

NaCl胁迫对甘肃省不同地区盐生草种子萌发特性的影响

张泽华¹,许静玉^{2,3},宋美妮¹,薛振宇¹,马蕊¹,马臻¹,王子骞¹,汪军成^{1,2},姚立蓉^{1,2*}

(1. 甘肃农业大学农学院,甘肃 兰州 730070;2. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室,甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室,甘肃 兰州 730070;3. 甘肃农业大学生命科学技术学院,甘肃 兰州 730070)

摘要:对采集自甘肃省17个地区的盐生草(*Halogeton glomeratus*)种子进行萌发期的盐胁迫试验,测定种子发芽指标、幼苗生长指标、离子含量以及根系活力,研究NaCl胁迫对不同地区盐生草种子萌发特性的影响。结果表明:盐胁迫下,17个地区的盐生草种子的发芽率和发芽势均降低,其中,12和15号地区盐生草种子的萌发率最高,分别为对照的88.20%和91.92%,3号和17号地区盐生草的萌发率最低,分别为对照的74.98%和73.85%;各地区盐生草幼苗的株高对盐胁迫的响应不同,有6个地区盐生草的株高增大,其他地区的株高受到不同程度的抑制,其中17号地区盐生草株高受抑制最严重,为对照的82.35%。盐胁迫处理下,有9个地区的盐生草幼苗鲜重高于对照,其他地区的幼苗鲜重均低于对照;与对照相比,盐生草幼苗的干重明显升高,升幅最高的是白银市靖远县的盐生草品种,达到200.48%,最低的是民勤县收成乡的盐生草品种,为112.98%;分别测定两个发芽状况最好和最差的盐生草幼苗的离子含量,发现盐胁迫下盐生草幼苗的Na⁺含量增多、K⁺含量减少,K⁺/Na⁺显著降低;根系活力分析发现,盐胁迫对不同地区盐生草幼苗根系活力影响不同,其中,白银市景泰县的盐生草幼苗根系活力受到的影响最大,白银市靖远县的盐生草幼苗根系活力受到的影响最小,但均表现出抑制的效果。17个地区的盐生草品种可分为耐盐性强、耐盐性较好以及耐盐性差3个类群。

关键词:盐生草;盐胁迫;发芽率;发芽势

中图分类号:S156 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)05-0132-10

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2022.05.017



近年来,随着我国经济快速发展,人类活动对生态环境的影响越来越大,在一定程度上加剧了我国的土壤盐碱化程度,加快了土地荒漠化进程,对我国经

济的可持续增长造成了严重阻碍^[1]。据联合国教科文组织和粮农组织(FAO)的不完全统计,我国的盐碱地总面积高达9 913万hm²,主要分为现代盐碱土、残余盐碱土和潜在盐碱土3种类型,面积分别约为3 700、4 500和1 700万hm²,约占我国土地面积的25%^[2]。它们主要分布于我国的北方地区以及长江以北的沿海地带^[3],涵盖了甘肃河西走廊、新疆、内蒙、柴达木盆地、黄淮海平原、汾渭河谷平原、东北平原西部以及滨海等地^[3-4],因此改良盐碱地以及绿化盐碱地刻不容缓。

耐盐性盐生草(*Halogeton glomeratus*)属藜科(Chenopodiaceae)盐生草属(*Halophyte*),为一年生草本植物,主要分布于我国甘肃、新疆、青海及西藏等多

收稿日期:2021-04-08; **修回日期:**2021-09-02

基金项目:甘肃农业大学SRTP国创项目(202010733003, 202010733004);国家自然科学基金项目(31960072);国家青年科学基金项目(32001514);甘肃省自然科学基金重点项目(20JR10RA507);甘肃省创新能力提升项目(2019A-053);国家大麦青稞产业技术体系(CARS-05-03B-03)

作者简介:张泽华(1999-),男,山东聊城人。

E-mail: 2662496409@qq.com

*通信作者。E-mail: ylr0384@163.com

个省份,具有较强的耐盐抗旱性,适宜在含盐量高的地区生长,是我国西北地区最常见的盐生植物之一。目前我国盐碱地改良措施主要有种植耐盐、排盐植物、添加化学改良剂、增施有机肥以及暗管排水等。其中,选用耐盐植物改良盐碱地受到广泛关注。运用耐盐植物改良盐碱地具有投入成本低、操作简便、适用范围广、成效显著、经济效益高的特点^[5]。因此,选取盐生草作为盐碱地改良的材料是最经济有效的措施之一。

种子萌发阶段是植物生活史中最为关键的阶段,这个时期植物对外界环境的变化特别敏感^[6]。当NaCl浓度超过100 mmol/L时,白花草木樨、香豌豆、白蜡、杜梨等8种盐生植物种子的萌发均受到不同程度的抑制^[7]。另外有研究表明,高盐和低盐都会对盐生草根系的生长产生影响^[8],选取100 mmol/L NaCl

对盐生草种子萌发期进行模拟胁迫,研究其萌发特性已有报道^[9-10]。目前,有关盐胁迫对盐生植物种子萌发特性分析的研究中,对于单盐胁迫下不同地区盐生草的研究鲜有报道。鉴于此,本团队选取我国西北地区特色耐盐植物盐生草作为实验材料,对产自17个地区的盐生草种子进行100 mmol/L NaCl处理,通过对比各地区种子萌发特性指标,筛选同期处理中生长状况最好的盐生草种子,从而为盐生草种质资源多样性的鉴定,种质创新和利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

本试验盐生草种子由甘肃省干旱生境作物学重点实验室麦类遗传育种实验室提供,2019年11月采集于甘肃省不同地区(表1)。

表1 各地区的地理位置及气候条件

Table 1 Geographic location and climatic conditions of each region

编号	采集地区	经度(E)	纬度(N)	海拔/m	年均气温/℃	年均降水量/mm
1	白银市平川区	103°33'~105°34'	35°33'~37°38'	1 275~3 321	6.0~9.0	180.0~450.0
2	张掖市山丹县	100°41'~101°42'	37°50'~39°03'	1 550~4 441	1.0	163.3
3	酒泉市肃州区	92°20'~100°20'	38°09'~42°48'	1 100~1 500	3.9~9.3	84.0
4	金昌市金川区	101°04'35"~102°43'40"	37°47'10"~39°00'30"	1 526	9.2	139.8
5	武威市凉州区	101°49'~104°16'	36°29'~39°27'	1 350~4 872	7.7	212.2
6	金昌市永昌县	101°04'~102°43'	37°47'~38°39'	1 452~4 442	4.8	185.1
7	白银市景泰县	103°33'~104°43'	36°43'~37°38'	1 276~3 321	8.2	185.0
8	兰州市沙井驿	—	—	—	—	—
9	民勤县收成乡	—	—	1 367	—	—
10	张掖市高台县	98°57'27"~100°06'42"	39°03'50"~39°59'52"	1 260~3 140	8.1	112.3
11	白银市靖远县	104°48'44"	36.19°5.7"	1 900	9.0	235.5
12	民勤县重兴乡	—	—	—	—	—
13	白银市会宁县	104°29'~105°31'	35°24'~36°26'	2 117	9.2	267.1
14	张掖市甘州区	97°20'~102°12'	37°28'~39°57'	1 483	4.1~8.3	112.3~354.0
15	兰州新区	103°29'22"~103°49'56"	36°17'15"~36°43'	1 910	6.9	300.0~350.0
16	张掖市临泽县	99°51'~100°30'	38°57'~39°42'	1 380~2 278	7.7	118.4
17	张掖市民乐县	100°22'59"~101°13'9"	37°56'19"~38°48'17"	1 589~5 027	4.1	351.0

1.2 试验试剂

试验试剂:氯化钠固体(NaCl),75%乙醇,次氯酸钠溶液(NaClO,有效氯 $\geq 8\%$),100 mmol/L的磷酸(H_3PO_4)缓冲液(pH值=7),2,3,5-三苯基四唑氯化物(2,3,5-Triphenyl-tetrazolium chloride, TTC)。

试验仪器:培养皿、玻璃棒、滤纸、镊子、烧杯、药匙、电子天平、离心管、研钵、容量瓶、移液枪、烘箱、分光光度计等。

1.3 试验方法

1.3.1 种子消毒 选取均匀一致且饱满的盐生草种子放于2 mL离心管中,向其中加入75%的乙醇震荡30 s,加入蒸馏水进行冲洗,重复3次,加入2%的NaClO溶液处理1.5 min,用蒸馏水冲洗4次,最后用滤纸将种子表面的水分吸干,待用^[10]。

1.3.2 种子萌发试验 玻璃培养皿内放置两层滤纸,高温灭菌,作为种子的发芽床,吸取5 mL浓度为

100 mmol/L 的 NaCl 溶液均匀滴入培养皿中,使用消毒的镊子分捡经过消毒的盐生草种子,使其分布均匀。每个培养皿种植 50 粒盐生草种子,每个处理设置 5 个重复,以蒸馏水处理作为对照,封口膜封口。将所有的培养皿置于温度为 28 ℃ 的培养箱,光照条件为光照/黑暗(14 h/10 h),光强为 2000 Lx,相对湿度为 48%~60% 的环境下进行培养^[9]。

1.3.3 发芽指标测定 以胚根突破表皮 1 mm 作为发芽标准,第 3 天测发芽势,第 7 天测发芽率。计算公式如下:

$$\text{发芽势}(\%) = (\text{3 d 内种子发芽数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{发芽率}(\%) = (\text{7 d 内种子发芽数} / \text{供试种子数}) \times 100\%$$

$$\text{相对发芽势}(\%) = (\text{盐处理的发芽势} / \text{对照的发芽势}) \times 100\%$$

$$\text{相对发芽率}(\%) = (\text{盐处理的发芽率} / \text{对照的发芽率}) \times 100\%$$

1.3.4 株高测量 生长 7 d 后,每个培养皿随机选取 10 株幼苗,用 WinRHIZO 图像扫描仪测量幼苗株高,取平均值作为株高标准,计算相对株高。公式如下:

$$\text{相对株高}(\%) = (\text{盐处理的株高} / \text{对照的株高}) \times 100\%$$

1.3.5 生物量测定 每个培养皿随机选取生长 7 d 的 10 株幼苗,将幼苗置于蒸馏水中漂洗数秒,除去幼苗表面多余的离子,将幼苗放于干净的定性滤纸上,吸干水分后测量鲜重,然后将幼苗装进信封袋,放入烘箱中,60 ℃ 烘 60 h 后测量干重。用分析天平测量鲜重和干重,并计算其相对鲜和相对干重,公式如下:

$$\text{相对鲜重}(\%) = (\text{盐处理的鲜重} / \text{对照的鲜重}) \times 100\%$$

$$\text{相对干重}(\%) = (\text{盐处理的干重} / \text{对照的干重}) \times 100\%$$

1.3.6 离子含量(IC)测定 将烘干的材料研磨至粉末,装入 PCR 管,采用原子吸收分光光度法测定 Na⁺、K⁺ 离子含量。

1.3.7 根系活力(RA)测定 用 TTC 还原测定法^[11]测定幼苗根系活力。

$$\text{相对根系活力} = (\text{盐处理的干重} / \text{对照的干重}) \times$$

100%

1.4 数据处理

使用 Microsoft Excel 2010 进行数据的处理以及图表的绘制,采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析、相关性分析、聚类分析等各种指标分析,并采用 Duncan's 多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对不同地区盐生草种子萌发指标的影响

100 mmol/L NaCl 处理之后,盐生草种子发芽率和发芽势的相对值均小于 1,表明发芽势和发芽率在盐胁迫下较 CK 均降低(表 2)。从相对发芽势来看,12 号(民勤县重兴乡)、14 号(张掖市甘州区)和 15 号(兰州新区)地区较高,分别为 77.51%、77.99% 和 79.16%,16 号(张掖市临泽县)地区最低,为 9.67%;从相对发芽率来看,有 12 个地区种子的相对发芽率大于 80%,其中 13 号(白银市会宁县)、12 号(民勤县重兴乡)和 15 号(兰州新区)地区较高,分别为 86.54%、88.20% 和 91.92%,7 号(白银市景泰县)地区最低,为 63.93%(表 2)。

表 2 盐胁迫下不同地区盐生草种子的发芽指标

Table 2 Seed germination indexes of *H. glomeratus* in different regions under salt stress

编号	NaCl 处理	
	相对发芽势/%	相对发芽率/%
1	15.35±3.25 ^d	84.45±2.05 ^{abc}
2	17.69±0.27 ^{cd}	76.26±3.88 ^{bc}
3	25.41±2.68 ^{cd}	74.98±3.51 ^c
4	39.88±3.31 ^b	83.79±2.37 ^{abc}
5	20.40±2.79 ^{cd}	75.98±8.26 ^c
6	58.55±2.97 ^a	86.01±2.93 ^{abc}
7	27.00±2.52 ^c	63.93±4.24 ^d
8	16.14±0.77 ^d	84.65±5.12 ^{abc}
9	48.20±3.38 ^b	80.74±1.53 ^{abc}
10	33.76±5.55 ^{bc}	81.73±2.49 ^{abc}
11	41.18±5.78 ^b	82.68±3.42 ^{abc}
12	77.51±3.42 ^a	88.20±3.42 ^{ab}
13	24.12±3.42 ^{ab}	86.54±3.42 ^{abc}
14	77.99±3.42 ^a	85.01±3.42 ^{abc}
15	79.16±3.42 ^a	91.92±3.42 ^a
16	9.67±3.42	81.07±3.42 ^{abc}
17	18.13±3.42 ^{ab}	73.85±3.42 ^{ab}

注:表中数据为平均值±标准误;同列不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 盐胁迫对不同地区盐生草幼苗相对株高的影响

在盐胁迫下不同地区盐生草幼苗的株高差异不明显,与对照相比,有 6 个地区盐生草的株高增大,分别是 3 号(酒泉市肃州区)、4 号(金昌市金川区)、6 号(金昌市永昌县)、9 号(民勤县收成乡)、10 号(张掖市高台县)地区的盐生草品种,较对照分别增大了 0.19%、3.75%、1.13%、6.63%、4.56%、4.33%。株高低于对照 92% 的品种有 4 个,分别是 11 号(白银市靖远县)、12 号(民勤县重兴乡)、15 号(兰州新区)、17 号(张掖市民乐县)地区盐生草品种,分别降低了 9.47%、9.63%、9.26%、17.65%(图 1)。表明盐胁迫对不同地区幼苗的生长既有促进作用,又有抑制作用,其中 17 号(张掖市民乐县)地区盐生草的株高受到的抑制作用最明显。

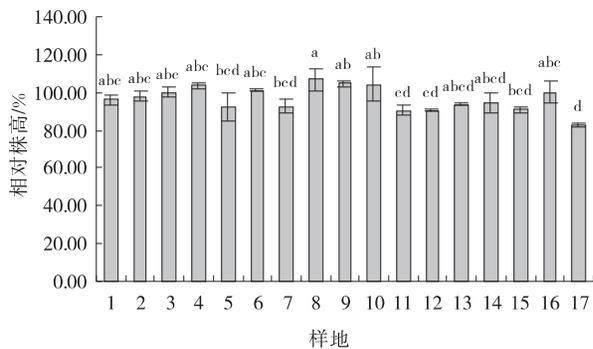


图 1 各地区盐生草的相对株高

Fig. 1 The relative plant height of *H. glomeratus* in different regions

2.3 盐胁迫对不同地区盐生草幼苗相对鲜重和干重的影响

甘肃省不同地区盐生草幼苗相对鲜重差异较大,其中 4 号(金昌市金川区)、5 号(武威市凉州区)、6 号(金昌市永昌县)、7 号(白银市景泰县)、8 号(兰州市沙井驿)、10 号(张掖市高台县)、11 号(白银市靖远县)、

12 号(民勤县重兴乡)、15 号(兰州新区)和 16 号(张掖市临泽县)地区的盐生草幼苗的相对鲜重较高,分别为 204.37%、162.07%、207.93%、146.62%、116.25%、159.87%、129.18%、103.60%、103.06%和 100.27%;1 号(白银市平川区)、2 号(张掖市山丹县)、3 号(酒泉市苏州区)、9 号(民勤县收成乡)、13 号(白银市会宁县)、14 号(张掖市甘州区)、17 号(张掖市民乐县)地区的盐生草幼苗相对鲜重无显著性差异,17 号(张掖市民乐县)地区的盐生草幼苗相对鲜重最低,仅为对照鲜重的 58.25%。经盐胁迫后,各地区盐生草幼苗的相对干重均大于 1,11 号(白银市靖远县)地区的最高,相对干重为 200.48%,9 号(民勤县收成乡)地区最低,为 112.98%;2 号(张掖市山丹县)、3 号(酒泉市苏州区)、11 号(白银市靖远县)地区的盐生草幼苗的干重远高于对照的干重,分别为 186.93%、179.39%和 200.48%,与其他地区幼苗的相对干重具有显著性差异($P < 0.05$)。1 号(白银市平川区)、9 号(民勤县收成乡)、14 号(张掖市甘州区)、16 号(张掖市临泽县)地区的盐生草相对干重与对照之间差距较小,分别为 127.49%、112.98%、123.09%和 133.61%,而且这些地区品种间无显著性差异,其他地区品种间有显著差异($P < 0.05$)(图 2)。

2.4 盐胁迫对不同地区盐生草幼苗离子含量的影响

17 个地区盐生草发芽率的 3 组重复数据中,把发芽率相近的 2 组的平均值作为依据,分别筛选出 2 个发芽状况最好和最差的盐生草种子,并测定幼苗的 Na^+ 、 K^+ 离子含量,选择发芽率最高的 2 个地区 6 号(金昌市永昌县)和 15 号(兰州新区),最低的 2 个地区 5 号(武威市凉州区)和 7 号(白银市景泰县)的盐生草幼苗,测定其 Na^+ 、 K^+ 离子含量。经盐处理后,各地区

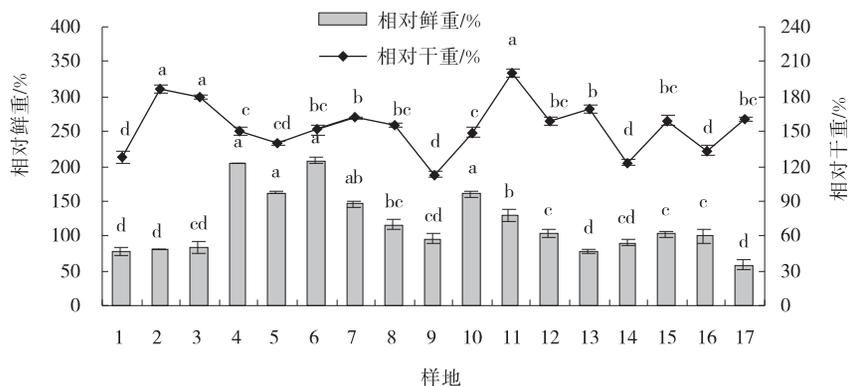


图 2 各地区盐生草的相对鲜干重

Fig. 1 Relative fresh weight and relative dry weight of *H. glomeratus* in different regions

的盐生草幼苗 Na⁺含量较CK明显增高,6号(金昌市永昌县)、15号(兰州新区)地区盐生草的相对Na⁺含量高于5号(武威市凉州区)和7号(白银市景泰县)地区,15号(兰州新区)地区的最高,5号(武威市凉州区)地区的最低(图3-A,图3-C);除7号(白银市景泰县)地区的盐生草幼苗外,经盐处理的盐生草幼苗K⁺含量

都比对照的含量低,5号(武威市凉州区)地区的相对K⁺含量最低,6号(金昌市永昌县)和15号(兰州新区)地区没有明显差别(图3-B,图3-C);盐胁迫处理之后的盐生草幼苗K⁺/Na⁺比明显低于对照组,6号(金昌市永昌县)地区的最高,为0.13,5号(武威市凉州区)地区的最低,为0.88(图3-D)。

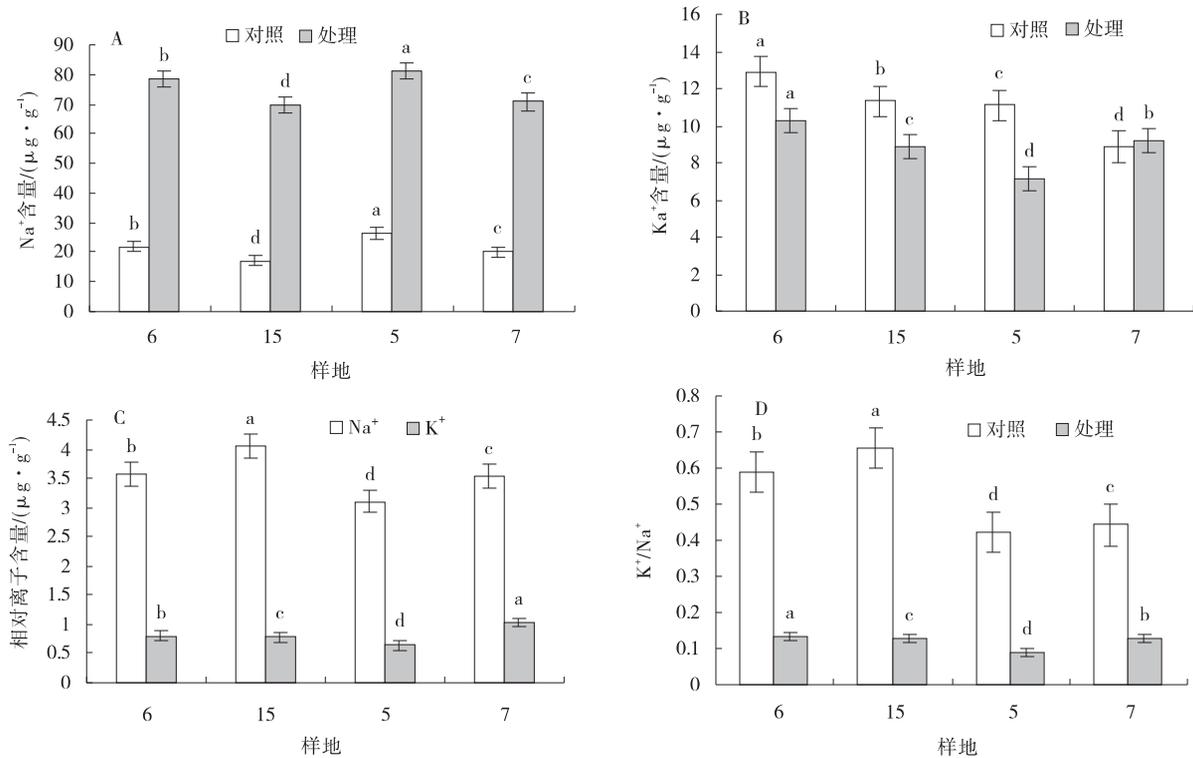


图3 Na⁺、K⁺含量及K⁺/Na⁺

Fig. 3 Na⁺, K⁺ content and Relation content K⁺/Na⁺ ratio

2.5 盐胁迫对不同地区盐生草幼苗相对根系活力的影响

各地区盐生草幼苗在相同处理的条件下,其根系活力之间有明显差异,经过盐处理后幼苗的根系活力均低于对照。7号(白银市景泰县)地区盐生草幼苗的根系生长受到的影响最大,根系活力仅为对照的15.4%,而6号(金昌市永昌县)、8号(兰州市沙井驿)、10号(张掖市高台县)、11号(白银市靖远县)和15号(兰州新区)地区品种的根系生长受影响较小,分别为83.52%、77.15%、83.69%、90.50%和82.23%,其中11号(白银市靖远县)地区盐生草幼苗受到的影响最小(图4)。

2.6 各地区盐生草种子萌发期性状方差分析

盐胁迫对17个地区盐生草种子萌发期各指标测定值均有显著影响,处理间和各地区盐生草种子之间的差异均达到显著水平(表3、附表1)。不同地区

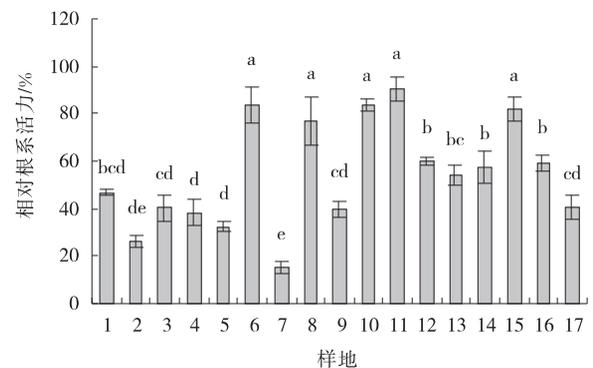


图4 各地区盐生草的相对根系活力

Fig. 4 Root activity of *H. glomeratus* in different regions

间材料的变异系数介于0.073~0.131,说明17个地区盐生草种子具有较好的代表性,盐胁迫处理效果好,所选指标对盐胁迫反应较敏感。另外,17个地区盐生草种子萌发期各指标在对照和盐胁迫处理下的测定值相关系数在0.36~0.733,这进一步说明17个地区盐生草种子萌发期各指标对盐胁迫反应的敏感

性存在差异,可继续进行耐盐种子的筛选和鉴定^[12]。

表3 不同地区盐生草种子发芽期性状指标的平均值差异分析

Table 3 Mean values of germination indices of *H. glomeratus* seeds in different areas

项目	发芽势/%		发芽率/%		株高/cm		鲜重/g		干重/g		根系活力/%	
	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理
平均值	0.59	0.23	0.68	0.12	1.79	1.72	0.026	0.028	0.002	0.003	0.36	0.2
变异系数	0.073	0.098	0.101	0.128	0.098	0.107	0.113	0.107	0.131	0.125	0.089	0.123
标准误	0.02		0.008		0.22		0.001		0.001		0.013	
<i>t</i> 值	18.28		16.26		3.1		1.57		19.83		12.568	
<i>p</i> 值	0.000 1**		0.000 1**		0.000 3**		0.0001**		0.000 1**		0.000 1**	
相关系数	0.512		0.68		0.36		0.41		0.733		0.591	

注:**代表差异极显著($P < 0.01$)。

2.7 各地区盐生草种子发芽期各指标相关性分析

各项指标间呈现不同程度的相关性,相对发芽势与相对发芽率、相对根系活力分别呈极显著正相关($P < 0.01$)和显著正相关($P < 0.05$);相对发芽率与相对株高、相对鲜重、相对干重、相对根系活力分别

呈正相关、正相关、负相关、极显著正相关($P < 0.01$);相对株高与相对鲜重呈显著正相关($P < 0.05$);相对鲜重与相对干重、相对根系活力呈负相关、正相关关系;相对干重与相对根系活力分别呈正相关关系(表4)。

表4 不同地区盐生草各指标相对值的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of relative value of *H. glomeratus* in different areas

性状	相对发芽势	相对发芽率	相对株高	相对鲜重	相对干重	相对根系活力
相对发芽势	1					
相对发芽率	0.44**	1				
相对株高	-0.06	0.01	1			
相对鲜重	0.15	0.03	0.29*	1		
相对干重	-0.12	-0.15	-0.17	-0.03	1	
相对根系活力	0.35*	0.57**	0.12	0.18	0.12	1

注:**在0.01水平上显著相关;*在0.05水平上显著相关

2.8 主成分分析、综合聚类分析及地区分布

主成分分析能够更好地反映盐生草的耐盐性,对盐生草的6个耐盐指标进行分析,其中相对发芽势、相对发芽率、相对株高的累计贡献率为72.40%,说明这3个主成分足以作为本实验对盐生草耐盐性指标鉴定的标准(表5)。第I主成分的贡献率为32.93%,第II主成分除了相对干重外,与其他指标都呈正相关关系(表6)。对各地区盐生草种子各萌发指标进行聚类分析,在欧式距离约为22时将盐处理下各地区盐生草种子分为三个类群,其中第I类为11号(白银市靖远县)、12号(民勤县重兴乡)、13号(白银市会宁县)、14号(张掖市甘州区)、15号(兰州新区)、17号(张掖市民乐县)地区,盐生草耐盐性最强,第II类为6号(金昌市永昌县)、8号(兰州市沙井驿)、9号(民勤县收成乡)、10号(张掖市高台县)、16号(张掖市临泽县)地区,盐生草耐盐性较强,第III类为1号(白银平川区)、2号(张掖市山丹县)、3号(酒泉市肃州区)、4号(金昌市金川

区)、5号(武威市凉州区)、7号(白银市景泰县)地区,盐生草耐盐性最弱(图5)。采取样本材料的分布区域为甘肃省的17个地区,样本具有代表性和普遍性,因此可用于耐盐材料的筛选与鉴定(图6)。

表5 3个主成分的特征值及贡献率

Table 5 The eigenvalues and contribution rates of the 3 principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
I	1.98	32.92	32.92
II	1.30	21.71	54.63
III	1.07	17.78	72.40

表6 各因子载荷矩阵

Table 6 Factors load matrix

主成分	相对发芽势	相对发芽率	相对株高	相对鲜重	相对干重	相对根系活力
I	1.00	0.44	-0.06	0.15	-0.12	0.35
II	0.44	1.00	0.01	0.03	-0.15	0.57
III	-0.06	0.01	1.00	0.29	-0.17	0.12

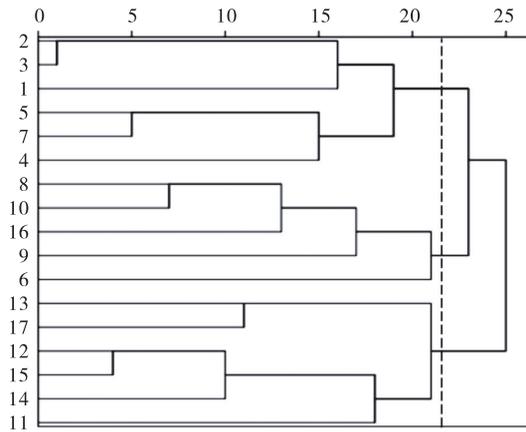


图5 聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis

3 讨论

土壤盐碱化不仅仅只是某个地区或某个国家的问题,现在已成为全球农业发展面临的一个主要问题。邹凯等^[13]对3种耐盐植物进行耐盐性评价,其中盐生草的耐盐能力最强;汪军成在对盐生草盐分区域化耐盐机制研究中发现,盐生草的根、茎、叶都具有富集盐分的作用,其中叶片的富集能力最强^[14]。本研究选取盐生草作为材料,对采集自甘肃省17个地区的盐生草在盐胁迫下的种子萌发特性进行分析。研究结果表明,与对照相比,17个地区盐生草种子在经过盐处理后,其发芽势以及发芽率都普遍下降,盐胁迫对各地区盐生草萌发的抑制程度不同,民勤县重兴乡、兰州新区的盐生草的萌发受到的抑制最小,白银市景泰县、张掖市民乐县的盐生草的萌发受到抑制最大,这与李玉梅等^[15]以及李诗琴等^[16]的研究结果一致,盐

分会影响种子的萌发。

各地区盐生草幼苗的株高对盐胁迫的反应不同,与对照相比,各地区盐生草的株高变幅为17.65%~6.63%,这表明盐胁迫对不同地区的盐生草的生长既表现出促进作用,又表现出抑制作用。贾新平等^[18]对海滨雀稗的研究发现,NaCl的浓度为100 mmol/L时,对海滨雀稗株高的增长抑制不明显。刘自刚等^[17]在对白菜型的冬油菜研究中发现,在盐胁迫下幼苗的生长受到抑制,原因可能是不同地区盐生草对盐胁迫的适应性不同,在盐胁迫下有的地区的盐生草生长受到促进,有的受到抑制,具体原因有待进一步研究。各地区盐生草的干、鲜重受盐处理的影响差异明显,地区间具有显著性差异($P < 0.05$),其中,相比于对照,各地区盐生草的干重增高,增幅为12.98%~100.48%,其中张掖市山丹县、白银市靖远县的盐生草积累干物质的能力最强,说明在该处理下有利于盐生草干物质的积累。这与白健慧^[19]对燕麦的研究结果一致,轻度盐胁迫能促进燕麦干物质的积累。在盐胁迫下,幼苗的Na⁺含量明显增加,并且各地区盐生草幼苗间的Na⁺含量具有显著差异($P < 0.05$),除7号地区盐生草幼苗外,其余地区盐生草幼苗的K⁺含量均比对照低。王英逵等^[25]对羊草的研究发现,盐胁迫会增加羊草体内Na⁺含量,抑制K⁺的含量。这几个地区的盐生草幼苗的K⁺/Na⁺均比对照低,并且具有显著性差异($P < 0.05$)。因此,可以把K⁺/Na⁺比作为盐生草耐盐性的指标^[24],这为耐盐性盐生草筛选提供了重要的依据。

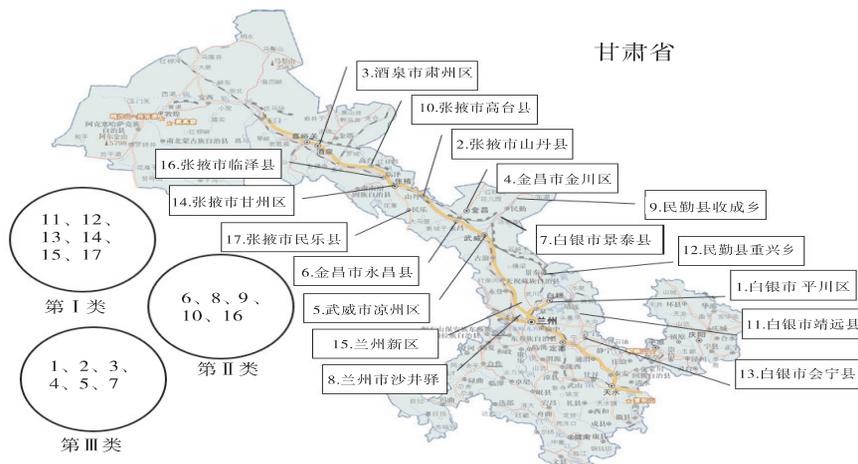


图6 不同地区盐生草的分布及其分类

Fig. 6 Distribution and classification of *H. glomeratus* in different regions

植物在盐处理过程中,根系最先接到胁迫信号,并作出相应的代谢反应^[20]。有研究表明,盐胁迫能够降低植物的根系活力^[21-23],本研究结果也表明,各地区的盐生草在盐胁迫下其根系活力都明显减弱,材料间具有显著差异,其中张掖市山丹县、白银市景泰县盐生草的根系受盐胁迫的影响最大。通过聚类分析,将不同地区盐生草划分为 3 个等级,分别为耐盐性强、耐盐性较好以及耐盐性差,第 I 类有白银市靖远县、民勤县重兴乡、白银市会宁县、张掖市甘州区、兰州新区、张掖市民乐县,其盐生草耐盐性最强;第 II 类有金昌市永昌县、兰州沙井驿、民勤县收成乡、张掖市高台县、张掖市临泽县,其盐生草耐盐性较好;第 III 类有白银市平川区、张掖市山丹县、酒泉市肃州区、金昌市金川区、武

威市凉州区、白银市景泰县,其盐生草耐盐性最差。不同地区盐生草种子,影响其萌发的因素是否与其原始生长环境以及盐生草本身有关,有待进一步研究。

4 结论

盐胁迫条件下,17 个地区的盐生草种子发芽势和发芽率均降低;各地区盐生草幼苗的株高、鲜重和干重对盐胁迫的响应不同;盐胁迫条件下,盐生草幼苗的 Na⁺ 含量增多、K⁺ 含量减少, K⁺/Na⁺ 显著降低;盐胁迫对不同地区盐生草幼苗根系活力具有抑制作用;17 个地区的盐生草可分为耐盐性强、耐盐性较好以及耐盐性差 3 个类群。

附表:

附表 1 各地区盐生草种子发芽期各指标值

Supplementary table 1 Germination indices of *H. glomeratus* seeds in different regions

编号	发芽势/%		发芽率/%		株高/cm		鲜重/g		干重/g		根系活力/%	
	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理	CK	处理
1	0.57	0.09	0.68	0.57	1.71	1.64	0.037	0.028	0.002	0.003	0.313	0.146
2	0.64	0.11	0.7	0.53	1.81	1.77	0.028	0.022	0.002	0.003	0.294	0.077
3	0.47	0.12	0.51	0.38	1.62	1.62	0.026	0.021	0.001	0.002	0.476	0.186
4	0.5	0.2	0.53	0.45	1.79	1.85	0.017	0.034	0.002	0.002	0.320	0.124
5	0.49	0.1	0.59	0.44	1.82	1.67	0.021	0.034	0.002	0.002	0.444	0.144
6	0.39	0.23	0.47	0.4	1.88	1.9	0.018	0.037	0.002	0.003	0.326	0.274
7	0.49	0.13	0.61	0.39	1.75	1.61	0.018	0.026	0.001	0.002	0.355	0.055
8	0.66	0.11	0.74	0.62	1.74	1.86	0.027	0.031	0.002	0.003	0.345	0.270
9	0.71	0.34	0.76	0.61	1.75	1.83	0.033	0.031	0.002	0.002	0.301	0.121
10	0.58	0.19	0.69	0.57	1.71	1.76	0.017	0.028	0.002	0.003	0.399	0.332
11	0.68	0.28	0.8	0.66	1.79	1.62	0.021	0.028	0.001	0.003	0.548	0.491
12	0.71	0.55	0.82	0.72	1.96	1.77	0.030	0.031	0.002	0.003	0.445	0.267
13	0.61	0.15	0.73	0.63	1.69	1.58	0.035	0.027	0.002	0.003	0.359	0.192
14	0.72	0.56	0.84	0.71	1.84	1.74	0.034	0.03	0.002	0.003	0.393	0.217
15	0.64	0.51	0.66	0.61	1.91	1.73	0.027	0.028	0.002	0.003	0.287	0.232
16	0.55	0.05	0.79	0.64	1.72	1.71	0.024	0.024	0.002	0.002	0.221	0.129
17	0.66	0.12	0.71	0.53	1.96	1.62	0.034	0.021	0.002	0.003	0.344	0.140

参考文献:

- [1] Implementation of the plan of action to combat desertification[J]. Annual Review of Population Law, 1989, 16:212.
- [2] 朱建峰,崔振荣,吴春红,等. 我国盐碱地绿化研究进展与展望[J]. 世界林业研究, 2018, 31(4):70-75.
- [3] 王飞. 国际荒漠化协会联合主席,水土保持专家王飞先生论基于土盐-水盐双分离的旱区盐碱地水土资源管理模式[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1):317-321.
- [4] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):837-845.
- [5] 路晓筠,项卫东,郑光耀,等. 盐碱地改良措施研究进展[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(12):5-8.
- [6] 于崧,张婷婷,于立河. 盐碱胁迫对小麦种子萌发特性的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2019, 31(2):20-27.
- [7] 曾广娟,彭红丽,赵美微,等. 8种盐生植物种子萌芽期的耐盐性差异比较[J]. 现代农业科技, 2015(20):118-118.
- [8] 姚立蓉. 盐生草根对盐分吸收机理的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2018.
- [9] 胡娜,李葆春,姚立蓉,等. 不同重金属胁迫对盐生草种子萌发特性的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(6):66-81.

- [10] 侯静静,李葆春,汪军成,等. NaCl胁迫下盐生草在不同重金属处理下的萌发特性分析[J]. 草地学报,2019,27(1):112-122.
- [11] 郑坚,陈秋夏,金川,等. 不同TTC法测定枫香等阔叶树容器苗根系活力探讨[J]. 浙江农业科学,2008(1):39-42.
- [12] 徐银萍,潘永东,刘强德,等. 大麦种质资源成株期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J]. 作物学报,2020,46(3):136-149.
- [13] 邹凯,王绿菁,王嘉茜,等. 青海野决明、芒颖大麦草和盐生草种子萌发对盐分和干旱胁迫的响应特征[J]. 草业科学,2018,35(12):2883-2892.
- [14] 汪军成. 盐生草盐分区隔化耐盐机制研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2017.
- [15] 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.
- [16] 李诗琴,于洪柱,刘艺杉,等. 混合盐碱胁迫对16个紫花苜蓿品种萌发期的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(3):194-198.
- [17] 刘自刚,王志江,方圆,等. NaCl胁迫对白菜型冬油菜种子萌发和幼苗生理的影响[J]. 中国油料作物学报,2017,39(03):351-359.
- [18] 贾新平,邓衍明,孙晓波,等. 盐胁迫对海滨雀稗生长和生理特性的影响[J]. 草业学报,2015,24(12):204-212.
- [19] 白健慧. 燕麦对盐碱胁迫的生理响应机制研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2016.
- [20] Cramer G R, Läuchli A, Epstein E. Effects of NaCl and CaCl₂ on ion activities in complex nutrient solutions and root growth of cotton. *Plant Physiology*, 1986, 81(3):792-797.
- [21] 季琳琳,吴中能,刘俊龙,等. NaCl胁迫对两种柳树幼苗生理特性的影响[J]. 东北农业大学学报,2014,45(1):77-797.
- [22] 徐晨,凌凤楼,徐克章,等. 盐胁迫对不同水稻品种光合特性和生理生化特性的影响[J]. 中国水稻科学,2013,27(3):280-286.
- [23] 宁建凤,郑青松,杨少海,等. 高盐胁迫对罗布麻生长及离子平衡的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):325-330.
- [24] 陈惠哲,Natalia Ladatko,朱德峰,等. 盐胁迫下水稻苗期Na⁺和K⁺吸收与分配规律的初步研究[J]. 植物生态学报,2007,31(5):937-945.
- [25] 王英逵,杨玉荣,王德利. 盐碱胁迫下AMF对羊草的离子吸收和分配作用[J]. 草业学报,2020,29(12):95-104.

Effects of NaCl stress on seed germination of *Halogeton glomeratus* in different regions of Gansu Province

ZHANG Ze-hua¹, XU Jing-yu^{2,3}, SONG Mei-ni¹, XUE Zhen-yu¹, MA Rui¹,

MA Zhen¹, WANG Zi-qian¹, WANG Jun-cheng^{1,2}, YAO Li-rong^{1,2*}

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Provincial Key Lab of Aridland Crop Science, Gansu Provincial Key Lab of Crop Improvement & Germplasm Enhancer, Lanzhou 730070, China; 3. College of Life Sciences and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Experiments were carried out to evaluate the impact of salt stress on the germination of *Halogeton glomeratus* seeds collected from 17 regions in Gansu Province. The index of seed germination and growth, ion content and root activity were determined. The results showed that the germination rate and germination potential of *H. glomeratus* in 17 regions decreased under salt stress. The germination rate of *H. glomeratus* in Minqin Zhongxing and Lanzhou Xinqu regions were the highest, which was 88.20% and 91.92% of the control, respectively. The germination rate of *H. glomeratus* in Jiuquan and Minle region were the lowest, which reached 74.98% and 73.85%, respec-

tively. The response of plant height of *H. glomeratus* seedlings to salt stress was different in different regions. The plant height of *H. glomeratus* seedlings in 6 regions became higher and in other regions was inhibited to varying degrees. The plant height of *H. glomeratus* seedlings in Minle region was 82.35% of the control which was the most severely inhibited. The fresh weight of *H. glomeratus* seedlings in 9 regions was higher than that of the control under salt stress. Compared with the control, the dry weight of *H. glomeratus* seedlings increased significantly. The highest was reaching 200.48% in Dalu town, while the lowest reached 112.98% in Minqin Harvest region. In the three groups of repeated data of the germination rate of *H. glomeratus* in each region, the mean value of the two groups with similar germination rate was taken as the basis. *H. glomeratus* seeds from two regions with the best germination and two regions with the worst germination were screened and the ion content of their seedlings was determined. The results show that under salt stress, the content of Na^+ of *H. glomeratus* seedlings increased, the content of K^+ decreased, and K^+/Na^+ decreased significantly. The root activity analysis showed that salt stress had different effects on the root activity of *H. glomeratus* seedlings in different regions. Compared with the control, the root activity of *H. glomeratus* in Jingtai decreased by 84.6%, which was the most significant decrease. The root activity of *H. glomeratus* in Dalu town decreased by 9.5%, which was the least. Both of them were inhibited. The cumulative contribution rate of the first three principal components was 72.40% by principal component analysis of the six traits. Through cluster analysis, *H. glomeratus* seeds were divided into three groups in 17 regions: strong salt-tolerance, salt-tolerance and poor salt-tolerance. The results of this study provide a theoretical basis for the identification, innovation and utilization of *H. glomeratus* germplasm resources.

Key words: *Halogeton glomeratus*; salt stress; germination rate; germination potential

(上接 131 页)

Optimization of solid fermentation for biocontrol fungus TL16 against *Heterodera avenae*

LI Jun-ping, LU Zhi-qin, LUO Ning, NI Chun-hui, LI Hui-xia*

(College of Plant Protection, Gansu Agricultural University, Biocontrol Engineering Laboratory of Crop Diseases and Pests of Gansu Province, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to establish the optimal conditions of solid fermentation for the spore production of biocontrol fungus TL16 against *Heterodera avenae*, the ratio of fermentation substrates, ratios of carbon, nitrogen, and culture conditions were optimized using orthogonal design. The results showed that the optimal medium substrate for strain TL16 was wheat bran:corn flour:corn stalk powder with ratio of 3:1:2. In addition, 2% lactose, 4% peptone and 4% manganese sulfate were optimal compositions to provide sources of carbon, nitrogen and minerals. The optimal ratio of initial solid materials and water was 1:1, with 15% inoculation. The maximal sporulation quantity was 2.48×10^{10} cfu/g following fermentation for 8 d at 28 °C in dark.

Key words: *Heterodera avenae*; biological control; *Trichoderma longibrachiatum*; fermentation conditions