

不同苜蓿品种种子发芽对盐胁迫的响应

巴图, 赵萌莉, 李倩, 韩国栋, 徐军

(内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: [目的] 针对内蒙古西部地区草地土壤盐碱化, 选择盐碱土壤的主要成分 NaCl 和 Na_2SO_4 配成混合盐溶液进行室内发芽试验, 筛选适合当地种植的耐盐苜蓿品种, 为内蒙古西部盐碱草场的苜蓿种植提供理论依据。[方法] 将 NaCl 和 Na_2SO_4 按摩尔浓度 1:1, 用蒸馏水配成含盐量 0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0% 共 11 个梯度盐溶液, 对 25 个苜蓿品种进行发芽试验, 测定种子发芽率、相对发芽指数、种子相对简易活力指数, 进行耐盐类型的划分。[结果] 轻度盐胁迫 (0.2% 和 0.4% 盐浓度) 促进了苜蓿种子发芽, 提高了种子的发芽率、相对发芽指数、种子相对简易活力指数; 不同苜蓿品种间种子发芽的适宜盐浓度、半致死浓度、极限浓度差异较大。多数苜蓿品种的种子发芽适宜盐浓度是 0.0%~0.6%, 半致死盐浓度为 0.8%, 中草 3 号高达 1.4%; 极限盐浓度在 1.0%~2.0%。[结论] 综合聚类分析和种子发芽指标的表现得出, 中草 3 号、新苜 2 号品种表现出较强的耐盐性, 属于耐盐品种, magnumV-wet、赤草 1 号耐盐性较差, 属盐敏感品种

关键词: 苜蓿种子; 盐胁迫; 发芽; 聚类分析; 耐盐类型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0096-06

中图分类号: S541, Q948.1

文献参数: 巴图, 赵萌莉, 李倩, 等. 不同苜蓿品种种子发芽对盐胁迫的响应[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2):96-101. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.013; Ba Tu, Zhao Mengli, Li Qian, et al. Responses of Seed Germination of Different Alfalfa Varieties to Salt Stress[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2):96-101. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.013

Responses of Seed Germination of Different Alfalfa Varieties to Salt Stress

BA Tu, ZHAO Mengli, LI Qian, HAN Guodong, XU Jun

(College of Ecological Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China)

Abstract: [Objective] Considering the serious salinity grassland in western Inner Mongolia, we chose two main compositions of the saline soil, NaCl and Na_2SO_4 , mixed in 1:1 molarity salt solution, to test alfalfa germination characteristics and to choose salt-tolerant alfalfa varieties that were suitable for local production. This work was expected to provide theoretical basis for alfalfa production of Western Inner Mongolia saline meadows. [Methods] A series of mixed salt solution with 11 concentrations of 0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0% were used to test salt tolerant traits with regard to seed germination of 25 alfalfa varieties. Of which, germination rate, relative germination index and relatively simple seed vigor index were examined to rank salt-tolerant relevant varieties. [Results] Slight salt stress (0.2% and 0.4% salt concentrations) was observed that can promoted the alfalfa seed germination. Under the two concentrations, seed germination rate, relative germination index and relatively simple seed vigor index were all increased. Obvious differences of appropriate salt concentration, half lethal salt concentration and lethal salt concentration among different alfalfa varieties existed. For most varieties, their appropriate salt concentration was 0.0%~0.6%, and half lethal salt concentration was 0.8%. Zhongcao No. 3 was an exception, its half lethal salt concentration reached 1.4%. Upper limit of salt concentrations varied between 1.0% and

收稿日期: 2016-07-20

修回日期: 2016-09-14

资助项目: 公益性行业(农业)科研专项“牧区优质牧草生产与利用”(201003023); 科技部科技支撑项目(2012BAD13B02)

第一作者: 巴图(1984—), 男(蒙古族), 内蒙古自治区乌兰察布市人, 博士研究生, 研究方向为草地生态及抗旱生理研究。E-mail: batub@163.com。

通讯作者: 赵萌莉(1963—), 女(汉族), 陕西省华阴县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事草业生态与管理研究。E-mail: nmglmzh@126.com。

2.0% mostly. [Conclusion] Considering both results of clustering method and germination index performance, we can concluded that Zhongcao No. 3 and Xinmu No. 2 alfalfa varieties showed better salt tolerance and belonged to tolerant varieties. On the contrary, magnumV-wet, Chimu No. 1 presented worse salt tolerance and belonged to salt sensitive varieties.

Keywords: alfalfa; salt stress; germination; clustering analysis; salt tolerance type

全世界农业灌溉区大约有 50% 的面积有盐渍化或将受盐渍化威胁。中国是世界盐地大国之一。内蒙古盐渍土地面积已达 $3.16 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 给生态环境和作物生产带来极大危害, 所以合理利用和改良盐渍化土壤是亟待解决的重要问题。苜蓿作为改良盐渍化土壤的“先锋作物”, 常用于盐渍化土壤种植。苜蓿品种较多, 耐盐能力差异较大, 通过筛选耐盐品种是改良盐渍化土壤的最有效措施之一^[1], 也直接决定着土地产出能力。与植物生长相比, 种子发芽更易遭受盐害^[2], 在盐胁迫下作物正常生长和发育的基础是种子能够在盐胁迫下发芽^[3]。一些学者^[4-5]对作物种子的发芽进行了研究, 主要集中在盐胁迫对作物种子的发芽率、发芽势、发芽指数的比较分析。而在作物种子耐盐类型, 尤其是对苜蓿种子进行耐盐类型划分、致死盐浓度、半致死盐浓度方面的探究鲜见报道。因此, 该研究采用内蒙古西部地区盐渍化土壤主要成分 NaCl, Na₂SO₄, 配成混合溶液对苜蓿 25 个品种进行耐盐性筛选, 以期对内蒙古西部地区盐渍化土壤苜蓿种植提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

该试验采用 25 个不同苜蓿品种进行耐盐性研究, 具体品种名称详见表 1。

表 1 供试苜蓿品种

编号	品 种	来 源	编号	品 种	来 源
M ₁	中草 3 号	北京	M ₁₄	magnumV-wet	美国
M ₂	苜蓿王	美国	M ₁₅	宁苜 1 号	宁夏
M ₃	新牧 2 号	新疆	M ₁₆	2010	加拿大
M ₄	Nordica	美国	M ₁₇	旗 杆	加拿大
M ₅	黄花苜蓿	前苏联	M ₁₈	天鹅绒	加拿大
M ₆	Beaver	美国	M ₁₉	3010	加拿大
M ₇	Algonquin	加拿大	M ₂₀	阿迪娜	加拿大
M ₈	Rambler	加拿大	M ₂₁	康 赛	加拿大
M ₉	龙牧 801	黑龙江	M ₂₂	骑 士	加拿大
M ₁₀	公农 1 号	北京	M ₂₃	挑战者	加拿大
M ₁₁	惊 喜	美国	M ₂₄	Salt Buster	加拿大
M ₁₂	草原 2 号	内蒙古	M ₂₅	勇 士	加拿大
M ₁₃	赤草 1 号	内蒙古			

1.2 试验设计

试验于每个品种中均选出 100 粒种子, 经过 KMnO₄ 消毒、蒸馏水洗涤, 放置于下铺 2 张经蒸馏水润湿的定量滤纸的培养皿中, 待培养皿中的水分蒸发完后加入相应盐溶液。NaCl 和 Na₂SO₄ 以摩尔浓度比 1 : 1 用蒸馏水配置成含盐量 0.0%, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0% 的 11 个盐浓度溶液, 设 0% 为对照。每个盐浓度溶液吸取 3 ml 放入每个苜蓿品种里, 盖好盖, 并称重记录每个培养皿的质量; 每个品种的各个盐浓度处理均重复 8 次。置入人工气候箱中进行培养, 设定湿度 80%, 恒温 25 °C, 光照强度 6 000 lx, 光照间隔 12 h。每隔 24 h 观测种子发芽情况, 记录种子发芽数, 用称重法补充失去的蒸馏水以保证盐溶液浓度。

1.3 测定项目及方法

每天观察、记录发芽时间及发芽数量, 第 7 天, 测量苜蓿幼苗长度、种子发芽率, 计算其种子相对发芽指数、种子相对简易活力指数、种子发芽适宜浓度、半致死浓度、致死浓度指标。

幼苗长度采用直尺测量; 发芽率、相对发芽指数、种子简易活力指数计算公式为:

$$\text{种子发芽率}(G) = \frac{\text{发芽种子数}}{\text{种子数}} \times 100\%$$

种子相对发芽指数 $(G \cdot I) = \sum(\text{在时间 } t \text{ 内的发芽种子数} / \text{相对应的发芽天数})^{[6]}$ 。

种子相对简易活力指数 $= G \cdot I \cdot W$ 。通常 W 为幼苗干重或长度, 不同研究者采用的方法各异, 刘宝玉等以发芽种子长度为基础^[7]、王芳等^[8]以幼苗干重为基础、颜宏等^[9]以幼苗长度为基础进行计算的, 该研究中 W 以幼苗长度为基础进行测算。

第 7 天, 对苜蓿不同品种在盐胁迫下种子发芽耐盐适宜范围、耐盐半致死浓度与耐盐极限浓度的确定, 该研究在郝志刚等^[10]采用的方法的基础上, 做了如下改动: 耐盐适宜范围 (%) \geq 对照发芽率 75% 的盐溶液浓度; 耐盐半致死浓度 (%) \geq 对照发芽率 50% 的盐溶液浓度; 耐盐极限浓度 (%) \leq 对照发芽率的 10% 的盐溶液浓度。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 做图, 用 SAS 9.0 软件进行

方差分析与聚类分析,对各指标品种间进行最小显著差法(LSD)检验,水平0.05%。

2 结果与分析

2.1 幼苗长度

低盐浓度对苜蓿幼苗长度具有较小的抑制作用,适当低盐浓度促进幼苗长度的增加^[1]。从图1可以看出,0.4%盐浓度下,各处理苜蓿的幼苗长度相对较长,该浓度下M₁,M₂,M₃品种的幼苗长度分别比CK(0.0%)高5.93%,16.00%和14.82%,分别比0.2%盐浓度处理的高16.39%,4.04%和6.02%;0.4%盐浓度下,M₁₁和M₁₄品种的幼苗长度分别比CK(0.0%)高出5.93%和34.81%,分别比0.2%盐浓

度处理的高出2.81%和18.17%,而M₉品种在0.4%盐浓度下较0%盐浓度下高出29.49%,较0.2%盐浓度下低5.19%。在0.4%盐浓度下,M₁品种的幼苗长度比M₉,M₁₁和M₁₄品种的幼苗长度分别高出67.78%,113.39%和83.33%;M₂品种的幼苗长度比M₉,M₁₁和M₁₄品种的幼苗长度分别高出40.92%,79.24%和53.99%;M₃品种的幼苗长度比M₉,M₁₁和M₁₄品种的幼苗长度分别高出32.33%,68.31%和44.60%。由此可见,M₁,M₂,M₃品种的幼苗相对较长,M₉,M₁₁,M₁₄品种的长度相对较小。0.0%~0.4%盐浓度下苜蓿的幼苗长度较长,轻度盐胁迫促进了苜蓿幼苗的伸长,高于0.4%盐浓度对苜蓿造成了胁迫。

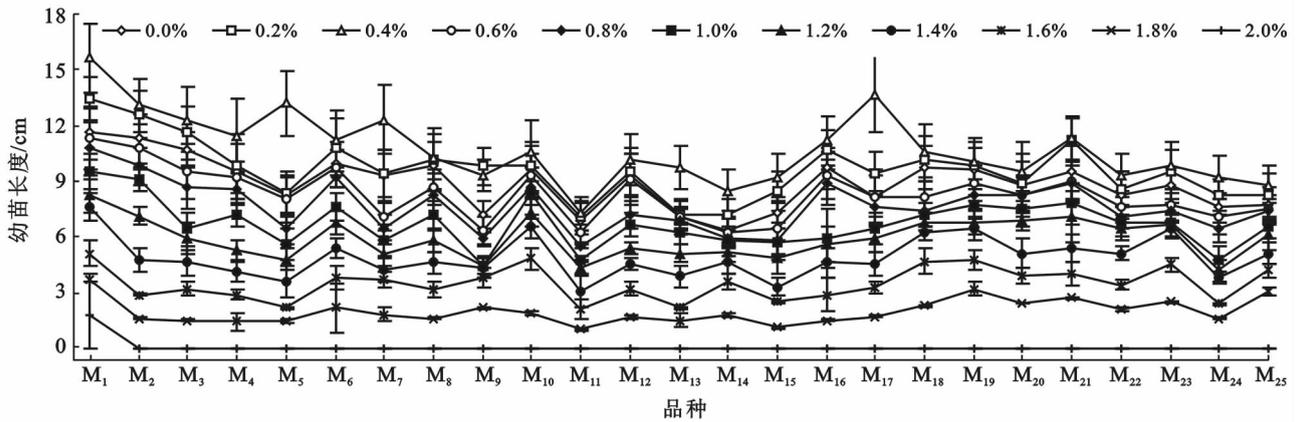


图1 不同盐浓度下苜蓿不同品种(系)幼苗长度

2.2 种子发芽率

从图2可以看出,0.4%盐浓度下,M₁,M₂,M₃品种的发芽率分别比CK(0%)高2.24%,2.25%和2.07%,分别比0.2%盐浓度处理的高1.47%,1.35%和1.14%;0%盐浓度下,M₁,M₂,M₃,M₈,M₁₈品种的种子发芽率分别较M₁₁品种高62.81%,60.86%,60.81%,58.83%和55.67%,分别较M₁₄品种高109.25%,106.74%,106.68%,104.13%和100.07%,分别比M₁₅品种高57.22%,55.34%,55.29%,53.37%和50.32%;0.2%盐浓度下,M₁,M₂,M₃,M₈,M₁₈品种种子发芽率分别较M₁₁品种高45.76%,44.23%,44.23%,42.85%和39.76%,分别较M₁₄品种高70.18%,68.38%,68.37%,66.76%和63.16%,分别比M₁₅品种高53.00%,51.38%,51.38%,49.93%和46.69%;0.4%盐浓度下,M₁,M₂,M₃,M₈,M₁₈品种的种子发芽率分别较M₁₁品种高37.94%,36.31%,36.02%,37.31%和34.48%,分别较M₁₄品种高58.18%,56.31%,55.99%,57.46%和54.21%,分别比M₁₅品种高45.67%,

43.94%,43.64%,45.00%和42.01%。由此可见,M₁,M₂,M₃,M₈,M₁₈品种的种子发芽率较高,M₁₁,M₁₄,M₁₅品种的种子发芽率较低。0.4%盐浓度下各苜蓿品种的种子发芽率最高。

2.3 种子相对发芽指数

从图3可以看出,M₁,M₂,M₃品种的相对发芽指数在0.4%盐浓度下分别比0.2%盐浓度高11.11%,5.97%和15.00%;0.2%盐浓度下,M₁,M₂,M₃品种的相对发芽指数分别较M₁₁品种高31.07%,30.10%和16.50%,分别较M₁₃品种高29.81%,28.85%和15.38%,分别较M₁₄品种高32.35%,31.37%和17.65%;0.4%盐浓度下,M₁,M₂,M₃品种的相对发芽指数分别较M₁₁品种高29.31%,22.41%和18.97%,分别较M₁₃品种高31.58%,24.56%和21.05%,分别较M₁₄品种高32.74%,25.66%和22.13%。由此可见,M₁品种的相对发芽指数最高,M₂品种次之,M₃品种较高,M₁₃,M₁₁品种较低,M₁₄品种最低。0.4%盐浓度下各苜蓿品种的相对发芽指数最高,促进了苜蓿发芽。

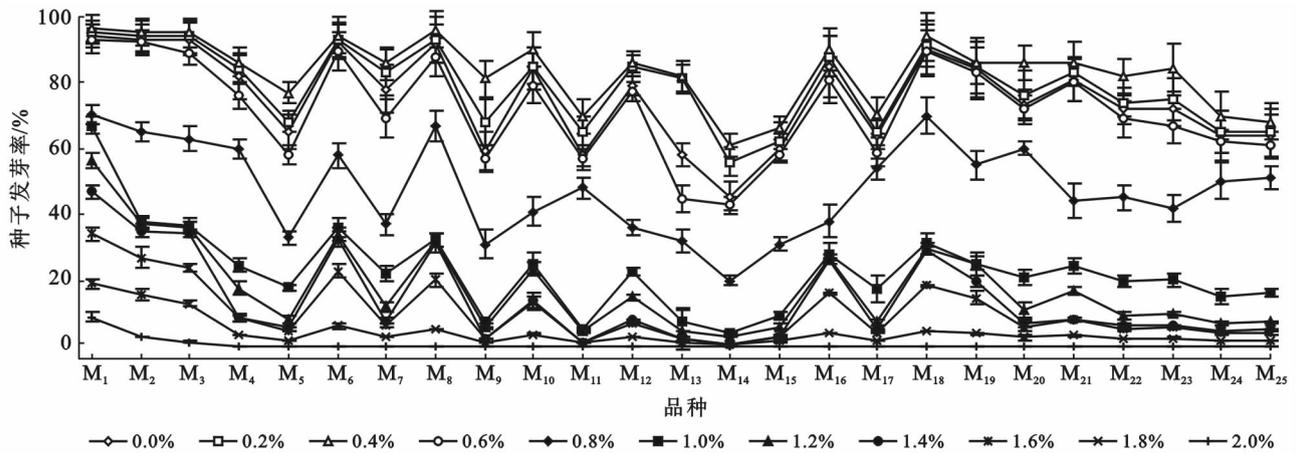


图 2 不同盐浓度下苜蓿不同品种(系)种子发芽率

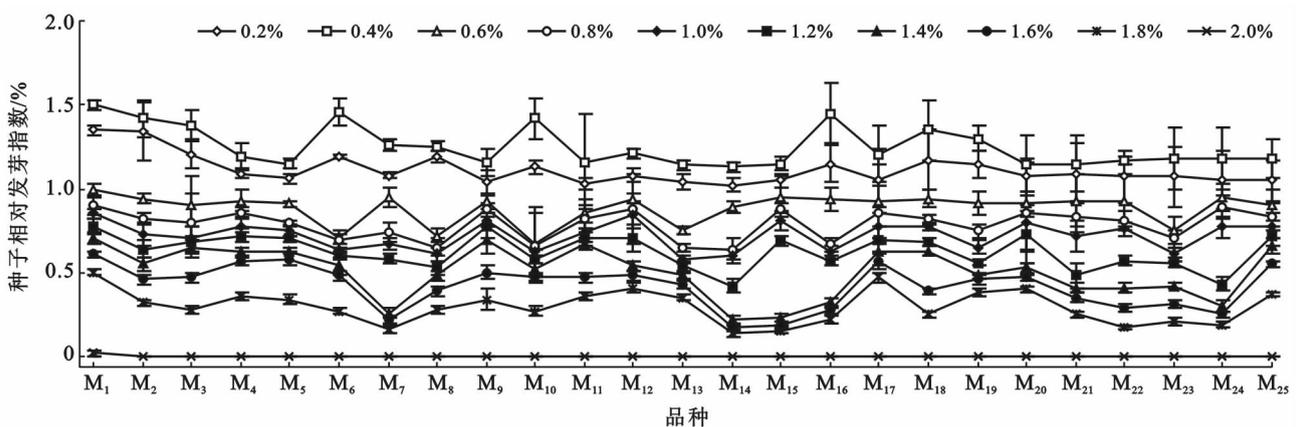


图 3 不同盐浓度下苜蓿不同品种(系)种子相对发芽指数

2.4 种子相对简易活力指数

从图 4 看出, M_1, M_2, M_3 品种的相对简易活力指数在 0.4% 盐浓度下分别比 0.2% 盐浓度高 24.84%, 20.51% 和 10.07%; 0.2% 盐浓度下, M_1, M_2, M_3, M_4 品种的种子相对简易活力指数分别较 M_{11} 品种高 48.11%, 47.17%, 40.57% 和 15.09%, 分别较 M_{13} 品种高 48.11%, 47.17%, 40.57% 和 15.09%, 分别较 M_{14} 品种高 49.52%, 48.57%, 41.90% 和 16.19%, 分别较 M_{15} 品种高 46.73%, 45.79%, 39.25% 和 14.02%; 0.4% 盐浓度下, M_1, M_2, M_4 品种的种子相对简易活力指数分别较 M_{11} 品种高 7.10%, 2.73% 和 3.28%, 而 M_3 品种较 M_{11} 品种低 10.38%; M_1, M_2, M_3, M_4 品种分别较 M_{13} 品种高 58.06%, 51.61%, 32.26% 和 42.42%, 分别较 M_{14} 品种高 63.33%, 56.67%, 36.37% 和 57.50%, 分别较 M_{15} 品种高 47.37%, 41.35%, 23.31% 和 42.11%。由此可见, M_1, M_2, M_3, M_4 品种的种子相对简易活力指数较高, M_{11}, M_{13}, M_{15} 品种的种子相对简易活力指数较低,

M_{14} 品种最低。

2.5 耐盐类型的划分及耐盐指标的分析

适宜盐浓度、半致死浓度、极限浓度作为耐盐类型划分的重要依据^[10]。由表 2 可见, 苜蓿品种的适宜盐浓度为 0.6%, 0.8% 的分别占参试品种的 72.00% 和 28.00%, 说明多数苜蓿种子在 0.6% 盐浓度范围内可以发芽。 M_1 品种发芽的半致死浓度最大, 明显高于其他品种; 苜蓿品种种子发芽的半致死浓度为 0.8%, 1.0%, 1.4% 的分别占供试品种的 52.00%, 44.00%, 4.00%, 种子发芽的极限盐浓度最大的是 M_1 品种, 最小的是 M_{14} 品种; 供试苜蓿品种的致死盐浓度为 1.0%, 1.2%, 1.4%, 1.6%, 1.8%, 2.0% 的分别占供试品种总数的 8.00%, 24.00%, 32.00%, 16.00%, 16.00%, 4.00%, 由此可见, 不同苜蓿品种种子发芽的适宜盐浓度、半致死浓度、极限浓度差异较大。多数苜蓿品种的种子发芽致死盐浓度为 1.2~1.8%, 适宜盐浓度是 0~0.6%, 半致死盐浓度为 0.8%。

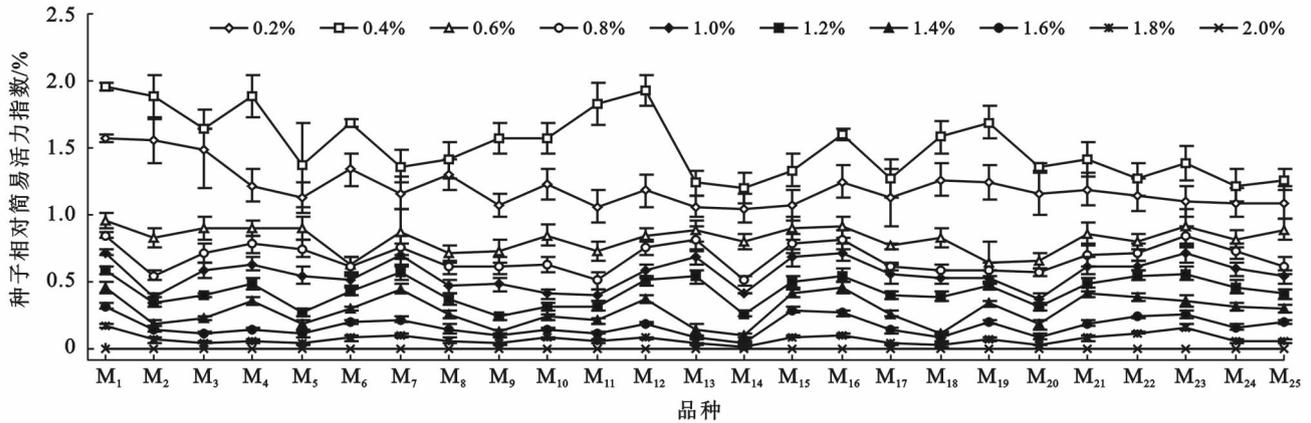


图 4 不同盐浓度下苜蓿不同品种(系)种子相对简易活力指数

表 2 苜蓿种子发芽的耐盐浓度 %

品种	适宜浓度	半致死浓度	极限浓度	品种	适宜浓度	半致死浓度	极限浓度
M ₁	0~0.6	1.4	2.0	M ₁₄	0~0.6	0.8	1.0
M ₂	0~0.6	1.0	1.8	M ₁₅	0~0.6	0.8	1.2
M ₃	0~0.6	1.0	1.8	M ₁₆	0~0.6	0.8	1.6
M ₄	0~0.6	1.0	1.4	M ₁₇	0~0.8	1.0	1.2
M ₅	0~0.6	0.8	1.4	M ₁₈	0~0.8	1.0	1.6
M ₆	0~0.6	0.8	1.8	M ₁₉	0~0.6	1.0	1.6
M ₇	0~0.6	0.8	1.4	M ₂₀	0~0.8	1.0	1.4
M ₈	0~0.6	1.0	1.8	M ₂₁	0~0.8	0.8	1.4
M ₉	0~0.6	0.8	1.2	M ₂₂	0~0.6	1.0	1.4
M ₁₀	0~0.6	0.8	1.6	M ₂₃	0~0.6	0.8	1.4
M ₁₁	0~0.8	0.8	1.0	M ₂₄	0~0.8	1.0	1.2
M ₁₂	0~0.6	0.8	1.4	M ₂₅	0~0.8	1.0	1.2
M ₁₃	0~0.6	0.8	1.2	—	—	—	—

2.6 苜蓿品种(系)耐盐类型划分及耐盐指标的分析

对苜蓿幼苗长度、种子发芽率、种子相对发芽指数和种子相对简易活力指数取其平均值,进行耐盐类

型划分。由表 3 可得,小于 0.8% 盐浓度时,品种间各指标差异较大,数值相对较高,当大于 0.8% 盐浓度时,各苜蓿品种指标数值表现出明显下降趋势。0.8% 盐浓度下,有 52% 品种种子发芽达到半致死浓度,而在 1.0% 盐浓度下,有 44% 品种达到半致死浓度,因此,0.8% 盐浓度是各项指标由不规则向规则变化的“拐点”,把 0.8% 盐浓度作为对各项指标进行耐盐性鉴定分析较为合理。

2.7 不同品种苜蓿耐盐类型的划分

对 0.8% 盐浓度下的种子相对发芽指数、种子相对简易活力指数 2 个指标与 CK 的相对值进行系统聚类(最小距离法),如图 5 所示,25 个苜蓿品种在最小距离 2.45 时,可分为 3 类,第 1 类为 M₁, M₃, M₄, M₅, M₇, M₁₂, M₁₅, M₂₁, M₂₂, M₂₄; 第 2 类为 M₂, M₉, M₁₁, M₁₇, M₁₈, M₂₀, M₂₅, 第 3 类为 M₆, M₈, M₁₀, M₁₃, M₁₄, M₁₆, M₁₉, M₂₃。第 1 类是较耐盐的苜蓿品种,第 2 类是中间类型,第 3 类是盐敏感的苜蓿品种。

表 3 盐胁迫下 25 个苜蓿品种耐盐指标平均值

指标	耐盐指标平均值											
	0.0%	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1.0%	1.2%	1.4%	1.6%	1.8%	2.0%	
幼苗长度	8.88	9.61	10.72	8.27	7.68	6.85	6.02	4.97	3.55	2.04	0.07	
种子发芽率	75.35	78.99	83.18	71.80	48.08	23.00	17.87	14.04	10.52	4.36	0.53	
种子相对发芽指数	46.57	52.46	58.96	41.19	36.88	33.79	29.62	24.02	19.95	13.97	0.06	
种子相对简易活力指数	421.63	527.40	664.86	349.91	292.17	238.55	185.19	124.87	74.87	33.14	0.00	

3 讨论与结论

对不同品种苜蓿进行耐盐性的筛选,不能仅靠单项指标进行评价,而需要运用综合评价法才可以有效的反映其耐盐性^[12-13]。该研究使用 SAS 软件方差分析、聚类分析法综合评价方法来分析苜蓿的耐盐性。选用当地主要盐分 NaCl-Na₂SO₄ 配制成混合溶液^[14-15]进行试验。前人研究得出碱茅、碱蓬、黑麦草、

野大麦、盐爪爪 5 种牧草^[16]和番茄^[17]、苦瓜^[18]等作物种子发芽率、发芽指数等指标随盐浓度的增加发芽率降低,种子发芽率一般随胁迫浓度的增大而降低,但部分牧草种类在低浓度胁迫下,发芽率等指标反而有所上升^[19]。轻度盐胁迫下对苜蓿种子发芽有促进作用^[11],该研究得出苜蓿在 0.0%~0.4% 盐浓度下种子发芽率、相对发芽指数、相对简易活力指数等指标值增加,而 0.8% 盐浓度后逐渐降低。

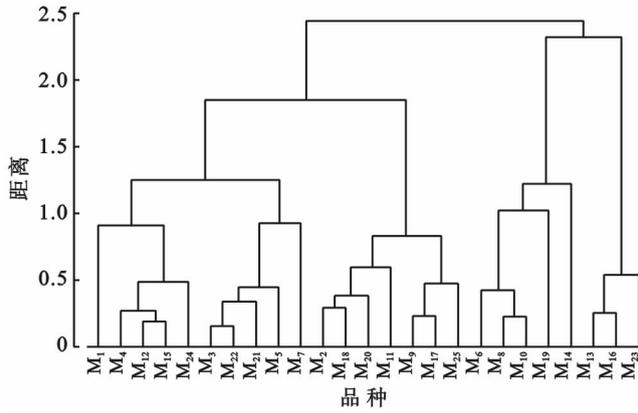


图 5 不同苜蓿品种的耐盐性聚类分析

苜蓿种子发芽期,由于对盐比较敏感^[20]。该研究得出多数苜蓿品种的种子发芽适宜盐浓度是0.0%~0.6%,少数为0.0%~0.8%;半致死盐浓度基本为0.8%,部分为1.0%,中草3号品种达到1.4%;极限盐浓度在1.0~2.0%盐浓度之间。通过聚类分析,将苜蓿品种划分为3个类型,第1类为中草3号、新苜2号、Nordica、黄花苜蓿、Algonquin、草原2号、宁苜1号、康赛、骑士、Salt Buster,属于耐盐品种;第2类为苜蓿王、龙牧801、惊喜、旗杆、天鹅绒、阿迪娜、勇士,属于中度耐盐品种;第3类为Beaver, Rambler、公农1号、赤草1号、magnumV-wet, 2010, 3010, 挑战士,属于盐敏感品种。以上3类苜蓿品种的耐盐性程度不同,在0.0%~0.8%盐浓度区间内,第1,2类均较耐盐,第1,2类苜蓿品种较适宜在盐渍化土壤种植,而第3类不耐盐,幼苗长度、种子发芽率、相对发芽指数、相对简易活力指数均较低,不宜在盐渍化土壤推广。

综合分析,中草3号、新苜2号品种的发芽率、种子相对发芽指数、种子相对简易活力指数在不同盐分浓度胁迫下其值相对较高,且由聚类分析得出均属耐盐品种;magnumV-wet、赤草1号品种的各项指标值在盐胁迫下较低,属盐敏感品种。对于苜蓿王品种,在0.4%盐浓度胁迫下种子发芽的各项指标表现良好,宁苜1号品种表现一般,但均被聚类在第2类中度耐盐类型中,可能与这两个品种在其他盐浓度胁迫下的综合表现属于中度耐盐类型有关,可见分析种子的耐盐性需要综合评价。种子发芽是植物生长的前提,但是在田间生长的实际表现还受当地的环境、土壤质地、土壤水分等情况的影响,最终确定其耐盐性仍需进一步进行田间耐盐性试验。

[参 考 文 献]

[1] 李述刚,程心俊,王周琼. 荒漠绿洲农业生态系统[M]. 北京:气象出版社,1998:75-90.
[2] Al-Helal A A. Germination response of *Cassia senna*

seeds to sodium salts and temperature[J]. Journal of the University of Kuwait: Science, 1989,16(2):281-287.

- [3] 阎秀峰,孙国荣. 星星草生理生态学研究[M]. 北京:科学出版社,2000.
[4] 罗晓相,黄振江,张林飞,等. 钙和甜菜碱对钠盐胁迫下紫花苜蓿种子萌发特性的影响[J]. 种子,2015,34(9):28-30.
[5] 管博,周道玮,田雨,等. 盐碱及变温条件对花苜蓿种子发芽的影响[J]. 中国草地学报,2010,32(1):58-63.
[6] 韩清芳,李崇巍,贾志宽. 不同苜蓿品种种子萌发期耐盐性的研究[J]. 西北植物学报,2003,23(4):597-602.
[7] 刘宝玉,张文辉,刘新成,等. 沙枣和柠条种子萌发期耐盐性研究[J]. 植物研究,2007,27(6):721-728.
[8] 王芳,朱军,布如力,等. 盐胁迫对新疆两个小麦品种种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 新疆农业大学学报,2007,30(1):1-5.
[9] 颜宏,赵伟,秦峰梅,等. 盐碱胁迫对碱地肤、地肤种子萌发以及幼苗生长的影响[J]. 东北师大学报:自然科学版,2006,38(4):117-123.
[10] 郝志刚,胡自治,米兴运. 碱茅耐盐性的研究[J]. 草业学报,1994,3(3):27-36.
[11] 陈托兄,陈小兵,郝文军,等. 盐分对紫花苜蓿品种萌发的影响[J]. 北方园艺,2008(12):38-40.
[12] 贾亚雄,李向林,袁庆华,等. 披碱草属野生种质资源苗期耐盐性评价及相关生理机制研究[J]. 中国农业科学,2008,41(10):2999-3007.
[13] 王玉祥,张博,王涛. 盐胁迫对苜蓿叶绿素、甜菜碱含量和细胞膜透性的影响[J]. 草业科学,2009,26(3):53-56.
[14] Du Xiumin, Yin Wenxuan, Zhao Yanxiu, et al. The production and scavenging of reactive oxygen species in plants[J]. Chinese Journal of Biotechnology, 2001,17(2):121-125.
[15] Trinchant J C, Boscari A, Spennato G, et al. Proline betaine accumulation and metabolism in alfalfa plants under sodium chlorides tress[J]. Plant Physiol., 2004, 135(3):1583-1594.
[16] 李昀. NaCl胁迫下5种牧草种子萌发的比较研究[J]. 草业科学,1997,14(2):50-53.
[17] 戴伟明. 盐胁迫对番茄幼苗生长发育的影响[J]. 上海农业学报,2002,18(1):58-62.
[18] 陈坚,周木虎. 盐胁迫对不同苦瓜品种萌发及幼苗生长的影响[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版,2002,24(4):44-48.
[19] 刘贵河,郭郁频,任永霞,等. PEG胁迫下5种牧草饲料作物种子萌发期的抗旱性研究[J]. 种子,2013,32(1):15-19.
[20] Boughanmi N, Michonneau P. Structural changes induced by NaCl in companion and transfer cells of *Medicago sativa* blades[J]. Protoplasma, 2003, 220(34):179-187.