

研究报告

DOI:10.14188/j.ajsh.20240428001

NaCl胁迫对红花种子萌发特性的影响

赵琴,陈红芝*

(新乡工程学院 生物工程学院,河南 新乡 453700)

摘要: 盐分是影响植物种子萌发和生长的重要因素。为探究NaCl胁迫对红花种子萌发及生长的影响,采用0、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%的NaCl溶液处理不同品种红花种子,在盐胁迫条件下测定供试红花品种种子萌发期的发芽率、发芽势、相对发芽率、相对发芽势、根长、芽长、干重及鲜重等指标,比较分析7个红花品种种子萌发期对盐胁迫的耐受性。结果表明:盐胁迫下7个红花品种的发芽率、发芽势、相对发芽率和相对发芽势整体呈下降趋势,盐浓度小于等于0.4%时,3-10和云南红花种子的4个指标均在89.44%以上,种子生活力较强,新疆红花种子活力明显低于其他6个品种。盐胁迫下新疆红花种子萌发的相对盐害率最高,盐浓度大于等于0.4%时,相对盐害率在50%以上,而3-10、BH-1、H-7、四川红花和云南红花5个品种的相对盐害率在-2.34%~3.91%之间,红花种子受伤害程度较轻。3-10和H-7红花品种在盐浓度为0.4%时的根长和芽长的表现优于其他品种;当盐浓度大于等于0.6%时,与其他品种相比,BH-1在根长和芽长方面表现出较强的耐盐性。盐胁迫下7个红花品种的鲜重整体均呈下降趋势,同一处理下新疆红花的鲜重均低于其他品种,0.2%盐处理下,H-7和四川红花的鲜重为2.83 g和2.90 g,与对照相差不大,并且高于同浓度下其他红花品种的鲜重,0.8%盐处理下,BH-1的鲜重高于同浓度下其他红花品种的鲜重;与鲜重相比,盐胁迫对红花幼苗干重的抑制作用小,甚至对干物质的积累有促进作用。综合比较,7个红花品种种子萌发期间耐盐性表现较强的为河南新乡当地红花3-10、BH-1和应举以及云南红花,最弱的为新疆红花。

关键词: 红花种子;NaCl胁迫;萌发期;发芽率

中图分类号: S567.21

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2024)06-0575-07

Effects of NaCl stress on germination characteristics of safflower seeds

ZHAO Qin, CHEN Hongzhi*

(College of Bioengineering, Xinxiang Institute of Engineering, Xinxiang 453700, Henan, China)

Abstract: Salt is an important factor affecting seed germination and growth. To investigate the effect of NaCl stress on safflower seed germination and growth, different varieties of safflower seeds were treated with 0, 0.2%, 0.4%, 0.6% and 0.8% NaCl solution. The germination rate, germination potential, relative germination rate, relative germination potential, root length, bud length, dry weight and fresh weight of the tested seeds were measured under salt stress. The tolerance of 7 safflower varieties to salt stress during seed germination was compared and analyzed. The results indicate that the germination rate, germination potential, relative germination rate and relative germination potential of 7 safflower varieties show a downward trend under salt stress. When the salt concentration is less than or equal to 0.4%, the four indicators of 3-10 and Yunnan safflower seeds are all above 89.44%, and the viability of the seeds are strong. The vitality of Xinjiang safflower seed is significantly lower than that of the other six varieties. The relative salt damage rate of safflower seed germination in Xinjiang is the highest under salt stress. When the salt concentration is equal to or greater than 0.4%,

收稿日期: 2024-04-28 修回日期: 2024-11-09 接受日期: 2024-12-05

作者简介: 赵琴(1986-),女,讲师,研究方向为植物生理生化。E-mail: xgzhaopin@163.com

* 通讯联系人: 陈红芝(1980-),女,副教授,研究方向为植物资源应用。E-mail: xgxycz@126.com

基金项目: 河南省科技攻关项目(242102110279);新乡市科技攻关项目(GG2021023);新乡工程学院自然科学基金项目(2022ZK-5)

引用格式: 赵琴,陈红芝. NaCl胁迫对红花种子萌发特性的影响[J]. 生物资源, 2024, 46(6): 575-581.

Zhao Q, Chen H Z. Effects of NaCl stress on germination characteristics of safflower seeds [J]. Biotic Resources, 2024, 46(6): 575-581.

the relative salt damage rate is above 50%. While the relative salt damage rates of the 3-10, BH-1, H-7, Sichuan safflower and Yunnan safflower range from -2.34% to 3.91%, and the safflower seeds are less damaged. The root length and bud length of 3-10 and H-7 safflower varieties are superior to other varieties at a salt concentration of 0.4%. When the salt concentration is equal to or greater than 0.6%, BH-1 shows a stronger salt tolerance in root length and bud length compared with other varieties. The fresh weights of seven safflower varieties show an overall decreasing trend under salt stress. And under the same treatment, the fresh weight of Xinjiang safflower is lower than that of other varieties. Under 0.2% salt treatment, the fresh weight of H-7 and Sichuan safflower are 2.83 g and 2.90 g, respectively, with no significant difference from the control, and higher than that of other varieties under the same concentration. The fresh weight of BH-1 under 0.8% salt treatment is higher than that of other varieties under the same concentration. Compared with fresh weight, salt stress has less inhibitory effect on dry weight of safflower seedlings, and even promotes dry matter accumulation. By comprehensive comparison, during the seed germination of the seven safflower varieties, the local safflower 3-10, BH-1, and Yingju safflower from Xinxiang, Henan, as well as Yunnan safflower, have strong salt tolerance, and Xinjiang safflower has the weakest tolerance.

Key words: safflower seeds; NaCl stress; germination period; germination rate

0 引言

红花(*Carthamus tinctorius* L.)为菊科(*Compositae*)红花属(*Carthamus*),又称为红花草、川红花,为1~2年生草本植物,喜阳光充足、干燥、温暖的环境^[1]。红花为药食同源植物,还可作为燃料、油料和饲料等,因此深受关注。在中国,红花的栽培和药用历史悠久,已有2 100多年,是红花属中唯一的栽培品种,在河南、新疆、云南、浙江、四川等地均有分布。河南省红花产业在中国占有重要地位,种植区域集中在西华、卫辉、长垣、温县等地^[2]。种植红花对农民脱贫和地方财政增收起到促进作用,尤其是在土壤瘠薄、缺乏灌溉条件的山区丘陵地带,红花是脱贫致富的重要经济作物,在乡村战略背景下,河南省先后出台了多项政策支持红花产业的发展^[3]。河南省工业和信息化委制定的《河南省中药材保护和发展规划(2016—2020年)》明确提出引导道地大宗中药材规范化生产,以生产企业为主导,重点建设基本药物、创新药物及保健食品等方面所需的10余种道地大宗中药材的生产基地;在新乡开展卫红花道地中药材标准化、规模化、产业化种子种苗(种源)繁育,从源头上保证优质中药材生产。《河南省“十四五”中医药发展规划》(豫政办[2022]85号)提出以卢氏县、嵩县、淅川县、新县等42个县(市、区)为重点,发展优质豫产药材,提升豫产药材质量;发展中药材衍生产业,支持药食同源中药材产业化发展。《河南省中医药振兴发展实施方案》(豫政办[2023]56号)文件提出,加强中药材种质资源保护利用和良种繁育,支持在伏牛山、大别山、太行山、怀药产区和黄淮海平原等道地药材优势产区建设5个以上药用植物种质资源圃(库),每年选育鉴定10个道地药材新品种,认定

10个道地药材良种繁育基地。河南省是红花道地药材产区之一,分布着大面积盐渍化土地,对现有红花种质资源进行评价,筛选出适合河南省种植的高产、耐盐碱和抗性好的优良新品种,是充分利用盐渍化土地的措施之一。

植物种子耐盐性是耐盐碱植物筛选与早期鉴定的主要依据之一,种子能否在盐胁迫下萌发成苗,是植物在盐碱条件下生长发育的前提^[4],目前已有研究报道盐胁迫对红花种子发芽的影响及其在盐胁迫下的生理变化^[4-11],但针对盐胁迫下不同产区红花种子萌发特性的研究还未见报道,仅有针对不同产区红花耐盐性的比较研究^[10],该研究选取11个地区的红花品种,分析了幼苗期20个红花品种的叶绿素、丙二醛、抗氧化酶活性等生理指标的变化,但并未研究萌发期红花的耐盐性。本实验中3-10、BH-1和H-7红花为新乡市红花资源开发利用工程技术研究中心选育的红花新品种,均为河南卫辉道地药材。其中,3-10是从卫辉当地农家种中选育出的红花新材料;BH-1是从农家种中选育出的产量高、品质优、综合抗性强并能稳定遗传的红花新品种;H-7是从卫辉当地农家种中选育出的开黄色花的红花新材料;应举红花是来自河南封丘的农家种。研究发现,由于光照、温度、湿度、栽培条件等不同,在云南、四川、新疆等地的红花均表现出独特的生长特性,如云南的红花产量高,新疆的红花生长周期长,河南的红花综合抗性比较强。本实验对3-10、BH-1、H-7和应举红花种子萌发期进行耐盐性研究,并将河南、云南、四川和新疆四大产区的红花进行对比分析,研究红花种子在盐胁迫下的萌发特性,有助于阐明盐胁迫下红花的生理机制,也可为河南进一步选育耐盐红花新品种及其盐碱地栽培提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试的7个红花品种为3-10、BH-1、H-7以及应举、四川、云南和新疆的农家品种。其中,3-10、BH-1、H-7、应举红花来源于河南,红花种子均由新乡工程学院提供。

1.2 实验方法

在新乡工程学院生理生化实验室进行种子萌发实验,以纯NaCl溶液模拟盐胁迫,盐浓度设置为0.2%、0.4%、0.6%、0.8%。人工挑选大小均匀、颗粒饱满、种胚完好、无病害的红花种子,将选取的红花种子用3%过氧化氢溶液处理灭菌30 min,再用蒸馏水清洗数次,浸种吸胀24 h,期间换水1~2次。

在培养皿底部铺设双层滤纸,作为种子发芽实验的发芽床。随机选取60粒浸泡后的种子,将其均匀放置于发芽床中,每个盐浓度设置3次重复,向培养皿中分别加入配制好的NaCl溶液,以蒸馏水为对照,盐溶液加至浸没种子1/2左右,在室温下进行发芽实验。每天定时使用电子天平称量整个发芽床的重量,根据重量变化及时补充发芽床中蒸发掉的水分,从而维持盐浓度的恒定。种子破壳露白视为发芽,每天定时记录种子发芽数,计算种子的发芽率、发芽势、相对发芽率和相对发芽势。发芽实验进行

到第十天,发芽床中红花种子发芽数趋于稳定时,萌发结束。发芽结束后,从每个培养皿选取10株长势一致的红花幼苗,测定根长、芽长、干重及鲜重。

各指标计算如下:发芽势=(第4 d发芽种子数/供试种子数)×100%;发芽率=(第10 d发芽种子数/供试种子数)×100%;相对发芽势=(NaCl处理后第4 d种子发芽势/第4 d对照种子发芽势)×100%;相对发芽率=(NaCl处理后第10 d种子发芽率/第10 d对照种子发芽率)×100%;相对盐害率=((对照组发芽率-处理组发芽率)/对照组发芽率)×100%。

1.3 数据分析

用SPSS Statistics 24进行单因素方差分析和显著性检测,用Excel 2007对实验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对红花种子发芽势和发芽率的影响

发芽率是反映种子质量和出苗率的指标^[12],种子发芽率越高,表明有生命活力的种子比例越高。发芽势是反映种子质量优劣的指标之一,可以反映种子生活力的强弱和出苗的整齐程度,发芽势越高,种子生活力越强,出苗整齐,增产潜力也越大。

由表1和表2可知,盐处理下7个红花品种的发芽率和发芽势整体呈下降趋势,盐胁迫对新疆红花种子的发芽率和发芽势有显著影响,当盐浓度大于

表1 盐胁迫对红花种子发芽率的影响

Table 1 Effects of salt stress on the germination rate of safflower seeds

NaCl浓度/%	不同品种红花的发芽率/%						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	99.67±1.70Aa	99.33±0.82Aa	99.44±0.96Aa	95.00±0.03Aa	95.56±0.01Aa	90.00±2.89aA	56.11±1.92aA
0.2	96.11±0.96Cc	97.24±0.96ABab	99.50±0.47Aa	92.78±0.01Aa	93.89±0.03Aa	88.33±2.89aA	46.11±10.71aA
0.4	98.33±0.21Bb	97.20±0.96ABab	98.33±1.67Aa	94.44±0.03Aa	97.78±0.01Aa	93.89±3.47aA	27.22±4.81bB
0.6	99.67±1.24Aa	98.89±1.92Aa	98.89±0.96Aa	94.44±0.02Aa	92.78±0.02Aa	88.33±7.64aA	27.22±9.18bB
0.8	95.33±1.67Bb	95.00±2.89Bb	95.56±1.93Bb	94.44±0.02Aa	92.78±0.04Aa	71.11±10.05bB	17.22±5.36bB

注:大写字母表示差异极显著(P<0.01),小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: capital letters indicate extremely significant difference(P<0.01), lowercase letters indicate significant difference(P<0.05)

表2 盐胁迫对红花种子发芽势的影响

Table 2 Effects of salt stress on germination potential of safflower seeds

NaCl浓度/%	不同品种红花的发芽势/%						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	97.22±4.81Aa	98.33±1.67Aa	92.78±1.92Aa	84.44±0.08Aa	93.89±0.05Aa	90.56±0.96Aa	51.67±2.89Aa
0.2	95.00±3.33Aa	97.78±0.96Aa	96.11±0.96Aa	78.89±0.04ABab	89.44±0.04Aa	88.89±4.82Aa	41.67±8.33Aa
0.4	97.22±1.92Aa	83.89±3.85Cc	85.00±2.89Aa	72.78±0.08ABab	92.78±0.02Aa	91.11±0.96Aa	20.56±8.55Bb
0.6	94.44±1.93Aa	91.11±5.36Bb	57.22±16.78Bb	71.11±0.06Bb	89.44±0.04Aa	87.78±4.20Aa	24.44±7.52Bb
0.8	61.67±19.22Bb	23.33±6.01Dd	50.89±29.13Cc	52.22±0.07Cc	83.89±0.10Aa	70.00±4.40Bb	13.89±2.55Bb

注:大写字母表示差异极显著(P<0.01),小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: capital letters indicate extremely significant difference(P<0.01), lowercase letters indicate significant difference(P<0.05)

等于0.2%时,发芽率和发芽势均在50%以下,下降趋势明显,与其他品种相比,同一处理下新疆红花种子的发芽率和发芽势均最低。盐胁迫对3-10、BH-1、H-7、四川红花和云南红花种子的发芽率影响不显著。当盐浓度为0.8%时,应举红花种子的发芽率显著降低,为71.11%。当盐浓度为0.8%时,3-10、BH-1、H-7、四川红花和应举红花种子的发芽势显著降低,其中,3-10和应举红花种子的发芽势不低于61.67%,高于BH-1、H-7和四川红花,并且BH-1在0.8%盐浓度下的发芽势低于25%,种子活力较弱,而云南红花的发芽势无显著变化。由以上分析结果可知,在7个红花品种中,在盐浓度为0.2%和0.4%时,3-10、云南红花和应举红花种子的发芽率和发芽势较高,在88%以上,种子生活力较强,新疆红花种子活力明显低于其他6个品种。

2.2 盐胁迫对红花种子相对发芽势和相对发芽率的影响

相对发芽势、相对发芽率是指植物种子在某一温度下发芽的能力,是衡量植物种子发芽好坏的重要指标。由表3和表4可知,盐浓度为0.2%时,7个红花品种的相对发芽率和相对发芽势较高,在80%以上。盐处理对新疆红花的相对发芽率有显著影响,盐浓度大于等于0.4%时,新疆红花的相对发芽率在50%以下,盐处理对其他6个红花品种影响较小,相对发芽率均不低于79.01%。盐胁迫下,7个红花品种的相对发芽势受到明显抑制,出现降低趋势,

其中盐浓度为0.8%时,BH-1、H-7和新疆红花种子的相对发芽势显著降低,低于30%。因此,从相对发芽率和相对发芽势指标来看,盐胁迫下,3-10、四川红花、云南红花和应举红花种子的生活力较强。

2.3 盐胁迫对红花种子相对盐害率的影响

相对盐害率反映了盐溶液对种子萌发率的影响程度,数值越大,说明种子受到的伤害越重,越不易萌发和生长。由表5可知,盐浓度大于等于0.4%时,新疆红花种子萌发的相对盐害率最高,在50%以上;在盐浓度为0.8%时,应举红花的相对盐害率显著升高,达20.99%;盐处理下,3-10、BH-1、H-7、四川红花和云南红花的相对盐害率在-2.34%~3.91%之间。因此,盐胁迫下3-10、BH-1、H-7、四川红花和云南红花种子受伤害程度较轻。

2.4 盐胁迫对红花幼苗根长和芽长的影响

种子萌发时胚根一般率先突破种皮,具有吸收水分和养分的功能,因此根系是植物耐受胁迫能力的一个重要指标。由表6和表7可见,0.8%盐浓度下,新疆红花根长增加,而其余6种红花的根长和芽长均受抑制。新疆红花在0.2%盐浓度时根长和芽长最长,该结果与新疆红花在0.2%盐浓度时相对发芽率和相对发芽势最高的结果一致。

盐浓度为0.4%时,3-10、H-7红花品种根长和芽长均达到最长,并且高于其他5个品种;而BH-1在盐浓度为0.6%时,根长和芽长均达到最长,且在盐浓度为0.8%时,其根长和芽长虽受到抑制,但长

表3 盐胁迫对红花种子相对发芽率的影响

Table 3 Effects of salt stress on the relative germination rate of safflower seeds

NaCl浓度/%	不同品种红花的相对发芽率/%						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.2	100.63±0.01Aa	97.22±0.96Aa	100.60±0.12Aa	97.73±0.04Aa	98.25±0.02ABab	98.15±3.21Aa	82.18±19.09Aa
0.4	98.88±1.68Aa	97.22±0.96Aa	98.88±1.68Aa	99.43±0.01Aa	102.34±0.03Aa	104.32±3.86Aa	48.51±8.58Bb
0.6	99.44±0.97Aa	98.89±1.92Aa	99.44±0.97Aa	99.46±0.03Aa	97.09±0.01Bb	98.15±8.49Aa	48.51±16.36Bb
0.8	96.09±1.94Bb	95.00±2.89Aa	96.09±1.94Bb	99.46±0.03Aa	97.08±0.04Bb	79.01±11.16Bb	30.69±9.54Bb

注:大写字母表示差异极显著(P<0.01),小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: capital letters indicate extremely significant difference(P<0.01), lowercase letters indicate significant difference(P<0.05)

表4 盐胁迫对红花种子相对发芽势的影响

Table 4 Effects of salt stress on the relative germination potential of safflower seeds

NaCl浓度/%	不同品种红花的相对发芽势/%						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.2	97.71±3.34Aa	99.44±0.98Aa	103.59±1.03Aa	94.02±0.11Aa	95.29±0.02Aa	98.16±5.32Aa	80.65±16.13Aa
0.4	99.99±1.98Aa	85.29±3.93Bb	91.61±3.11Aa	86.30±0.08Aa	99.07±0.08Aa	100.61±1.06Aa	39.78±16.55Bb
0.6	97.14±1.98Aa	92.66±5.54Aa	61.68±18.08Bb	84.95±0.14ABab	95.46±0.08Aa	96.93±4.64Aa	47.31±14.54Bb
0.8	63.46±19.77Bb	23.73±6.11Cc	25.15±1.8Cc	62.66±0.13Bb	89.17±0.08Aa	77.30±4.87Bb	26.88±4.93Bb

注:大写字母表示差异极显著(P<0.01),小写字母表示差异显著(P<0.05)

Note: capital letters indicate extremely significant difference(P<0.01), lowercase letters indicate significant difference(P<0.05)

表5 盐胁迫对红花种子相对盐害率的影响
Table 5 Effects of salt stress on the relative salt damage rate of safflower seeds

NaCl浓度/%	相对盐害率/%						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.2	1.59±0.96Aa	2.78±0.96Aa	-0.56±1.26Bb	2.27±0.04Aa	1.75±0.02ABab	1.85±3.21Bb	17.82±19.09Bb
0.4	1.23±0.15Bb	2.32±0.57Aa	1.12±1.68Bb	0.57±0.01Bb	-2.34±0.02Bb	-4.32±3.86Bb	51.49±8.58Aa
0.6	1.67±0.56Aa	1.10±1.92Bb	0.56±0.96Bb	0.54±0.03Bb	2.91±0.01Aa	1.85±8.49Bb	51.49±16.36Aa
0.8	1.67±2.32Aa	3.30±1.54Aa	3.91±1.94Aa	0.54±0.03Bb	2.92±0.01Aa	20.99±11.16Aa	69.31±9.55Aa

注:大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: capital letters indicate extremely significant difference($P < 0.01$), lowercase letters indicate significant difference($P < 0.05$)

表6 盐胁迫对红花幼苗根长的影响
Table 6 Effect of salt stress on root length of safflower seedlings

NaCl浓度/%	不同品种红花的根长/cm						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	8.82±2.23Aa	4.87±2.64Aa	6.02±1.25Aa	3.12±1.03ABab	2.68±1.51Aa	4.00±1.00Aa	0.33±0.05Bb
0.2	5.83±1.74Aa	4.56±0.65Aa	5.33±3.06Aa	4.42±2.38Aa	2.03±0.68ABab	2.83±2.25ABab	2.40±2.33Aa
0.4	8.27±2.89ABab	1.45±1.56Cc	7.83±0.58Aa	1.42±0.31BCbc	2.88±0.78Aa	2.90±2.42ABab	0.36±0.11Bb
0.6	5.96±4.85ABab	4.67±1.26ABab	2.33±0.76Bb	0.80±0.33Cc	1.77±1.51ABab	2.67±1.60ABab	0.40±0.17Bb
0.8	0.73±0.45Bb	3.03±3.04ABab	0.73±0.25Bb	0.60±0.25Cc	0.40±0.17Bb	0.30±0.10Bb	1.00±0.50Bb

注:大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: capital letters indicate extremely significant difference($P < 0.01$), lowercase letters indicate significant difference($P < 0.05$)

表7 盐胁迫对红花幼苗芽长的影响
Table 7 Effect of salt stress on the bud growth of safflower seedlings

NaCl浓度/%	不同品种红花的芽长/cm						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	7.83±0.76Aa	5.93±1.62Aa	5.12±0.76Aa	4.05±0.09Aa	5.02±1.31Aa	5.40±0.85Aa	0.40±0.00Bb
0.2	6.33±0.29ABab	2.73±1.86Bb	3.83±1.04Bb	4.83±0.76Aa	4.73±1.05Aa	3.50±2.36ABab	2.16±2.08Aa
0.4	6.53±1.32ABab	1.83±1.04BCbc	5.17±0.29Aa	1.83±0.88Bb	3.38±0.78ABab	2.26±0.25BCbc	0.40±0.17Bb
0.6	5.12±1.53Bb	3.60±0.56BCbc	2.43±0.41Cc	0.73±0.23Cc	1.93±0.76BCbc	3.00±0.00Bb	0.50±0.20Bb
0.8	1.01±0.5Cc	1.03±0.38Cc	0.83±0.58Dd	0.30±0.09Cc	0.55±0.48Cc	0.70±0.44Cc	0.30±0.10Bb

注:大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: capital letters indicate extremely significant difference($P < 0.01$), lowercase letters indicate significant difference($P < 0.05$)

度均高于其他品种,根长和芽长分别为3.03 cm和1.03 cm,根芽比达到2.94,高于除新疆红花外的其他5个品种。由此可知,3-10、H-7红花品种在盐浓度为0.4%时根长和芽长最长,表现优于其他品种。当盐浓度大于等于0.6%时,与其他品种相比,BH-1在根长和芽长方面表现出较强的耐盐性。

2.5 盐胁迫对红花幼苗鲜重和干重的影响

研究表明,干重和鲜重能比较可靠地反映植株的耐盐性。植物在逆境胁迫条件下,干物质积累量的多少能反映植物的抗逆性强弱,为最可信指标之一,鲜重和株高与干物质的积累有一定关系。由表8和表9可知,盐胁迫下,3-10、H-7、四川红花、云南红花和应举红花的鲜重整体呈下降趋势,其中盐浓度为0.2%时,H-7和四川红花的鲜重高于其他5个品种,分别为2.83 g和2.90 g。盐胁迫下BH-1的鲜重

呈现先降低后上升的趋势,且盐浓度为0.8%时鲜重为1.70 g,高于其他品种;同一处理下新疆红花的鲜重均低于其他品种,盐浓度为0.2%时,新疆红花鲜重最高,这一结果与同一浓度下新疆红花在0.2%盐浓度时相对发芽率、相对发芽势、根长和芽长值最大的结果一致。盐处理下,除新疆红花外,其他6个品种的干重整体呈上升趋势,其中盐浓度为0.8%时,6个红花品种的干重呈现不同程度的升高,增加范围为0.06~0.32 g;不同盐处理下新疆红花的干重无显著差异,说明盐胁迫对红花幼苗积累干物质的抑制作用较小,甚至对于干物质积累有促进作用。

3 讨论

土壤中普遍存在各种盐分,NaCl影响最严重。土壤中的盐分影响植物生长,植物不同生育时期对

表8 盐胁迫对红花幼苗鲜重的影响
Table 8 Effects of salt stress on fresh weight of safflower seedlings

NaCl浓度/%	不同品种红花的鲜重/g						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	3.25±0.2Aa	2.80±0.75Aa	2.83±0.15Aa	2.30±0.40Bb	3.03±0.21Aa	3.37±1.75Aa	0.67±0.20Aa
0.2	2.30±0.4ABab	1.37±0.55Bb	2.83±0.21Aa	2.90±0.10Aa	2.17±0.21Bb	1.73±0.38ABab	1.07±0.38Aa
0.4	2.40±0.32BCbc	1.27±0.15Bb	2.57±0.21Aa	2.27±0.06BCbc	2.27±0.15Bb	1.73±0.06ABab	0.80±0.10Aa
0.6	2.07±0.41Cc	1.77±0.23Bb	1.30±0.2Bb	1.90±0.20Cc	2.00±0.44Bb	1.57±0.46Bb	0.77±0.21Aa
0.8	1.30±0.3Dd	1.70±0.71Bb	1.30±0.1Bb	1.33±0.57Dd	1.37±0.51Cc	1.23±0.25Bb	0.70±0.10Aa

注:大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: capital letters indicate extremely significant difference ($P < 0.01$), lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

表9 盐胁迫对红花幼苗干重的影响
Table 9 Effects of salt stress on dry weight of safflower seedlings

NaCl浓度/%	不同品种红花的干重/g						
	3-10	BH-1	H-7	四川红花	云南红花	应举红花	新疆红花
0.0	0.26±0.3Bb	0.24±0.07Bb	0.32±0.08Bb	0.28±0.03Bb	0.26±0.08Bb	0.29±0.07Cc	0.40±0.01Aa
0.2	0.29±0.01Bb	0.39±0.08Aa	0.32±0.02Bb	0.26±0.09Bb	0.25±0.09Bb	0.37±0.08BCbc	0.35±0.04Aa
0.4	0.23±0.02Bb	0.35±0.09ABab	0.24±0.06Cc	0.59±0.18Aa	0.41±0.08Bb	0.45±0.05ABab	0.34±0.09Aa
0.6	0.27±0.06Bb	0.23±0.09Bb	0.29±0.02BCbc	0.63±0.14Aa	0.36±0.16Bb	0.33±0.02BCbc	0.38±0.05Aa
0.8	0.48±0.52Aa	0.43±0.05Aa	0.35±0.13Aa	0.72±0.11Aa	0.68±0.14Aa	0.50±0.10Aa	0.34±0.03Aa

注:大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: capital letters indicate extremely significant difference ($P < 0.01$), lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$)

盐胁迫的敏感度不同,其中,种子萌发期是对盐胁迫最为敏感的阶段,在萌发期受种子自身基因和外界环境因素的共同影响^[13],盐胁迫可通过渗透胁迫和离子毒害等作用对植物种子萌发造成伤害,进而影响种子的萌发和芽苗生长潜能^[14,15]。耐盐性强弱决定了盐胁迫下植物的生长状况,盐胁迫下种子的发芽率、相对发芽率、发芽势、相对发芽势等萌发性状往往受到不同程度的逆境危害。实验从发芽率、发芽势、相对发芽率、相对发芽势、相对盐害率方面比较了萌发期红花种子的耐盐性,发现盐浓度增加,种子萌发相关指标受到不同程度抑制。盐浓度从0.2%增加到0.8%时,红花种子发芽势、发芽率、相对发芽势整体降低,而相对盐害率除四川红花外,其余红花品种整体呈上升趋势。种子萌发后,胚芽和胚根的生长状况是体现种子由萌发期向苗期过渡的重要指标,直接关系到幼苗后期的生长发育及其对环境的耐受性^[16]。实验分析了红花种子萌发后根长、芽长、鲜重和干重的变化,0.8%盐浓度下,3-10、应举红花、四川红花和云南红花的根长、芽长及鲜重均低于其他盐处理,表明此浓度下盐胁迫对这4个红花品种种子芽苗生长影响大。H-7在0.8%盐浓度下根长和芽长均最短,鲜重和干重在0.6%和0.8%盐浓度下最小。综合来看,0.8%盐浓度下,盐胁迫对H-7红花种子芽苗生长也有较大影响。这与相关研究^[4]结果一致,即盐胁迫对红花发芽生长的影响在0.6%

以上最严重,0.1%~0.4%为轻度影响。耐盐性较强的3-10和BH-1红花种子在较高NaCl浓度胁迫下仍有较强的萌发能力和芽苗生长能力。

实验结果显示,相同盐浓度下,新疆红花种子萌发指标(发芽率、发芽势、相对发芽率、鲜重)均低于其余6个品种,相对盐害率显著高于其他品种,耐盐性较弱。盐浓度从0.2%增加到0.6%时,3-10、BH-1、应举红花、云南红花种子萌发期表现出较强耐盐性,其中3-10、BH-1红花为河南新乡卫辉道地药材,为开红色花的花红花新品种,应举红花为河南封丘的农家种,3个红花品种均来自河南新乡,而新乡分布着大面积盐碱地,因此与四川和新疆的红花相比,这3种红花种子表现出较强耐盐性。在此浓度范围内,云南红花种子萌发期耐盐性强于四川和新疆2个产区的红花,这与文献[10]研究结果一致。但这些幼苗能否度过幼苗期而长成植株,仍需进一步探讨。若能把萌发期和幼苗期的耐盐性鉴定结合起来,同时用实验室确定好的耐盐品种进行一定的田间试验,进一步验证其耐盐性,将会对实际生产有更现实的指导意义。

参考文献

[1] 戴睿. 盐碱胁迫对植物生长的影响及应对措施[J]. 现代农业科技, 2019(23): 58.
Dai R. Effects of saline-alkali stress on plant growth

- and countermeasures [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2019(23): 58.
- [2] 胡喜巧, 毋柳柳, 陶焯, 等. 新乡红花种质资源主要农艺性状相关分析与通径分析[J]. *广东农业科学*, 2015, 42(21): 40-44.
- Hu X Q, Wu L L, Tao Y, *et al.* Correlation analysis and path analysis of main agronomic traits in safflower germplasm of Xinxiang [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(21): 40-44.
- [3] 张玉红, 董彦琪, 余永亮, 等. 河南省红花产业现状及发展建议[J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(17): 234-237.
- Zhang Y H, Dong Y Q, Yu Y L, *et al.* Developmental proposals based on the current situation of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) industry in Henan Province [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(17): 234-237.
- [4] 李凤伟, 李洪山, 申玉香, 等. 盐胁迫对红花种子萌发及幼苗生理指标的影响[J]. *现代农业科技*, 2014(23): 97-99.
- Li F W, Li H S, Shen Y X, *et al.* Effects of salt stress on seed germination and seedling physiological index of *Carthamus tinctorius* L. [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2014(23): 97-99.
- [5] 张元, 冯琼, 杨小方, 等. 黄腐酸对盐胁迫下红花种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *河南农业科学*, 2015, 44(11): 24-27.
- Zhang Y, Feng Q, Yang X F, *et al.* Effect of fulvic acid on seed germination and seedling physiological characters of *Carthamus tinctorius* L. under salt stress[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2015, 44(11): 24-27.
- [6] 田梅, 曹慧雅, 张明烁, 等. 红花在萌发期和幼苗期对盐胁迫的响应[J]. *中国农业科技导报*, 2019, 21(5): 49-54.
- Tian M, Cao H Y, Zhang M S, *et al.* Response of *Carthamus tinctorius* L. to salt stress during germination and seedling stage [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(5): 49-54.
- [7] 王少平, 李宏广. 盐胁迫对红花种子发芽率的影响[J]. *特产研究*, 2014, 36(2): 36-39.
- Wang S P, Li H G. Effects on salt stress on the germination rate of safflower seed [J]. *Special Wild Economic Animal and Plant Research*, 2014, 36(2): 36-39.
- [8] 冯梅, 张世卿, 曹亚军, 等. 盐胁迫对红花种子萌发及幼苗的生理效应[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(22): 144-148.
- Feng M, Zhang S Q, Cao Y J, *et al.* Physiological effects of salt stress on seed germination and seedlings of *Carthamus tinctorius* L. [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(22): 144-148.
- [9] 孙晨, 姜盈盈, 陈森森, 等. 盐胁迫对红花种子萌发的影响[J]. *吉林农业*, 2018(17): 54.
- Sun C, Jiang Y Y, Chen S S, *et al.* Effect of salt stress on seed germination of *Carthamus tinctorius* L. [J]. *Agriculture of Jilin*, 2018(17): 54.
- [10] 于美玲. 20个红花品种的耐盐生理及农艺性状的综合评价[D]. 新乡: 河南师范大学, 2010.
- Yu M L. The research on physiological responses of salt tolerance and agricultural characters of 20 safflower varieties [D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2010.
- [11] 李威, 张曦, 谭勇, 等. 盐胁迫对不同品种红花种子萌发和幼苗生长的影响[J]. *江苏农业科学*, 2013, 41(8): 229-232.
- Li W, Zhang X, Tan Y, *et al.* Effects of salt stress on seed germination and seedling growth of different varieties of *Carthamus tinctorius* L. [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2013, 41(8): 229-232.
- [12] 郭湘, 郭一帆, 黄思怡, 等. 干旱和盐胁迫对14个紫花苜蓿品种种子萌发特性的影响[J]. *草业科学*, 2019, 36(9): 2292-2303.
- Guo X, Guo Y F, Huang S Y, *et al.* Effects of drought and salt stress on seed germination characteristics of 14 *Medicago sativa* varieties [J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(9): 2292-2303.
- [13] 王薇薇, 吴永成, 梅焱, 等. 大蒜萌发期耐盐性综合评价[J]. *江苏农业科学*, 2021, 49(21): 143-146.
- Wang W W, Wu Y C, Mei Y, *et al.* Comprehensive evaluation of salt tolerance during germination of garlic [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(21): 143-146.
- [14] 聂佳俊, 白璐嘉, 韦云飞, 等. 盐胁迫过程中渗透胁迫和离子胁迫对水稻种子萌发的影响[J]. *分子植物育种*, 2022, 20(3): 959-966.
- Nie J J, Bai L J, Wei Y F, *et al.* Effects of osmotic stress and ion stress on rice seed germination during salt stress [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, 20(3): 959-966.
- [15] Zhong Y P, Qi X J, Chen J Y, *et al.* Growth and physiological responses of four kiwifruit genotypes to salt stress and resistance evaluation [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, 18(1): 83-95.
- [16] 朱琨, 刘骅峻, 冯成龙, 等. 盐胁迫对不同苜蓿品种种子萌发的耐盐性综合评价[J]. *草地学报*, 2023, 31(12): 3724-3733.
- Zhu K, Liu H J, Feng C L, *et al.* Comprehensive evaluation on the salt tolerance of seed germination of different alfalfa varieties under salt stress [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2023, 31(12): 3724-3733.

□

(编辑: 肖展春 高华)