15	1.77	1.48	1.56	1
W1-15	1.08	0.15	0.81	2
W2-15	0.75	-0.45	0.47	4
W3-15	0.14	-1.30	-0.13	7
CK-8	0.65	0.28	0.53	3
W1-8	0.21	-0.31	0.10	5
W2-8	0.16	-0.99	-0.06	6
W3-8	-0.21	-1.68	-0.45	9
CK-6	-0.71	1.38	-0.28	8
W1-6	-1.02	0.70	-0.62	10
W2-6	-1.16	0.71	-0.72	11
W3-6	-1.65	0.05	-1.20	12

3 讨论与结论

随着国家对粮食安全的进一步重视, 新疆小麦种植面积不断增加, 农业用水压力逐步增大, 利用多种水源进行农田灌溉势在必行, 用水的矿化度是首先需要考虑的问题。在相同的矿化度条件下, 小麦品种种子的发芽率、发芽势、发芽指数、根系长度、根系体积、根系平均直径反映了不同小麦品种种子发芽期耐盐性的强弱^[17]。本试验表明, 随着灌溉水矿化度的增加, 小麦的发芽率、发芽势与发芽指数均受到显著的抑制, 而活力指数在矿化度为 495~772 mg/L 范围内会小幅度的上升, 之后继续降低, 这与王全九等^[18]的研究相近。矿化度与小麦发芽率、发芽势、发芽指数、根长度、根体积、根系平均直径之间存在不同程度的负相关关系, 这与何磊等^[19]的研究相近。相同矿化度灌溉水浇灌后, 不同春小麦品种的各项测定指标存在相同规律, 均表现出由大到小依次为新春 15 号、新春 8 号、新春 6 号, 这与李士磊等^[20]的研究相似。因此, 盐离子浓度过高会抑制小麦的发芽与生长, 但盐离子同时也是小麦生长不可或缺的营养元素, 相对较低矿化度的水比蒸馏水更利于小麦种子发芽与幼根生长, 这也与自然界中低促高抑的原理相符合。3 种春小麦的发芽率在对照蒸馏水浇灌下条件下均表现为最高。通过主成分分析, 蒸馏水浇灌春小麦品种新春 15 号时主成分综合得分最高 (1.56); 自来水浇灌新春 15 号时主成分综合得分为 0.81, 排名第二; 蒸馏水浇灌新春 8 号综合排名第三, 得分为 0.53; 用

微咸井水(W3)浇灌新春6号时综合排名最后,主成分综合得分最低(-1.20)。可见蒸馏水灌溉对春小麦发芽生长最好,但成本过高。虽然绿化灌溉水综合排名较低,但在实际生产应用中,农业绿化灌溉水中较低浓度矿化度水质可适当提高春小麦的萌发以及根系生长能力。

综合分析,供试3个春小麦品种中以新春15号耐盐性能最强,推荐在生产中应用。同时结合当地实际,建议在当地春小麦生产中可用较低矿化度的绿化灌溉水全部或部分替代农业灌溉用水进行灌溉,以提高经济效益。

参考文献:

- [1] 田海燕, 张岁岐, 王小林. 水分条件对冬小麦生长发育及产量的影响[J]. 水土保持研究, 2011, 18(3): 217-220; 225.
- [2] 王荣荣, 谢冰莹, 王海琪, 等. 滴灌春小麦根系形态特征及内源激素含量对花期干旱及复水的响应[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(9): 1174-1186.
- [3] 张利平, 夏军, 胡志芳. 中国水资源状况与水资源安全问题分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 116-120.
- [4] 张宏仁. 中国的淡水资源问题[C]//中华环保联合会. 首届九寨天堂国际环境论坛论文集. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 8.
- [5] 陈瑶. 区域农业水资源平衡分析与农业节水[J]. 节水灌溉, 2017(10): 46-51.
- [6] 牛君仿, 冯俊霞, 路杨, 等. 咸水安全利用农田调控技术措施研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(8): 1005-1015.
- [7] J KUYLENSTIerna, 郑丰. 世界淡水资源的综合评价——未来整体可持续水的政策选择[J]. 水利水电快报, 1999(3): 28-29.
- [8] 刘友兆, 付光辉. 中国微咸水资源化若干问题研究[J]. 地理与地理信息科学, 2004(2): 57-60.
- [9] YANG REN W, SHAO ZHONG K, FUHENG L, et al. Saline Water Irrigation Scheduling Through a Crop-Water-Salinity Production Function and a Soil-Water-Salinity Dynamic Model[J]. Pedosphere, 2007(3): 303-317.
- [10] JIANG J, HUO Z, FENG S, et al. Effects of deficit irrigation with saline water on spring wheat growth and yield in arid Northwest China[J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(2): 143-154.
- [11] JIANG J, HUO Z, FENG S, et al. Effect of irrigation amount and water salinity on water consumption and water productivity of spring wheat in Northwest China[J]. Field Crops Research, 2012, 137: 77-88.
- [12] KANG Y H, CHEN M, WAN S. Effects of drip irrigation with saline water on waxy maize (*Zea mays* L. var. ceratina Kulesh) in North China Plain[J]. Agricultural Water Management(2010), 97(9): 1303-1309.
- [13] XU X, HUANG G, SUN C, et al. Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: Searching for a target depth for irrigated areas in the upper Yellow River basin[J]. Agricultural Water Management, 2013, 125: 46-60.
- [14] 缙丽娜. 增氧淡水和微咸水灌溉下春小麦生长特征研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2021.
- [15] 张济斌, 蒋静, 马娟娟, 等. 不同灌水量和矿化度对小麦生长影响的试验研究[J]. 节水灌溉, 2016(5): 1-5; 11.
- [16] 李法虎, M BENHUR, R KEREN. 劣质水灌溉对土壤盐碱化及作物产量的影响[J]. 农业工程学报, 2003(1): 63-66.
- [17] 肖媛. 不同小麦品种种子萌发期耐盐性的研究[J]. 安徽农业科学, 2006(22): 5786-5787.
- [18] 王全九, 缙丽娜, 孙燕, 等. 增氧淡水与微咸水对小麦萌发特性的影响[J]. 农业机械学报, 2020, 51(7): 274-282.
- [19] 何磊, 陆兆华, 管博, 等. 盐碱胁迫对两种高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 362-369.
- [20] 李士磊, 霍鹏, 李卫华, 等. 新疆春小麦品种苗期耐盐性分析[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(1): 9-15.