

氯化镧对不同浓度盐、碱胁迫条件下不同种薄荷抗逆性的影响[△]

付英杰*,刘月帅,李艳芝,王建安*(济宁医学院药学院,山东日照 276826)

中图分类号 R931.2;Q945.78 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2017)31-4376-05

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2017.31.15

摘要 目的:研究氯化镧(LaCl₃)对不同浓度盐、碱胁迫条件下不同种薄荷抗逆性的影响,为薄荷的种植提供理论和试验依据。方法:将4种薄荷(薄荷、留兰香薄荷、美国薄荷、圆叶薄荷)采用低、中、高浓度(25、50、100 mmol/L)的NaCl盐胁迫和NaHCO₃碱胁迫,测定生长指标(存活率、株高、鲜质量、干质量),筛选具有良好抗逆性的薄荷种;测定镧离子(La³⁺)对各浓度盐、碱胁迫下薄荷的生长指标、渗透调节指标[可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)、脯氨酸(Pro)]、抗氧化活性指标[超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)]以及挥发油得率,推断La³⁺对薄荷抗逆性的影响机制。结果:盐、碱胁迫后,美国薄荷、圆叶薄荷的存活率显著降低,不适合在给定气候条件下生长。对于薄荷、留兰香薄荷,在无人工干预的条件下,低浓度盐、碱胁迫可显著增加其生长指标;在无胁迫条件下,La³⁺可显著增加薄荷的产量及CAT活性;在盐、碱胁迫条件下,与不喷施La³⁺组比较,喷施La³⁺组的薄荷在低、中、高浓度盐胁迫下的SOD、CAT、POD活性,在高浓度碱胁迫下的株高、鲜质量,在中、高浓度碱胁迫下的SOD活性及SS含量,在中浓度碱胁迫下的POD活性等指标均有显著升高。结论:喷施La³⁺后可显著改善中、高浓度碱化土壤(pH>8.0)下的薄荷生长状况;对盐、碱抗性最好的薄荷种是薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)。

关键词 薄荷;盐胁迫;碱胁迫;生长指标;渗透调节指标;抗氧化活性指标;氯化镧

Study on the Resistance Effect of LaCl₃ on Different Varieties of Mint under Saline-alkali Stress with Different Concentrations

FU Yingjie, LIU Yueshuai, LI Yanzhi, WANG Jian'an (School of Pharmacy, Jining Medical University, Shandong Rizhao 276826, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To study the resistance effect of LaCl₃ on different varieties of mint under saline-alkali stress with different concentrations, and provide theoretical and experimental basis for its planting. METHODS: NaCl saline stress and NaHCO₃ alkali stress with low, medium, high concentrations (25, 50, 100 mmol/L) were conducted for 4 kinds of mint [*Mentha haplocalyx* Briq.].

- [3] Fan DD, Lin S, Song YP, et al. Astragaloside IV protects rat gastric mucosa against aspirin-induced damage[J]. *Int Immunopharmacol*, 2016, 41: 47-55.
- [4] 张红艳,孙洪胜,刘健,等.葛根素固体自微乳胶囊在大鼠体内的药动学研究[J]. *中国药房*, 2015, 26(34): 4773-4775.
- [5] 杨文莲,牛涛,傅春升,等.葛根素自微乳制剂的制备工艺研究[J]. *中国药房*, 2012, 23(15): 1375-1377.
- [6] 张杰,孙敏捷,平其能,等.芒果苷-磷脂复合物的油制剂在大鼠灌胃后的生物利用度[J]. *中国新药杂志*, 2014, 23(9): 1092-1098.
- [7] Wu X, Xu J, Huang X, et al. Self-microemulsifying drug delivery system improves curcumin dissolution and bioavailability[J]. *Drug Dev Ind Pharm*, 2011, 37(1): 15-23.
- [8] Sacré PY, Netchacovitch L, De Bleye C, et al. Thorough characterization of a self-emulsifying drug delivery system with raman hyperspectral imaging: a case study [J]. *Int J Pharm*, 2015, 484(1/2): 85-94.
- [9] 国家药典委员会.中华人民共和国药典:二部[S]. 2015年版.北京:中国医药科技出版社, 2015: 544.
- [10] 胡霓霓,谭群友,张犁,等.美斯地浓磷脂复合物大鼠体内药代动力学研究[J]. *四川大学学报(医学版)*, 2012, 43(6): 873-876.
- [11] 刘嘉,李俊松,狄留庆,等.丹酚酸B及其磷脂复合物在SD大鼠的生物利用度研究[J]. *中国药学杂志*, 2010, 45(18): 1408-1411.
- [12] 施兵奇,刘增娟,杨秀岭,等.丁苯酚对阿司匹林在大鼠体内药动学的影响[J]. *中国药房*, 2015, 26(28): 3944-3946.
- [13] Guo B, Liu H, Li Y, et al. Application of phospholipid complex technique to improve the dissolution and pharmacokinetic of probucol by solvent-evaporation and co-grinding methods[J]. *Int J Pharm*, 2014, 474(1/2): 50-56.
- [14] Zhang K, Gu L, ChenmJ, et al. Preparation and evaluation of kaempferol-phospholipid complex for pharmacokinetics and bioavailability in SD rats[J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2015, 114: 168-175.

△基金项目:山东省医药卫生科技发展计划项目(No.2014WS0507)

*副教授。研究方向:中药新药与质量标准。电话:0633-2983695。

E-mail: pilipili@163.com

#通信作者:副教授。研究方向:药用植物资源与活性成分。电话:0633-2983695。E-mail: anansen@163.com

(收稿日期:2017-06-09 修回日期:2017-09-10)

(编辑:刘明伟)

lyx Briq., *Mentha spicata* Linn., *Monarda didyma* L., *Mentha rotundifolia* (Linn.) huds]. Growth indexes (survival rate, plant height, fresh weight and dry weight) were determined, and mint species with good resistance were screened. The effect mechanism of La^{3+} on growth indexes in saline-alkali stress with different concentrations, osmotic regulation indexes [soluble sugar (SS), soluble protein (SP), proline (Pro)], antioxidant activity indexes [superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT)], the yield of volatile oil, and resistance were determined. RESULTS: After saline-alkali stress, *M. didyma* and *M. rotundifolia* had low survival rate, which were not suitable for growth under given climatic conditions. For *M. haplocalyx* and *M. spicata*, saline-alkali stress with low concentration can significantly increase the growth indexes under no artificial intervention. La^{3+} can significantly increase the yield and CAT activity under no stress. Compared with non-spraying La^{3+} group, the SOD, CAT, POD activities of mint added La^{3+} under saline stress with low, medium, high concentrations, plant height and fresh weight under alkali stress with high concentration, SOD activity and SS content under alkali stress with medium, high concentrations, and POD activity under alkali stress with medium concentration were significantly increased. CONCLUSIONS: Spraying La^{3+} can significantly improve the growth of *M. haplocalyx* and *M. spicata* under alkalinized soil with medium, high concentrations. *Mentha haplocalyx* Briq. is selected as the mint species with the best saline-alkali resistance.

KEYWORDS Mint; Saline stress; Alkali stress; Growth index; Osmotic regulation index; Antioxidant activity index; LaCl_3

薄荷是唇形科(Labiatae)薄荷属多年生宿根性草本植物薄荷的全草,主含挥发油^[1],具有疏风散热、利咽透疹、清利头目、疏肝行气等功效,被广泛地应用于日化、食品、中西药、烟草等多个行业。薄荷可被扦插繁殖,耐寒性和耐盐性较强,适合种植于疏松肥沃、排水良好的沙质土壤中,道地产区为江苏太仓。薄荷有一定的耐盐性,但耐碱性很差;而我国的多数盐土都含碱,目前全国有 6.7×10^6 公顷的次生盐碱地和 1.7×10^7 公顷的潜在盐碱土^[2]。薄荷在2015年版《中国药典》(一部)中作为药用的只有*Mentha haplocalyx* Briq.一种,但医药原料薄荷油却可在薄荷近缘种如留兰香薄荷(*Mentha spicata* Linn.)、美国薄荷(*Monarda didyma* L.)、圆叶薄荷[*Mentha rotundifolia* (Linn.) huds]等物种中进行提取,以上均为世界薄荷油产区的常见种。目前在碱化土壤中种植薄荷的研究性文献尚未见报道。因此,本研究在碱土中筛选适合我国气候的薄荷品种以及优化栽培条件,具有实际生产意义。

低浓度稀土元素具有类似于超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)的抗氧化作用,使植物的产量增加,但过高浓度稀土元素会对植物产生类似重金属样的毒害。镧离子(La^{3+})是一种轻稀土元素,来源较广,对植物毒害作用较小,低浓度下具有显著增强多种作物抗逆性的效果^[3]。研究发现,氯化镧(LaCl_3)可使牧草叶片中的SOD、过氧化氢酶(CAT)、POD等抗氧化保护酶的活性明显增强,从而降低活性氧对植物造成的过氧化伤害,提高植物细胞膜的稳定性,降低叶片电解质的渗透率,加强叶片光合作用并提高植物产量^[3]。笔者选取 LaCl_3 作为稀土肥,通过对不同浓度盐、碱胁迫下不同种薄荷的生长指标及抗逆性生理指标进行测定,研究 LaCl_3 对不同种薄荷在不同胁迫条件下进行人为干预的抗逆性变化规律。

1 材料

1.1 仪器

UV-2450 紫外分光光度计(日本岛津公司); TDL-

80-2B 台式离心机(上海安亭科学仪器厂); DLPNT3000 土壤盐碱度(活度)检测仪(德国 Steps 公司); CP224C 电子分析天平(美国奥豪斯公司); pH-3C pH 计(上海康仪仪器有限公司)。

1.2 药材 药品与试剂

薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)、留兰香薄荷(*Mentha spicata* Linn.)、美国薄荷(*Monarda didyma* L.)、圆叶薄荷[*Mentha rotundifolia* (Linn.) huds]的幼苗均由江苏省中国科学院植物研究所徐增莱研究员提供,经济宁医学院药学院王建安副教授鉴定为真品; LaCl_3 (上海青析化工科技有限公司,批号:070228,纯度:99%);L-甲硫氨酸(上海惠兴生化试剂有限公司,批号:131218,纯度:99%);核黄素(国药集团化学试剂有限公司,批号:F20080123,纯度:97.5%);其余试剂均为分析纯。

2 方法

2.1 盐、碱胁迫下4种薄荷的生长指标测定

选取若干株长势相同的薄荷,通过扦插法植于放有石英沙作为基质的培养瓶中,每种薄荷种植7组,分组见表1。用含大量元素的Hoagland营养液培养薄荷,培育至生根约长6 cm后,移栽至小塑料花盆中(上口直径14 cm、高10 cm,具底盘)。基础土壤选取沙质土(土壤的养分含量测定为有机质11 g/kg、全氮0.89 g/kg、有效磷14 mg/kg、速效钾109 mg/kg,土壤肥力较低)。

表1 盐、碱胁迫条件及分组

Tab 1 Conditions and grouping of saline-alkali stress

项目	对照组盐、碱浓度, mmol/L		NaCl(盐)浓度, mmol/L			NaHCO ₃ (碱)浓度, mmol/L		
	0	0	25	50	100	25	50	100
含盐量, %	0.14	0.14	0.22	0.34	0.54			
碱化度, %	4.0	4.0				5.20	6.50	8.20
pH	6.5	6.5				7.79	7.97	8.27

缓苗期除正常浇水外,每隔4 d浇灌1次100 mL含大量元素的Hoagland营养液。待叶片长至10片时,分别采用低、中、高浓度的NaCl、NaHCO₃和蒸馏水20 mL,每隔5 d浇灌1次。使用土壤盐碱度检测仪及pH计测定

土壤的平均盐碱度,使土壤变化维持在表1中含盐量的 $\pm 10\%$ 、pH的 ± 0.1 ,同时测定相同浓度下储备土壤的碱化度。在 $(18 \pm 4)^\circ\text{C}$ 温室内于4~5月份(自然条件,光暗周期约为13~14 h/11~10 h)培养20 d。测定各组幼苗的存活率,之后每组随机选取10株幼苗,测定生长指标(存活率、株高、鲜质量、干质量)。结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示,用Excel进行统计绘图,用SPSS 19.0软件进行统计分析,采用Duncan法进行两组样本间差异显著性分析, $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

分组依据参考预试验结果:盐、碱浓度 $> 100 \text{ mmol/L}$ 时,薄荷死亡率过高,使后续试验无法进行。因此设计了25、50、100 mmol/L(低、中、高浓度)3个梯度,并以0 mmol/L盐、碱浓度作为对照组,详见表1。

2.2 LaCl_3 对盐、碱胁迫下薄荷抗逆性的影响

按照“2.1”项下土壤及培养条件进行,分为不加 La^{3+} 组和加 La^{3+} 组,后者额外叶面喷施250 mg/L的 LaCl_3 ,每隔10 d喷施1次,共喷施2次。各组均采用表1中的NaCl和 NaHCO_3 浓度进行盐、碱胁迫,每隔5 d喷施1次,共3次。每组选10株薄荷测定生长指标、渗透调节指标[可溶性糖(SS)、可溶性蛋白(SP)、脯氨酸(Pro)]、抗氧化生理指标(SOD、POD、CAT)和挥发油得率。其中,SS含量测定采用蒽酮比色法^[4];Pro含量测定采用茚基水杨酸法^[5];SP含量测定采用考马斯亮蓝法^[6];SOD活性测定采用氮蓝四唑法^[7];POD活性测定采用愈创木酚法^[8];CAT活性测定采用紫外吸收法^[9];挥发油得率测定采用2015年版《中国药典》(四部)通则2204项的“挥发油测定法”进行。按“2.1”项下统计学方法进行统计,加 La^{3+} 组与不加 La^{3+} 组进行组间比较。

3 结果

3.1 盐、碱胁迫对4种薄荷生长指标的影响结果

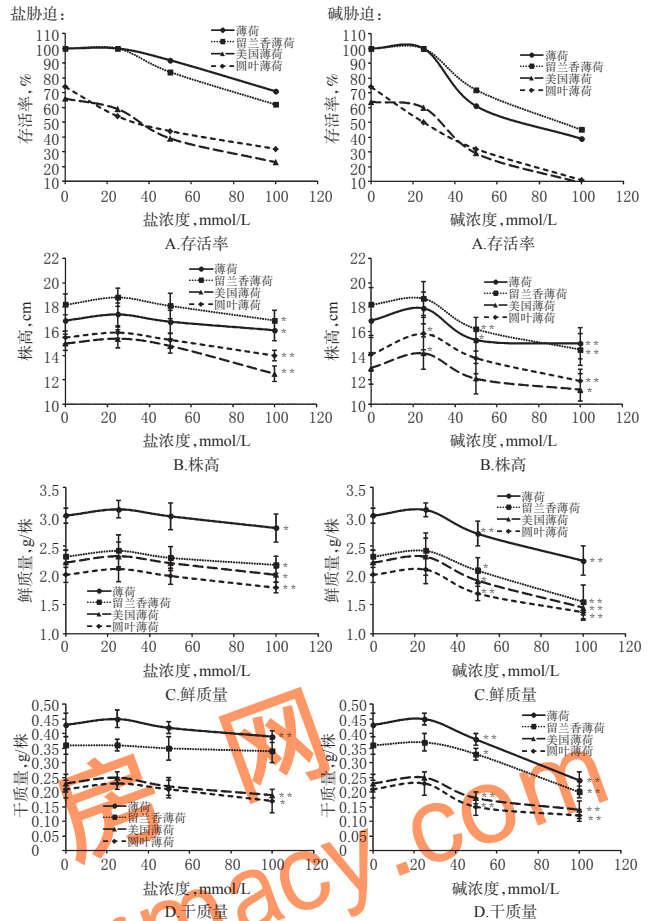
盐、碱胁迫对4种薄荷生长指标的影响见图1。

由图1可知,美国薄荷、圆叶薄荷的长势较差、存活率低,说明这2种薄荷并不适合在给定的气候条件下生长。为了得到更稳定的试验结果,后续试验选取薄荷、留兰香薄荷进行研究。由各项生长指标的变化印证了薄荷本身耐盐性较强但耐碱性较差的生长特性,如4种薄荷在碱胁迫下,均较盐胁迫下存活率和鲜质量有下降的趋势。因此,需要对如何提高薄荷的耐碱性进行探讨。

3.2 LaCl_3 对盐、碱胁迫下薄荷各项指标的影响结果

LaCl_3 对盐、碱胁迫下薄荷生长指标的影响见图2,对盐、碱胁迫下薄荷渗透调节指标的影响见图3,对盐、碱胁迫下薄荷抗氧化活性指标的影响见图4。

由图2可知,与不喷施 La^{3+} 组比较,在无胁迫下(0 mmol/L),喷施 La^{3+} 组薄荷的株高和鲜质量显著提高($P < 0.01$),但 LaCl_3 对留兰香薄荷影响不明显($P > 0.05$);在盐胁迫下,喷施 La^{3+} 对薄荷、留兰香薄荷的生长指标的



注:与对照组比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$

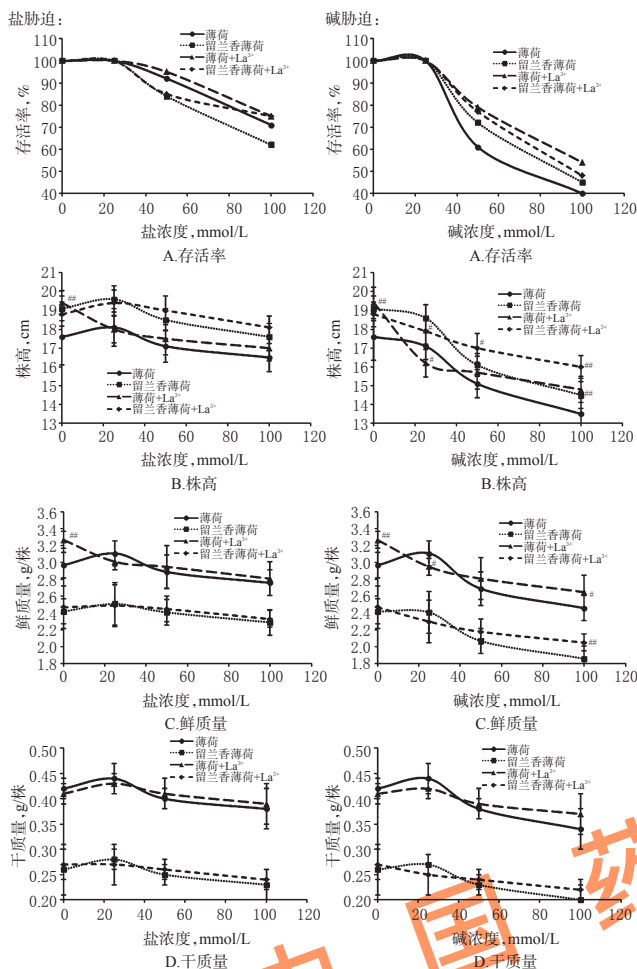
Note: vs. control group, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

图1 盐、碱胁迫对4种薄荷生长指标的影响

Fig 1 Effects of saline-alkali stress on growth indexes of 4 kinds of mint

影响差异均无统计学意义($P > 0.05$);在碱胁迫下,喷施 La^{3+} 对中浓度组(50 mmol/L NaHCO_3)留兰香薄荷的株高以及高浓度组(100 mmol/L NaHCO_3)薄荷及留兰香薄荷的鲜质量有显著提高($P < 0.05$),说明 La^{3+} 可有效地提高中、高浓度碱胁迫下植株的抗逆性。但在低浓度(25 mmol/L NaHCO_3)下,喷施 La^{3+} 组的薄荷的部分生长指标反而低于不喷施 La^{3+} 组,分析可能是因为低浓度碱胁迫刺激薄荷本身产生较强的抗逆性,而 La^{3+} 有一定毒害作用所致。

由图3可知,在渗透调节指标方面,在无人工干预的条件下,薄荷自身产生大量的SS,并使SP少量分解,产生Pro以对抗盐碱,但在低浓度盐、碱胁迫下基本达到最大值。与不喷施 La^{3+} 组比较,喷施 La^{3+} 组的薄荷中SS及Pro含量均有不同程度的升高。其中SS含量在碱胁迫下的高浓度组与不喷施 La^{3+} 组间差异有统计学意义($P < 0.01$),为渗透调节的主因,而Pro含量则差异无统计学意义($P > 0.05$)。在盐胁迫下,喷施 La^{3+} 组的渗透调节指标与不喷施 La^{3+} 组比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。



注:与不加La³⁺组比较, **P*<0.05, ***P*<0.01
 Note: vs. non-spraying La³⁺ group, **P*<0.05, ***P*<0.01

图2 LaCl₃对盐、碱胁迫下薄荷生长指标的影响

Fig 2 Effects of LaCl₃ on growth indexes of mint under saline-alkali stress

由图4可知,在抗氧化活性指标方面,各组表现较为复杂。与不喷施La³⁺组比较,在无胁迫下(0 mmol/L),喷施La³⁺组薄荷、留兰香薄荷的CAT活性显著增加(*P*<0.01);在盐胁迫下,喷施La³⁺组薄荷、留兰香薄荷的SOD、POD、CAT活性显著增加(*P*<0.01);薄荷在低、中浓度碱胁迫下的SOD、POD活性及高浓度碱胁迫下的SOD、CAT活性,以及留兰香薄荷在中浓度碱胁迫下的SOD、POD、CAT活性和高浓度碱胁迫下的SOD、POD活性显著增加(*P*<0.01)。

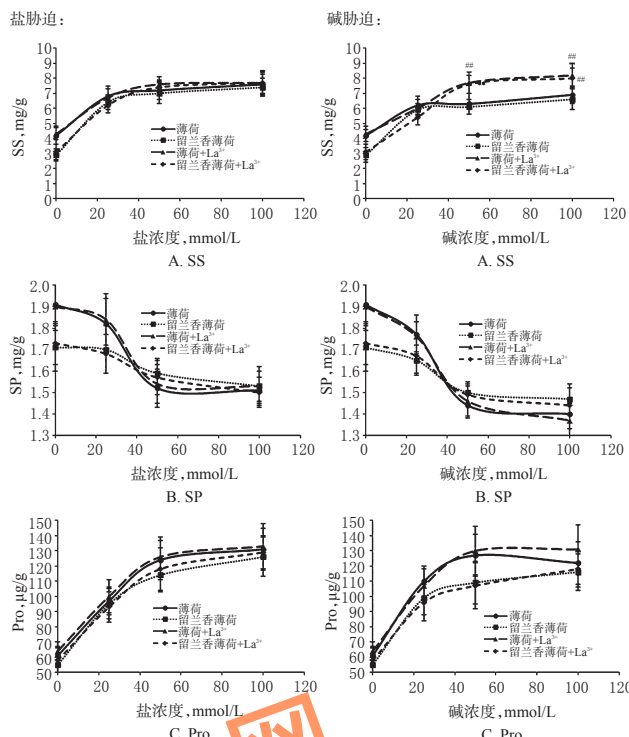
3.3 LaCl₃对盐、碱胁迫下薄荷挥发油得率的影响结果

盐、碱胁迫下喷施La³⁺后薄荷挥发油的平均得率测定结果见表2。

由表2可知,喷施La³⁺组与不喷施La³⁺组在挥发油得率上差异较小。但前述试验结果表明,在碱化土壤中喷施La³⁺的薄荷存活率提高约10%,叶片鲜质量提升5%~10%,说明LaCl₃仍可提升薄荷挥发油产量。

4 讨论

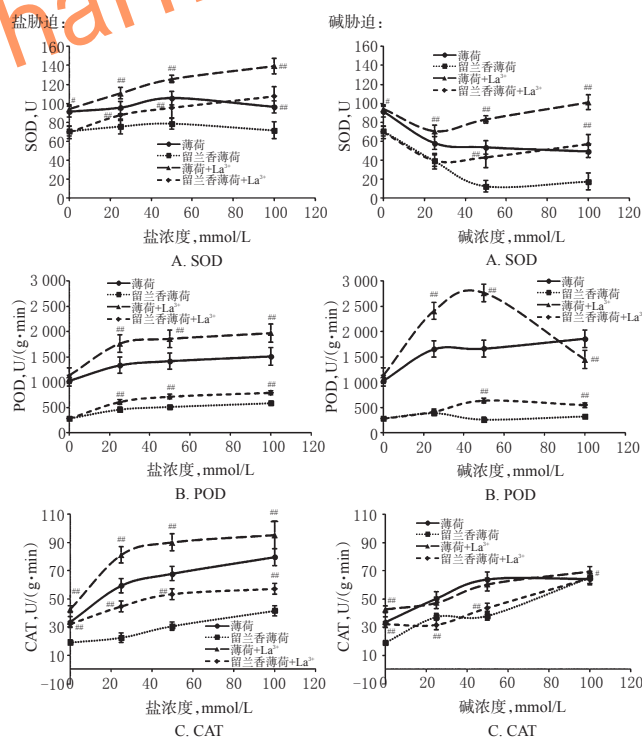
在盐、碱条件下,植物一般可通过渗透调节(如Pro、



注:与不加La³⁺组比较, ***P*<0.01

Note: vs. non-spraying La³⁺ group, ***P*<0.01

图3 LaCl₃对盐、碱胁迫下薄荷渗透调节指标的影响
 Fig 3 Effects of LaCl₃ on osmotic regulation indexes of mint under saline-alkali stress



注:与不加La³⁺组比较, **P*<0.05, ***P*<0.01

Note: vs. non-spraying La³⁺ group, **P*<0.05, ***P*<0.01

图4 LaCl₃对盐、碱胁迫下薄荷抗氧化活性指标的影响
 Fig 4 Effects of LaCl₃ on antioxidant activity indexes of mint under saline-alkali stress

表2 盐、碱胁迫下喷施La³⁺后薄荷挥发油的平均得率(%)

Tab 2 Average yield of volatile oil after spraying La³⁺ under saline-alkali stress (%)

项目	对照组盐、碱浓度, mmol/L		NaCl(盐)浓度, mmol/L			NaHCO ₃ (碱)浓度, mmol/L		
	0	0	25	50	100	25	50	100
薄荷	0.99	0.99	1.01	0.99	0.96	0.99	0.95	0.91
留兰香薄荷	0.98	0.98	0.99	0.99	0.97	0.97	0.96	0.93
薄荷+La ³⁺	0.99	0.99	1.00	1.00	0.97	0.99	0.95	0.93
留兰香薄荷+La ³⁺	0.97	0.97	1.00	0.99	0.97	0.98	0.96	0.93

SS等含量的改变^[10]、抗氧化能力的提升(如抗氧化酶SOD、POD、CAT等^[11])、营养元素平衡、改变代谢类型、维护膜的完整性等方法来减轻伤害^[12],其中前2种是多数耐盐碱植物的抗性机制。SOD活性越高,植物自身清除氧自由基能力越强;POD活性越高,植物木化程度越高,其适应性及老化程度越高;CAT活性越高,使过氧化氢歧化物分解的能力越强;SS有渗透调节、作为能量库、稳定细胞膜等作用,其含量越高,植物抗逆性越强^[13]。在盐、碱土中,薄荷通过增加渗透调节剂(如SS)以保持抗渗透胁迫能力,并改变SOD、POD、CAT等抗氧化酶的活性以清除活性氧,从而减少盐碱伤害。

在无人工干预的条件下,低浓度(25 mmol/L)盐、碱胁迫使薄荷的株高、干质量及鲜质量均有小幅的提升,说明低浓度盐、碱可以刺激薄荷植株生长,也印证了薄荷本身具有一定的耐盐、耐碱性,起主要作用的物质为渗透调节物质SS、Pro以及抗氧化酶POD。

在无胁迫条件下,喷施La³⁺可显著地提升薄荷的产量,起主要作用的抗氧化酶为CAT,但对留兰香薄荷作用不明显。在盐胁迫条件下,喷施La³⁺对生长指标无显著影响,只有提高中、高浓度盐胁迫下的薄荷及留兰香薄荷产量的趋势,在低浓度的盐胁迫下作用不明显,说明薄荷本身耐盐性较好。尽管La³⁺可促进抗氧化酶SOD、POD和CAT的增加,但总体来看,喷施La³⁺影响并不显著。在碱胁迫条件下,喷施La³⁺对生长指标表现出两面性:低浓度(25 mmol/L NaHCO₃)下减少薄荷的产量,中、高浓度(50、100 mmol/L NaHCO₃)下则显著提高产量。在渗透调节物质方面,可明显地提高中、高浓度下SS的含量;在抗氧化酶方面,在低浓度NaHCO₃下SOD和POD的含量提高,但CAT反而低于不喷施La³⁺组。这说明在碱胁迫下,低浓度以CAT,中浓度以SS、SOD和POD,高浓度以SS、SOD为起关键作用的抗逆性物质。

在挥发油得率测定试验中,若按照每株薄荷进行测定,则挥发油获得量极少,误差非常大。因此,采用的是测定总量法,即在完成所有指标试验之后,摘取盆中剩余全部叶片进行提取,测平均得率,但缺少标准差。

本研究为薄荷的种植及其他开发适合盐、碱地种植的中药品种提供了理论和试验依据:薄荷对盐、碱的胁迫具有不同程度的耐性。在无人工干预的情况下,可耐受相当于25 mmol/L NaHCO₃(pH≈7.8)的碱化土壤或100 mmol/L NaCl(含盐量≈0.54%)的盐化土壤。在喷施La³⁺后可显著改善中、高浓度碱化土壤(pH>8.0)下的薄荷生长状况。因此,在推广种植时,可以考虑选择低盐、低碱度的土壤种植薄荷;如果本地土壤碱化度较高,则应考虑叶面喷施LaCl₃稀土肥。在4种薄荷种的选择上,在我国种植薄荷的主产区[暖温带-北亚热带区域,(18±4)℃,光暗周期13~14 h/11~10 h]应以薄荷(*Mentha haplocalyx* Briq.)为最优。

参考文献

- [1] 钟赣生. 中药学[M]. 9版. 北京: 中国中医药出版社, 2012: 75-76.
- [2] 马鸿翔, 张大栋. 沿海滩涂发展能源植物的潜力分析[J]. 中国农学通报, 2006, 22(12): 445-449.
- [3] 赵文静, 郭伟, 赵仁鑫, 等. 稀土元素对土壤-植物系统中重金属行为的影响及其机理研究进展[J]. 土壤通报, 2014, 45(2): 508-512.
- [4] 李晓旭, 李家政. 优化蒽酮比色法测定甜玉米中可溶性糖的含量[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(4): 24-27.
- [5] 史玉炜, 王燕凌, 李文兵, 等. 水分胁迫对刚毛怪柳可溶性蛋白、可溶性糖和脯氨酸含量变化的影响[J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(2): 5-8.
- [6] 邓丽莉, 潘晓倩, 生吉萍, 等. 考马斯亮蓝法测定苹果组织微量可溶性蛋白含量的条件优化[J]. 食品科学, 2012, 33(24): 185-189.
- [7] 自俊青, 邓希贤, 金虬, 等. 氮蓝四唑光照法实验操作的改进及效果[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1998, 34(1): 101-104.
- [8] 陶萌春, 赖钟雄, 潘良镇. 中国水仙花芽分化期POD活性的变化[J]. 福建农业大学学报, 1998, 27(3): 312-315.
- [9] 谷建田, 范双喜, 宋学锋, 等. 番茄种子衰老过程中过氧化氢酶(CAT)活性变化[J]. 华北农学报, 1998, 13(2): 112-116.
- [10] 林栖凤, 李冠一. 植物耐盐性研究进展[J]. 生物工程进展, 2000, 20(2): 20-25.
- [11] 韩燕燕, 鲁艳, 吕光辉. 植物耐盐的生理机制及基因工程新进展[J]. 生物技术通报, 2007(4): 10-14.
- [12] 黄璐琦, 王康才. 药用植物生理生态学[M]. 9版. 北京: 中国中医药出版社, 2012: 290-291.
- [13] 付英杰, 曲晓欢, 李艳芝, 等. 盐碱胁迫下玄参幼苗的抗性生理响应研究[J]. 中国药房, 2015, 26(22): 3165-3168.

(收稿日期: 2016-12-01 修回日期: 2017-03-06)

(编辑: 余庆华)