

詹振楠,马青,王文娟,等.混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响[J].江苏农业科学,2018,46(24):119-122.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.031

# 混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响

詹振楠,马青,王文娟,纳伟

(宁夏葡萄酒与防沙治沙职业技术学院,宁夏银川 750001)

**摘要:**以黑果枸杞种子为对象,将中性盐  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  及碱性盐  $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  按不同比例混合成 4 种组合,并分别设置 50、100、150、200 mmol/L 4 个浓度梯度,以蒸馏水处理为对照,研究黑果枸杞种子萌发过程中不同盐碱胁迫对其种子萌发的影响。结果表明,随盐碱胁迫程度的加强,种子发芽率、发芽势、发芽指数与对照相比有显著下降 ( $P < 0.05$ );同一盐碱浓度胁迫下,随 pH 值的升高,黑果枸杞种子发芽率、发芽势、发芽指数减小,但当盐碱浓度  $\geq 150$  mmol/L 时,不同 pH 值处理的黑果枸杞种子萌发参数相互间差异相对较小;混合盐碱胁迫解除,黑果枸杞种子仍具有一定的萌发能力,其中,低浓度  $\text{NaCl}$ 、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  混合的中性盐胁迫处理的黑果枸杞种子其恢复萌发率相对最高,最终萌发率达到 65.0%,与对照接近,但高盐浓度、高 pH 值处理的种子恢复萌发率相对极低;盐浓度、pH 值及其相互作用对黑果枸杞种子的萌发有抑制作用,且盐浓度是决定性的主导因素。

**关键词:**黑果枸杞;混合盐碱胁迫;萌发率;萌发恢复率; $\text{NaCl}$ ; $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; $\text{NaHCO}_3$ ; $\text{Na}_2\text{CO}_3$

**中图分类号:** S567.1<sup>+</sup>90.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0119-04

土壤盐渍化是世界上最为严重的生态环境问题之一,预计到 2050 年,50% 以上的耕地会发生不同程度盐碱化,这将会严重影响土地利用率和农作物产量<sup>[1]</sup>。中国盐碱化土地面积已近 1 亿  $\text{hm}^2$ ,潜在盐碱地面积达 1 733 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>,其中,东北松嫩平原、新疆维吾尔自治区、内蒙古河套灌区、宁夏引黄灌区盐碱化土地面积分别约为 370 万、847.6 万、111.9 万、46.58 万  $\text{hm}^2$ <sup>[3]</sup>,而不同地区因受自然条件及气候差异的影响,其盐碱地类型较为复杂,多为复合盐碱地,即盐化和碱化相伴存在。盐生环境中,种子萌发是植物生存和延续至关重要的阶段<sup>[4]</sup>,更是植物能否适应环境变化并成功建植的关键<sup>[5]</sup>。有研究表明,碱性盐胁迫比中性盐胁迫对植物的生化破坏力更强<sup>[6]</sup>。目前,研究  $\text{NaCl}$ 、 $\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  等单一盐或碱胁迫下植物种子萌发情况的较多,而复杂混合盐碱对种子萌发影响的研究仅在牧草、粮食等作物上<sup>[7-9]</sup>。

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr)为茄科枸杞属多年生耐盐、抗旱植物<sup>[10]</sup>,主要分布于我国陕西省北部、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区等地<sup>[11]</sup>,成熟浆果富含紫红色素和微量元素,是一种天然的珍稀花色苷类色素资源,有作为药用植物资源开发的物质潜力<sup>[12]</sup>。目前,有关黑果枸杞的研究报道主要集中在黑果枸杞基因与遗传多样性、抗氧化成分测定分析、组织培养快繁技术、 $\text{NaCl}$ 与 $\text{MgSO}_4$ 单盐胁迫下生理指标测定及其种子萌发特性等方面<sup>[5,12-18]</sup>,而有关混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响鲜见报道。为此,本试验通过研究不同 pH 值条件下混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发过程及萌发恢复的影响,以探讨黑果枸杞种子萌发的耐盐、耐碱能力及盐碱胁迫下的生理萌发机制,以期在黑果枸杞的大面积推广和西北地区盐碱地、荒漠化土地的利用提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

黑果枸杞种子,由宁夏中宁县国家枸杞良种基地提供,该基地位于宁夏回族自治区中宁县城东部,海拔 1 170 ~

收稿日期:2018-04-09

基金项目:宁夏高等学校科学研究项目(编号:NGY2017292)。

作者简介:詹振楠(1985—),女,辽宁鞍山人,硕士,讲师,从事污染生态及植物生理研究。E-mail:zhennan1985@163.com。

## 参考文献:

- [1] 陈有民. 园林树木学[M]. 2 版. 北京:中国林业出版社,2011:656.
- [2] 臧德奎. 园林树木学[M]. 2 版. 北京:中国建筑工业出版社,2012:322-323.
- [3] 刘新胜,袁璐,姬晓灵. 宁夏丝棉木果实挥发性成分的 GC-MS 分析[J]. 广州化工,2016,44(15):113-117.
- [4] 费本华,管兴中,刘秀梅. 丝棉木木材性质及用途的研究[J]. 安徽农业大学学报,1994,21(3):358-361.
- [5] 邓运川. 第二届丝棉木发展高峰论坛举办[J]. 中国花卉园艺,2017(22):20.
- [6] 苏金乐. 园林苗圃学[M]. 2 版. 北京:中国农业出版社,2010:

69-70.

- [7] 田晓璇,李享,宋红. 桃叶卫矛种子休眠机制及催芽方法初探[J]. 种子,2018,37(1):18-21.
- [8] 郭学望,包满珠. 园林树木栽植养护学[M]. 北京:中国林业出版社,2002:132.
- [9] 杜荣骞. 生物统计学[M]. 北京:高等教育出版社,1999:128.
- [10] 周佑勋,段小平. 银鹊树种子休眠和萌发特性的研究[J]. 北京林业大学学报,2008,30(1):64-66.
- [11] 王利宝,董丽芬. 油松种胚休眠特性及解除胚休眠的方法[J]. 中南林业学院学报,2006,26(3):19-23.
- [12] 郑彩霞,高荣孚. 脱落酸和内源抑制物对洋白蜡种子休眠的影响[J]. 北京林业大学学报,1991,13(4):39-46.

1 180 m,地理坐标为 105°26′~106°07′ E、37°09′~37°50′ N。地域四面环山,光照充足,干旱少雨,蒸发强烈,有效积温高,风大沙多,日照时间长,昼夜温差大,是典型的温带大陆性季风气候,全年日照时数为 2 800 h,年平均气温为 9.5℃,无霜期 159~169 d,年均降水量 200 mm 左右,蒸发量 1 830~1 950 mm。

1.2 盐碱胁迫条件设计

试验选择中性盐 NaCl、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 和碱性盐 NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>,以碱性盐所占比例由小到大顺序分为 4 个处理组,依次标记为 A、B、C、D(表 1),在预试验基础上,每 1 个处理组设定 50、100、150、200 mmol/L 这 4 个盐处理浓度梯度,且每个处理组采用相同测定的 pH 值,以蒸馏水处理为对照(CK)。采用雷磁 PHS-3E 型 pH 计测定各溶液的 pH 值。

处理组	NaCl : Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> : NaHCO <sub>3</sub> : Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	pH 值
A	1 : 1 : 0 : 0	7.20
B	1 : 2 : 1 : 0	8.56
C	1 : 9 : 9 : 1	8.93
D	1 : 1 : 1 : 1	9.80

1.3 黑果枸杞种子萌发试验

试验于 2017 年 11 月至 2018 年 3 月在宁夏葡萄酒与防沙治沙职业技术学院植物生理实验室进行,采用纸上发芽床法。挑选饱满一致的种子,0.1% 高锰酸钾溶液杀毒 30 min;蒸馏水反复冲洗 5 遍,晾干,备用;在直径为 90 mm 的培养皿中放入双层滤纸,整齐摆入 60 粒种子,分别加入不同浓度的盐碱溶液,直到滤纸饱和为止,以倾斜 45°无明水为准,每处理重复 3 次;加盖,(25±1)℃恒温培养箱中避光培养;萌发过程中,每隔 2 d 更换 1 次相应的盐碱溶液,以保证溶液浓度

的一致性;种子萌发以肉眼看到白色幼根为标准,每隔 24 h 观察记录萌发种子数,连续观察 13 d<sup>[14]</sup>,同时,将未萌发的种子用蒸馏水反复冲洗 5~6 次,转至蒸馏水中继续培养 13 d,检测种子的恢复萌发情况。统计种子萌发率(GP)、发芽指数(GI)、发芽势(GE)、相对盐害率(R<sub>d</sub>)、恢复萌发率,计算公式分别为:

$$GP = GN / SN \times 100\%$$

$$GI = \sum (G_i / D_i)$$

$$GE = 4 \text{ d 内发芽种子数} / SN \times 100\%$$

$$R_d = (\text{CK 处理的发芽率} - \text{盐碱溶液处理的发芽率}) / \text{CK 处理的发芽率} \times 100\%$$

$$\text{恢复萌发率} = (a - b) / (c - d) \times 100\%^{[19]}$$

式中,GN、SN、G<sub>i</sub> 分别为种子萌发总数、供试种子总数、当日萌发种子数,单位为个;D<sub>i</sub> 为相应的萌发天数,d;a、b、c、d 分别为全部时间的发芽种子数、盐碱胁迫溶液中的发芽种子数、供试种子数、复水前萌发的种子数,单位为粒。

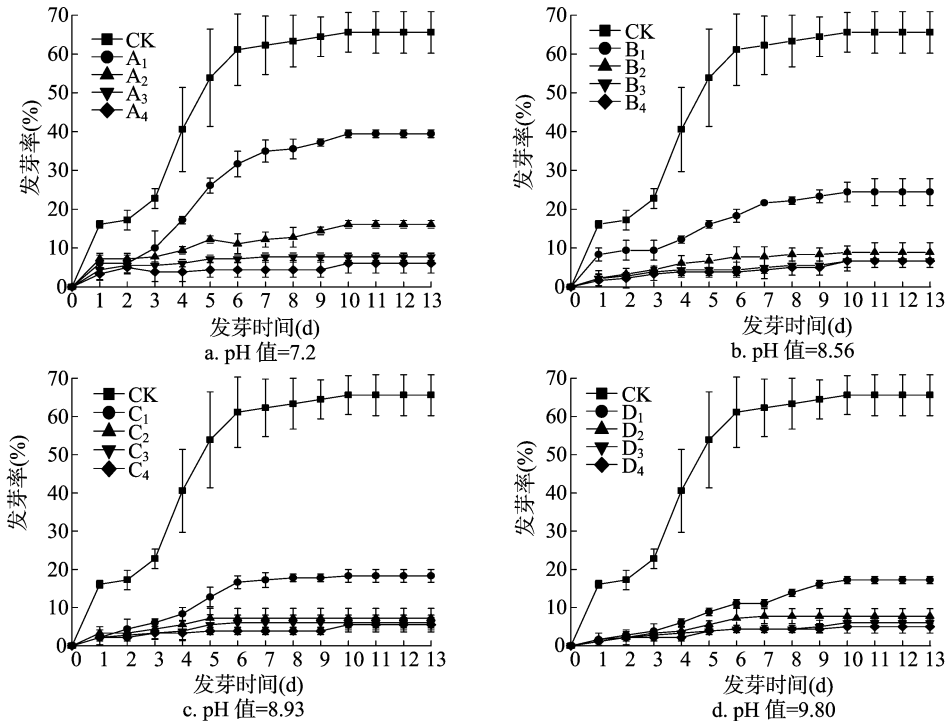
1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0、Excel 2003 软件对试验数据进行统计和单因素方差分析,采用最小差异显著法(LSD 法)检验处理间的差异显著性,采用 Origin 软件作图。

2 结果与分析

2.1 混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响

2.1.1 萌芽率 由图 1 可见,4 组不同浓度混合盐碱胁迫条件下,黑果枸杞种子的萌发曲线趋势相似,随调查天数的延长,种子萌芽率呈缓慢增加趋势,且随处理 pH 值的增加(处理 A 至处理 D),种子萌发率下降明显;同一处理组条件下,随盐碱胁迫浓度的增加,各处理组的种子萌发率呈下降趋势。



A<sub>1</sub>~A<sub>4</sub>、B<sub>1</sub>~B<sub>4</sub>、C<sub>1</sub>~C<sub>4</sub>、D<sub>1</sub>~D<sub>4</sub>分别对应 A、B、C、D 处理组 4 个处理浓度 50、100、150、200 mmol/L

图1 不同混合盐碱胁迫下黑果枸杞种子的萌发曲线

由表 2 可见,连续观察 13 d 时,黑果枸杞种子对照组的萌发率为 65.6%;胁迫处理盐碱浓度为 50 mmol/L 时,各处理组黑果枸杞种子的萌发率较对照下降显著( $P < 0.05$ );混合盐碱浓度为 100 mmol/L 时,A 处理组的黑果枸杞种子的萌发率为 16.1%,而其他处理组的种子萌发率相互间差异较小;胁迫处理盐碱浓度大于 100 mmol/L 时,各处理组黑果枸杞种子的萌发率为 5.0%~7.8%,相互间差异较小。

表 2 不同盐碱胁迫下黑果枸杞种子的萌发率

处理组	浓度 (mmol/L)	萌发率 (%)	恢复萌发率 (%)	最终萌发率 (%)
CK	0	65.6±5.4a	0.0±0.0a	65.6±5.4a
A	50	39.4±1.0b	42.1±6.3c	65.0±3.3a
	100	16.1±1.0c	49.0±2.6d	57.2±1.9b
	150	7.8±1.0d	36.2±2.1bc	41.1±2.5c
	200	6.1±2.55e	31.4±2.4b	35.6±2.5c
B	50	24.4±3.5b	22.1±2.2b	41.1±3.5b
	100	8.9±2.5c	28.0±3.2c	34.4±1.9c
	150	6.7±1.7c	27.4±2.4c	32.2±1.9c
	200	6.7±1.7c	25.6±2.6bc	30.6±2.5c
C	50	18.3±1.7b	16.3±1.9b	31.7±1.7b
	100	7.2±2.5c	20.4±1.6c	26.1±3.5c
	150	6.1±1.9c	20.1±0.9c	25.0±1.7c
	200	5.6±1.9c	20.0±0.6c	24.4±1.0c
D	50	17.2±1.0b	12.8±1.3b	27.8±1.9b
	100	7.7±1.9c	15.1±0.9bc	21.7±1.7c
	150	6.1±1.0c	15.4±2.7c	20.6±2.5c
	200	5.0±1.7c	15.2±1.1bc	19.4±1.9c

注:最终萌发率包括恢复萌发与已萌发种子占供试种子总数的百分比。同列数据后不同小写字母表示各处理组不同浓度处理(含 CK)相互间差异显著( $P < 0.05$ )。表 3 同。

2.1.2 发芽势与发芽指数 由表 3 可见,随盐碱胁迫浓度的增加,各处理组黑果枸杞种子的发芽势、发芽指数呈下降趋势,相对盐害率呈增加趋势,对种子萌发的抑制作用愈加明显;对照处理的黑果枸杞种子发芽势、发芽指数分别为 40.6%、16.4,显著高于各处理组不同浓度处理的发芽势、发芽指数( $P < 0.05$ );盐碱处理浓度从 50 mmol/L 增加到 200 mmol/L,A 组黑果枸杞种子发芽势、发芽指数分别从 17.2%、7.7 下降到 3.9%、2.2,D 组黑果枸杞种子发芽势、发芽指数分别从 6.1%、2.9 下降到 2.2%、1.4;对同一处理浓度而言,随 pH 值的增加(处理 A 至处理 D),枸杞种子发芽势、发芽指数整体呈下降趋势,而相对盐害率呈上升趋势。

2.1.3 恢复萌发率与最终萌发率 试验结果表明,连续观察 13 d 后解除胁迫,不同浓度盐碱胁迫处理的黑果枸杞种子复水 1 d 均有部分种子恢复萌发。由表 2 可见,各处理的种子恢复萌发率均显著高于 CK,最终萌发率均有不同程度的增加( $P < 0.05$ ),而 CK 处理的黑果枸杞种子不再有新的种子萌发;随胁迫盐碱浓度的增加,A、B 处理组的黑果枸杞种子萌发恢复率呈倒“V”形降低<sup>[20]</sup>,均在盐碱浓度为 100 mmol/L 时恢复萌发率相对最高,分别为 49.0%、28.0%;C、D 处理组的黑果枸杞种子恢复萌发率均在盐碱浓度为 50 mmol/L 时相对最低,分别为 16.3%、12.8%,且 100~200 mmol/L 盐碱浓度胁迫下的黑果枸杞种子恢复萌发率相互间差异不显著

表 3 混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发参数的影响

处理组	浓度 (mmol/L)	发芽势 (%)	发芽指数	相对盐害率 (%)
CK	0	40.6±10.8a	16.4±1.6a	0.0±0.0a
A	50	17.2±1.0b	7.7±1.3b	39.8±1.5b
	100	9.4±1.0bc	5.2±0.6c	75.4±1.5c
	150	6.1±1.0c	3.3±1.0cd	88.1±1.5d
	200	3.9±2.5c	2.2±1.2d	90.7±3.9d
B	50	12.2±1.0b	6.9±1.1b	62.7±5.3b
	100	6.1±1.9b	2.4±0.5c	86.4±3.9c
	150	4.4±1.9b	1.9±0.9c	89.8±2.5c
	200	3.9±1.0b	1.7±0.8c	89.8±2.5c
C	50	8.3±1.7b	3.7±1.1b	72.0±2.5b
	100	6.1±3.5b	2.6±1.0bc	89.0±3.9c
	150	3.9±2.5b	2.0±0.7bc	90.7±2.9c
	200	3.3±1.7b	1.7±0.6c	91.5±2.9c
D	50	6.1±1.0b	2.9±0.8b	73.8±1.5b
	100	3.9±1.0b	1.9±0.8b	88.1±2.9c
	150	3.3±1.7b	1.5±0.7b	90.7±1.5cd
	200	2.2±1.0b	1.4±0.6b	92.4±2.5d

( $P > 0.05$ ),高盐碱胁迫下的种子最终萌发率差异较小;随处理盐碱浓度的增加,各处理组黑果枸杞种子的最终萌发率呈下降趋势,而对同一处理浓度而言,随 pH 值的增加(处理 A 至处理 D),黑果枸杞种子的最终萌发率也呈下降趋势。因此,高盐碱的环境不但破坏黑果枸杞种子的活力,还抑制黑果枸杞种子的萌发。

2.2 盐碱浓度、pH 值及其交互作用对黑果枸杞种子萌发参数的影响

由表 4 可见,盐碱浓度、pH 值及其交互作用对黑果枸杞种子的发芽率、发芽指数均有极显著影响,盐碱浓度对黑果枸杞种子的发芽率、发芽势、发芽指数有极显著影响( $P < 0.01$ );pH 值及盐碱浓度与 pH 值交互作用对黑果枸杞种子发芽势的影响不显著( $P > 0.05$ )。因此,盐碱浓度是影响黑果枸杞种子萌发的决定性主导因素,pH 值次之。

表 4 盐碱浓度、pH 值及其交互作用对黑果枸杞种子各萌发参数的影响

萌发参数	盐碱浓度		pH 值		盐碱浓度×pH 值	
	F 值	P 值	F 值	P 值	F 值	P 值
发芽率	388.666	0.000**	7.308	0.000**	6.496	0.000**
发芽势	129.495	0.000**	2.120	0.109	0.437	0.938
发芽指数	277.734	0.000**	8.004	0.000**	2.743	0.008**

注:\*、\*\* 分别表示盐碱浓度、pH 值及其交互作用对萌发参数的影响效应显著( $P < 0.05$ )、极显著( $P < 0.01$ )。

3 结论与讨论

土壤盐渍化已成为导致全球可利用耕地日益减少、限制作物产量和品质提高的主要非生物逆境之一<sup>[9]</sup>,关于耐盐植物如何适应盐碱逆境已成为国内外专家学者们研究的热点问题。黑果枸杞是我国西北干旱地区特有的耐盐、抗旱野生灌木<sup>[11]</sup>,在盐渍化和次生盐渍化土壤上大量分布,且抗性强、适应性广,常构成盐爪爪-黑果枸杞的盐生植物群落<sup>[21]</sup>,因此,研究黑果枸杞种子的耐盐能力及盐碱胁迫下的变化规律具有

重要的科学意义和潜在的应用价值。

本研究表明,混合盐碱胁迫下,黑果枸杞种子的萌发受到不同程度的影响,随盐碱胁迫浓度的上升,黑果枸杞种子发芽率、发芽势、发芽指数等指标与对照相比均有不同程度下降,这与古丽内尔·亚森等的研究结论<sup>[22]</sup>一致。盐碱胁迫对植物种子萌发的影响主要表现在种子萌发率降低、种子萌发进程延长,或者使种子失去活力<sup>[23]</sup>。本研究表明,黑果枸杞在蒸馏水中(对照)的萌发率相对最高,当盐碱浓度 $\geq 100$  mmol/L、pH 值 $> 8.56$ 时,黑果枸杞种子萌发会受到严重抑制,萌发率均低于 10%;混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的抑制程度比复合中性盐胁迫相对更为严重,这可能是除  $\text{Na}^+$  毒害和渗透胁迫外,高 pH 值也影响了细胞内的酶活性,阻碍了种子的发芽生长。王恩军等研究表明,NaCl、 $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫下黑果枸杞种子萌发的极限阈值分别为 300、100 mmol/L<sup>[18]</sup>;刘克彪等以不同钠盐溶液处理黑果枸杞种子发现,不同盐分胁迫对种子萌发的影响效应不同,相同浓度不同钠盐处理对黑果枸杞种子萌发造成的盐害率为  $\text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{复合盐} > \text{Na}_2\text{SO}_4$ <sup>[22]</sup>。本研究中,盐碱浓度为 50 mmol/L 时,随着碱性盐所占比例的增加,黑果枸杞种子萌发率下降幅度相对较大,当盐碱浓度达到 200 mmol/L 时,种子萌发率受到严重抑制,但随 pH 值上升黑果枸杞种子萌发率差异较小。

另外,试验结果表明,黑果枸杞种子在解除混合盐碱胁迫后均表现出一定的恢复萌发能力,低浓度 NaCl、 $\text{Na}_2\text{SO}_4$  的混合中性盐胁迫处理的种子其恢复萌发率相对较高,其最终萌发率和对照无显著性差异( $P > 0.05$ ),而高浓度的混合中性盐和不同浓度的混合碱性盐胁迫处理的黑果枸杞种子恢复萌发率相对较低,且相互间相差不大,这可能是因为未萌发的种子置于蒸馏水中解除盐碱胁迫时,其种子内部的渗透势相对降低,促进种子从周围环境吸收水分,进而使种子迅速恢复萌发,但当盐碱浓度超出黑果枸杞种子萌发的耐受范围,细胞内累积大量离子,使细胞质膜完整性遭受破坏,胞内代谢失调,造成永久性毒害,致使种子完全丧失活力<sup>[24-25]</sup>,这与王桔红等的研究结果<sup>[12]</sup>不同,可能是混合盐碱胁迫对黑果枸杞种子萌发的影响比单一盐或者混合中性盐的胁迫更为严重。总之,混合盐碱涉及到的胁迫因素比单一盐要复杂,混合盐碱胁迫不仅仅是盐、碱 2 种胁迫的简单叠加,而是相互间存在一定的协同效应<sup>[26]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] Wang J C, Yao L R, Li B C, et al. Comparative proteomic analysis of cultured suspension cells of the halophyte halogeton glomeratus by iTRAQ provides insights into response mechanisms to salt stress[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7(30): 110.
- [2] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. *土壤通报*, 2002, 33(6): 449-455.
- [3] 边荣荣, 孙兆军, 李向辉, 等. 西北盐碱地改良利用技术研究现状及展望[J]. *宁夏工程技术*, 2016, 15(4): 404-408.
- [4] Huang Z Y, Zhang X S, Zheng G H, et al. Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*[J]. *Journal of Arid Environments*, 2003, 55(3):

- 453-464.
- [5] 罗 君, 彭 飞, 王 涛, 等. 黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(2): 261-267.
- [6] 张会慧, 张秀丽, 李 鑫, 等. NaCl 和  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  胁迫对桑树幼苗生长和光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(3): 625-631.
- [7] 李 波, 陈雪梅, 于海龙, 等. 混合盐碱胁迫对苜蓿种子萌发特性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43(8): 221-225.
- [8] 刘建新, 王金成, 王瑞娟, 等. 混合盐碱胁迫下裸燕麦的种子萌发和幼苗逆境生理特征[J]. *植物研究*, 2016, 36(2): 224-231.
- [9] 赵俊香, 刘守伟, 吴凤芝. 盐碱胁迫对 4 种菊芋材料种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *作物杂志*, 2015(1): 133-137.
- [10] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [11] 韩丽娟, 叶 英, 索有瑞. 黑果枸杞资源分布及其经济价值[J]. *中国野生植物资源*, 2014, 33(6): 55-57, 63.
- [12] 王桔红, 陈 文. 黑果枸杞种子萌发及幼苗生长对盐胁迫的响应[J]. *生态学杂志*, 2012, 31(4): 804-810.
- [13] 王锦楠, 陈进福, 陈武生, 等. 柴达木地区野生黑果枸杞种群遗传多样性的 AFLP 分析[J]. *植物生态学报*, 2015, 39(10): 1003-1011.
- [14] 薛定磊, 曾少华, 王 瑛. 黑果枸杞和宁夏枸杞 *FT*(*Flowering Locus T*)基因的克隆及表达分析[J]. *基因组学与应用生物学*, 2015(3): 565-570.
- [15] 陈 晨, 赵晓辉, 文怀秀, 等. 黑果枸杞的抗氧化成分分析及抗氧化能力测定[J]. *中国医院药学杂志*, 2011, 31(15): 1305-1306.
- [16] 胡相伟, 马彦军, 李 毅, 等. 黑果枸杞组织培养技术[J]. *甘肃农业科技*, 2015(5): 73-74.
- [17] 王龙强, 蔺海明, 米永伟. 盐胁迫对枸杞属 2 种植物幼苗生理指标的影响[J]. *草地学报*, 2011, 19(6): 1010-1017.
- [18] 王恩军, 李善家, 韩多红, 等. 中性盐和碱性盐胁迫对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2014(6): 64-69.
- [19] 刘 鹏, 田长彦, 张 科. 温度和盐分胁迫对紫翅猪毛菜种子萌发特性的影响[J]. *种子*, 2007, 26(8): 16-20.
- [20] 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.
- [21] 刘克彪, 李爱德. 黑果枸杞种子发芽试验[J]. *甘肃科技*, 2013, 29(22): 168-170.
- [22] 古丽内尔·亚森, 杨瑞瑞, 曾幼玲. 混合盐碱胁迫对灰绿藜种子萌发的影响[J]. *生态学杂志*, 2014, 33(1): 76-82.
- [23] 张 肖, 王 旭, 焦培培, 等. 胡杨(*Populus euphratica*)种子萌发及胚生长对盐旱胁迫的响应[J]. *中国沙漠*, 2016, 36(6): 1597-1605.
- [24] 庞克坚, 宋占丽, 赵晓英. 盐胁迫对蓝蓟种子萌发及早期幼苗的影响[J]. *中国野生植物资源*, 2012, 31(5): 37-40.
- [25] 李玉梅, 姜云天, 董雪松. 盐胁迫对东北薄荷种子萌发的影响[J]. *东北林业大学学报*, 2018, 46(2): 22-28, 34.
- [26] 吴 薇, 高捍东, 蔡伟建. 盐碱胁迫和 NO 处理对杂交新美柳根系活力的影响[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2008, 32(4): 59-62.