



16 份马蔺种质材料苗期耐盐性评价

毛培春, 田小霞, 孟林

(北京市农林科学院 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

摘要:采用温室 NaCl 盐分胁迫试验方法, 设置 0、0.4%、0.8%、1.2% 4 个 NaCl 质量分数梯度, 对来自我国北方 4 个省区 16 份马蔺 (*Iris lactea* var. *chinensis*) 种质材料的生理生化指标进行测定, 并对其苗期耐盐性进行评价, 筛选耐盐性较强的种质材料, 为马蔺种质资源的开发利用和耐盐新品种的选育奠定基础。结果表明, 随盐胁迫质量分数的增加, 叶片相对含水量呈下降趋势, 相对电导率、丙二醛和游离脯氨酸含量呈上升趋势, 而叶绿素含量呈先升后降的趋势, 在胁迫质量分数 0.4% 时达峰值。采用系统聚类法将 16 份马蔺种质材料耐盐性分为较强、居中和较弱三大类, 其中耐盐性较强的 8 份 (BJCY-ML001、BJCY-ML016、BJCY-ML012、BJCY-ML023、BJCY-ML007、BJCY-ML011、BJCY-ML024、BJCY-ML029)、耐盐性居中的 4 份 (BJCY-ML006、BJCY-ML005、BJCY-ML031、BJCY-ML013) 和耐盐性较弱的 4 份 (BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML035), 采用标准差系数赋予权重法对其耐盐能力大小进行排序, BJCY-ML007 耐盐能力最强, BJCY-ML035 耐盐能力最弱。

关键词:马蔺; 苗期; 耐盐性

中图分类号: Q945.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-0629(2013)01-0035-09

* 1

马蔺 (*Iris lactea* var. *chinensis*) 系鸢尾科鸢尾属多年生密丛草本植物, 广泛分布于我国华北、西北、东北和西藏等地^[1]。根系发达, 具有耐盐碱性, 抗旱、抗寒性强等特点, 是优良的生态观赏地被植物和水土保持、固土护坡的理想植物^[2]。近几年, 许多学者围绕马蔺的繁殖特性^[3]、种子休眠特性^[4]、抗旱性^[5]、叶片同功酶^[6]、遗传多样性^[7]和对土壤有机质的影响^[8]等方面进行了研究, 特别是在马蔺种质耐盐性的研究方面, 许玉凤等^[9-10]对盐胁迫下马蔺苗期叶片的生理特性、叶片保护酶和蛋白表达的研究, 发现渗透调节物质脯氨酸和可溶性蛋白在马蔺抗盐特性中发挥着重要作用。张明轩等^[11]对盐胁迫下马蔺苗期生长以及叶片生理生化特性的研究表明, 低质量浓度和短时间的 NaCl 胁迫对马蔺生长和代谢的抑制作用不明显, 甚至略有促进作用, 而高质量浓度和长时间的 NaCl 胁迫则具有明显的抑制作用。Bai 等^[12]设置了 6 个 NaCl 浓度梯度分析马蔺幼苗胁迫的生理响应, 结果表明, 随着盐浓度的增加, 生物量、K⁺含量、K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺ 等指标下降, 而水分亏缺

和 Na⁺、Cl⁻ 含量等指标提高, 由此认为马蔺是一种兼性盐生植物。

本研究旨在对采自我国北方 4 个省区 16 份野生马蔺种质材料, 开展苗期 NaCl 不同质量分数梯度的胁迫试验, 对其叶片的相对含水量、相对电导率、丙二醛、游离脯氨酸和叶绿素含量 5 个耐盐生理生化指标进行测定, 并采用聚类法和标准差系数赋予权重法, 对其耐盐性进行综合聚类和强弱排序, 筛选耐盐性较强的种质材料, 以为马蔺种质资源开发利用和耐盐新品种的选育提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 以采集自我国内蒙古、新疆、北京和山西 4 个(省、市)区的 16 份马蔺种质材料为试验材料, 具体采集地点与生境见表 1。

1.2 试验方法 试验于 2010 年 5—9 月在北京草业与环境研究发展中心日光温室进行, 试验选用大田壤土, 晾干过筛, 去掉石块、杂质, 装盆(口径 21 cm, 高 18 cm)称量, 每盆装栽培基质 3.2 kg。基质营养成分为: 全氮 0.26%, 全磷 0.11%, 全钾 1.2%, 有机质 6.06%, 全盐 0.028%, pH 值 6.14。

收稿日期: 2012-05-28 接受日期: 2012-08-02

基金项目: 北京市自然科学基金项目(6102013); 北京市财政专项(KJ CX201101003)

作者简介: 毛培春(1974-), 男, 内蒙古锡盟人, 助理研究员, 硕士, 主要从事草业资源与生态的研究工作。E-mail: mmpch@163.com

通信作者: 孟林(1966-), 男, 内蒙古察右后旗人, 研究员, 博士, 主要从事草业资源与生态的科学研究。E-mail: menglin9599@sina.com

表 1 马蔺种质材料来源

Table 1 Sources of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

序号 No.	材料 Accession	采集地 Collection site	生境 Habitat
1	BJCY-ML001	北京海淀区四季青乡 Sijiqing Township, Haidian District, Beijing	果园田边,壤土 Orchard sides, loam
2	BJCY-ML005	内蒙古赤峰阿鲁科尔沁旗 Arhorchin Banner, Chifeng, Inner Mongolia	羊草、绣线菊草甸草原,砂壤土 Meadow grassland comprised of <i>Leymus chinensis</i> , <i>Spiraea salicifolia</i> , sandy loam
3	BJCY-ML006	山西太原市 Taiyuan, Shanxi city	荒漠草原、公路旁,砂砾质 Desert grassland, road side, gravel
4	BJCY-ML007	内蒙古赤峰克什克腾旗 Keshiketeng Qi, Chifeng, Inner Mongolia	草甸草原,砂壤土 Meadow grassland, sandy loam
5	BJCY-ML011	内蒙古临河八一乡丰收村 Fengshou Village, Bayi Township, Linhe, Inner Mongolia	公路边盐碱荒地,盐碱土 Saline-alkali wildland sides of calzada, saline-alkali soil
6	BJCY-ML012	内蒙古临河隆胜乡新明村 Xinming Village, Longsheng Township, Linhe, Inner Mongolia	藜科植物、马蔺等组成的盐化低地草甸 Saline lowland meadow comprised of chenopodiaceae plants and <i>Iris lactea</i> etc.
7	BJCY-ML013	内蒙古临河城关镇万来村 Wanlai Village, Chengguan Township, Linhe, Inner Mongolia	多年生禾草、马蔺等组成的盐生草甸 Saline meadow comprised of peremial grasses and <i>Iris lactea</i> etc.
8	BJCY-ML016	内蒙古临河曙光乡永强村 Yongqiang Village, Shuguang Township, Linhe, Inner Mongolia	盐化低地草甸,砂砾质 Saline lowland meadow, gravel
9	BJCY-ML018	内蒙古呼和浩特市大青山 Daqing Mountains, Hohhot, Inner Mongolia	干旱荒漠草原带,公路边,砂壤土 Arid desert grassland, sides of calzada, sandy loam
10	BJCY-ML020	新疆伊犁州巩留县七乡伊犁河边 Yili Riverside, Qi Township, Gongliu County, Yili, Xinjiang	盐化低地草甸 Saline lowland meadow
11	BJCY-ML021	新疆伊犁州特克斯县四乡 Si Township, Turks County, Yili, Xinjiang	轻度盐化低地草甸 Slightly saline lowland meadow
12	BJCY-ML023	新疆伊犁州奶牛场伊犁河边 Yili Riverside, Dairy Farm, Yili, Xinjiang	重度盐化低地草甸,盐碱土 Heavy saline meadow, saline-alkali soil
13	BJCY-ML024	新疆伊犁州察布查尔县羊场 Sheep Farms, Qapqal County, Yili, Xinjiang	中度盐化低地草甸,盐碱土 Moderate saline lowland meadow, saline-alkali soil
14	BJCY-ML029	内蒙古科尔沁左翼中旗保康镇 Baokang Town, Horqin Left Middle Banner, Inner Mongolia	轻度盐化低地草甸 Slightly saline lowland meadow
15	BJCY-ML031	内蒙古科左后旗努古斯台镇套海爱勒嘎查 Taohai Aile Village, Nugu Sitai Township, Horqin Left Back Qi, Inner Mongolia	中度盐碱化低地草甸,暗栗钙土 Moderate saline-alkali lowland meadow, dark chestnut soil
16	BJCY-ML035	新疆伊宁县胡地亚于孜乡阔旦塔木村 Kuodan Tamu Village, Hudayayuzi Township, Yining County, Xinjiang	中度盐碱化低地草甸,盐化灰钙土 Moderate saline-alkali lowland meadow, saline sierozem

马蔺种子用浓硫酸处理 30 s 后,撒播于塑料盘中育苗,生长至 3~4 叶时,移入装好基质的花盆中,每盆 15 株,缓苗 30 d 后,按分析纯 NaCl 量占基质质量的 0.4%、0.8%、1.2% 设置 3 个质量分数梯度,溶于 500 mL 蒸馏水后浇入花盆中,开始盐胁迫处理,每处理 3 次重复,不加盐(0)为对照,加蒸馏水使每盆土壤含水量达到 18%~22%。处理开始后,每天利用 TZS-5X 型土壤水分测量仪(浙江托普仪器有限公司生产)测定每盆土壤基质的含水量。再根据其测定结果,确定每天的加水量,以保证每盆的土壤含水量。

胁迫处理 14 d 后,取样测定生理生化指标。其中,叶片相对含水量采用饱和称重法^[13],细胞膜透性采用电导法^[13],丙二醛采用硫代巴比妥酸法^[13],游离脯氨酸采用茚三酮法^[13],叶绿素含量采用分光光度法^[14]测定。

1.3 数据处理 盐胁迫下马蔺种质材料 5 个生理生化指标的变化率通过以下公式计算:

各指标变化率 = |各材料各指标 3 个盐胁迫处理中的最大(小)值 - 对照值| / 对照值。

利用 Excel 2010 进行数据处理,SAS 11.0 进行方差和聚类分析。其中,利用标准差系数赋予权重法对其耐盐性进行综合评价^[15],其步骤为,通过公式(1)^[16]计算隶属函数值 $\mu(X_j)$,采用公式(2)计算标准差系数 V_j ,公式(3)归一化后得到各指标的权重 W_j ,再采用公式(4)计算各种质材料的综合评价 D ,并根据 D 值大小排序。

$$\mu(X_j) = \frac{X_j - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}; \quad (1)$$

$$V_j = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2}}{\bar{X}_j}; \quad (2)$$

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}; \quad (3)$$

$$D = \sum_{j=1}^n [\mu(X_j) \cdot W_j]. \quad (4)$$

式中, $\mu(X_j)$ 表示第 j 个指标的隶属函数值; X_j 表示第 j 个指标值; X_{\min} 表示第 j 个指标最小值; X_{\max} 表示第 j 个指标最大值; \bar{X}_j 表示第 j 个指标平均值; X_{ij} 表示 i 材料 j 性状的隶属函数值; V_j 表示第 j 个指标标准差系数; W_j 表示第 j 个指标权重; D 表示各材料的综合评价值。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对马蔺种质材料生理生化指标的影响

2.1.1 盐胁迫对马蔺种质材料叶片相对含水量的影响 随盐胁迫程度的增加,马蔺各种质材料的叶片含水量呈下降趋势,低盐胁迫条件时下降幅度较小,高盐胁迫时下降明显(表 2)。从变化率来看,BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML035 的变化率均大于 0.342,耐盐性较差,其中 BJCY-ML018 叶片相对含水量从 94.34% 下降到 57.76%,下降幅度最大,说明受盐胁迫影响最大;而 BJCY-ML007 和 BJCY-ML011 变化率分别为 0.195 和 0.182,二者没有显著差异($P > 0.05$),说明受盐胁迫影响最小,耐盐性相对较强,与其他种质材料相比差异显著($P < 0.05$)。

2.1.2 盐胁迫对马蔺种质材料游离脯氨酸含量的影响 在逆境(如干旱、低温、盐碱等)胁迫下,植物体内游离脯氨酸含量会大量积累,其积累量与其本身抗性有关。随盐胁迫程度的增加,马蔺各种质材料游离脯氨酸含量呈逐渐增加趋势,在低盐胁迫条件时增加幅度较小,高盐胁迫条件时急剧增加(表 3)。其中 BJCY-ML035 变化率最高,达 70.463,表明对盐胁迫敏感,耐盐性较差,与其他种质材料相比,差异显著($P < 0.05$),BJCY-ML007 的变化率仅为 8.150,耐盐性较强,与其他种质材料相比,差异显著($P < 0.05$)。

2.1.3 盐胁迫对马蔺种质材料丙二醛含量的影响 植物器官衰老或在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂过氧化作用,丙二醛是膜脂过氧化的最终分解产物,其含量可以反映植物遭受逆境伤害的程度,丙二醛的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害^[10]。随盐胁迫程度的增加,16 份马蔺种质材料的丙二醛均呈增加趋势(表 4),其中 BJCY-ML007、BJCY-ML011、BJCY-ML013、BJCY-ML016、BJCY-ML023 变化率均小于 0.374,表明受盐胁迫伤害程度较低,耐盐性较强,与 BJCY-ML012 外的其他种质材料差异显著($P < 0.05$),而 BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML035 变化率大于 0.660,受盐胁迫伤害较重,耐盐性较弱,与除 BJCY-ML006 外的其他种质材料差异显著($P < 0.05$)。

2.1.4 盐胁迫对马蔺种质材料相对电导率的影响 逆境条件下,细胞膜透性会发生不同程度增加,电解

表 2 盐胁迫对马蔺种质材料叶片相对含水量的影响

Table 2 Effects of salt stress on relative water content in leaves of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	叶片相对含水量 Relative water content/%				变化率 Rate of change
	0	0.4% NaCl	0.8% NaCl	1.2% NaCl	
BJCY-ML001	89.11	81.23	74.72	62.28	0.301±0.009c
BJCY-ML005	86.38	81.34	76.91	66.02	0.236±0.008e
BJCY-ML006	86.04	84.30	76.02	61.57	0.284±0.011cd
BJCY-ML007	86.49	84.02	76.74	69.63	0.195±0.006f
BJCY-ML011	91.44	87.81	83.21	74.79	0.182±0.006f
BJCY-ML012	82.71	80.48	76.06	63.32	0.234±0.007e
BJCY-ML013	87.75	85.71	79.24	64.70	0.263±0.009de
BJCY-ML016	90.19	85.23	79.83	64.28	0.287±0.012dc
BJCY-ML018	94.34	83.45	76.46	57.76	0.388±0.016a
BJCY-ML020	87.60	85.89	75.84	57.62	0.342±0.010b
BJCY-ML021	87.85	81.40	73.55	56.61	0.356±0.012b
BJCY-ML023	87.45	84.10	73.44	64.88	0.258±0.010de
BJCY-ML024	93.35	90.36	77.18	65.66	0.297±0.009c
BJCY-ML029	87.80	85.32	71.26	65.33	0.256±0.009de
BJCY-ML031	90.63	86.81	79.65	65.77	0.274±0.011cd
BJCY-ML035	89.07	80.11	74.88	58.15	0.347±0.010b

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lower case letters indicate the significant difference among accessions at 0.05 level. The same below.

表 3 盐胁迫对马蔺种质材料游离脯氨酸含量的影响

Table 3 Effects of salt stress on content of free proline in leaves of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	游离脯氨酸含量 Free proline/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$				变化率 Rate of change
	0	0.4% NaCl	0.8% NaCl	1.2% NaCl	
BJCY-ML001	171.37	939.40	1 750.54	3 853.98	21.490±0.620ef
BJCY-ML005	76.95	716.84	1 884.22	2 818.61	35.627±1.234d
BJCY-ML006	112.19	637.98	4 057.54	4 762.82	41.452±1.675c
BJCY-ML007	207.33	457.58	1 272.21	1 897.15	8.150±0.235i
BJCY-ML011	190.34	357.76	2 459.55	2 655.06	12.949±0.449h
BJCY-ML012	140.03	179.40	2 081.83	2 812.34	19.084±0.551f
BJCY-ML013	81.10	186.22	869.43	3 252.65	39.105±1.355cd
BJCY-ML016	187.32	274.21	3 211.87	4 805.40	24.653±0.996e
BJCY-ML018	82.96	217.70	1 795.42	5 090.08	60.355±2.439b
BJCY-ML020	93.61	247.83	1 278.30	5 739.14	60.310±1.741b
BJCY-ML021	99.62	945.56	3 967.36	5 901.00	58.238±2.017b
BJCY-ML023	100.97	697.26	1 165.58	1 870.68	17.527±0.708fg
BJCY-ML024	260.09	712.60	1 841.44	3 856.90	13.829±0.399gh
BJCY-ML029	203.62	313.91	884.63	2 928.76	13.383±0.464gh
BJCY-ML031	67.92	163.66	1 951.39	2 896.08	41.641±1.683c
BJCY-ML035	77.14	407.24	2 762.48	5 512.78	70.463±2.034a

表4 盐胁迫对马蔺种质材料丙二醛含量的影响

Table 4 Effects of salt stress on content of MDA in leaves of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	丙二醛含量 MDA/ $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1}$				变化率 Rate of change
	0	0.4% NaCl	0.8% NaCl	1.2% NaCl	
BJCY-ML001	7.71	6.14	9.78	11.50	0.492±0.014e
BJCY-ML005	6.96	8.49	8.62	9.95	0.431±0.015fg
BJCY-ML006	6.06	7.21	9.47	9.81	0.618±0.025cd
BJCY-ML007	9.69	10.93	11.58	12.30	0.268±0.008i
BJCY-ML011	7.95	8.35	9.50	10.65	0.340±0.012h
BJCY-ML012	6.55	8.21	8.31	9.03	0.379±0.011gh
BJCY-ML013	8.04	9.66	9.97	10.99	0.367±0.013h
BJCY-ML016	9.56	9.88	11.29	13.13	0.374±0.015h
BJCY-ML018	6.60	6.85	8.00	10.96	0.660±0.027c
BJCY-ML020	6.31	8.76	9.13	11.41	0.809±0.023a
BJCY-ML021	9.76	10.14	12.45	16.85	0.727±0.025b
BJCY-ML023	6.60	7.63	8.25	8.98	0.360±0.015h
BJCY-ML024	9.36	10.72	11.44	14.77	0.579±0.017d
BJCY-ML029	8.47	10.30	11.49	13.46	0.590±0.020d
BJCY-ML031	7.67	7.79	9.33	11.16	0.454±0.018ef
BJCY-ML035	6.35	10.22	10.69	11.34	0.784±0.023a

表5 盐胁迫对马蔺种质材料相对电导率的影响

Table 5 Effects of salt stress on relative conductivity rate in leaves of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	相对电导率 Relative conductivity				变化率 Rate of change
	0	0.4% NaCl	0.8% NaCl	1.2% NaCl	
BJCY-ML001	12.83	16.60	28.57	77.69	5.056±0.146de
BJCY-ML005	7.86	12.54	24.82	41.15	4.232±0.147fg
BJCY-ML006	8.12	18.80	31.59	60.25	6.420±0.259c
BJCY-ML007	9.79	17.96	22.81	48.48	3.954±0.114g
BJCY-ML011	7.73	10.03	19.31	32.20	3.164±0.110h
BJCY-ML012	8.59	14.23	26.18	50.65	4.894±0.141e
BJCY-ML013	10.67	13.92	28.90	62.17	4.825±0.167ef
BJCY-ML016	11.26	27.75	48.26	69.41	5.164±0.209de
BJCY-ML018	7.54	11.80	44.30	72.54	8.619±0.348ab
BJCY-ML020	7.91	12.29	31.62	71.13	7.992±0.231b
BJCY-ML021	9.49	21.76	49.51	88.31	8.308±0.288b
BJCY-ML023	6.47	13.48	22.80	43.46	5.715±0.231d
BJCY-ML024	10.59	13.51	27.05	66.70	5.295±0.153de
BJCY-ML029	10.05	16.83	28.29	60.26	4.996±0.173e
BJCY-ML031	9.41	14.09	35.88	71.17	6.562±0.265c
BJCY-ML035	6.98	13.81	43.38	70.74	9.129±0.264a

质外渗,以至于相对电导率会增大。相对电导率越大,质膜透性越大,膜受损越重^[17]。随盐胁迫程度的增加,相对电导率呈上升趋势,低盐胁迫条件(0.4%)时上升幅度较缓,高盐胁迫条件(1.2%)时上升幅度较大(表5)。BJCY-ML006、BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML031、BJCY-ML035的变化率都大于6.420,表明盐胁迫下细胞膜受损伤程度较大,耐盐性较差,与其他种质材料相比,差异显著($P < 0.05$);BJCY-ML005、BJCY-ML007和BJCY-ML011的变化率分别为4.232、3.954和3.164,盐胁迫下细胞膜受损伤程度较低,耐盐性较强,与BJCY-ML013外的其他种质材料差异显著($P < 0.05$)。

2.1.5 盐胁迫对马蔺种质材料叶绿素含量的影响

叶绿素是与光合作用有关的重要色素,盐胁迫影响叶绿素的含量及其组成^[18]。随盐胁迫程度的增加,叶绿素含量呈先升后降趋势,低盐胁迫条件(0.4%)时,叶绿素含量出现峰值,之后呈下降趋势。其中,BJCY-ML007、BJCY-ML011和BJCY-ML013的变化率较低,小于0.363,表明盐胁迫下叶绿素含量稳定,耐盐性较强,与其他种质材料相比,差异显著

($P < 0.05$);BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML023、BJCY-ML024和BJCY-ML035的变化率较高,均大于0.604,表明对盐胁迫较敏感,耐盐性较弱(表6)。

2.2 16份马蔺种质材料的综合评价

2.2.1 聚类分析 采用欧氏距离系统聚类法,将16份马蔺种质材料的5个生理生化指标变化率进行综合聚类分析(图1),可将16份马蔺种质材料划分为3个耐盐级别,其中,耐盐性较强的包括BJCY-ML001、BJCY-ML016、BJCY-ML012、BJCY-ML023、BJCY-ML007、BJCY-ML011、BJCY-ML024、BJCY-ML029;耐盐性较差的包括BJCY-ML018、BJCY-ML020、BJCY-ML021、BJCY-ML035;耐盐性居中的包括BJCY-ML005、BJCY-ML006、BJCY-ML031、BJCY-ML013。

2.2.2 标准差系数赋予权重法分析 采用标准差系数赋予权重法,对16份马蔺种质材料苗期耐盐性强弱进行排序(表7),各指标变化率与耐盐性呈负相关,综合评价D值越小,表明该种质材料耐盐性越强。据此,16份马蔺种质材料耐盐性从强到弱的排序结果为BJCY-ML007 > BJCY-ML011 > BJCY-

表6 不同盐质量分数对马蔺种质材料叶绿素含量的影响

Table 6 Effects of salt stress on content of chlorophyll in leaves of *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	叶绿素含量 Chlorophyll/mg · g ⁻¹				变化率 Rate of change
	0	0.4% NaCl	0.8% NaCl	1.2% NaCl	
BJCY-ML001	16.33	25.52	16.41	12.96	0.563 ± 0.016cd
BJCY-ML005	15.91	23.14	19.11	15.37	0.455 ± 0.016fg
BJCY-ML006	14.71	20.95	12.66	11.74	0.424 ± 0.017g
BJCY-ML007	18.24	23.24	18.87	16.31	0.274 ± 0.008i
BJCY-ML011	15.29	19.84	18.00	15.48	0.298 ± 0.010i
BJCY-ML012	15.84	23.81	18.01	14.63	0.503 ± 0.015ef
BJCY-ML013	15.22	20.74	18.37	15.14	0.363 ± 0.013h
BJCY-ML016	12.42	18.55	14.50	11.70	0.494 ± 0.020ef
BJCY-ML018	11.36	19.10	13.56	10.68	0.681 ± 0.028b
BJCY-ML020	12.41	21.16	16.82	13.78	0.705 ± 0.020b
BJCY-ML021	11.72	21.01	12.98	7.99	0.793 ± 0.027a
BJCY-ML023	17.67	27.67	21.67	16.08	0.656 ± 0.027bc
BJCY-ML024	14.77	23.70	20.18	17.14	0.604 ± 0.017c
BJCY-ML029	16.81	26.49	16.12	10.03	0.576 ± 0.020cd
BJCY-ML031	16.47	25.32	21.89	16.97	0.538 ± 0.022de
BJCY-ML035	13.44	23.22	13.30	11.28	0.728 ± 0.021b

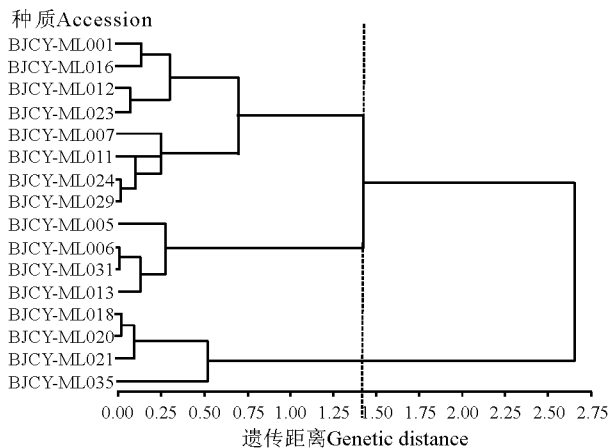


图1 16份马蔺种质材料聚类图

Fig. 1 A graph of cluster analysis for 16 accessions of *Iris lactea* var. *chinensis*

ML029 > BJCY-ML024 > BJCY-ML023 > BJCY-ML012 > BJCY-ML001 > BJCY-ML016 > BJCY-ML005 > BJCY-ML013 > BJCY-ML006 > BJCY-ML031 > BJCY-ML021 > BJCY-ML020 > BJCY-ML018 > BJCY-ML035.

3 讨论与结论

耐盐性生理生化指标对植物适应不同盐度具有不同的指示意义,但植物耐盐机制是错综复杂的,所以各项生理生化指标必须结合植物的结构特点和盐胁迫下生理生化指标的变化趋势,才能较为准确地综合评价植物耐盐能力的大小^[19]。

逆境胁迫下,植株体内水分的平衡状况被打破,进而影响代谢过程,抑制植物生长^[20-21],首先是植物细胞膜受到破坏,导致细胞膜透性增大,叶片相对含

表7 16份马蔺种质材料耐盐性评价

Table 7 Evaluation of salt tolerance of 16 *Iris lactea* var. *chinensis* accessions

种质材料 Accession	隶属函数值 Subordinative function					D 值 Value D	排序 Ranking
	$\mu(1)$	$\mu(2)$	$\mu(3)$	$\mu(4)$	$\mu(5)$		
BJCY-ML001	0.095	7.515	0.093	0.888	0.036	8.626	7
BJCY-ML005	0.083	12.459	0.075	0.743	0.028	13.388	9
BJCY-ML006	0.119	14.496	0.070	1.127	0.034	15.845	11
BJCY-ML007	0.051	2.850	0.045	0.694	0.023	3.664	1
BJCY-ML011	0.065	4.528	0.049	0.555	0.021	5.220	2
BJCY-ML012	0.073	6.674	0.083	0.859	0.028	7.716	6
BJCY-ML013	0.071	13.676	0.060	0.847	0.031	14.684	10
BJCY-ML016	0.072	8.622	0.081	0.907	0.034	9.715	8
BJCY-ML018	0.127	21.107	0.112	1.513	0.046	22.905	15
BJCY-ML020	0.155	21.091	0.116	1.403	0.040	22.806	14
BJCY-ML021	0.140	20.367	0.130	1.458	0.042	22.137	13
BJCY-ML023	0.069	6.129	0.108	1.003	0.030	7.340	5
BJCY-ML024	0.111	4.836	0.099	0.930	0.035	6.011	4
BJCY-ML029	0.113	4.680	0.095	0.877	0.030	5.796	3
BJCY-ML031	0.087	14.563	0.089	1.152	0.032	15.923	12
BJCY-ML035	0.151	24.642	0.120	1.603	0.041	26.556	16
权重 Weight	0.023	3.704	0.018	0.241	0.006		

水量下降,且细胞膜透性增加越大,即电导率增加越大,叶片相对含水量越低,植物受到的损伤越大,耐盐性越差。Mckay 和 Mason^[22] 也认为用相对电导率来表示细胞膜透性的大小,可以反映植物细胞膜在逆境条件下透性的变化和受损伤程度。本试验

中,16份马蔺种质材料随着盐质量分数的增加,细胞膜透性均呈增加趋势,叶片含水量均呈下降趋势。丙二醛是膜脂过氧化作用的产物之一,能增加细胞膜透性,加强脂质过氧化作用,能够直接反映膜受损的程度,对16份马蔺种质材料丙二醛含量的测定表

明,随着盐胁迫程度的增加,丙二醛含量呈增加趋势。张明轩等^[11]对 NaCl 胁迫马蔺幼苗的研究结果表明,丙二醛含量随胁迫程度和胁迫时间的增加而增加,与本研究结果一致。渗透调节物质游离脯氨酸含量作为抗性指标仍存在争议,Liu 和 Zhu^[23]认为,脯氨酸不能作为抗性生理指标,似乎更适宜作为胁迫敏感性指标。Sanada 等^[24]和 Santa-Cruz 等^[25]认为,脯氨酸的积累是植物为了对抗盐胁迫而采取的一种保护性措施。但大量研究认为,脯氨酸含量与耐盐性呈负相关关系,可以作为评价植物耐盐性的指标之一^[26-27]。本试验中,随盐胁迫程度的增加,16 份马蔺种质材料的游离脯氨酸含量呈上升趋势,尤其是在高盐质量分数时,上升幅度较大。叶绿素是光合作用的关键色素,它直接反映光合效率及同化能力,叶绿素含量是衡量盐胁迫程度高低的一个重要指标^[28]。本试验中,叶绿素含量呈先升后降的变化趋势,这与张明轩等^[11]的研究一致。对 16 份马蔺种质材料苗期叶片 5 个生理生化指标变化率的分析表明,各指标变化率的大小可反映各种质材料间耐盐性差异,即该指标的变化率较大,表明该指标对盐胁迫敏感,耐盐性较差,反之,耐盐性较强。

植物耐盐性是个复杂的系统,耐盐能力的大小是个综合表现,因此利用综合评价法才能有效地反映出不同材料的耐盐性^[29]。本研究分别运用系统聚类法进行耐盐性聚类分析和标准差系数赋予权重法进行耐盐性排序,两种方法的结果呈现较高的一致性,说明利用这两种分析方法开展马蔺种质材料苗期耐盐性评价是科学可行的。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 鸢尾科(16 卷第一分册)[M]. 北京: 科学出版社, 1985: 157.
- [2] 孟林, 张国芳, 赵茂林. 水保护披观赏优良地被植物——马蔺[J]. 农业新技术, 2003(5): 38-39.
- [3] 张英. 马蔺繁殖特性研究[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2010, 28(1): 44-46.
- [4] 王永春, 代小伟, 胡兰英, 等. 马蔺种子休眠机理的研究[J]. 种子, 2011, 30: 8-12.
- [5] 孟林, 毛培春, 张国芳. 不同居群马蔺抗旱性评价及生理指标变化分析[J]. 草业学报, 2009, 18(5): 18-24.
- [6] 李强栋, 孟林, 毛培春, 等. 马蔺种质材料过氧化物酶同工酶谱特征分析[J]. 草业科学, 2011, 28(7): 1331-1336.
- [7] 牟少华, 彭镇华, 郟光发, 等. 马蔺种质资源 AFLP 标记遗传多样性分析[J]. 安徽农业大学学报, 2008, 35(1): 95-98.
- [8] 丁越岩, 杨劼, 宋炳煜, 等. 不同植被类型对毛乌素沙地土壤有机碳的影响[J]. 草业学报, 2012, 21(2): 18-25.
- [9] 许玉凤, 王雷, 王文元, 等. 马蔺(*Iris lactea* var. *chinensis*)抗盐生理特性的研究[J]. 植物研究, 2009, 29(5): 549-552.
- [10] 许玉凤, 王文元, 王雷, 等. 盐胁迫对马蔺叶片保护性酶活性和蛋白质表达的影响[J]. 北方园艺, 2011(12): 103-105.
- [11] 张明轩, 黄苏珍, 绳仁立, 等. NaCl 胁迫对马蔺生长及生理生化指标的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2011, 20(1): 46-52.
- [12] Bai W B, Li P F, Li B G, et al. Some physiological responses of Chinese *Iris* to salt stress[J]. Pedosphere, 2008, 18(4): 454-463.
- [13] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 159-173.
- [14] 熊庆娥. 植物生理学实验教程[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003: 55-56.
- [15] 李源, 刘贵波, 高洪文, 等. 紫花苜蓿种质苗期抗旱性综合评价研究[J]. 草地学报, 2009, 17(6): 807-812.
- [16] 王瑁, 柳小妮. 3 个紫花苜蓿品种耐盐突变材料的耐盐性评价[J]. 草业科学, 2011, 28(1): 79-84.
- [17] 周瑞莲, 张承烈, 金巨和. 水分胁迫下紫花苜蓿叶片含水量、质膜透性 SOD、CAT 活性变化与抗旱性关系研究[J]. 中国草地, 1991(2): 20-24.
- [18] 刁丰秋, 章文华, 刘友良. 盐胁迫对大麦叶片类囊体膜组成和功能的影响[J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 105-110.
- [19] 解松峰, Kansaye A, 杜向红, 等. 30 份引进大麦品种(系)苗期耐盐性综合分析[J]. 草业科学, 2010, 27(4): 127-133.
- [20] Levitt A D. Responses of plant to environmental stresses [M]. New York: Academic Press, 1980: 365-370.
- [21] Koyro H W. Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus*

- (L.) [J]. Environmental and Experimental Botany, 2006, 56: 136-146.
- [22] McKay H M, Mason W L. Physiological indicators of tolerance to cold storage in *Sitka spruce* and *Douglas-fir* seedlings [J]. Forest Research, 1991, 21 (6): 890-901.
- [23] Liu J P, Zhu J K. Proline accumulation and salt stress induced gene expression in salt hypersensitive mutant of *Arabidopsis* [J]. Plant Physiology, 1997, 114 (2): 591-596.
- [24] Sanada Y, Veda H, Kuribayash I K, *et al.* Novel light-dark change of proline levels in halophyte (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) and glyeophytes (*Hordeum vulgare* L. and *Triticum aestivum* L.) leaves and roots under salt stress [J]. Plant and Cell Physiology, 1995, 36 (6): 965-970.
- [25] Santa-Cruz A, Acosta M, Rus A, *et al.* Short-term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 1999, 37 (1): 65-71.
- [26] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测 [J]. 中国农业科学, 2003, 36 (11): 1378-1382.
- [27] 贾峥. 9 个苇状羊茅品种的耐盐性研究 [J]. 海南师范大学学报 (自然科学版), 2011, 24 (3): 317-321.
- [28] Katerji N, van Hoorn J W, Hamdy A, *et al.* Salinity effect on crop development and yield analysis of salt tolerance according to several classification methods [J]. Agricultural Water Management, 2003, 62: 37-66.
- [29] 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.

Evaluation of salt tolerance for 16 *Iris lactea* var. *chinensis* accessions at seedling stage

MAO Pei-chun, TIAN Xiao-xia, MENG Lin

(Beijing Research and Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: In order to select new varieties with high salt tolerance and to provide scientific basis for their development and utilization, 16 accessions of *Iris lactea* var. *chinensis* collected from four provinces in China were treated with four NaCl concentration solutions: 0, 0.4%, 0.8% and 1.2% at the seedling stage in a greenhouse. The physiological and biochemical indexes, including relative water content, relative conductivity rate, MDA content, contents of free proline and chlorophyll in their leaves under NaCl salt stress were measured and analyzed. The results showed that with the increasing of NaCl concentrations, relative water content of leaves decreased, while contents of MDA and free proline increased. Content of chlorophyll increased first and then decreased, and reached the peak at 0.4% NaCl concentration. According to the results of the cluster analysis of salt tolerance, 16 accessions could be divided into three groups, e. g. the stronger salt tolerance (BJCY-ML001, BJCY-ML016, BJCY-ML012, BJCY-ML023, BJCY-ML007, BJCY-ML011, BJCY-ML024 and BJCY-ML029), the medium (BJCY-ML006, BJCY-ML005, BJCY-ML031 and BJCY-ML013) and the weaker salt tolerance (BJCY-ML018, BJCY-ML020, BJCY-ML021 and BJCY-ML035). Furthermore, the salt tolerance of 16 accessions was ordered using the standard deviation coefficient allocation weighted method, BJCY-ML007 and BJCY-ML035 were the accessions with the strongest and the weakest salt tolerance, respectively.

Key words: *Iris lactea* var. *chinensis*; seedling stage; salt tolerance