

盐胁迫对不同区域野生枸杞种子萌发的影响

任小燕,柳迪,潘平新,马彦军

(甘肃农业大学林学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:为筛选出较耐盐碱的枸杞种源,用浓度为0、50、100、150、200、250、300 mmol/L的NaCl和NaHCO₃对不同区域野生枸杞种子萌发进行胁迫处理,测定种子萌发指标。结果表明:两种盐胁迫下3个区域的枸杞种子起始发芽时间随盐浓度的升高而推迟,除相对盐害率呈上升趋势,种子发芽率、相对发芽率、发芽势、相对发芽势、发芽指数、相对发芽指数、活力指数及相对活力指数均呈下降趋势。两种盐对枸杞种子萌发均有抑制作用,且NaHCO₃强于NaCl;3个种源野生枸杞种子的耐盐性强弱顺序为:定西>兰州>临夏。

关键词:枸杞;盐胁迫;种子萌发

中图分类号:S567 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)05-0131-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.05.019

在全球范围内,土壤盐渍化是最严重的自然灾害之一。我国盐渍土面积约3 460万hm²,耕地盐碱化面积760万hm²,近1/5耕地发生盐碱化,其中原生盐化型、次生盐化型和各种碱化型分布分别占总面积的52%、40%和8%^[1]。在北方干旱、半干旱地区,降水不足、淋溶作用弱、地下水蒸发和蒸腾强烈以及降水会造成土壤中盐分升高,出现盐渍化或次生盐渍化^[2]现象。研究表明,种植耐盐碱植物可以降低土壤盐渍化对植物生长产生的不利影响^[3]。

枸杞(*Lycium barbarum*)为茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*)植物,枝细长,叶卵形或卵状披针形,花淡紫色,浆果红色,种子肾形黄色,8—10月成熟。其果实有滋肝补肾、生精益气、治虚安神,祛风明目的功

效,对慢性肝炎、糖尿病、肺结核也有一定疗效。此外,枸杞枝叶煮水治棉蚜效果显著。目前,关于枸杞的研究主要着重于其药用价值^[4-8],对其耐盐性研究较少。本文旨在通过研究不同浓度的两种盐(NaCl、NaHCO₃)对3个区域野生枸杞种子萌发的影响,筛选出耐盐碱区域种子,为枸杞在盐碱地种植提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2019年9月在甘肃定西、临夏、兰州采集野生枸杞果实,用自封袋标记带回实验室,采用水选法清除果皮、果肉及瘪种等杂质,种子洗净,自然阴干,置-18℃冰箱备用。试验于2020年6月5日在甘肃农业大学林学院人工气候室进行,材料来源见表1。

1.2 试验方法

1.2.1 基质处理 本试验以蛭石为基质,清洗干净后,用立式高压灭菌锅(121℃)灭菌30 min,自然晾干,平铺于18.4 cm×11.3 cm×5.8 cm发芽盒,蛭石3 cm厚,备用。

1.2.2 种子处理 取颗粒饱满、大小基本一致净种,置于烧杯,温水浸泡24 h,经84消毒液消毒5 min,取出种子用无菌水洗净,吸水纸吸干水分。

1.2.3 盐处理 将准备好的种子均匀点播于发芽盒中,

收稿日期:2020-09-11; **修回日期:**2020-10-10

基金项目:甘肃农业大学青年研究生指导教师扶持基金项目(GAU-QNDS-201712);国家自然科学基金(31760244,31560215);甘肃农业大学科技创新项目(林学一级学科建设开放基金:GAU-XKJS-2018-112);中国博士后科学基金(2017M613295XB)

作者简介:任小燕(1982-),女,甘肃临洮人,硕士研究生。

E-mail:395426686@qq.com

马彦军为通讯作者。

E-mail:756847715@qq.com

表 1 材料来源

Table 1 Source of materials

区域	采集地点	海拔/m	经度	纬度	气候
定西	定西市临洮县魏家坪	1 959.0	103°52'40"	35°22'34"	温带大陆气候,年平均气温 7℃,无霜期 80~190 d,年均降水量 317~710 mm,蒸发量 1 400 mm 以上,70%以上的降水集中在 7—9 月。
兰州	兰州市西固区平山机械制造有限公司	1 612.5	103°35'7"	36°6'35"	温带大陆气候,年均气温 10.3℃,夏无酷暑,冬无严寒,年均日照时数 2 446 h,无霜期 180 d,年均降水量 327 mm,主要集中在 6—9 月。
临夏	临夏州康乐县白云寺	2 022.1	103°42'0"	35°22'3"	年均温度 6~7℃,海拔高,气候变化异常,南部乡镇高寒阴湿,北部地区干旱缺水。

每个处理播 50 粒,重复 3 次,设置 NaCl、NaHCO₃ 浓度分别为 50、100、150、200、250、300 mmol/L,以蒸馏水处理为对照(CK),用等量不同类溶液将发芽盒浇透,在人工气候箱(温度 25℃,湿度 75%,前 2 d 暗光,第 3 d 开始 12 h/d 光照)进行萌发观测,以肉眼看到种子发芽为标准,每天定时记录一次发芽数,重复中若有一粒种子发芽即为该处理的起始发芽时间,连续 3 d 累计发芽数不再增加时方可认为萌发试验结束。

1.3 指标测定

1.3.1 种子大小 随机抽取不同区域种子 20 粒粘贴于坐标纸上,重复 3 次,用 EPSAN EXPRESSION 10000XL 型扫描仪扫描,Auto CAD 2007(主菜单插入—光栅图像参照—左菜单多段线)制图软件进行种子纵横径(种子最大部位)及面积测定,求均值。

1.3.2 种子千粒重 随机抽取各区域净种 1 000 粒,天平称重,重复 3 次,求均值。

1.3.3 种子吸水特性 称取各区域种子 0.4 g,室温浸种,隔 2 h 取出,吸水纸去除多余水分并称重^[9],直至浸种 24 h,重复 3 次,求均值并绘制种子吸水速率图。指标计算参照文献[10]:

$$\text{吸水速率(g/h)} = \text{种子吸水量} / \text{种子吸水时间}$$

式中,种子吸水量为两次测量的种子质量的差值,种子吸水时间为 2 h。

1.3.4 种子萌发指标 各指标计算参照文献[11]。

起始发芽时间(d):以肉眼看到种子发芽时所经历的时间。

$$\text{发芽率}(G_p) = n/N \times 100\%$$

$$\text{相对发芽率}(R_{G_p}) = \text{处理发芽率} / \text{对照发芽率} \times$$

100%

式中, n 为发芽种子数, N 为供试种子总数。

$$\text{发芽势}(G_e) = n/N \times 100\%$$

相对发芽势(R_{G_e}) = 处理发芽势/对照发芽势 \times 100%;

式中 n 为发芽高峰时(12 d)累计发芽种子数, N 为供试种子总数。

$$\text{发芽指数}(G_i) = \sum(G_t/D_t)$$

相对发芽指数(R_{G_i}) = 处理发芽指数/对照发芽指数 \times 100%;

式中 G_t 为 t 天的发芽数, D_t 为发芽天数。

$$\text{活力指数}(V_l) = \text{发芽指数}(G_i) \times \text{幼苗鲜重}(W)$$

相对活力指数(R_{V_l}) = 处理活力指数/对照活力指数 \times 100%;

相对盐害率(R_{S_i}) = (对照发芽率 - 处理发芽率) / 对照发芽率 \times 100%。

1.4 耐盐性评价

以相对发芽率 Y 为因变量,盐浓度 X 为自变量进行回归分析确定其耐盐性。指标计算参照文献[2]:

耐盐适宜浓度:相对发芽率 $\geq 75\%$ 时的盐溶液浓度

耐盐半致死浓度:相对发芽率 $\geq 50\%$ 时的盐溶液浓度

耐盐极限浓度:相对发芽率 $\leq 10\%$ 时的盐溶液浓度

1.5 数据处理:

利用 Microsoft Excel 进行数据处理及图表转化;SPSS 21 软件进行差异显著性($P < 0.05$)、相关性及回归性分析。

2 结果与分析

2.1 枸杞种子形态、大小及千粒重

3 个区域中,兰州区域种子特征的各项指标均最大, 3 类。

表 2 种子特征

Table 2 Seed characteristics

区域	长/mm	宽/mm	面积/m ²	千粒重/g
定西	2.061 8±0.07 ^a	2.136 1±0.00 ^b	3.477 7±0.06 ^b	1.493 8±0.02 ^b
兰州	2.157 7±0.06 ^a	2.363 1±0.04 ^a	3.812 3±0.19 ^a	2.010 6±0.03 ^a
临夏	1.843 2±0.04 ^b	2.115 9±0.05 ^b	3.054 1±0.09 ^c	1.134 7±0.15 ^c

注:表中同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.2 枸杞种子吸水特性分析

3 个区域种子吸水速率在浸种 2 h 时达到最大,此时定西、兰州、临夏区域种子吸水速率分别为 0.142 4、0.140 3、0.131 9 g/h,之后随浸种时间的延长可将种子吸水分为 3 个阶段,0~2 h 为快速吸水阶段;2~4 h 为中速吸水阶段;4~24 h 吸水基本稳定,为饱和吸水阶段(图 1)。

2.3 盐胁迫对枸杞种子萌发特性的影响

2.3.1 盐胁迫对枸杞种子起始发芽时间的影响 种子起始发芽时间随盐浓度增加而推迟(表 3)。其中 NaCl 处理下,盐浓度为 300 mmol/L 时定西与临夏区域种子未发芽。定西区域种子起始发芽时间从 150 mmol/L 开始显著推迟($P<0.05$),兰州、临夏区域种子起始发芽时间从 200 mmol/L 时开始显著推迟($P<0.05$);NaHCO₃ 处理下,盐浓度为 300 mmol/L 时 3 个区域的种子皆未发芽,另外 250mmol/L 时定西区

除种子长与定西区域差异不显著($P>0.05$)外,其他 3 项指标皆与 2 个区域差异显著($P<0.05$)(表 2)。据此可将兰州、定西、临夏区域种子大小分为大、中、小 3 类。

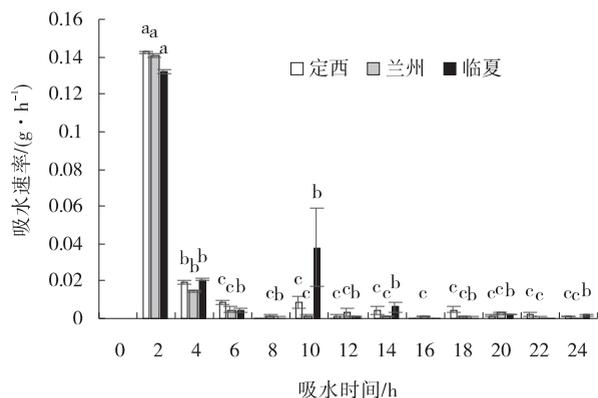


图 1 种子吸水速率

Fig. 1 Water absorption speed

域的种子也未发芽。定西、临夏区域种子起始发芽时间从 150 mmol/L 开始显著推迟($P<0.05$),兰州区域种子起始发芽时间从 200 mmol/L 时开始显著推迟($P<0.05$)。

表 3 盐胁迫下种子的起始发芽时间

Table 3 Effect of salt stress on initial germination time

浓度/ (mmol·L ⁻¹)	NaCl 处理			NaHCO ₃ 处理		
	定西	兰州	临夏	定西	兰州	临夏
0	5.67±0.333 ^a	5.00±0.577 ^a	5.67±0.33 ^a	5.67±0.33 ^a	5.00±0.58 ^a	6.00±0.58 ^a
50	8.33±0.333 ^{ab}	5.67±0.882 ^a	5.33±0.33 ^a	6.00±0.00 ^a	6.00±0.58 ^a	6.33±0.88 ^a
100	8.67±0.333 ^{ab}	7.33±0.333 ^{ab}	6.67±0.33 ^{ab}	6.67±0.33 ^a	6.33±0.33 ^a	6.67±1.20 ^a
150	10.33±0.667 ^b	10.00±1.528 ^{ab}	7.67±1.45 ^{ab}	10.33±1.86 ^b	6.67±0.66 ^a	12.00±1.53 ^b
200	11.00±0.577 ^b	13.00±1.00 ^b	9.00±0.58 ^{bc}	12.00±0.58 ^b	12.67±0.88 ^b	11.33±0.88 ^b
250	10.00±3.00 ^b	14.00±5.00 ^b	10.00±1.00 ^c	—	13.67±0.33 ^b	13.67±0.33 ^b
300	—	13.67±0.882 ^b	—	—	—	—

注:表中—表示该盐浓度下种子未发芽

2.3.2 盐胁迫对枸杞种子发芽率、相对发芽率的影响 各区域种子发芽率和相对发芽率随盐浓度升高呈降

低趋势,降低幅度最小的是定西区域种子(图 2,图 3)。与对照相比,不同浓度 NaCl 处理下的种子发芽率均

显著降低($P < 0.05$),分别降低了 20.00%、37.33%、43.33%、44.66%、54.00%(图 2-A);相对发芽率从 100 mmol/L 浓度时开始显著降低($P < 0.05$),100~250 mmol/L 4 个 NaCl 处理分别降低了 55.00%、64.00%、66.00%、80.33%(图 2-B)。在 NaHCO_3 处

理下,与对照相比,种子发芽率、相对发芽率分别从 100、150 mmol/L 时开始显著降低($P < 0.05$),发芽率在 100、150、200 mmol/L 时分别降低了 20.00%、51.33%、63.33%(图 3-A),相对发芽率在 150、200 mmol/L 时分别降低了 77.00%、96.33%(图 3-B)。

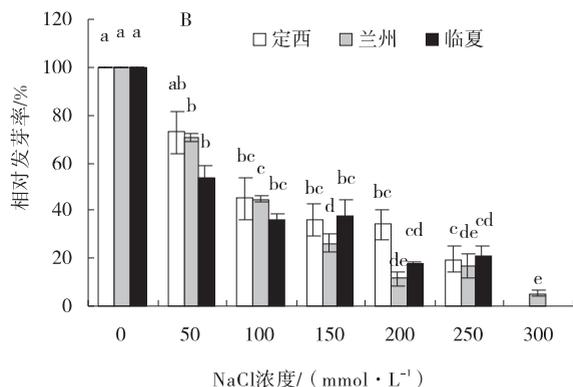
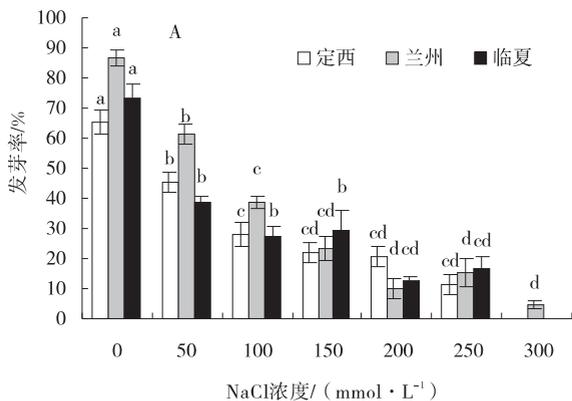


图 2 NaCl 胁迫下的种子发芽率、相对发芽率

Fig. 2 Effects of NaCl stress on seed germination rate and relative germination rate

注:图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

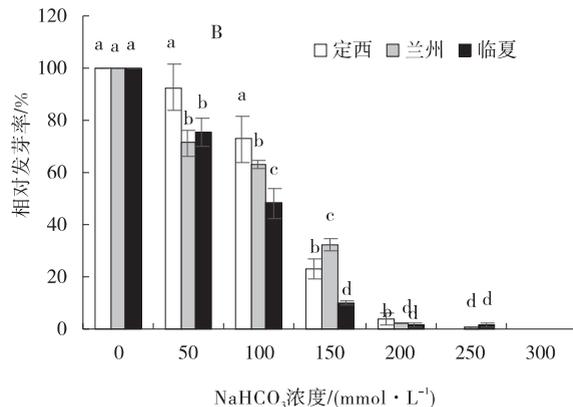
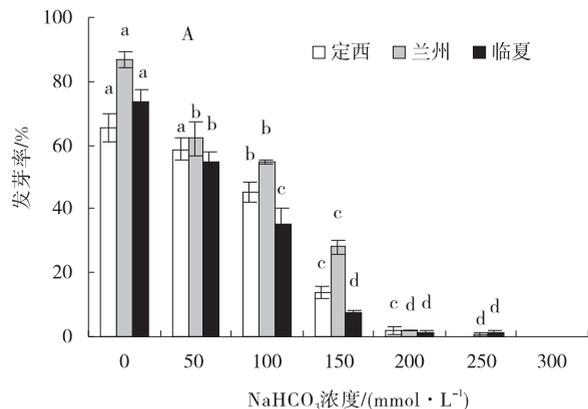


图 3 NaHCO_3 胁迫下的种子发芽率、相对发芽率

Fig. 3 Effects of NaHCO_3 stress on germination rate and relative germination rate

2.3.3 盐胁迫对枸杞种子发芽势、相对发芽势的影响

种子发芽势和相对发芽势均随盐浓度的上升而下降,且盐浓度越大下降的幅度越大,下降最少的是定西区域种子(图 4、图 5)。与对照相比,不同浓度 NaCl 处理下,发芽势分别下降了 12.00%、24.66%、25.33%、28.66%、31.33%(图 4-A),相对发芽势分别下降了 36.00%、72.33%、76.00%、86.00%、94.33%(图 4-B); NaHCO_3 处理下,当盐浓度为 50、100、150、200 mmol/L 时,发芽势分别下降了 0.66%、14.66%、28.00%、32.66%(图 5-A),相对发芽势在 50 mmol/L 时上升了 0.67%,在 100、150、200 mmol/L 时分别下降了 41.33%、83.00%、97.67%(图 5-B)。

2.3.4 盐胁迫对枸杞种子发芽指数、相对发芽指数的影响

随着盐浓度增大,种子发芽指数和相对发芽指数呈现减小的趋势,变化大小顺序为临夏>兰州>定西(图 6、图 7)。与对照相比,在 NaCl 处理下,3 个区域种子发芽指数(图 6-A)、相对发芽指数(图 6-B)均从 50 mmol/L 开始显著减小($P < 0.05$);在 NaHCO_3 处理下,该指数分别从 100、150 mmol/L 盐浓度时开始显著减小($P < 0.05$)(图 7-A、7-B)。

2.3.5 盐胁迫对枸杞种子活力指数、相对活力指数的影响

各区域种子活力指数、相对活力指数均在对照时最大(图 8、图 9)。在 NaCl 处理中,与对照相比,种子活力指数和相对活力指数分别从 100、150mmol/L

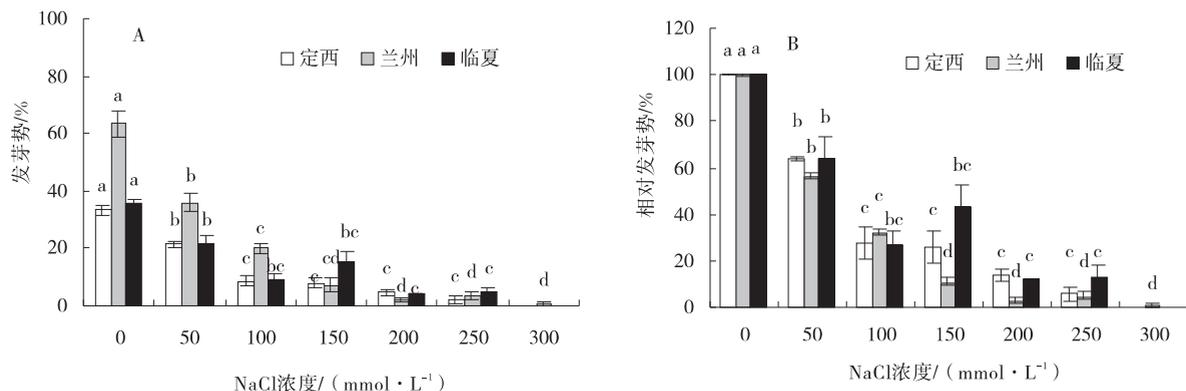


图 4 NaCl 胁迫下的种子发芽势、相对发芽势

Fig. 4 Effects of NaCl stress on seed germination potential and relative germination potential

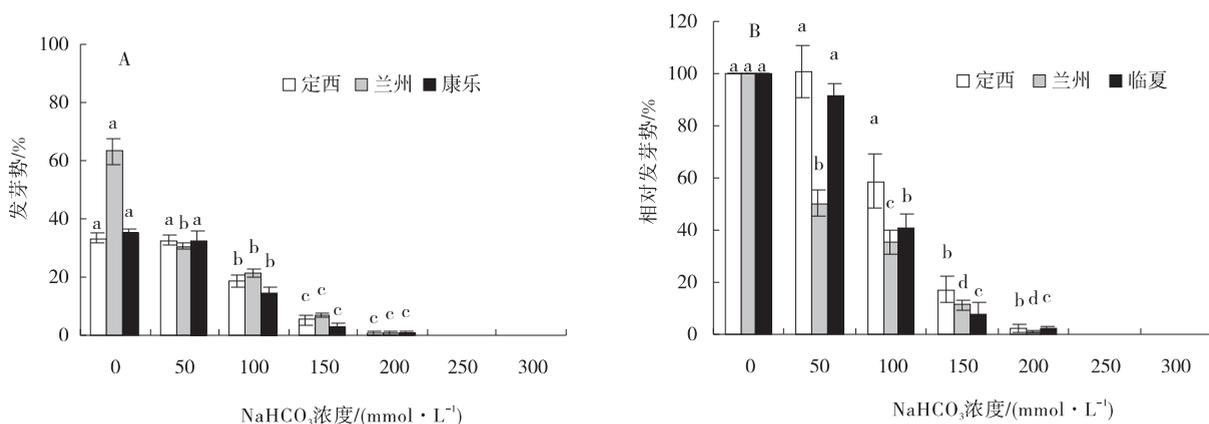


图 5 NaHCO₃ 胁迫下种子的发芽势、相对发芽势

Fig. 5 Effects of NaHCO₃ stress on seed germination potential and relative germination potential

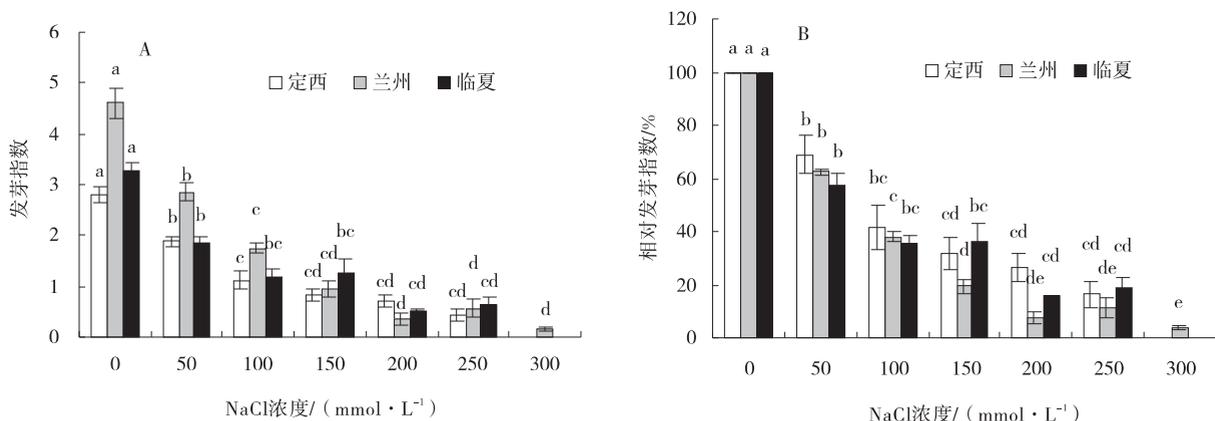


图 6 NaCl 胁迫下的种子的发芽指数、相对发芽指数

Fig. 6 Effects of NaCl stress on seed germination index and relative germination index

时开始下降显著 ($P < 0.05$), 当盐浓度为 100、150、200、250、300 mmol/L 时, 定西区域种子活力指数分别下降了 22.53%、33.87%、35.08%、38.62%, 兰州区域种子活力指数分别下降了 52.8%、75.91%、99.61%、92.88%、102.77%, 临夏区域种子活力指数分别下降了 24.93%、30.46%、49.37%、47.84% (图 8-A)。当盐浓度为 150、200、250、300 mmol/L 时, 定

西区域种子相对活力指数分别下降了 69.67%、75.00%、83.33%, 兰州区域种子相对活力指数分别下降了 72.33%、93.33%、88.33%、96.00%, 临夏区域种子相对活力指数分别下降了 54.33%、80.00%、80.00% (图 8-B); NaHCO₃ 处理中, 与对照相比, 定西、兰州、临夏 3 个区域种子活力指数、相对活力指数均从 150mmol/L 时开始显著下降 ($P < 0.05$), 各区域种子

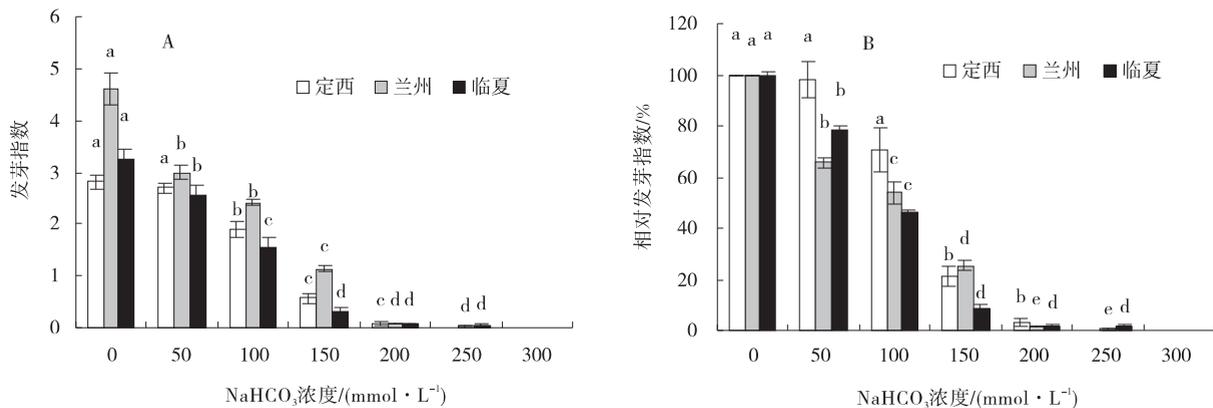


图 7 NaHCO₃胁迫下的种子发芽指数、相对发芽指数

Fig. 7 Effects of NaHCO₃ stress on seed germination index and relative germination index

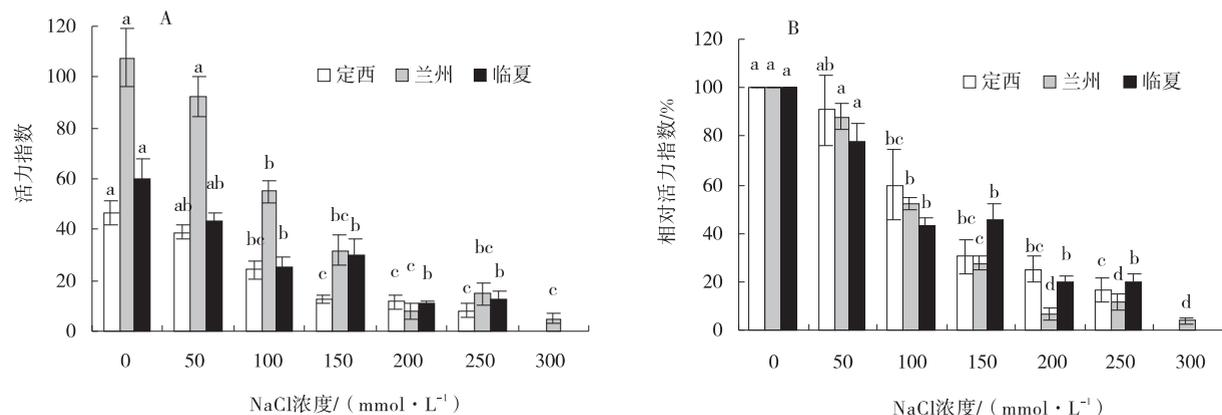


图 8 NaCl胁迫下的种子活力指数、相对活力指数

Fig. 8 Effects of NaCl stress on seed vigor index and relative vigor index

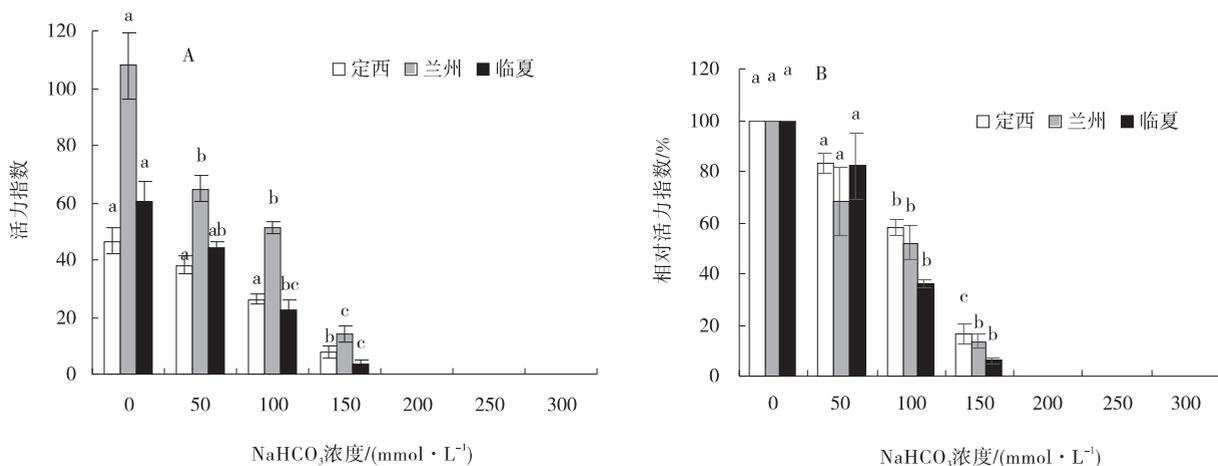


图 9 NaHCO₃胁迫下的种子活力指数、相对活力指数

Fig. 9 Effects of NaHCO₃ stress on seed vigor index and relative vigor index

活力指数分别下降了 38.75%、93.67%、56.62% (图 9-A), 相对活力指数分别下降了 83.33%、86.33%、94.00% (图 9-B)。

2.3.6 盐胁迫对枸杞相对盐害率的影响 各区域种

子的相对盐害率随盐胁迫的加剧逐渐增大,受影响最小的是定西区域种子(图 10)。与对照相比,不同浓度 NaCl 处理下分别增大了 39.33%、55.00%、64.33%、66.33%、80.33% (图 10-A); NaHCO₃ 处理下分别增

大 6.33%、27.33%、77.00%、96.33%(图10-B)。

2.4 耐盐性评价

3 个区域种子对盐的耐受性大小为定西>兰州

>临夏,两种盐的伤害程度 $\text{NaHCO}_3 > \text{NaCl}$ (表 4、表 5)。

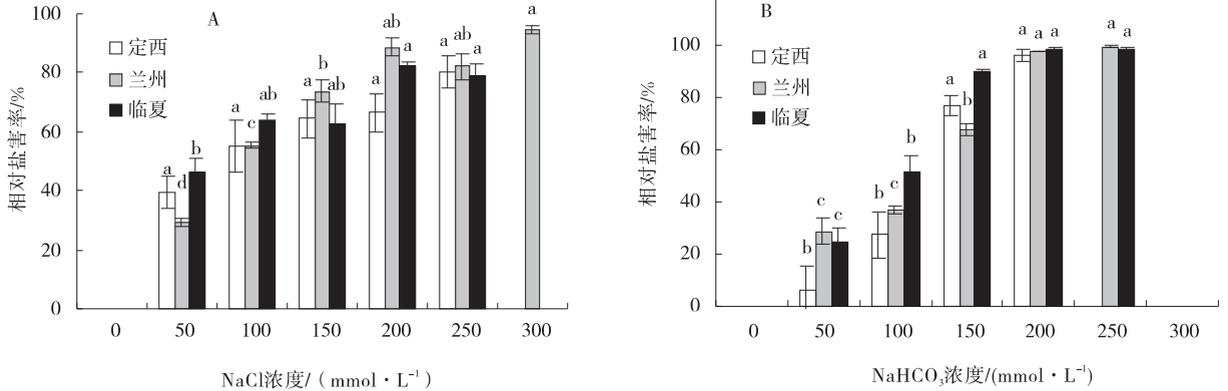


图 10 两种盐胁迫下的种子相对盐害率

Fig. 10 Effects of two salt stresses on the relative salt damage rate of seeds

表 4 NaCl 胁迫下种子萌发阶段耐盐性分析

Table 4 Analysis of salt tolerance at seed germination under NaCl stress

区域	回归方程	相关系数	耐盐适宜浓度 / (mmol · L ⁻¹)	耐盐半致死浓度 / (mmol · L ⁻¹)	耐盐极限浓度 / (mmol · L ⁻¹)
定西	$Y=88.841-0.301X$	-0.814 **	45.98	129.04	261.93
兰州	$Y=84.833-0.303X$	-0.919 **	32.45	114.96	246.97
临夏	$Y=80.286-0.286X$	-0.838 **	18.48	105.9	245.76

注:Y 为相对发芽率,X 为盐浓度,** 为在 0.01 水平(双侧)上显著相关,下同

表 5 NaHCO₃ 胁迫下种子萌发阶段耐盐性分析

Table 5 Analysis of salt tolerance at seed germination under NaHCO₃ stress

区域	回归方程	相关系数	耐盐适宜浓度 / (mmol · L ⁻¹)	耐盐半致死浓度 / (mmol · L ⁻¹)	耐盐极限浓度 / (mmol · L ⁻¹)
定西	$Y=110.933-0.525X$	-0.905 **	68.44	116.06	192.25
兰州	$Y=97.476-0.42X$	-0.970 **	53.51	113.03	208.28
临夏	$Y=93.27-0.43X$	-0.939 **	42.49	100.63	193.65

3 讨论

3.1 枸杞种子形态、大小及千粒重

大粒种子可以贮藏更多的物质,能为种子萌发提供充足的营养物质和能量,保证幼苗能够有充足的资源,最大可能用于生长,尽量争夺和占据空间,在种间竞争中处于优势^[12]。本研究所采集 3 个区域枸杞种子中,兰州种子长、宽、面积、千粒重最大。各区域间种子形态、大小、千粒重有所差异,这可能跟种子遗传特性与生长环境有关。

3.2 枸杞种子吸水特性分析

种子萌发的第一步是吸水,种子吸水吸胀后不仅

可以软化种皮,增强透性使供氧充足,而且水分也是营养物质分解转移的必要前提^[13]。本研究发现枸杞种子饱和吸水阶段从浸种 4 h 开始,这与张沛^[9]的研究结果基本一致,前人研究的黑果枸杞吸水性饱和阶段从浸种 8 h 开始,原因可能与种子种皮的硬度有关。不同区域间种子吸水有所不同,这可能与种子的形态学特征及自身遗传特性有关^[9]。

3.3 盐胁迫对枸杞种子萌发特性的影响

种子萌发是种子从相对静止的状态吸水活化转变为生理代谢旺盛的生长发育阶段,整个过程需要适宜的温度、水分和充足的空气,干旱和盐胁迫会引起种子渗透势发生改变,无法正常吸水,从而影响种子萌发过

程^[14]。种子的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数是衡量和评价种子发芽水平的常用指标^[15],发芽率是衡量种子质量好坏的重要指标,可以显示种子胚的活性^[16],发芽势和发芽指数反映了种子的发芽快慢和整齐程度^[17],种子活力是评价植物耐盐性的重要指标之一^[18]。本研究显示,种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数与刘克彪等^[19-21]的研究一致,相对发芽率、相对发芽势、相对发芽指数、相对活力指数与任永霞^[2]的研究一致,即随盐浓度的升高呈降低趋势。但在NaCl处理下,起始发芽时间与张涛^[14]的研究不一致,前人认为种子的起始发芽时间不受盐胁迫的影响,而本试验得出盐胁迫会使种子的起始发芽时间推迟;在NaHCO₃处理下发芽率与杨志江^[20]的结果相似,差异在于前人的研究中低浓度(5~10 mmol/L)的盐胁迫使种子发芽率上升之后便随着NaHCO₃浓度增大开始下降。

3.4 耐盐性评价

植物最重要的繁殖器官是种子,因此植物种子在萌发阶段的耐盐状况可以反映该物种的耐盐性^[11]。为进一步证明3个区域的耐盐性,通过相对发芽率与盐浓度进行回归分析,得知定西区域的耐盐适宜浓度、半致死浓度、极限浓度最高,NaCl浓度分别为45.98、129.04、261.93 mmol/L;NaHCO₃浓度分别为68.44、116.06、192.25 mmol/L,此结果与萌发指标的反映相吻合,表明该区域更耐盐。虽然各区域在NaCl处理下的耐盐适宜浓度低于NaHCO₃处理,但耐盐半致死及极限浓度高于NaHCO₃,说明NaCl对3个区域的胁迫作用较弱。

4 结论

1) 兰州区域种子纵横径、面积及千粒重最大,临夏区域种子各指标最小;

2) 定西区域种子吸水率、吸水速率均最高,同时期内临夏源种子吸水最低;

3) 不同区域的种子对盐的耐受度为NaCl > NaHCO₃。

4) 通过两种盐对不同区域枸杞种子萌发进行胁迫,以及回归分析表明定西区域种子在本试验的3个区域中耐盐碱性最强。

参考文献:

[1] 周和平,张立新,禹锋,等.我国盐碱地改良技术综述及展望[J].现代农业科技,2007(11):159-161+164.
[2] 胡生荣,武飞,张雨,等.盐胁迫对两种无芒雀麦种子萌发

的影响[J].植物生态学报,2007,31(3):513-520.

- [3] 高立杨,刘兵,张瑞,等.褪黑素对盐碱复合胁迫下垂丝海棠光合及生理特性的影响[J].甘肃农业大学学报,2020,55(2):91-97.
[4] 王聪,王庆山,刘敦华.枸杞汁花生奶复合保健饮料的研制[J].保鲜与加工,2020,7(4):1-9.
[5] 刘思阳,马巧丽,李艳萍,等.枸杞多糖通过调节热休克蛋白B8介导的自噬改善糖尿病神经病理性疼痛的研究[J].中国糖尿病杂志,2020,28(5):373-378.
[6] 孙文丽,Mohamad Hesam Shahrajabian,程奇.枸杞化学成分及药用价值国外研究现状[J].中医药信息,2020,37(3):116-120.
[7] 王德福,郭星星,穆君星.枸杞生产有机肥替代化肥技术试验研究[J].乡村科技,2020(13):99-100.
[8] 郭成唐.枸杞炭疽病的发生与防治[J].甘肃农业,2020(5):88-89.
[9] 张沛.黑果枸杞种子萌发特性及组织培养研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2017.
[10] 孙淑英,李福,任宇,等.不同种源黄芪种子质量研究[J].中药材,2017,40(11):2557-2562.
[11] 何丽娟,王有科,张如力,等.柴达木盆地不同枸杞群体种子表型多样性分析[J].草原与草坪,2016,36(5):34-39.
[12] 赖江山,李庆梅,谢宗强.濒危植物秦岭冷杉种子萌发特性的研究[J].植物生态报,2003,27(5):23-25.
[13] 蔺吉祥.松嫩草地羊草种子发育进程、休眠特性及与盐碱耐性关系的研究[D].长春:东北师范大学,2012.
[14] 张涛,邓国丽,刘金祥.盐胁迫和干旱胁迫对小叶苘蒿种子萌发的影响[J].种子,2019,38(7):79-84.
[15] 秦娟,罗光香,李亭,等.2种线椒的种子萌发和幼苗生长对NaCl的耐受性分析[J].种子,2016,35(9):24-28+31.
[16] 林静,刘艳,李金胜,等.NaCl胁迫下宁夏不同地区沙枣种子萌发特性的比较研究[J].植物生理学报,2015,51(10):1611-1616.
[17] 李铁华,朱祥云,闽楠种子活力测定方法的研究[J].浙江林学院学报,2003(3):97-100.
[18] 贾永正,张子晗,喻方圆,等.盐胁迫对紫薇种子萌发特性的影响[J].种子,2016,35(10):87-91+94.
[19] 刘克彪,张元恺,李发明.黑果枸杞种子萌发对水分和钠盐胁迫的响应[J].经济林研究,2014,32(4):45-51.
[20] 杨志江,李进,李淑珍,等.不同钠盐胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J].种子,2008,27(9):19-22.
[21] 刘伟,常征,黄勇.不同胁迫条件下白花三叶草种子的萌发特性[J].文山学院学报,2019(6):14-18.