

NaCl 胁迫下不同种源胡杨种子萌发特性

伊丽米努尔¹, 艾力江·麦麦提², 卓热木·塔西¹, Bernd Cyffka³

(1. 新疆林业科学院 造林治沙研究所, 新疆 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆农业大学 林学与园艺学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;
3. 德国 Eichstaett-Ingolstadt 大学应用地理研究所, Eichstaett 85072 德国)

摘 要:以不同种源胡杨种子萌发特性与环境因子的关系和 NaCl 胁迫下的相关研究为目标。在南疆、北疆选择 11 个种源, 对不同种源种子进行发芽测定, 选定发芽率较高的种源, 并其不同 NaCl 浓度(0、50、100、150、200、225、250、275 mmol · L⁻¹ 及 300 mmol · L⁻¹) 下进行盐胁迫, 在 1/2MS 培养基上进行发芽试验。结果表明: 1) 11 个种源种子的发芽率有显著差异, 由 8、9 和 11 种源的种子活力较高, 平均发芽率分别为 55.0%、55.8% 和 78.0%。种子发芽率与环境因子之间存在相关性。其中, 年降水量与发芽率表现显著的正相关; 2) 在 NaCl 胁迫下, 种源 9 和种源 11 的发芽率有一定的变化, 当 NaCl 浓度为 50 mmol · L⁻¹ 时种源 9 的相对发芽率极显著地高于 CK(121.58%)。随着 NaCl 浓度的升高发芽受不同程度的抑制, 使种子的发芽率、发芽势和发芽指数均有所降低, NaCl 浓度为 50~150 mmol · L⁻¹ 时种源间有显著差异, NaCl 浓度升到 275 mmol · L⁻¹ 和 300 mmol · L⁻¹ 时种源 11 发芽势为 7% 和 5%, 发芽指数为 1.4 和 1.1, 而种源 9 为 0。在不同浓度 NaCl 胁迫下, 除了 50 mmol · L⁻¹ 浓度外, 种源 9 的盐害率均高于种源 11, 说明在种子发芽期间, 种源 11 不但发芽整齐而且更耐盐胁迫。

关键词: 胡杨; 种源; 盐胁迫; 耐盐性; 萌发

中图分类号: S718.43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2015)06-0088-07

Seed Germination Characteristics of *Populus euphratica* from Different Provenances under NaCl Stress

YILIMINUER¹, AILIJANG · Maimaiti², ZHUOREMU · Taxi¹, CYFFKA Bernd³

(1. Forestation and Desert Control Institute, Xinjiang Academy of Forestry, Urumqi, Xinjiang 830017, China;
2. College of Forestry and Horticulture, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China;
3. Physical Geography Faculty of the KU-Eichstaett-Ingolstadt, Eichstaett, 85072, Germany)

Abstract: The objectives of this study were to understand seed germination characteristics of *Populus euphratica* from different provenances and to found out the relationship between germination rate and environmental factors under NaCl stress. Seeds were collected from 11 provenances in southern and northern Xinjiang, and their germination rates were measured. Those which exhibited high germination rates were selected to carry out further experiments: they were cultured in a half-strength MS basal medium supplemented with different NaCl concentrations(0, 50, 100, 150, 200, 225, 250, 275 mmol · L⁻¹ and 300 mmol · L⁻¹). Germination rates among different provenances were significantly different. Higher germination rates were found in seed No. 8, 9, and 11 (55%, 55.8% and 78%, respectively). There were correlations between germination rate and environmental factors, and annual precipitation was significantly and positively correlated to germination rate. Under salt stress, germination rates of the seed No. 9 and 11 present-

ted certain variations; low level of salinity ($50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) favored the seed germination of No. 9, significantly higher the control (by 121.58%). With the increase of NaCl concentration, seed germination was inhibited with different degrees. Germination rate, germination vigor and index reduced with high salt concentrations. No. 9 and No. 11 demonstrated significant differences in seed germination with NaCl concentrations ranged from 50 to $150\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. As NaCl concentration increased to 275 and $300\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$, germination vigor and index of No. 11 were 7%, 5% and 1.4, and 1.1, respectively, whereas, for No. 9, the germination vigor and index were 0. These results indicated that No. 11 showed better tolerance to salt stress at germination stage.

Key words: *Populus euphratica*; provenance; salt stress; salt tolerance; germination

胡杨(*Populus euphratica*)属杨柳科落叶乔木,主要分布在中亚、西亚和地中海地区,在我国荒漠区有 大面积天然分布。它是生长于极端干旱荒漠区的唯一优势成林树种,能在地下水位较高的盐碱地和沙丘上存活,被认为是耐干旱、耐盐碱的树种^[1-2]。由于自然和人为因素的影响,致使胡杨面临日益衰败和濒危的境地,并已被列为我国三级重点保护植物^[3]。在塔里木流域河岸林多年考察发现,尽管胡杨母树每年都产生大量种子,但很少见到其种子萌发和实生苗生长。研究表明,胡杨种子成熟后在自然状态下,其生命力在 30 d 内几乎完全丧失^[4],而且胡杨种子萌发成苗过程中会遭受不同气候、地下水位、不同土壤含水量和土壤盐渍化等各种外界环境因素的干扰,进而影响胡杨林植被的天然更新。

对一个植物种群而言,有性繁殖比无性繁殖更重要,因为有性繁殖过程能够产生具有新适应特征的基因型,从而增加植物的生存和竞争能力^[5-6]。另外,植物种群的定居与扩大往往取决于种子萌发和植物幼苗阶段与主要环境因子的关系。虽然胡杨具有克隆繁殖的能力,但通过种子进行有性繁殖依然是其扩大种群和恢复的重要方式^[7-9]。种子萌发是植物生长周期的转折点,发芽阶段的耐盐水平在一定程度上反映了该树种的耐盐程度;同一树种在分布区内存在着不同的地理种源,不同种源种子的发芽状况及发芽苗的生长及生理特性也存在着不同程度的差异^[10-12]。胡杨存活在地下水位较高的盐碱地和沙丘上的高逆境条件,为了适应此条件,在长期的进化过程中,胡杨的形态结构和生理生态特征发生一系列变化,演化出一套适应机制和策略^[13-16]。目前,不同种源胡杨种子在 NaCl 胁迫下的发芽率对比研究很少,而且干旱地区胡杨不同种源种子的萌发特性与气候因子和土壤环境之间的相关关系研究薄弱。因此,基于前人对胡杨种子萌发特性研究的基础上,本研究通过更大范围的收集胡杨不同种源种子,对其种子萌发特性与 NaCl 胁迫下的响应和环境因子的关系进行分析,为自然界现有的变异中

筛选具较耐盐的胡杨品种和选育耐盐种质材料提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 种源地自然概况

所选择的 11 个种源地的土壤特性差异较大(表 1、表 2),其中,在 0~10 cm 土层土壤含水量为 0.29%~7.15%;不同种源地和不同土层的土壤 pH 值有差异,大部分采样点 pH 值>8,偏碱性;不同采样点胡杨林的盐分状况有明显差异(在 0~10 cm 土层土壤电导值为 $0.41\sim53.32\text{ ms}\cdot\text{cm}^{-1}$,土壤钠含量为 $0.18\sim32.91\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)。

1.2 试验材料的收集

2014 年 8 月底至 9 月初,在新疆南、北疆选定天然胡杨 11 种种源(表 1、表 2),根据林分结实状况、土壤特性、病虫害等情况,每个种源选择 3 棵成年树,共计 33 个样株,收集蒴果。将收集的蒴果经登记编号、晾晒后装入纸箱,上下放置干燥剂,密封纸箱运往乌鲁木齐。蒴果自然干燥时,种子绒毛随其自然开裂散出。采用人工搓揉过筛的方法,将其放在细网筛上小心揉擦,除去种子绒毛等杂质,得到较纯净的种子,在 4℃ 条件下储存备用。

同时,根据样株树冠大小,以树干为圆点向外延伸到树冠边缘的 2/3 处采集,分 3 层 0~10 cm(含 10 cm),10~20 cm(含 20 cm),20~30 cm(含 30 cm)采集土层土样,共计取 99 个样。

1.3 研究方法

1.3.1 试验设计 不同种源胡杨种子萌发试验以选出发芽率较高的种源种子。配制 NaCl 浓度为 0、50、100、150、200、225、250、275 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 及 300 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 1/2MS 培养基,将其取 20 mL 倒入消毒过的培养皿(直径 90 mm)。挑选颗粒饱满新鲜的种子,用 0.1% 的 HgCl_2 溶液浸泡种子 2 min 进行消毒,用蒸馏水冲洗 3 次每次 1 min,冲洗后晾干。将种子在超净工作台上接种于培养基上,每皿接种 30 粒,共 9 个处理,各设 5 个重复,盖上盖子,

置于恒温光照培养箱内,在(25±1)℃、光照强度为 3 000 lx、16 h 光照/8 h 黑暗条件下进行发芽试验。

到第 7 天统计种子的发芽数,并计算发芽率、相对发芽率、发芽势、发芽指数和相对盐害率等。

表 1 不同种源的地理气候概况

Table 1 Geographical and climatic status of different provenances

种源 编号	采种地点	纬度 /N	经度 /E	海拔 /m	年降水量 /mm	年平均 温度/℃	1 月 气温/℃	7 月 气温/℃
1	轮台县塔里木胡杨林公园	41°14′58.64″	84°18′50.16″	917	71	10.6	−11.7	24
2	轮台帕拉村	41°35′34.03″	84°18′48.16″	926				
3	尉犁县塔里木村落湖咯克湖	41°12′02.63″	86°10′56.32″	876	43	10.5	−11.2	25.6
4	尉犁县 墩阔坦乡	41°04′22.90″	86°07′19.76″	880				
5	尉犁县特克里克	41°04′23.15″	86°04′28.70″	880				
6	若羌县阿拉干	40°08′30.62″	88°21′04.55″	818	29	11.7	−7.4	25.6
7	若羌县瓦石峡乡	38°41′25.49″	87°23′16.77″	993				
8	民丰县林业局制 78 号林班	37°39′36.44″	83°54′17.03″	1 334	30.2	16.7	−5	26
9	于田县国家级自然保护区	36°56′33.37″	81°23′53.61″	1 384	45.8	11.6	−6	25
10	于田县(阿日希马扎)	37°05′04.50″	81°19′19.91″	1 367				
11	甘家湖国家级自然保护区	44°43′22.50″	83°51′41.85″	286	140	6.3	−16	26

表 2 不同种源地的土壤成分分析

Table 2 Soil condition of the sampling area in different provenances

种源 编号	土壤含水量/%			土壤 pH 值			土壤电导值/(ms·cm ^{−1})			土壤纳含量/(mg·g ^{−1})			土壤钾含量/(mg·g ^{−1})		
	0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30	0~10	10~20	20~30
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	7.15	10.81	11.84	8.55	8.47	8.69	53.32	7.53	4.55	32.91	4.22	2.41	1.17	0.32	0.21
2	5.01	10.45	11.64	8.21	7.96	7.95	8.87	5.42	2.09	4.34	2.55	0.74	0.08	0.07	0.06
3	0.76	0.98	1.25	7.92	8.08	8.33	11.15	6.81	3.41	4.69	2.87	0.93	1.86	0.94	0.28
4	0.56	0.64	0.88	8.35	8.74	9.11	8.41	3.67	0.96	3.85	1.85	0.54	1.14	0.55	0.16
5	10.12	13.43	20.95	8.24	8.80	8.70	3.99	0.67	0.44	2.06	0.38	0.22	0.21	0.05	0.05
6	0.29	0.40	0.75	7.81	8.03	8.28	2.90	1.13	0.77	1.00	0.68	0.49	0.17	0.09	0.08
7	0.29	0.39	0.55	7.59	7.67	7.73	4.29	2.79	2.35	1.64	0.82	0.69	0.28	0.15	0.13
8	1.20	7.20	9.96	7.90	8.08	7.93	26.36	10.78	6.97	10.41	5.23	2.61	2.95	1.15	1.52
9	6.61	9.01	10.58	8.11	8.16	8.17	10.69	2.67	1.99	4.54	0.79	0.50	1.68	0.34	0.23
10	0.66	5.32	9.95	8.20	8.30	8.20	16.20	7.63	6.30	7.49	3.56	1.82	2.16	0.67	0.54
11	0.53	0.93	1.53	8.73	8.50	8.39	0.41	0.40	0.38	0.18	0.17	0.14	0.23	0.07	0.06

1.3.2 发芽指标测定

发芽率/% = 发芽 7 d 后累计发芽种子数 × 100/总种子数

相对发芽率/% = 处理发芽率 × 100/对照发芽率

发芽势/% = 3 d 发芽种子数 × 100/供试验种子数

发芽指数 = ∑(Gt/Dt)

式中,Dt 为发芽日数,Gt 为与 Dt 相对应的每天发芽种子数。

相对盐害率/% = (对照发芽率 − 处理发芽率) × 100/对照发芽率

1.3.3 土壤样品分析 土壤含水量的测定采用烘干称重法,电导率用电导率仪(上海仪电科仪 DDS-307)测定法,pH 值用酸度计(赛多利斯 PB-10)测定,钠、钾用火焰分光光度计法测定。

1.3.4 数据统计分析 用 Excel 2007 进行数据处理

和图表绘制,用 SPSS 18.0 统计软件进行单因素方差分析和用 LSD 法进行多重比较和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 胡杨不同种源种子萌发特性比较

不同种源间种子发芽率有显著差异(图 1)。种源 8、9 和 11 的发芽率都超过 50%,分别为 55%、55.8%、78%,其中,种源 8 和 9 不同单株间发芽率也有明显差异。种源 8 的发芽率变化范围在 33.3%~80.0%之间,种源 9 单株 A 和 C 的发芽率为 73.3%和 43.3%。其次,种源 1、2 和 3 的发芽率平均为 32.2%、33.8%和 33.9%。发芽率最低的为种源 4(2.7%),种源 6(6.7%)和种源 10(8.3%),发芽率未达到 10%。表明种源 8、9 和 11 的发芽率远远高于其他种源种子的发芽率。由于种源 8 种子在做 NaCl 胁迫试验时候,种子活力下降到 20%左右,所以,种源 9 和 11 为后续试验材料。

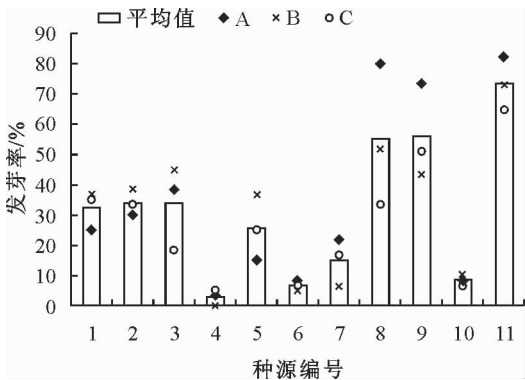


图 1 不同种源胡杨种子的发芽率

Fig. 1 Seed germination rates of *P. euphratica* from different provenances

表 3 11 个种源种子发芽率与采样地气候因子和土壤环境因子的相关状况

Table 3 The correlation coefficient (Pearson) between the characteristics of seed germination with climatic and soil environmental factors of different provenances

		发芽率	年降水量	年平均温度	气温 1 月份	气温 7 月份	土壤含水量	土壤纳	电导率
发芽率	Pearson 相关性	1	0.642 *	−0.173	−0.289	0.135	0.152	0.026	0.054
	显著性(双侧)		0.033	0.611	0.389	0.692	0.656	0.940	0.875

注: * *. 表示在 0.01 水平上显著相关。*. 表示在 0.05 水平上显著相关。N=11。

0.01);NaCl 浓度为 100~200 mmol·L⁻¹时发芽率与 CK 相比下降分别为 20.55%,61.64%,82.2%,有极显著差异($p<0.01$)。NaCl 浓度介于 225~300 mmol·L⁻¹时发芽率受抑制的程度较高,但处理间差异不明显($p>0.05$);种源 11 在不同 NaCl 浓度下发芽率受到抑制,随着 NaCl 浓度的增加,发芽率下降,NaCl 浓度为 50 和 100 mmol·L⁻¹时发芽率与 CK 相比没有明显差异($p>0.05$)。在浓度 150 mmol·L⁻¹时发芽率与 CK 相比下降 45.23%,NaCl 浓度为 200 mmol·L⁻¹时发芽率受明显的抑制作用。除了 NaCl 浓度 50 mmol·L⁻¹外,种源 11 的发芽率比种源 9 有明显差异,甚至 NaCl 浓度 100 和 150 mmol·L⁻¹时达到显著水平($p<0.05$)。

随着 NaCl 浓度的增加,相对发芽率总体呈现下降趋势(图 2B)。当 NaCl 浓度为 50 mmol·L⁻¹时种源 9 的相对发芽率为最大(121.58%),NaCl 浓度为 100 mmol·L⁻¹时相对发芽率与 CK 相比下降了 20.55%,随着 NaCl 浓度的增加相对发芽率下降幅度明显增高($p<0.01$);种源 11 在 NaCl 浓度为 50 和 100 mmol·L⁻¹时相对发芽率均为 85%以上,与 CK 相比差异不显著($p>0.05$),NaCl 浓度为 150 mmol·L⁻¹时相对发芽率与 CK 相比下降 45.23%,NaCl 浓度为 200~300 mmol·L⁻¹时相对发芽率为 23.7%~10.7%,处理间差异不显著($p>0.05$)。

2.2 种子萌发与气候因子和土壤环境的相关分析

气候因子中,种子发芽率与年降水量表现出了显著的正相关关系($p<0.05$),降水量越高,发芽率越高;年平均温度和 1 月份平均气温呈负相关;与 7 月份平均气温没有表现出明显的相关性。在土壤环境因子中,土壤含水量与发芽率表现出较强的相关性,而与土壤钠含量和电导率相关性不明显(表 3)。

2.3 不同浓度 NaCl 胁迫对胡杨种子发芽率和相对发芽率的影响

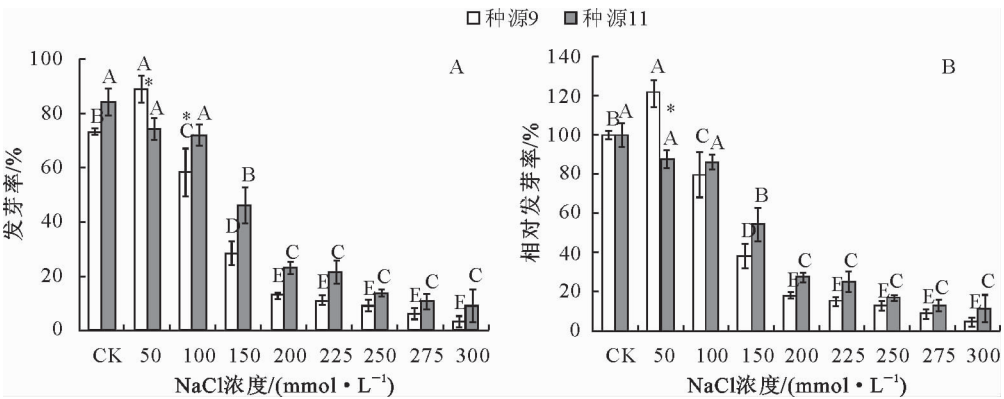
2 个种源种子的发芽率和相对发芽率对不同浓度 NaCl 胁迫的响应程度不同(图 2)。从图 2A 可以看出,种源 9 在 NaCl 浓度为 50 mmol·L⁻¹时发芽率均达到最大值,与 CK 相比增加 18% ($p<$

2.4 不同浓度 NaCl 胁迫对胡杨种子发芽势、发芽指数和相对盐害率的影响

随着 NaCl 浓度的增大,胡杨种子的发芽势总体呈下降趋势(图 3A)。当 NaCl 浓度为 50 mmol·L⁻¹时种源 9 的发芽势较高,与 CK 相比提高了 27.6%,表明低浓度的 NaCl 胁迫能促进种源 9 的萌发。在 NaCl 浓度为 100~300 mmol·L⁻¹时种源 9 发芽势迅速下降。NaCl 浓度为 50 和 100 mmol·L⁻¹时种源 11 的发芽势与 CK 相比差异不显著($p>0.05$);NaCl 浓度为 150 mmol·L⁻¹时发芽势开始下降,且不同种源发芽势下降幅度差异很大($p<0.05$);当 NaCl 浓度升高至 275 mmol·L⁻¹时种源 9 种子的发芽势为 0。这表明较高浓度 NaCl 胁迫推迟了种子发芽,甚至导致种子不能萌发而严重影响种子萌发的整齐度。

种源 11 的发芽指数均显著或极显著高于种源 9,处理浓度越低,差异程度越大,说明种源不同,种子的生命力不同;种源不同其耐盐程度也不同,种源 9 在 NaCl 处理浓度 275 mmol·L⁻¹时发芽指数几乎为 0,而种源 11 到 NaCl 处理浓度 300 mmol·L⁻¹时,还保持在 2 以上,说明种源 11 种子的耐盐性优于种源 9(图 3B)。

相对盐害率是反映盐溶液对种子发芽率影响程度的指标,也称为盐害指数,其数值越大,表明盐溶液对种子的伤害作用越大,愈发不易发芽和生长。从图 3C 可以看出,随着盐浓度升高,胡杨种子萌发



注：不同大写字母表示处理间差异极显著($p<0.01$), * 表示同一 NaCl 浓度下 2 个种源种子在 $p<0.05$ 水平差异显著,图 3 同。

图 2 种源 9 和种源 11 种子在不同浓度 NaCl 胁迫下的发芽率与相对发芽率
Fig. 2 Seed germination rate and relative germination rate of *P. euphratica* from two provenances (No. 9 and No. 11) at different NaCl concentrations

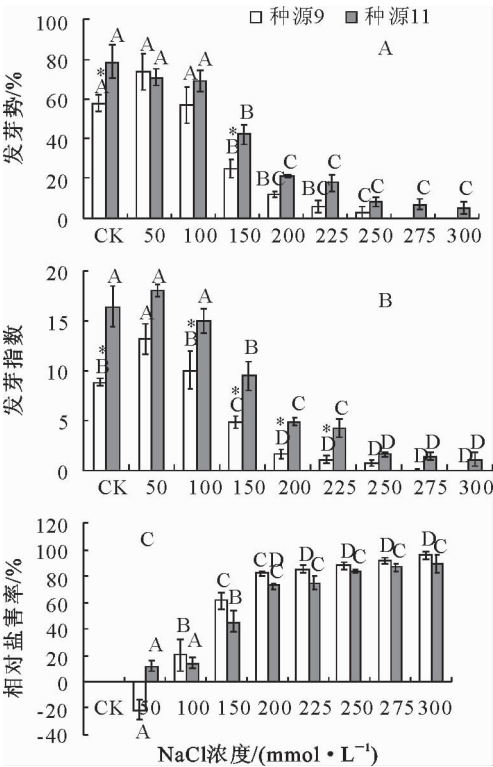


图 3 种源 9 和 11 胡杨种子在不同浓度 NaCl 胁迫下的发芽势,发芽指数和相对盐害率

Fig. 3 Germination vigor, germination index and relative rate of salt damage to *P. euphratica* from two provenances at different NaCl concentrations

机制受到盐离子毒害,种子发芽率下降,盐浓度愈高毒害作用愈强。种源 9 在 50 mmol · L⁻¹ 浓度胁迫下相对盐害率为 -21.6%,说明其对种子发芽有一定的促进作用;当 NaCl 浓度为升到 150 mmol · L⁻¹ 时,相对盐害率升势明显 ($p<0.01$),该浓度胁迫下种源 9 的盐害率显著高于种源 11 ($p<0.05$);在浓度介于 200~300 mmol · L⁻¹ 时,相对盐害率显著增高,且种源 9 的盐害率均高于种源 11。

3 结论与讨论

一般认为,广布种植物在其分布范围内的不同地区,由于地理、气候条件的差异和植物所承受的选择压不同,在自然选择的过程中就会形成不同的遗传特性。因此,种源不同,种子发芽的机理及其程度也有差异。种源对种子活力有很大的影响,而种子活力与发芽率和发芽势有极显著相关性,即种源对种子的发芽率和发芽势就有很大的影响^[17-18]。研究表明,不同种源胡杨种子的发芽率有显著差异,由种源 8,种源 9 和种源 11 等种源种子活力较高,平均发芽率分别为 55%、55.8% 和 78%,而且同一种源的不同单株间的种子发芽率也有极显著差异。说明不同种源种子在遗传特性上有一定差异,所形成的遗传特性不同,导致种源 9 和 11 比其他种源种子更加优良。

干旱胁迫^[19]、盐胁迫^[20-22]、低温^[9]等逆境条件导致植物种子发芽率下降。发芽率、发芽势和发芽指数是评价种子发芽十分重要的指标,反映了种子发芽速度和发芽整齐度。植物能否适应盐碱生境,首先取决于发芽速度以及发芽后幼苗的活力^[23-24]。NaCl 胁迫对种子萌发有显著的抑制作用;另有学者发现,低浓度的盐胁迫对种子萌发有促进作用,而高浓度则转为抑制作用^[25-27]。本试验说明,低浓度 NaCl 胁迫 (50 mmol · L⁻¹) 对种源 9 的发芽有促进作用,种子发芽率、发芽势和发芽指数与 CK 相比显著性增高。随着胁迫程度的加剧,NaCl 胁迫对 2 个种源种子发芽均产生了明显的抑制作用,且抑制程度随盐浓度的升高而增大。当 NaCl 浓度为 100 mmol · L⁻¹ 时,与 CK 相比,种源 11 的发芽率、发芽势和发芽指数没有明显变化,表明种源 11 种子对轻度盐胁迫有一定的适应性和耐盐性,这种现象可能

与低浓度盐调节细胞膜透性有关。但随着 NaCl 浓度的增大,种子发芽率、发芽势和发芽指数明显降低,高浓度盐胁迫显著抑制种子发芽,这种现象在各种荒漠植物的萌发过程中也能看到。可能与高浓度盐离子的毒害作用有关,也可能与细胞膜在受到盐胁迫后,其正常的生理功能发生了改变,导致代谢紊乱、 α -淀粉酶活性下降、活力降低乃至失去萌发能力相关^[28-30]。

相对盐害率可比较不同植物间及同一植物对不同盐浓度的耐盐能力^[9,24]。2 个不同种源胡杨种子在盐胁迫下的相对盐害率的变化趋势基本相同,除了种源 9 的种子在 50 mmol · L⁻¹ 浓度时没有受伤外,随着盐浓度的增加,相对盐害率均逐渐增大。在不同浓度 NaCl 胁迫下种源 9 的相对盐害率均高于种源 11,反映出种源 11 对荒漠盐化环境的适应性较强。

在高浓度盐分下则急剧下降,甚至在 NaCl 浓度升 275 mmol · L⁻¹ 和 300 mmol · L⁻¹ 时种源 9 种子发芽势与发芽指数为 0,反映二者对低盐条件具有一定的适应能力,另外,种源 11 种子不但发芽整齐而且更耐盐胁迫。干旱地区种子萌发速度差异体现了植物对各自生境的适应和逆境下生存发育的机制。胡杨种子寿命短,萌发具有较宽的温度幅,并且低盐条件能够促进种子的萌发,因此,二者皆能在适宜生境下迅速完成萌发过程(1~3 d),这样在一定程度上可大大增加其萌发几率,从而可弥补其种子小、寿命短的缺陷,为胡杨在较大的空间范围内尽可能快速萌发且成活提供了可能,对其种群的天然更新有着重要意义。因此,胡杨种子萌发期的耐盐性能否反映其在生长期的耐盐性,还有待通过进一步研究来揭示。

当轻度 NaCl 胁迫(50 mmol · L⁻¹)下,种源 9 种子发芽率、相对发芽率、发芽势、发芽指数最高,且超越 CK。随着 NaCl 浓度的逐渐上升发芽率逐渐下降,相对盐害率增高;在 NaCl 胁迫为 50 mmol · L⁻¹ 时,种源 11 种子发芽率、相对发芽率、发芽势明显小于 CK,随着浓度的增加而降低;在不同浓度 NaCl 胁迫下,种源 9 和 11 种子的发芽率有显著差异;NaCl 胁迫对种源 11 种子萌发的抑制作用远大于种源 9,发芽势与发芽指数在一定程度上反映了种子活力和优劣。随盐胁迫强度增大,胡杨种子发芽率、发芽指数和活力指数的下降幅度以活力指数最为明显,且其下降幅度与盐浓度间呈显著的正相关关系。

参考文献:

[1] CHEN S,POLLE A. Salinity tolerance of *Populus*[J]. Plant

Biology. 2010,12(2):317-333.

[2] OTTOW E A,BRINKER MTEICHMANN T,*et al.* *Populus euphratica* displays apoplastic sodium accumulation, osmotic adjustment by decreases in calcium and soluble carbohydrates, and develops leaf succulence under salt stress[J]. Plant Physiology. 2005,139(4):1762-1772.

[3] 张霞,曾幼玲,李金耀,等. 胡杨(*Populus euphratica* Oliv)的耐盐性[J]. 植物生理学通讯,2006 42(6):1190-1194. ZHANG X,ZENG Y L,LI J Y,*et al.* Salt Tolerance in *Populus euphratica* Oliv [J]. Plant Physiology Communications, 2006,42(6):1190-1194. (in Chinese)

[4] 伊丽米努尔,KURT ZO GAUER,BERND CYFFCA,等. 改良半薄片法观察胡杨种子结构[J]. 西部林业科学,2013,42(2):26-30. YILIMINUER,KURT Z,BERND C,*et al.* Modified method of semi-thin sectioning used to observe the structures of *Populus euphratica* seed[J]. Journal of West China Forestry Science, 2013,42(2):26-30. (in Chinese)

[5] 王世绩,陈炳浩,李护群. 胡杨林[M]. 北京:中国环境科学出版社,1995.

[6] 黄培祐. 干旱区免灌植被及其恢复[M]. 北京:科学出版社,2002,86-103.

[7] 安桂香,曾凡江,刘波,等. 胡杨种子出苗对沙埋和供水条件的响应[J]. 中国沙漠,2011,31(2):436-441. AN G X,ZENG F J,LIU B,*et al.* Effects of sand burial and water supply conditions on seedling emergence of *Populus euphratica* Oliv [J]. Journal of Desert Research, 2011,31(2):436-441. (in Chinese)

[8] 武逢平,李俊清,李景文,等. 胡杨在额济纳绿洲三种生境内的根蘖繁殖特性[J]. 生态学报,2008,28(10):4703-4709. WU F P,LI J Q,LI J W,*et al.* The charactertics of root suckers of *Populus euphratica* Oliv. in three habitats of Ejina oasis [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008,28(10):4703-4709. (in Chinese)

[9] 李利,张希明,何兴元. 胡杨种子萌发和胚根生长对环境因子变化的响应[J]. 干旱区研究,2005,22(4):520-525. LI L,ZHANG X M,HE X Y. Effects of salinity and water potential on seed germination and radicle growth of riparian *Populus euphratica* [J]. Arid Zone Research, 2005,22(4) 2:520-525. (in Chinese)

[10] 教忠意,王保松,施士争,等. 林木抗盐性研究进展[J]. 西北林学院学报,2008,23(5):60-64. JIAO Z Y,WANG B S,SHI S Z,*et al.* Advances in salt resistance of trees[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008,23(5):60-64. (in Chinese)

[11] 任珺,余方可,陶玲. 荒漠植物种子逆境萌发研究进展[J]. 植物研究,2011,31(1):121-128. REN J,YU F K,TAO L. Research advances on the germination of desert plants under stress[J]. Bulletin of Botanical Research,2011,31(1):121-128. (in Chinese)

[12] 王葆芳,张景波,杨晓晖,等. 梭梭不同种源间种子性状和幼苗生长性状与地理和气候因子的关系[J]. 植物资源与环境学报,2009,18(1):28-35. WANG B F,ZHANG J B,YANG X H,*et al.* Relationship of seed characters and seedling growth traits of *Haloxylon am-*

modendron from different provenances with geographical and climatic factors[J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2009, 18(1): 28-35. (in Chinese)

[13] 岳宁, 胡杨异形叶生态适应的解剖及生理学研究[D]. 北京: 北京林业大学. 2009.

[14] 周朝彬, 宋于洋, 王炳举, 等. 干旱胁迫对胡杨光合和叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 5- 9. ZHOU C B, SONG Y Y, WANG B J, *et al.* Effects of drought stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters of *Populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009, 24(4): 5-9. (in Chinese)

[15] 史军辉, 王新英, 刘茂秀, 等. NaCl 胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 6-11. SHI J H, WANG X Y, LIU M X, *et al.* Effects of NaCl stress on main osmotic adjustment substances in the seedling leaves of *Populus euphratica* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2014, 29(6): 6-11. (in Chinese)

[16] FAN J Z, HAI L Y, STEFAN K. ARNDT. Leaf and whole tree adaptations to mild salinity in field grown *Populus euphratica* [J]. Tree Physiology 2009, 29(10): 1237-1246.

[17] 周成强. 两种不同种源麻疯树种子发芽特征探讨[J]. 林业建设, 2014(1): 7-11. ZHOU C Q. Germination characteristics of two different provenances of *Jatropha curcas* L. in Huidong County [J]. Forestry Construction, 2014(1): 7-11. (in Chinese)

[18] 李培旺, 李昌珠, 蒋丽娟, 等. 3 种木本油脂植物种子活力研究[J]. 经济林研究, 2006, 24(1): 71-73. LI P W, LI C Z, JIANG L J, *et al.* Research on seeds germination of vigor of three species of wood oil plants [J]. Nonwood Forest Research, 2006, 24(1): 71-73. (in Chinese)

[19] 席琳乔, 孙利杰, 史卉玲, 等. PEG6000 和 NaCl 对灰胡杨种子萌发的影响[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(10): 1865-1873. XI L Q, SUN L J, SHI H L, *et al.* Research into the characteristics of *Populous pruinosa* seed germination [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(10): 1865-1873. (in Chinese)

[20] 刘建平, 李志军, 何良荣, 等. 胡杨、灰叶胡杨种子萌发期抗盐性的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(2): 165-169. LIU J P, LI Z J, HE L R, *et al.* Salt-tolerance of *Populus euphratica* and *P. pruinosa* seeds during germination [J]. Cien-tia Silvae Sinicae, 2004, 40(2): 165-169. (in Chinese)

[21] 史宝胜, 刘冬云, 孟祥书, 等. NaCl、Na₂SO₄ 胁迫下盐蒿种子萌发过程中的生理变化[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(5): 45-48. SHI B S, LIU D Y, MENG X S, *et al.* Physiological characteristic changes during the process of seed germination of *Artemisia halodendron* under NaCl, Na₂SO₄ stress [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(5): 45-48. (in Chinese)

[22] SONG J, FENG G, ZHANG FS. Salinity and temperature effects on germination for three salt-resistant euhalophytes, *Halostachys caspica*, *Kalidium foliatum* and *Halocnemum strobilaceum* [J]. Plant Soil, 2006, 279(1): 201-207.

[23] 姜珊, 张文辉, 刘新成. 3 种园林树木种子萌发期耐盐性研究[J]. 西北植物学报, 2009, 29(4): 733-741. JIANG S, ZHANG W H, LIU X C. Study on salt stress of 3 ornamental trees during germination period [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2009, 29(4): 733-741. (in Chinese)

[24] 刘玉艳, 王辉, 于凤鸣等. 盐胁迫对二色补血草种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1794-1800. LIU Y Y, WANG H, YU F M, *et al.* Effects of salt stress on *Limonium bicolor* seed germination [J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(9): 1794-1800. (in Chinese)

[25] 刘炳响, 王志刚, 杨敏生, 等. 模拟盐胁迫对白榆种子发芽、出苗及幼苗生长的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 39-46. LIU B X, WANG Z G, YANG M S, *et al.* Effects of simulated salt stress on seed germination, seedling emergence and growth of *Ulmus pumila* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(5): 39-46. (in Chinese)

[26] 高瑞如, 赵瑞华, 张双凤, 等. 盐分和温度对盐节木种子萌发的影响[J]. 西北植物学报, 2007, 27(11): 2281-2285. GAO R R, ZHAO R H, ZHANG S F, *et al.* Effects of salt and temperature on *Halocnemum strobilaceum* seed germination [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(11): 2281-2285. (in Chinese)

[27] 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. WANG J H, CHEN W. Responses of seed germination and seedling growth of *Lycium ruthenicum* to salt stress [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(4): 804-810. (in Chinese)

[28] 曾幼玲, 蔡忠贞, 马纪, 等. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪和盐穗木种子萌发的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1014-1018. ZENG Y L, CAI Z Z, MA J, *et al.* Effects of salt and water stress on seed germination of halophytes *Kalidium foliatum* and *Halostachys caspica* [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(9): 1014-1018. (in Chinese)

[29] 王志才, 牙库甫江·阿西木, 王艳, 等. 水盐胁迫对花花柴种子萌发的影响[J]. 中国沙漠, 2012, 32(3): 750-755. WANG Z C, YAKUPJAN·AXIMU, WANG Y, *et al.* Effects of salt and sater stresses on seed germination of *Karilinia caspica* [J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(3): 750-755. (in Chinese)

[30] 杨景宁, 王彦荣. NaCl 胁迫对四种荒漠植物种子萌发的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(5): 32-38. YANG J N, WANG Y R. Effects of NaCl stress on seed germination of four desert plant species [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2012, 21(5): 32-38. (in Chinese)