

百合离体抗盐变异体的筛选及生理特性研究

刘艳妮, 王 飞*

(西北农林科技大学 园艺学院, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:用甲基磺酸乙酯(EMS)对百合离体叶片进行了处理。结果表明,随着处理浓度和处理时间的增加,叶片的分化率和存活率均下降,并筛选出其半致死浓度(0.6%)和处理时间(3 h)。利用筛选的EMS浓度和处理时间对离体叶片进行处理,在1%盐浓度胁迫下进行抗盐性突变体筛选,得到抗盐性诱变植株。经鉴定,其超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性增强,丙二醛(MDA)含量减少,细胞膜透性减小,可溶性蛋白含量增加,表明筛选的百合突变体比对照具有更强的抗盐性。

关键词:亚洲百合(*Lilium lancifolium*); EMS; 诱变; 耐盐性鉴定

中图分类号:S603.6

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2010)02-0070-06

Selection of Salt-resistant Mutant of Lily *in Vitro* and Study on Its Physiological Characteristics

LIU Yan-ni, WANG Fei*

(College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The leaves of lily *in vitro* were treated with EMS. With the increase of processing time and concentration, the differentiation and survival rates of lily leaves decreased. The semi-lethal concentration of EMS (0.6 %) and processing time(3 h) were selected. Lily leaves treated with the selected EMS concentration and processing time were selected at 1% salinity stress. Mutant with stronger resistance was gained. The result of the identification showed the selected mutant has more superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) activity, soluble protein content and less malondialdehyde (MDA) content, membrane permeability than the control, indicating that mutant of lily has more salt tolerance than the control.

Key words: lily; EMS; induced mutation; salt tolerance identification

百合(*Lilium tenuifolium*)是百合科(Liliaceae)百合属(*Lilium*)植物的统称。亚洲百合(*Lilium lancifolium*)花型朝上,多为中大花型,多花性。因其色彩丰富、鲜丽,花型优美,常用来作为鲜切花或节日用花。而深受人们喜爱。为了满足市场生产的要求,需要培养更多优良的抗性品种,而诱变育种是培育花卉新品种的一条捷径。

植物诱变育种是继杂交育种之后发展起来的一种新的育种方法,它可以创造新的种质资源,丰富育种材料,具有杂交育种难以代替的特点^[1]。EMS—甲基磺酸乙酯(Ethyl methane sulfonate)是诱变育种中应用较为广泛的诱变剂。目前,对于农作物耐

盐突变体的研究,国内很多已见报道,但对于观赏植物抗性突变体的研究却不多见。利用离体培养结合EMS诱变剂筛选植物耐盐突变体,能极大的丰富突变类型,提高突变频率和育种效果。试验通过EMS诱变剂处理百合离体组织,探讨EMS对百合的诱变效应,以期获得百合的抗逆性变异体。为以后利用EMS诱变剂选育抗逆性百合和其他观赏植物的研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

试验材料为亚洲百合(*L. lancifolium*)球根,

收稿日期:2009-03-24 修回日期:2009-06-28

基金项目:陕西省科技攻关项目“花卉新品种引进与示范”(2002ZK03-G7-4)。

作者简介:刘艳妮,女,在读研究生,研究方向:园林植物与观赏园艺。

*通讯作者:王 飞,教授,博士生导师,主要从事果树及花卉生理与生物技术育种研究。E-mail: xnwangfei521@126.com

取自西北农林科技大学园艺学院组培生物技术实验室。化学诱变剂 EMS, 为美国 SIG2MA 公司生产。

1.2 试验方法

1.2.1 外植体的清洗及灭菌 选取生长健壮, 无病害的白色亚洲百合球根。将其鳞片一片片掰开, 放在烧杯中, 用稀洗洁精水清洗干净→放入网兜中流水冲洗 4 h→超净台上 75% 的酒精浸 30 s→无菌水冲洗 4 次→0.1% 升汞浸泡 6~8 min→无菌水中冲洗 5 次→切成 0.5 cm×0.5 cm 左右的小方块→无菌滤纸吸干水分待接种^[2]。

1.2.2 培养条件及培养基 选取生长健壮的百合组培苗, 转接到分化培养基上。培养温度为 5~23℃, 光照 2 000 lx, 每天光照时间时数 2~10 h。培养基 pH 为 5.8。

诱导培养基: MS+6-BA 1.0 mg·L⁻¹+NAA 0.5 mg·L⁻¹+2.4-D 0.1 mg·L⁻¹+蔗糖 30 g·L⁻¹+琼脂 7 g·L⁻¹;

分化培养基: MS+6-BA 2.0 mg·L⁻¹+NAA 0.3 mg·L⁻¹+蔗糖 50 g·L⁻¹+琼脂 7 g·L⁻¹^[2]。

1.2.3 EMS 的配制及其浓度的筛选方法 EMS 的配制: 使用 0.1 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液 (pH=5.8) 配制所需浓度的 EMS 溶液贮液 1: 1 mol·L⁻¹ NaH₂PO₄ 溶液; 贮液 2: 1 mol·L⁻¹ Na₂HPO₄ 溶液。取 92.1 mL 的液 1 和 7.9 mL 液 2 混合定溶至 1 L 得到 pH=5.8 的 0.1 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液, 121℃ 0.1 MPa 灭菌 15 min, 将 EMS 溶于一定量的 0.1 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液, 即配即用^[3]。试验设定 EMS 浓度为 0.2%、0.4% 和 0.6%。用移液枪分别吸取 60、120、180 μL 的 EMS, 然后分别加入 6 mL 的 0.1 mol·L⁻¹ 磷酸缓冲液中, 充分溶解后, 分别加入 24 mL 液体分化培养基中。分别制成了浓度为 0.2%、0.4% 和 0.6% EMS 液体分化培养基处理液。

EMS 浓度的筛选: 设 3 个不同的 EMS 浓度, 分别为 0.2%、0.4% 和 0.6%, 设磷酸缓冲液为对照。各设 4 个处理时间, 分别为 1、2、3 h 和 4 h。一共 16 个组合, 每个组合 9 瓶。取 30~35 d 苗龄继代苗顶部 2~3 片展开叶片, 去除各小叶叶柄, 于叶中脉垂直切 2~3 刀。但不切断, 然后将其浸泡在液体分化培养基中 (每瓶 50~60 片叶子), 接着将 0.1 mol·L⁻¹ 磷酸和配好的不同浓度的 EMS 分别加入液体分化培养基中, 25℃ 恒温振荡培养 (70 r·h⁻¹); 1、2、3 h 和 4 h, 每个处理时间结束后, 从振荡箱中, 分别取对照、0.2%、0.4% 和 0.6% EMS 处理的百合叶片各 9 瓶。用无菌水冲洗 4~6 遍后, 转接在分化培养基上, 接种 40~50 d 后统计百合的分化率和存

活率。叶片存活率=存活叶片数/接种叶片数, 叶片分化率=分化叶片数/接种叶片数。当成活率为 50% 时, 选此浓度和时间为百合耐盐性筛选的 EMS 处理浓度和时间。

1.2.4 NaCl 浓度的筛选 挑选生长健壮的百合组培苗, 从百合苗的上端选 2~3 片百合展开叶。用刀片在其上划 2~3 刀, 然后将其转接在 0.0%、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2% 盐浓度的固体分化培养基上。每个浓度转接 10 瓶, 每瓶放 10 片叶子。40~50 d 后, 统计百合的成活率。选百合成活率为 0%~10% 的盐浓度为百合耐盐性筛选浓度。

1.2.5 耐盐性百合突变体的筛选 挑选生长健壮的百合组培苗, 从百合苗的上端选 2~3 片百合展开叶。用刀片在其上划 2~3 刀, 然后接入百合液体培养基, 用半致死 EMS 浓度和时间处理百合叶片, 25℃ 恒温振荡 70 r·h⁻¹^[4] 培养。用无菌水冲洗 4~6 遍后, 转接入筛选的成活率为 0%~12% 的盐浓度固体分化培养基中。1 个月后, 把成活的百合叶片及苗转接入正常的分化培养基中。培养一段时间后, 又放入成活率为 0%~12% 的盐浓度分化培养基中, 以去掉产生生理适应性的百合苗。这样再连续反复筛选 3~5 代后, 把筛选出来的百合组培苗进行耐盐性鉴定。

1.2.6 百合抗盐性的鉴定方法 用 EMS 诱变处理并筛选过的离体叶片再生植株, 转入继代培养基中扩繁 2 代后, 挑选健壮单株接种于含 NaCl 临界浓度的培养基上。盐胁迫后的 4、6、10、14、18、22、27 d, 随机取再生苗成叶样分析, 分别测定 SOD、POD 酶活性、丙二醛 (MDA) 含量以及可溶性蛋白含量和细胞膜透性, 以磷酸缓冲液处理过的离体叶片再生植株为对照, 重复 3 次。

膜透性测定, 采用电导法^[6]。过氧化产物 (MDA) 含量测定, 采用硫代巴比妥酸法^[6]。可溶性蛋白含量测定, 采用考马斯亮蓝法^[5]。SOD、POD 酶活性测定采用分光光度法^[5]。每一指标的测定采取同时取样、同时处理、同时测定的方法。每份样品测定取 3 个平行测定值的平均值, 平均误差不大于 2%。

2 结果与分析

2.1 百合组织培养苗的获得

在百合诱导培养基: MS+6-BA 1.0 mg·L⁻¹+NAA 0.5 mg·L⁻¹+2.4-D 0.1 mg·L⁻¹+蔗糖 30 g·L⁻¹+琼脂 7 g·L⁻¹ 上, 接入百合鳞片大约 1 周后, 百合鳞片开始由原来的白色逐渐变为绿色。

再过 15 d 后,绿色百合鳞片上逐渐长出绿色突起物。大约 30 d 后,绿色突起物就会发育成小百合芽。等百合苗长到大约 75 d 时,就可继代扩繁,为百合突变体的选育提供材料。

2.2.1 化学诱变剂 EMS 对百合再生苗的影响

在用不同 EMS 浓度和时间对百合叶片进行处理后(表 1),磷酸缓冲液、0.2%、0.4%浓度的 EMS 处理后,无论在哪个时间处理下,致死率均小于 0.35。而 0.6%浓度的 EMS 在经过 3 h 处理后,百合的致死率达到了 0.53。符合了突变体半致死的要求^[8]。

表 1 不同 EMS 处理时间和浓度与百合分化率和存活率的变化

处理时间/h	磷酸对照		0.2%EMS		0.4%EMS		0.6%EMS	
	存活率	分化率	存活率	分化率	存活率	分化率	存活率	分化率
1	1.00	0.97	0.825	0.80	0.825	0.75	0.67	0.67
2	0.95	0.95	0.825	0.75	0.800	0.70	0.60	0.60
3	0.83	0.89	0.860	0.72	0.810	0.63	0.47	0.52
4	0.80	0.80	0.670	0.68	0.650	0.54	0.40	0.41

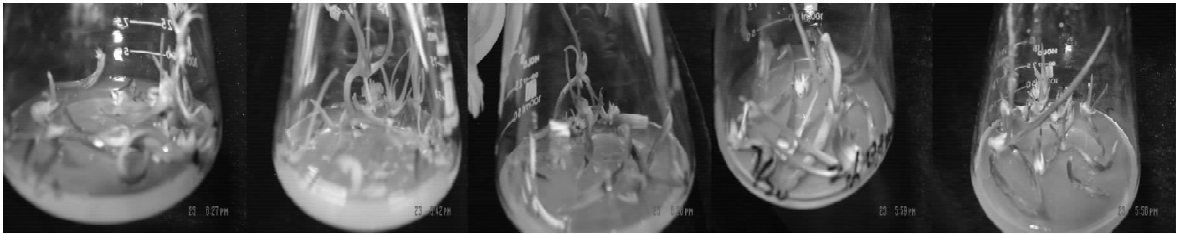


图1 0.2%EMS,1h 图2 0.4%EMS,2h 图3 0.6%EMS,2h 图4 0.2%EMS,3 h 图5 0.4%EMS,3 h
Fig.1 0.2%EMS,1h Fig.2 0.4%EMS,2h Fig.3 0.6%EMS,2h Fig.4 0.2%EMS,3 h Fig.5 0.4%EMS,3 h

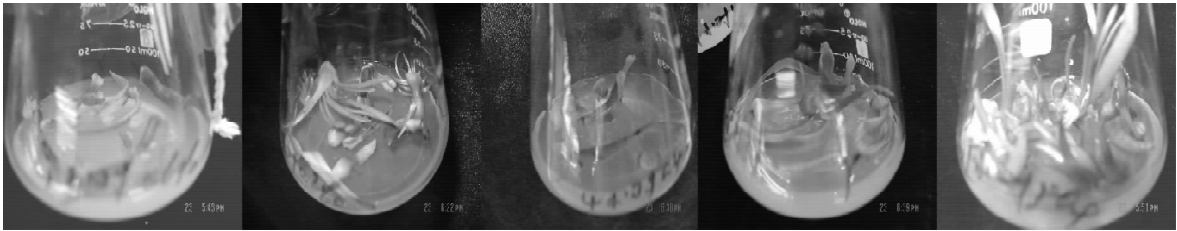


图6 0.6%EMS,3 h 图7 0.2%EMS,4 h 图8 0.4%EMS,4 h 图9 0.6%EMS,4 h 图10 磷酸对照
Fig.6 0.6%EMS,3 h Fig.7 0.2%EMS,4 h Fig.8 0.4%EMS,4 h Fig.9 0.6%EMS,4 h Fig.10 contrast

2.2.2 不同盐浓度处理对百合的影响

在不同的盐浓度 0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2% 处理下(表 2),在相同时间的处理下,随着百合叶片处理浓度的变大,百合的受害率越大。当百合处理盐浓度为 0.2%时,30 d 后观察到百合的受害率几乎为 0。当百合处理盐浓度为 0.4%、0.6%和 0.8%,时,百合的受害率均小于 0.75。当处理浓度为

因此,选 0.6%浓度 EMS 经 3 h 处理,作为百合耐盐性突变体筛选的条件。

由图 1~图 10 试验结果可知,经 EMS 处理后,随着 EMS 浓度和处理时间的增加,百合的致死率随之变大。也就是说 EMS 处理的时间与浓度都和百合的致死率成正相关性。经 EMS 处理后,随着 EMS 浓度和时间的增加,百合的分化率也随之变小。说明 EMS 处理的时间与浓度和百合的分化率成负相关性。

1.0%时,百合的死亡率为 0.93(图 11~图 16)。百合受害严重,几乎所有的百合苗都不能正常生长。而筛选真正的耐盐突变体,选择压力必须达到足以抑制绝大多数个体的正常生长发育,在含盐培养基中,正常个体几乎不能生长的程度^[4]。因此,1.0%盐浓度为百合耐盐性筛选的胁迫浓度。

表 2 不同盐浓度与亚洲百合的受害率

Table 2 Effect of treatment with different NaCl solution on the injury case of lily

盐胁迫下亚洲百合叶片	0.20%NaCl	0.40%NaCl	0.60%NaCl	0.80%NaCl	1.00%NaCl	1.20%NaCl
总叶/片	60	90	80	80	90	90
受害叶/片	0	4	8	60	84	90
受害率	0	0.04	0.10	0.75	0.93	1

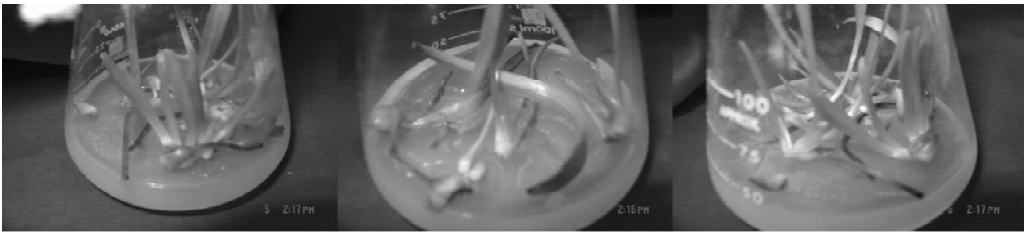


图11 0.2%盐浓度
Fig. 11 0.2%NaCl

图12 0.4%盐浓度
Fig. 12 0.4%NaCl

图13 0.6%盐浓度
Fig. 13 0.6%NaCl



图14 0.8%盐浓度
Fig. 14 0.8%NaCl

图15 1.0%盐浓度
Fig. 15 1%NaCl

图16 1.2%盐浓度
Fig. 16 1.2%NaCl

2.2.3 EMS 和盐胁迫共同处理对百合的影响 取 30~35 d 苗龄继代苗顶部 2~3 片展开叶片,去除各小叶叶柄,于叶中脉垂直切 2~3 刀。接着在 0.6% 的 EMS 条件下处理 3 个·h⁻¹。无菌水冲洗 4~5 遍后,接入含 1.0% 盐的分化培养基。40 d 后,统计分化率和存活率。由表 3 统计结果可知,百合叶片经 0.6% EMS 3 h 和 1.0% NaCl 处理后,其分化率和存活率均小于对照。这说明百合在这 2 种情况下,均受到伤害,且在 1.0% NaCl,几乎不能生长。且当把经过 EMS 处理过的百合叶片,再放入 1.0%

NaCl 的条件下时,其存活率和分化率均比未经 EMS 处理而直接放入 1.0% NaCl 条件下的百合要高。初步说明,在诱变剂 EMS 处理和高盐浓度的胁迫下,有部分百合发生突变,对高盐性的环境产生了抗性。但还不能说明离体百合都发生突变,是耐盐性突变体。文中 1.2.5 所述,在正常培养基和 1.0% NaCl 培养基条件下,连续交替培养 5~6 代,利用非突变体的不可遗传性,去掉生理适应性百合苗,得到耐盐性诱变百合苗(图 17~图 21)。

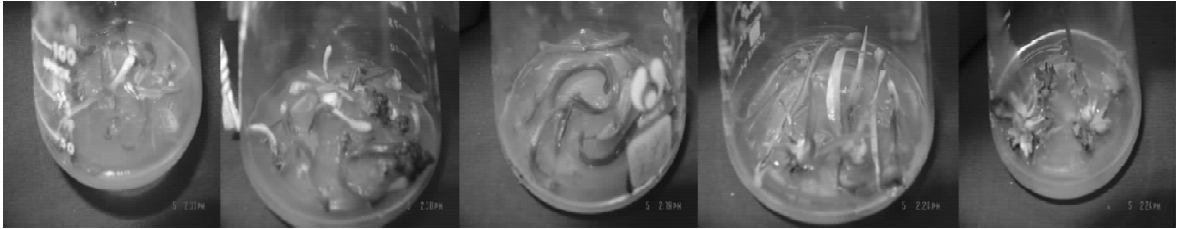


图17 0.6%EMS,3h
Fig.17 0.6%EMS,3h

图18 0.6%EMS, 3h,1%NaCl
Fig.18 0.6%EMS, 3h,1%NaCl

图19 1.0%NaCl
Fig.19 1.0%NaCl

图20 对照
Fig.20 Contrast

图21 诱变百合
Fig.21 Lily mutagenesis

表 3 EMS 和盐胁迫对百合分化率和存活率的影响				
Table 3 Effect of treatment with EMS and stress of salt on the differentiation and survival rates of lily				
指标	0.6%, 3h	0.6%, 3h+1.0%NaCl	1.0% NaCl	对照
分化率	0.47	0.34	0.07	0.93
存活率	0.52	0.42	0.07	0.93

2.3 盐胁迫下诱变百合苗的生理指标变化

2.3.1 盐胁迫下诱变百合苗的 SOD 和 POD 酶活性的变化 SOD 是存在于植物细胞中最重要的清除自由基的酶类之一。SOD 活性的强弱,是植物抗

逆性的重要指标之一^[7]。由图 22,当百合受到盐胁迫时,SOD 含量呈先上升再下降的趋势。与对照相比,诱变的百合 SOD 活性明显高于对照百合,且在受盐胁迫的第 14 d 左右,诱变的百合 SOD 活性最高,是对照百合的 1.41 倍。这说明,在盐胁迫条件下,诱变植株具有较高的 SOD 酶活性,来保护膜系统。因此,诱变植株对盐胁迫具有一定的适应性,诱变百合比对照具有耐盐性。

POD 也是存在于植物细胞中最重要的清除自由基的酶类之一。它和 SOD、CAT 三者协调一致,

使生物自由基维持在一个低水平上,从而防止自由基毒害。这 3 种酶统称为保护酶系统^[7]。由图 23 看出,当百合处于逆境胁迫条件下时,百合 POD 含量先升高再下降。无论何时,诱变百合 POD 含量均高于对照百合。且在 18 d 左右达到最高值。这表明诱变百合比对照 POD 活性高,比对照具有一定的耐盐适应性。

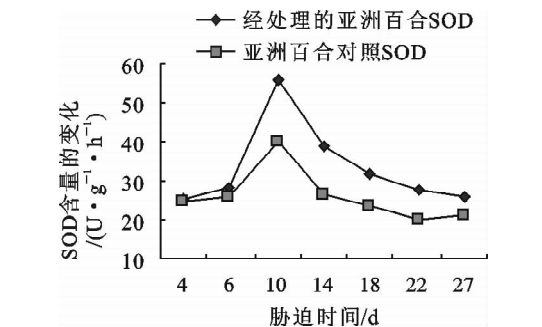


图 22 盐胁迫下亚洲百合 SOD 含量变化
Fig. 22 Under salt stress lily SOD content

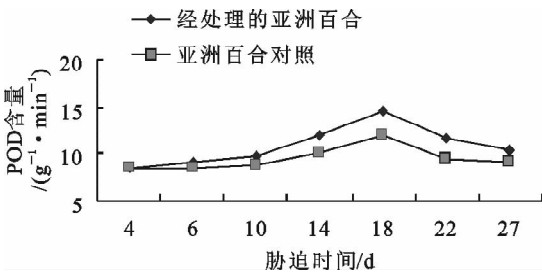


图 23 盐胁迫下亚洲百合 POD 含量变化
Fig. 23 Under salt stress lily POD content

2.3.2 盐胁迫下诱变百合苗的 MDA 含量和细胞膜透性的变化 植物器官衰老或在逆境下遭受伤害,往往发生膜脂的过氧化作用,MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一。MDA 含量的多少可代表膜损伤程度的大小^[9]。由图 24 可知,百合在盐胁迫条件下,随着处理时间的变长,MDA 含量先增加后下降。在整个过程中,诱变百合的 MDA 含量始终低于对照 MDA 含量。这说明,诱变百合的膜损伤程度低于对照。诱变百合比对照适应耐盐环境,具有一定耐盐性。

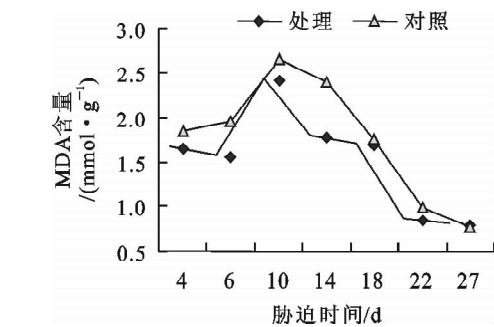


图 24 盐胁迫下亚洲百合 MDA 含量变化
Fig. 24 Under salt stress lily MDA content

植物组织在受到各种不利的环境条件危害时,细胞膜的结构和功能首先受到伤害,细胞膜透性增大^[9]。细胞膜相对透性的变化,反映了植物质膜受伤害的程度。细胞膜相对透性越大,植物质膜受伤害的程度也越大。由图 25 可知,随着百合受盐害时间的增加,百合的细胞膜相对透性呈不断的上升趋势。且在上升的过程中,诱变百合的细胞膜相对透性都小于对照百合,变化幅度不是很大。这表明诱变百合质膜受伤害的程度比较小,说明诱变百合具有一定耐盐性。

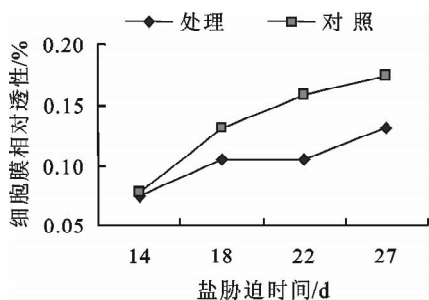


图 25 盐胁迫下百合细胞膜相对透性变化
Fig. 25 Under salt stress lily membrane

2.3.3 盐胁迫下诱变百合苗的可溶性蛋白含量的变化 盐分过多会降低植物蛋白质的合成,促进蛋白质分解^[8]。由图 26 可知,百合在盐胁迫条件下,随着百合处理时间的增加,可溶性蛋白含量整体呈下降趋势,且诱变百合可溶性蛋白含量明显高于对照百合,说明诱变百合具有对高盐环境的适应性。

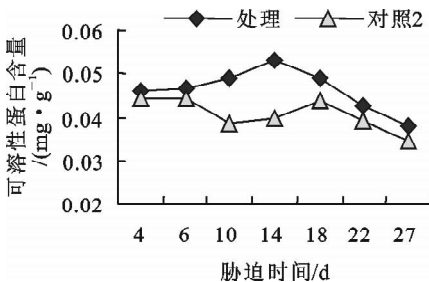


图 26 盐胁迫条件下百合可溶性蛋白含量变化
Fig. 26 Under salt stress lily soluble protein content

3 结论与讨论

在众多的化学诱变剂中,甲基磺酸乙酯(EMS)被认为是应用最好的诱变剂。因其诱变效率高、诱变范围广而在诱变育种中得到广泛使用,试验是采用一种化学诱变剂 EMS 来诱变育种。在离体百合条件下,利用 EMS 处理百合,初步获得百合的耐盐植株。

抗盐碱性筛选,是植物抗逆性育种的一个重要方向。利用化学诱变剂或物理辐射处理植物离体组织,进行抗盐碱性筛选,现已经得到一些抗盐碱变异体。如陈丽^[3]等利用 EMS 诱变处理定向筛选杨树

耐盐突变体,得到 29 株叶片颜色发生变异的畸变植株,耐盐定向筛选试验中也得到 4 株同类型畸变植株。刘艳萌^[4]等,利用 EMS 处理草莓离体叶片,得到耐盐性草莓变异体。此外,在红豆草、常夏石竹、杜鹃^[12]等园林植物上也得到了耐盐碱性变异体。试验利用半致死剂量 EMS 处理百合离体组织,并在百合高盐浓度胁迫压力下,筛选出百合的耐盐变异体。经 EMS 诱变和 1.0%高盐筛选的亚洲离体百合,其 SOD、POD 含量增加,可溶性蛋白含量增加,细胞膜相对透性和 MDA 含量减小,表明诱变百合在高盐环境下,受伤害的程度比较小,诱变百合更适应 1.0% 高盐环境,诱变亚洲百合经过筛选抗盐性得到提高。

百合抗逆性筛选,是百合品种选育的一个重要方向。试验通过化学诱变剂和逆境压力胁迫的筛选,以期获得百合的抗逆性变异体。当面对丰富的百合花品种时,是应该给它以逆境胁迫条件,观察其生长特性,研究其生理特性,从而筛选出大自然存在的抗逆性品种。还是利用人工的生物技术诱变其产生变异,而改变其染色体结构,达到选育的目的,这个问题值得去思考。在丰富的百合花品种中,选育一定的抗性品种是需要更多的人力与物力的投入,但是其筛选的变异体性状和染色体结构比较稳定。而人工诱变的方法需要的时间短,目的明确,节省人力物力,但是其性状容易发生改变不太稳定。2 种选育方法应该具体情况具体对待,取长补短,互为利用,在效率最高的情况下,达到选育的目的。

突变体的诱变方法有化学诱变、物理诱变、空间技术诱变及复合因子诱变等,试验只采用化学诱变剂的方法进行了诱变,也许应该多用几种方法,然后探讨其对百合的诱变效应,以期筛选出比较理想的

诱变条件,达到理想的选育目的,希望本试验可以为以后园林植物的抗性筛选提供方法和依据。

参考文献:

[1] 王仑山. 利用组织和细胞培养筛选作物耐盐突变体的研究[J]. 植物学通报, 1996, 2(5): 7-12.

[2] 唐东芹, 黄丹枫, 唐克轩. 东方百合鳞片的组织培养[J]. 植物生理学通讯, 2003, 27(4): 37-40.

[3] 陈丽, 董举文, 唐寅, 等. EMS 诱变处理定向筛选杨树耐盐突变体研究[J]. 上海农业学报, 2007, 23(3): 86-91.

[4] 刘艳萌, 张学英, 葛会波, 等. EMS 处理对草莓离体叶片再生植株耐盐性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2006, 28(3): 67-69.

[5] 陈立松, 刘星辉, 等. 植物抗热性鉴定指标的种类[J]. 干旱地区农业研究, 1997, 23(6): 34-37.

[6] 肖雯, 贾恢先, 蒲陆梅, 等. 几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J]. 西北植物学报, 2000, 32(7): 818-825.

[7] 张福锁. 环境胁迫胁迫与植物育种[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 330-336.

[8] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 32-457.

[9] 孙群, 胡景江, 曹翠玲, 等. 植物生理学研究技术[M]. 杨陵: 西北农林科技大学出版社, 2004: 22-25.

[10] 华智锐, 马锋旺, 李小玲, 等. 百合组培苗对盐胁迫的生理反应[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007: 23-26.

[11] 付文奇, 杜双田, 陈建科, 等. 东方百合 (*Lilium orientalis*) 组织培养研究[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(3): 120-122.

[12] 王长泉, 宋恒, 王希锋. 常夏石竹抗盐突变体的筛选[J]. 园艺学报, 2001, 10(3): 469-471.

[13] 何先元, 郭巧生. 药用白菊花苗期耐盐性鉴定[J]. 中国中药杂志, 2003, 16(4): 39-42.

[14] 毛桂莲, 许兴. 枸杞耐盐突变体的筛选及生理生化分析[J]. 西北植物学报, 2005, 23(3): 275-280.

[15] 王长泉, 刘涛. 石竹耐盐突变体渗透调节的研究[J]. 广西植物, 2006, 9(2): 50-57.