

中华补血草组培苗对 NaCl 胁迫的生长及生理响应

卢兴霞, 郭文涛, 孙 云, 兰晓天, 明 聪, 任志雨

(天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384)

摘 要:利用组织培养技术,在含不同浓度 NaCl(0、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)的 MS 增殖及生根培养基上对叶片分化苗进行盐胁迫处理,测定并分析了中华补血草的生长发育指标(株高、叶数、叶宽、植株鲜样质量、根长)和生理指标(MDA、SOD、Pro、 Na^+ 、 K^+)变化情况。结果表明:在不同浓度 NaCl 胁迫下,中华补血草组培苗的生长指标均未表现出明显的盐害症状。其中,根长随 NaCl 浓度增加而增加,1.0%浓度时主根最长,为对照的 3.9 倍;株高随 NaCl 浓度的增加呈先增加后降低然后再增加的趋势,0.6%浓度处理时最低,0.8%浓度处理时最高,1.0%浓度处理时有所下降,但与 0.8%浓度处理的差异不显著;植株鲜样质量除 0.2%处理与对照差异不显著外,其它处理均显著低于对照且这些处理间的差异不显著;叶数总体上随着盐浓度的增加而减少,1.0%浓度处理的叶数最少,为对照的 1/3;叶宽随盐浓度的增加呈先降低后增加的趋势,0.4%浓度处理时叶最窄,0.8%浓度处理时叶最宽,但与 1.0%处理的叶宽差异不显著。生理指标的测定结果表明:MDA 含量、SOD 活性和 Pro 含量均随 NaCl 浓度增加呈先增加后降低的趋势。MDA 含量在 0.6%浓度处理时最高,并显著高于对照,在 1.0%浓度处理时最低,且显著低于对照;Pro 含量也在 0.6%浓度处理时最高,并显著高于对照,在 1.0%浓度处理时含量虽有所下降,但也显著高于对照;SOD 活性在 0.8%浓度处理时最高,其次为 1.0%浓度处理,二者间差异显著,且均显著高于对照。 Na^+ 、 K^+ 含量均显著高于对照,且 Na^+ 、 K^+ 含量总体上随 NaCl 浓度的增加而显著增加, K^+/Na^+ 比值随 NaCl 浓度的增加出现先降低后增加的现象,在 0.8%浓度处理时比值最小,1.0%浓度处理时 K^+/Na^+ 比值显著增加。综上所述,组培苗可以耐含 NaCl 为 1.0%浓度的盐渍生境,在其受到盐胁迫时,可以通过增加 SOD 活性和 Pro 含量以及维持高 K^+/Na^+ 比值来保护细胞膜系统,增强吸水能力,缓解盐害。

关键词:中华补血草;组培苗;盐胁迫;生长发育;生理响应

中图分类号:S 567.23⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)18-0154-06

中华补血草(*Limonium sinense* (Girard) Kuntze)属蓝雪科(Plumbaginaceae)补血草属(*Limonium*)多年生草本药用泌盐盐生植物,别名盐云草、匙叶草、海赤芍等。广泛分布在我国滨海各省区,生长于沿海潮湿盐土或沙土上,是滨海盐土的重要指示植物^[1]。中华补血草可以

通过盐腺将体内多余的盐分排出^[2],使盐土脱盐,有利于盐碱地生态系统的改善,因此被誉为改良盐碱地的“先锋植物”。此外,中华补血草全草均可入药,有止血散瘀、清热解毒、祛风消炎、抗癌、抗衰老等药用功效。近年来,相关研究表明,中华补血草还具有抗肿瘤、抗病毒、抗氧化、护肝等多种药理活性^[3-7],盐生药用植物因其在特定的盐生境胁迫下生长,会通过独特的代谢途径产生特殊的化学防御体系来维持正常的生长发育,因此其药用价值和药用成分会与非盐生境胁迫下的药用植物有所不同,如能开发利用,不仅可以丰富我国的中药资源,也为盐渍土的生物改良提供了天然而宝贵的生物资源^[8]。因此,中华补血草在改良盐碱地、修复盐碱地生态和作为盐生药用植物资源开发中具有很大的潜力^[9-10]。

目前,关于中华补血草耐盐碱研究主要集中在种子发芽特性^[11-12],实生苗盐腺的泌盐能力^[13]、生理反

第一作者简介:卢兴霞(1978-),女,硕士,副教授,现主要从事园艺植物遗传育种和逆境生理生化等研究工作。E-mail: xingxialu@126.com.

责任作者:任志雨(1968-),男,博士,教授,现主要从事园艺植物栽培等研究工作。

基金项目:国家星火计划资助项目(2013GA610012);天津市应用基础与前沿技术研究计划资助项目(14JCYBJC30100);天津农学院科学研究发展基金资助项目(2011N12);天津市高等学校学科领军人才培养计划资助项目(津教委人[2013]12号);天津市高等学校优秀青年教师资助项目(津教委办[2013]171号)。

收稿日期:2016-04-25

应^[14-15]、盐胁迫应答相关基因的克隆及表达分析^[16-17]。该研究是在课题组建立了中华补血草优良单株组培快繁技术的基础上^[18],采用组培方法,研究了中华补血草组培苗在不同浓度 NaCl 胁迫下的生长发育、生理反应及 Na⁺ 的变化情况,以期中华补血草在细胞水平进行耐盐机理及药用开发等方面的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试的中华补血草组培苗由天津农学院园艺系地被植物课题组提供。组培苗外植体为生长在园艺系地被植物课题组试验田(含盐量 0.59%, pH 7.99)的中华补血草花梗无菌苗叶片,诱导培养基为 MS+1.5 mg·L⁻¹ 6-BA+0.2 mg·L⁻¹ NAA+3%蔗糖,增殖和生根培养基为 MS+0.15 mg·L⁻¹ 6-BA+0.2 mg·L⁻¹ NAA+3%蔗糖。

1.2 试验方法

将用叶片诱导分化的、生长一致的芽丛(每个芽丛 2~3 株苗)转接到含 NaCl (0、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%)的增殖和生根培养基上进行盐胁迫培养。每处理接种 12 瓶,每瓶 5 个芽丛,3 次重复。

1.3 项目测定

1.3.1 组培苗生长指标的测定 所有处理的组培苗均在培养 3 个月后开瓶洗去根部琼脂,每处理随机选取 30 株组培苗,用滤纸吸干植株表面水分后对组培苗的株高(从植株根颈部到最长叶片顶端的长度)、叶数(叶片长度大于 0.5 cm 的叶片数)、叶宽(叶片长度大于 0.5 cm 的叶片的最宽处的宽度)、根长(长度大于 0.5 cm 的主根)、植物鲜样质量等生长指标进行测定。

1.3.2 组培苗生理指标的测定^[19] MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定;SOD 活性采用 NBT(氮蓝四唑)光还原法测定;Pro 含量采用磺基水杨酸-酸性茚三酮法测定;叶片中 Na⁺、K⁺ 含量的测定采用火焰分光光度计法。

1.4 数据分析

所有指标的测定均为 3 次重复,试验数据采用 SPSS 17.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对中华补血草组培苗生长的影响

由表 1 可以看出,组培苗的株高随盐浓度的增加呈先增加后降低然后再增加的趋势,0.2%浓度处理的株高显著高于对照,0.4%和 0.6%浓度处理的株高均显著低于对照,0.8%、1.0%浓度处理株高又显著高于对照;各浓度盐胁迫处理间,除 0.8%、1.0%浓度处理间的差异不显著外,其它处理间的差异均达显著水平。叶数总体上随盐浓度的增加而减少,除 0.2%浓度处理的叶数

与对照的差异不显著外,其它处理的叶数均显著低于对照,1.0%浓度处理的叶数最少。叶宽随盐浓度的增加呈先降低后增加的趋势,0.2%浓度处理的叶宽有所降低,但与对照差异不显著;0.4%、0.6%浓度处理的叶宽则显著低于对照,且二者间的差异不显著;0.8%、1.0%浓度处理的叶宽有所增加,且 0.8%浓度处理的叶达最宽,二者与对照的差异不显著,且二者间的差异也不显著。植株鲜样质量总体上随 NaCl 浓度的增加而降低,除 0.2%浓度处理与对照差异不显著外,其它各处理的植株鲜样质量均显著低于对照,且这些处理间的差异均不显著。根长总体上是随盐浓度的增加而增加,1.0%浓度处理的主根最长,为对照的 3.9 倍,其次为 0.8%浓度处理的根长,为对照的 1.7 倍,其中 1.0%浓度处理的根长显著高于其它处理的根长,但 0.8%浓度处理的根长与其它处理的根长差异不显著;0.2%、0.4%、0.6% 3 个浓度处理的根长与对照差异不显著。

综上所述,中华补血草组培苗在受到 1.0%浓度 NaCl 胁迫下其株高、叶宽和根长并不受影响,尤其是株高和根长比对照的长势更好,只有叶数和植株鲜样质量显著低于对照。表明中华补血草在受到盐胁迫时,可能会通过增强地下部分的生长发育,降低地上部分的生物量来降低盐害的发生。因此,中华补血草组培苗可以耐 1.0%浓度的 NaCl 盐胁迫。

表 1 NaCl 胁迫对中华补血草组培苗生长的影响

Table 1 Effect of NaCl stress on growing of *Limonium sinense* in vitro

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	叶数 No. of leaves	叶宽 Leaf width /cm	植株鲜样质量 Fresh weight /g	根长 Root length /cm
0.0(CK)	4.66±0.28c	40.93±5.16a	0.82±0.05a	1.01±0.20a	1.78±0.46c
0.2	5.17±0.04b	42.37±4.98a	0.80±0.21a	0.84±0.22ab	2.40±0.97bc
0.4	3.60±0.15d	32.13±6.21b	0.55±0.08b	0.49±0.09c	2.35±0.74bc
0.6	3.18±0.05e	35.83±4.86b	0.57±0.04b	0.61±0.06bc	2.98±0.04bc
0.8	6.73±0.09a	14.83±0.57c	0.88±0.08a	0.63±0.18bc	3.06±0.99b
1.0	6.51±0.17a	12.40±0.40c	0.76±0.06a	0.69±0.09bc	6.93±0.43a

注:表中不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平的差异显著,下同。

Note: The different lowercase letters mean significant difference among different treatments at 0.05 level in the table, the same as below.

2.2 中华补血草组培苗对 NaCl 胁迫的生理反应

2.2.1 MDA 含量的变化 图 1 显示,叶片中丙二醛(MDA)含量随盐浓度的增加呈先增加后降低的趋势,在 0.6%浓度时达到最高值,为对照的 3.3 倍,在 1.0%浓度处理时达到最低值,约为对照的 1/3。0.2%浓度处理的含量比对照有所增加,但与对照差异不显著;0.4%、0.6%浓度处理的含量显著高于对照,且 0.6%浓度处理的含量显著高于 0.4%浓度处理;0.8%、1.0%浓度处理的含量均显著低于对照,且二者间差异不显著。说明中华补血草组培苗在受到 0.6%NaCl 胁迫时细胞膜的损伤程度最大,1.0%浓度胁迫的损伤最小,表明中华补血

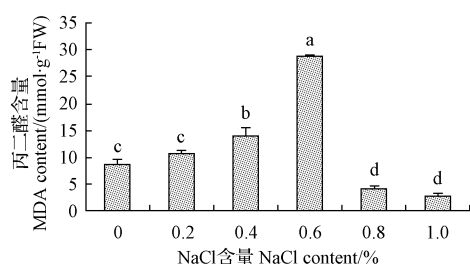


图1 NaCl胁迫对组培苗MDA含量的影响

Fig. 1 Effect of NaCl stress on the content of MDA in plantlet *in vitro*

草组培苗可以耐1.0% NaCl盐胁迫。

2.2.2 SOD活性的变化 由图2可以看出,叶片中超氧化物歧化酶(SOD)活性呈先升高后降低的趋势,当NaCl浓度在0.8%时,SOD活性最高。0.2%~0.6%浓度处理时的SOD活性基本趋于一致,且处理间差异不显著,并与对照的差异也不显著,但与0.8%、1.0%浓度处理的差异达到了显著水平;0.8%、1.0%浓度处理的SOD活性显著高于对照,且0.8%、1.0%浓度处理间的差异也达到了显著水平;0.8%浓度处理的SOD活性是对照的3.1倍,1.0%浓度处理的是对照的2.5倍。说明当受到0.8%~1.0%浓度盐胁迫时,植株叶片中的SOD活性增强,可降低盐害的发生,因此中华补血草组培苗可以耐1.0% NaCl盐胁迫。

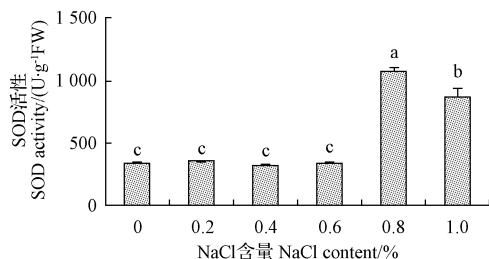


图2 NaCl胁迫对组培苗SOD活性的影响

Fig. 2 Effect of NaCl stress on the activities of SOD *in vitro*

2.2.3 游离Pro含量的变化 图3表明,组培苗叶片中游离脯氨酸(Pro)含量与SOD活性的变化趋势相同,也呈先升高后降低的趋势,当NaCl浓度为0.6%时的Pro含量最多。除0.2%浓度处理外,其余各处理的Pro含量均显著高于对照。该试验中Pro含量的变化有4个特点:当NaCl浓度在0.2%~0.4%时,Pro含量缓慢增加,二者之间的差异不显著;当浓度在0.4%~0.6%时,Pro含量急剧增加,浓度在0.4%和0.6%时Pro含量分别是对照的4.8倍和18.2倍;当浓度在0.6%~0.8%时,Pro含量比较稳定;当浓度在0.8%~1.0%时,Pro含量急剧下降,由0.16%下降到0.04%。表明,中华补血草组培苗在受到0.4%~1.0%浓度的NaCl胁迫时,植株会通过增加Pro含量来抵御盐害,尤其是当受到

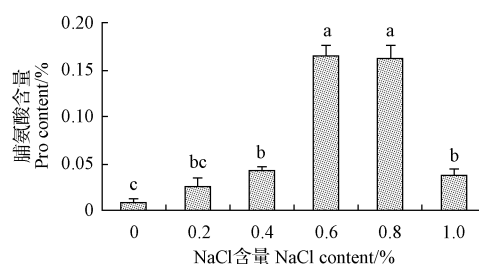


图3 NaCl胁迫对组培苗Pro含量的影响

Fig. 3 Effect of NaCl stress on the content of Pro *in vitro*

0.6%~0.8%浓度胁迫时,Pro可能是其抵御盐害的重要渗透调节物质。

2.2.4 叶片中Na⁺和K⁺含量的变化 由图4可知,盐胁迫下叶片中Na⁺含量均显著高于对照,并随NaCl浓度的增加出现先增加后降低并趋于稳定的现象。在0.6%浓度处理时达到最高值,Na⁺含量为对照的17.1倍;在0.8%和1.0%浓度处理时,Na⁺含量有所降低,但二者含量基本相等且均为对照的11.7倍。叶片中K⁺含量也均显著高于对照,并随NaCl浓度的增加呈先增加后降低又增加的变化趋势。同Na⁺含量一样,K⁺含量在0.6%处理时也达到最高值,为对照的2.3倍;在0.8%浓度处理时,K⁺含量有所降低,为对照的1.5倍,为所有盐胁迫处理的最低含量;到1.0%浓度处理时,K⁺含量显著高于0.8%浓度处理,为对照的1.7倍,但仍低于其它处理。如果NaCl浓度增加到1.0%以上时,叶片中K⁺含量是否会继续增加以抵御盐害的发生,还有待进一步研究。各盐胁迫处理的K⁺/Na⁺比值均显著的低于对照,并随NaCl浓度的增加呈先降低后增加的趋势。在0.8%浓度处理时,K⁺/Na⁺比值为最低值,与0.6%浓度处理时的差异不显著,但显著低于0.4%和1.0%浓度处理;0.4%浓度处理和1.0%浓度处理的K⁺/Na⁺比值相近,分别为1.70和1.68,且差异不显著,这与1.0%浓度处理时K⁺含量显著增加而Na⁺含量保持稳定有关。以上结果分析表明,中华补血草组培苗在受到1.0%浓度NaCl盐胁迫时,对Na⁺的吸收基本趋于稳定,而对K⁺的吸收则显著增加,故而使体内维持了较

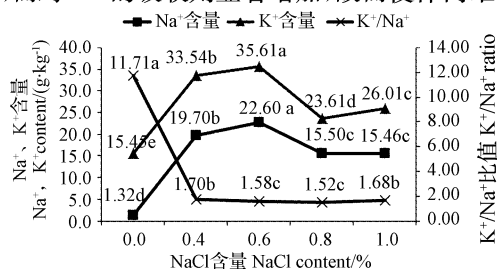
图4 NaCl胁迫对中华补血草组培苗Na⁺和K⁺含量的影响

Fig. 4 Effect of NaCl stress on the content of Na⁺ and K⁺ *in vitro*

高的 K^+/Na^+ 比值,增强了其抵御盐害的能力。说明中华补血草组培苗可以耐 NaCl 浓度为 1.0% 的盐胁迫。

3 讨论与结论

从植株外部形态的变化可以直接而客观地反映出逆境对植物的影响^[15]。该试验中,中华补血草的株高、叶数、叶宽、植株鲜样质量、根长等生长指标在 NaCl 浓度从 0.2%~1.0% 范围内均未发现有明显的盐害胁迫症状;对各处理的植株在测定生理指标后继续观察发现,所有处理的植株均能继续生长、抽生新叶,并且还可以在培养瓶中抽生花梗而开花,但盐胁迫处理对结实的影响有待进一步研究。各处理在整个胁迫培养过程中还发现,随着 NaCl 浓度的增加,组培苗根系的分化时间延迟;组培苗叶表面变得更加粗糙,有明显的突起且培养瓶中的水汽增多,这是否与组培苗叶片肉质化或盐腺的发育有关,还有待进一步研究。韩冰等^[20]研究表明,随着盐浓度的增加或盐处理时间的延长,盐生植物茎叶的肉质化程度会有所增加,使表皮细胞和贮水组织可以通过吸水发生膨大,为贮存水分和稀释有害离子提供更大空间。

植物在受到逆境危害时,细胞膜的结构和功能会首先受到伤害,这与活性氧积累诱发膜脂过氧化作用密切相关,其中 MDA 是膜脂过氧化最重要的产物之一,因此通过测定 MDA 含量可以间接测定膜系统的受损程度和植物的抗逆性;SOD 是植物体内重要的保护酶之一,处于保护酶系的核心地位,它与过氧化氢酶共同作用达到保护细胞膜结构的作用^[21];Pro 含量与植物耐盐性的关系至今仍有争议,有学者认为在中低度盐胁迫下适当的合成和积累 Pro 有利于细胞吸水及保护酶活性;但也有学者认为,Pro 的积累可能是植物受到盐害的结果,与植物的耐盐性呈负相关^[22]。岳延峰等^[23]对黄花补血草盐胁迫的研究认为,Pro 随盐浓度的增加而增加,可以提高黄花补血草的渗透势,有利于黄花补血草的吸水。该试验中,当 NaCl 浓度增加到 0.6% 时,MDA 含量达到峰值,此时植株体内的 Pro 含量也增加到最高值;当 NaCl 浓度增加到 0.8% 时,MDA 含量显著低于对照,此时植株体内的 SOD 含量达到峰值,且 Pro 含量也维持较高水平;当 NaCl 浓度增加到 1.0% 时,MDA 含量达到最低值,此时植株体内的 SOD 含量和 Pro 含量均维持较高水平。由此认为,在该试验研究范围内,当受到 0.6% 浓度以下(包括 0.6%)NaCl 胁迫时,组培苗可以通过维持较高的 Pro 含量来稳定原生质胶体及组织内的代谢过程,降低盐害的损伤;在受到 0.6%~1.0% 浓度 NaCl 胁迫时,植株可以通过维持较高水平的 SOD 和游离 Pro 含量,二者协同作用保护膜系统,提高体内渗透势,增加吸水量,避免盐害的发生。故中华补血草组培苗可以耐

1.0% 浓度 NaCl 胁迫。骆建霞等^[15]采用中华补血草的实生苗研究发现,其可以耐 NaCl 含量为 $14\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 的土壤。实际上,该研究所采用的 MS 培养基属于含盐量高的培养基类型,其无机盐(K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+})含量约为 1.88%,且该试验中组培苗在含 1.0% NaCl 的 MS 培养基中培养,生长发育指标并未表现出明显的盐害特征。因此,组培苗耐 NaCl 的水平有可能在 1.0% 以上,有望达到其实生苗的耐盐水平,从而用组培苗代替实生苗进行中华补血草耐盐机理的分子生物学研究。

植物盐害和产生盐汁生境的主要离子是 Na^+ ,而 K^+ 是参与植物体中 50 多种酶激活和蛋白质合成的重要离子,如果 Na^+ 与 K^+ 竞争这些酶的结合位点,就会使酶失活,而且如果 Na^+ 浓度增加会使 K^+ 含量降低从而阻断多种蛋白的合成;此外,高浓度的 Na^+ 或者 Na^+/K^+ 比可以阻断细胞质内许多的酶促作用^[24],因此植物地上部如果能够维持低的 Na^+/K^+ 比,可以有效提高其耐盐性。该试验中,与对照相比,随着 NaCl 浓度升高,叶片中 Na^+ 和 K^+ 含量均显著增加,但在 NaCl 浓度升高到 1.0% 时, Na^+ 含量基本趋于稳定,而 K^+ 含量则显著增加,故而使 K^+/Na^+ 比值能够在 1.0% 浓度盐胁迫时仍维持较高水平,显著增强其耐盐性,在受到 1.0% 浓度 NaCl 胁迫时其生长发育仍未表现出明显的盐害症状。另外,该试验中 K^+ 含量随盐胁迫程度的增加而增加的变化趋势,与 NaCl 胁迫下海马齿^[20]和燕麦^[25]叶片中 K^+ 含量的研究结果有些差异,这些研究中, K^+ 含量均为随 NaCl 浓度的增加而降低。原因可能与试验材料不同有关,燕麦为甜土植物,海马齿为真盐生植物,而中华补血草为泌盐盐生植物;也可能与该试验中选择的 NaCl 浓度范围有关,在此浓度范围内还没有出现使 K^+ 含量降低的 NaCl 临界值。

综上所述,中华补血草组培苗可以耐 1.0% 浓度的 NaCl 胁迫,在此盐汁生境中,其生长发育正常,未有盐害症状发生。株高、根长的长势显著好于对照,叶宽与对照差异不显著,叶数和植株鲜样质量显著低于对照。各项生理指标的测定结果表明,在 0.6% 浓度及以下 NaCl 胁迫时,中华补血草组培苗可以通过维持较高的 Pro 含量来保护膜系统;在受到 0.6%~1.0% 浓度 NaCl 胁迫时,植株可以维持较高水平的 SOD 和 Pro 含量,通过二者的协同作用避免盐害的发生;叶片中 Na^+ 、 K^+ 含量的研究表明,在受到 NaCl 胁迫时,与其它盐生或甜土植物不同的是在其增加对 Na^+ 吸收的同时也会增加对 K^+ 的吸收,从而使植株体内维持较高水平的 K^+/Na^+ 比值,降低 Na^+ 毒害的发生。

(该文作者还有骆建霞、柴慈江、孙世海,单位同第一作者。)

参考文献

- [1] 马丰山,周署名. 中华补血草的开发价值初探[J]. 中国野生植物, 1991(2):34-35.
- [2] 辛莎莎,谭玲玲,初庆刚. 中华补血草盐腺发育的解剖学研究[J]. 西北植物学报, 2011,31(10):1995-2000.
- [3] 董蒙蒙,喻樊,刘佳,等. 中华补血草 5 种黄酮类化合物抗氧化和抗肿瘤活性的比较[J]. 江苏农业科学, 2015,43(2):297-299.
- [4] 喻樊. HPLC 法同时测定濒危植物-中华补血草中异槲皮苷、桑色素、槲皮素、木犀草素和芹菜素的含量[J]. 药物分析杂志, 2014,34(4):632-635.
- [5] 严卫,肖义军,林尧,等. 中华补血草多酚诱导白血病细胞 HL-60 凋亡的研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2014,30(2):119-124.
- [6] 曲有乐,高欣,崔宇鹏. 中华补血草抗氧化活性研究[J]. 海峡药学, 2012,24(12):33-36.
- [7] 汤新慧,徐力致,高静. 中华补血草根提取物抗肿瘤活性的实验研究[J]. 时珍国医国药, 2010,21(4):917-918.
- [8] 赵宝泉,王茂文,丁海荣,等. 江苏沿海滩涂盐生药用植物资源研究[J]. 中国野生植物资源, 2015,34(6):44-50.
- [9] 田福平,时永杰,陈子莹. 我国补血草属野生植物资源的分布及研究现状[J]. 草业与畜牧, 2010(3):49-52.
- [10] 王偲梅,李青松,周春菊,等. 无菌培养条件下不同基因型小麦耐盐性及其生理机制研究[J]. 干旱地区农业研究, 2009,27(4):99-104.
- [11] 苏婷,史燕山,骆建霞. 盐胁迫及贮藏时间对 4 种补血草种子发芽特性的影响[J]. 种子, 2011,30(12):90-93.
- [12] 李妍. 多种盐胁迫对中华补血草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2009(5):54-57.
- [13] 丁烽,王宝山. NaCl 对中华补血草叶片盐腺发芽及其泌盐速率的影响[J]. 西北植物学报, 2006,26(8):1593-1599.
- [14] 张侠,尹海波,陈世华,等. NaCl 胁迫对中华补血草活性氧清除能力的影响[J]. 安徽农业科学, 2012,40(21):10837-10839.
- [15] 骆建霞,张婷,王娜,等. 中华补血草和德国补血草的耐盐性比较[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014,42(9):171-175.
- [16] ZHANG Y, CHEN S H, HUA H L, et al. Cloning of *Syntaxin* gene in *Limonium sinense* kuntze[J]. Agricultural Science and Technology, 2012,13(2):261-264.
- [17] 刘瑜,陈世华,尹海波,等. 中华补血草金属硫蛋白基因的克隆及高盐处理下的表达模式分析[J]. 烟台大学学报(自然科学与工程版), 2011,24(2):121-125.
- [18] 卢兴霞,骆建霞,任志雨,等. 中华补血草的组织培养和植株再生体系优化[J]. 天津农业科学, 2016,22(1):23-26.
- [19] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.
- [20] 韩冰,庞永奇,常丽丽,等. 不同浓度的 NaCl 处理对海马齿叶片中 Na^+ 和 K^+ 含量的影响[J]. 热带生物学报, 2012,3(2):166-173.
- [21] 郑秀芳,王桔红,汪小东,等. NaCl 胁迫对披针叶黄华愈伤组织生理特性的影响[J]. 中草药, 2013,44(21):3048-3052.
- [22] 彭湖,代锦,呼天明. 无菌培养条件下 8 个紫花苜蓿品种的苗期耐盐性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010,38(4):176-182.
- [23] 岳延峰,马辉,倪细炉,等. NaCl 和 NaHCO_3 对黄花补血草胁迫的生理生化特征[J]. 北方园艺, 2010(5):11-14.
- [24] TESTER M, DAVENPORT R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants[J]. Ann Botany, 2003,91(5):503-527.
- [25] 萨如拉,刘景辉,刘伟,等. 盐碱胁迫对燕麦幼苗 Na^+ 、 K^+ 含量及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2014,23(3):50-54.

Effect of NaCl Stress on Growth and Physiological Response of *Limonium sinense* in vitro

LU Xingxia, GUO Wentao, SUN Yun, LAN Xiaotian, MING Cong, REN Zhiyu, LUO Jianxia, CHAI Cijiang, SUN Shihai
(College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384)

Abstract: Differentiation seedlings was cultured on the MS proliferation and rooting medium with different NaCl concentration (0, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0%), and the growth (plant height, the number of leaves, leaf width, fresh weight, root length) and physiological (MDA, SOD, Pro, Na^+ , K^+) indexes were measured and analyzed. The results showed that the growth of plantlet *in vitro* grew well under salt stress. With the NaCl stress increasing, the root length increased and was the longest in the NaCl concentration of 1.0%, and it was 3.9 times of the control; the plant height increased first then decreased and then increased again, it was the lowest in the NaCl concentration of 0.6% and the highest in the NaCl concentration of 0.8%, when the NaCl concentration was 1.0%, the plant height decreased to some extent, but the difference of the plant height was not significant between the NaCl concentration of 0.8% and 1.0%; the difference of fresh weight in NaCl concentration of 0.2% was not significant compared with the control, the remaining treatments (NaCl concentration of 0.4%—1.0%) were significantly lower than the control, and the difference among them were not significant; the number of leaves decreased with the increase of the NaCl concentration, the number of leaves was the least in NaCl concentration of 1.0%, and was controlled by 1/3; the leaf width increased then decreased, the leaf width was the most narrow in the NaCl concentration of 0.4%, and the leaf width was the widest in the NaCl concentration of 0.8%, the difference of the leaf width was not significant between the NaCl concentration of 0.8% and 1.0%. The results of the physiological indexes showed that, MDA content, the activity of SOD and Pro content increased then decreased with the NaCl stress increasing. The contents of MDA were the highest and the lowest respectively in the NaCl concentration of 0.6% and 1.0%, and compared with the control, the contents of MDA were

宁夏道地甘草重金属残留特征及污染风险评价

李彩虹, 王彩艳, 王晓静

(农业部枸杞产品质量监督检验测试中心, 宁夏 银川 750002)

摘要:以宁夏不同产区甘草及种植土壤为试材,采用原子吸收法和原子荧光法,测定分析了甘草中铅、镉、砷、汞、铜等5种重金属元素含量,分析了重金属残留特征及污染风险。结果表明:在甘草中5种重金属均有不同程度的检出,但含量很低,其中Cd与Cu含量之间呈极显著相关关系,土壤中Cu含量与Pb、As、Cd含量之间存在极显著或显著相关关系,As和Pb、Cd含量之间存在极显著或显著相关关系;甘草和土壤之间Cu含量呈显著相关性。采用单项污染指数法和综合污染指数法对甘草重金属污染风险进行评价,得出宁夏产甘草无污染。

关键词:甘草;重金属;残留特征;相关关系;污染风险评价

中图分类号:S 567.7⁺1(243) **文献标识码:**B **文章编号:**1001-0009(2016)18-0159-04

中药是中国传统中医特有药物,它作为一种天然药物,资源丰富,疗效独特,越来越受到世界各国人们的高度重视。随着中药材产业的发展,甘草被赋予了更多的市场开发价值。甘草药用价值十分突出,现代科学研究证实,甘草除具有止咳、抗炎、解毒作用外,还可增强机体免疫、抗肿瘤、抗氧化和抗病毒的功能,尤其对艾滋病、乙肝、带状疱疹及SARS病毒等作用更显著^[1-3]。然

而,中药重金属含量超标已经成为中药发展的主要制约因素。20世纪90年代以来发生了多起“中药中重金属超标事件”,中药重金属问题立即引起国内外普遍关注。《中国药典》和《药用植物及制剂进出口绿色行业标准》中均规定了重金属残留限量^[4-5]。然而,中药材重金属超标现象依然严重^[6-7],中药材重金属污染已成为制约中药材产业化发展的主要因素^[8]。

宁夏是国家西北道地中药材的重要产地之一,素有“五宝”之称,甘草是其中的“黄宝”。目前对宁夏道地中药材重金属安全性研究较少,土壤重金属污染对宁夏道地甘草的安全性评价尚鲜见报道。现以宁夏不同产区甘草及种植土壤为试材,对其铅、砷、镉、汞、铜(Pb、As、Cd、Hg、Cu)等5种重金属元素进行检测,分析重金属在中药材与土壤中含量之间的相关性,并对宁夏道地甘草

第一作者简介:李彩虹(1979-),女,本科,助理研究员,现主要从事农产品质量标准与检测技术等研究工作。E-mail:lch.6868@163.com.

责任作者:王彩艳(1975-),女,本科,高级实验师,现主要从事农产品质量标准与检测技术等研究工作。E-mail:wsy24@163.com.

基金项目:宁夏自然科学基金资助项目(NZ15271)。

收稿日期:2016-04-15

significantly higher in the NaCl concentration of 0.6% and lower significantly in the NaCl concentration of 1.0%; the contents of Pro were significantly higher than that of CK whether the NaCl concentration of 0.6% or 1.0%, and the contents of Pro was the highest in the NaCl concentration of 0.6%, and the contents of Pro decreased in the NaCl concentration of 1.0%; the activities of SOD were significantly higher than that of CK whether the NaCl concentration of 0.8% or 1.0%, and the activities of SOD was the highest in the NaCl concentration of 0.8%, and the second was the NaCl concentration of 1.0%. The contents of Na⁺ and K⁺ were all significantly higher than that of CK, and also significantly increased with the NaCl stress increasing. With the NaCl stress increasing, ratio of K⁺/Na⁺ decreased then increased, ratio of K⁺/Na⁺ was the lowest in the NaCl concentration of 0.8%, and significantly increased in the NaCl concentration of 1.0%. In conclusion, *L. sinense* could endure as high as 1.0% NaCl, it could protect cell membrane system and enhance water absorption capacity to alleviating plant salinity injury by increasing the activities of SOD, the content of Pro and maintaining high K⁺/Na⁺ ratio.

Keywords: *Limonium sinense* (Girard) Kuntze; plantlet *in vitro*; salt stress; growth; physiological response