

两株内生真菌对菊花抗盐特性的影响

刘晓珍¹, 宋文玲¹, 蔡信之², 戴传超^{1*}

1. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210046

2. 盐城师范学院, 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室, 江苏 盐城 224002

摘要: 目的 用 NaCl 模拟盐胁迫, 研究接种内生真菌对菊花抗盐特性的影响。方法 采用盆栽试验, 以与内生真菌葡萄孢 (C1 菌株)、球毛壳菌 (C4 菌株) 共生培养的菊花为材料, 研究不同浓度盐胁迫对不同处理组菊花生理指标的影响。结果 各处理组菊花根叶的含水量随着盐胁迫的加重而降低, 接菌处理组的根叶含水量减失程度比对照组小。各处理组 SOD 酶活力、可溶性蛋白量均随 NaCl 浓度提高而增加, 20 g/L NaCl 时均达到最大值, 接菌处理组 SOD 酶活力、可溶性蛋白量高于对照组, C4 组高于 C1 组。POD 酶活力均先升高后降低, 15 g/L NaCl 时各处理组 POD 酶活力达到最大值, C4、C1 组 POD 酶活力分别比对照组高 25.50%、1.35%。15 g/L NaCl 处理时, C4 组 PAL 活力约是对照组的 7 倍。结论 内生真菌增加了菊花的抗盐能力, C4 组效果好于 C1 组。

关键词: 内生真菌; 菊花; 盐胁迫; 抗盐特性; 酶; 葡萄孢; 球毛壳菌

中图分类号: R282.1 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2011)01-0158-06

Effect of two kinds of endophytic fungi on salt resistance of *Chrysanthemum morifolium*

LIU Xiao-zhen¹, SONG Wen-ling¹, CAI Xin-zhi², DAI Chuan-chao¹

1. College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Low Beach Biology Resources & Environment Protection, Yancheng Normal College, Yancheng 224002, China

Abstract: **Objective** The NaCl stress conditions were simulated to study the effect of the endophytic fungi C1, C4 on antisalt characteristic of *Chrysanthemum morifolium* in the adverse circumstance. **Methods** Endophytic *Botrytis* sp. (C1) and *Chaetomium globosum* (C4) were inoculated to the *C. morifolium* plantlets which were planted in the pots in order to research the effects of salt stress on physiological indicators of *C. morifolium*. **Results** With the increase of NaCl concentration, the water content of root and leaf decreased in every group. The loss of root and leaf's water in fungi-treated group was smaller than that in the control group. SOD activities in every group increased with the increase of NaCl concentration, and achieved the peak value at 20 g/L NaCl. The SOD activity in fungi-treated group was higher than that in the control group. Soluble protein of fungi-treated group was higher than that in the control group, and C4 group surpassed C1 group. POD activity increased firstly and then decreased, and compared to the control group, the POD activities in C4 and C1 groups increased by 25.50% and 1.35%, respectively at 15 g/L NaCl. PAL activity of C4 treated group was seven folds compared to the control group at 15 g/L NaCl. **Conclusion** Endophytic fungi could enhance the salt-tolerant ability of *C. morifolium*, and the effect in C4 group was better than C1 group.

Key words: endophytic fungi; *Chrysanthemum morifolium* Ramat.; salt stress; salt resistance; enzyme; *Botrytis* sp.; *Chaetomium globosum* Kunze ex Fr.

菊花 *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 为多年生、药食同源的草本植物, 干燥后入药, 气清香, 味甘、微苦^[1]。盐城地区是我国药用菊花的主要产

地, 有广阔的滩涂资源可以利用, 但盐城市地处海边, 土壤盐分较高、保水保肥性能差^[2], 且由于长期在同一地区种植菊花, 导致土壤基础肥力较低,

收稿日期: 2010-04-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30770073); 江苏省滩涂生物资源与环境保护重点实验室开放项目 (JLCBE07005)

作者简介: 刘晓珍 (1986—), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 从事微生物生态学研究。Tel: 13913037519 E-mail: ycsyymx@163.com

*通讯作者 戴传超 Tel: (025)85891382 E-mail: daichuanhao@njnu.edu.cn

养分不平衡^[3]。近年,菊花在生长过程中表现出病虫害加剧、产量和品质下降的现象。因此在海边种植菊花面临如何增加抗盐能力的问题^[4]。内生真菌可以增强宿主植物对生物胁迫和非生物胁迫的抗性^[5],包括干旱、高温、矿物质失调和高盐的耐受性,从而使内生真菌感染的植株比未感染植株对有限的资源更具竞争力。利用内生真菌提高菊花等药用植物耐盐方面的研究尚未见报道。

前期研究发现^[6],药用植物接种内生真菌后能够提高药材的品质,并增加药材的产量。本实验以与两株有益内生真菌共培养的菊花为材料,NaCl模拟盐胁迫研究内生真菌对菊花抗盐能力的影响,以期盐城地区进一步发展以菊花为代表的药用植物栽培提供技术支持。

1 材料

多年生黄菊 *Chrysanthemum morifolium* Ramat. 引自江苏省射阳县洋马百药园,经过人工组织培养脱毒苗,2008年4月接种内生真菌后炼苗,于2008年5月移栽至本实验室外。

两株内生真菌均为本实验室从菊花中分离出的,编号为C1、C4,经鉴定分别为葡萄孢属 *Botrytis* sp. 真菌和毛壳菌属球毛壳菌 *Chaetomium globosum* Kunze ex Fr.

2 方法

2.1 组培苗繁殖及接种

参照宋文玲等^[6]组培苗培养方法,组培苗转接培养60 d,将经马铃薯葡萄糖培养基(PDA)活化培养7 d的2种内生真菌分别用打孔器(直径9 mm)在菌落表面打取平板菌片,用接种针将菌片接种于距菊花苗0.3 cm的培养基上,每瓶接种1片,与菊花共生培养,对照不接菌。采用完全随机实验设计,每种处理重复50瓶。

所有处理组均于接菌3周后开始炼苗,在室温条件下打开三角瓶封口膜,加湿器喷无菌水保湿6~7 d后,将组培苗从三角瓶中取出,洗净根部的培养基后移栽至草炭-蛭石-珍珠岩(1:1:1)的基质中,适时喷水,室内培养3周后,将炼苗成活的菊花移入室外装有土壤的大花盆中,定期为其浇水、除草。

2.2 内生真菌的重分离

取出接菌培养3周的菊花组培苗,消毒后剪成0.5 cm×0.5 cm组织块,平放于PDA平板中,置恒温培养箱28℃培养。检测组织边缘处是否能长出

菌落,并观察与C1、C4菌纯培养菌落的相似性。

2.3 胁迫处理

用NaCl模拟盐胁迫,在菊花浇水48 h之后胁迫处理:分别用0、5、10、15、20 g/L NaCl 500 mL处理炼苗90 d的菊花,分为接种内生真菌C1组,接种内生真菌C4组,对照(ck)组不接菌。胁迫4 d后,将植株从盆中取出,洗净,吸干水分后随机取样测定各项指标。每个处理重复3次。

2.4 各种生长生理指标的测定

2.4.1 含水量测定 将各处理组菊花根、叶用蒸馏水冲洗干净,吸水纸吸干水分后,称鲜质量,75℃烘干至恒定质量,再分别称量。

2.4.2 生理生化指标测定 取新鲜菊花叶片及根,测定各生理指标,每个实验设3个重复。超氧化物歧化酶(SOD)活力测定用氮蓝四唑法^[7],过氧化物酶(POD)活力测定用愈创木酚氧化法^[7],丙二醛(MDA)测定用硫代巴比妥酸(TBA)法^[7],根系活力测定用TTC法^[7],苯丙氨酸解氨酶(PAL)活力测定用紫外分光光度法^[8],可溶性蛋白测定用分光光度法^[9]。

所有数据使用统计软件SPSS V13.0进行处理和方差分析。实验结果用 $\bar{x} \pm s$ 表示。用Excel软件计算标准差并绘制相关图形。

3 结果与分析

3.1 内生真菌的重分离

由图1可知,接菌3周的菊花组培苗经表面消毒,在PDA培养基中28℃培养4 d后,组织块边缘有单菌落出现。将单菌落接种至新的PDA平板中纯培养后,发现菌落的特征、菌丝形态、菌落颜色分别和纯培养的C1、C4菌均一致;且接种内生真菌的菊花无任何病害现象。

3.2 对生长情况的影响

在盐胁迫之后,菊花内生真菌处理组根与对照组进行形态比较(图2),C4菌处理组菊花根生长较好,受胁迫影响较小。叶片失水率反映了叶片的保水能力,通常认为其是抗盐性鉴定的较好指标。随着盐胁迫强度的增加,菊花根和叶含水量随之降低(表1),并发现与对照组相比,接菌处理组的含水量减小程度相对较小。

3.3 对抗氧化酶活力影响

C1接菌组和对照组SOD酶活力均随着NaCl浓度的增加不断增加;C4接菌组SOD酶活力则先减小后增加(表2)。20 g/L NaCl处理时,所有处理

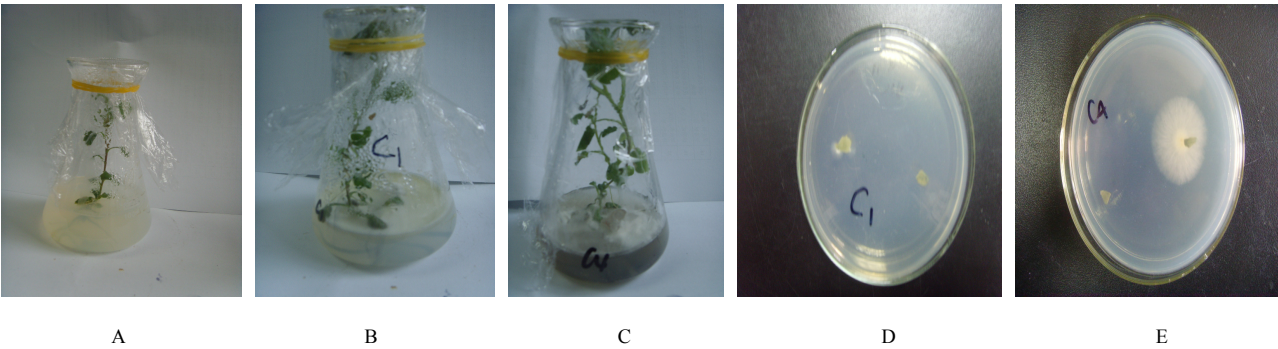


图 1 内生真菌 C1、C4 菌接入 MS 生根培养基 3 周的生长状况及 C1、C4 菌的重分离
A-菊花组培苗, B-C1 菌接至 MS 培养基 3 周后生长情况, C-C4 菌接至 MS 培养基 3 周后生长情况, D-重分离 C1 菌, E-重分离 C4 菌
A- tissue rapid propagation of *C. morifolium*, B- 3 weeks after C1 inoculated into MS medium, C- 3 weeks after C4 inoculated into MS medium, D- fungi colony of C1, E- fungi colony of C4

图 1 内生真菌 C1、C4 菌接入 MS 生根培养基 3 周的生长状况及 C1、C4 菌的重分离
Fig. 1 Growing status of endophytic fungi (C1 and C4) inoculated into MS rooting media for three weeks and endophytic fungi colony

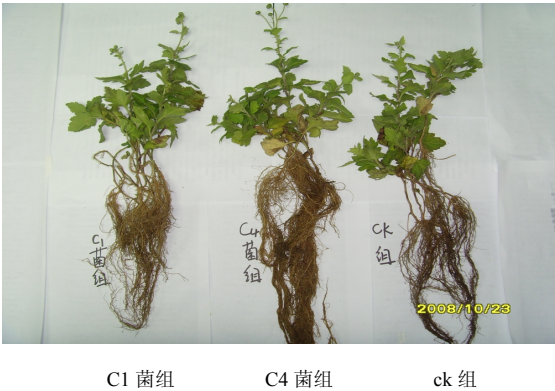


图 2 盐胁迫后不同处理菊花根的生长情况
Fig. 2 Growing status under various treatments of *C. morifolium* root after NaCl stress

组 SOD 酶活力均达到最大值, 且接菌组 SOD 酶活力均高于对照组, C4 组 SOD 酶活力高于 C1 组。

随着 NaCl 浓度的增加, 所有处理组 POD 酶活力均先升高, 15 g/L NaCl 时均达到最大值, 随后下降(表 2)。不同质量浓度 NaCl 处理时, 接菌组 POD

酶活力始终比对照组高。在 15 g/L NaCl 处理时, C4、C1 组 POD 酶活力比对照组分别高 25.50%、1.35%。

3.4 对 MDA 量的影响

不同浓度盐胁迫下, 各处理组菊花叶片的 MDA 量均发生了一定的变化(表 3)。接菌组 MDA 量随着 NaCl 质量浓度的提高而呈增加趋势, 且均在 20 g/L NaCl 时达到最大值, 对照组在 10 g/L NaCl 时达到最大值, 但 ck 组最大值高于接菌处理组。

3.5 对 PAL 酶活力的影响

C4 接菌组菊花 PAL 酶活力随着 NaCl 质量浓度的变化, 其变化程度较大(表 4)。在 0、5、10、15 g/L NaCl 下, C4 组菊花 PAL 酶活力高于 C1 组和 ck 组, 在 15 g/L NaCl 胁迫时, PAL 酶活力最高, 大约是对照组的 7 倍, C1 与对照组差异较小。

3.6 对根系活力大小的影响

对不同浓度 NaCl 胁迫下菊花根系活力的测定(表 5), 结果表明, 接菌组在 0、5 g/L NaCl 胁迫的根系活力下, 与对照组的差别较小, 在 10、15 g/L

表 1 不同处理对菊花叶及根含水量的影响($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Effect of various NaCl treatments on water content of *C. morifolium* leaves and roots ($\bar{x} \pm s$)

NaCl/(g·L ⁻¹)	叶含水量/%			根含水量/%		
	C4	C1	ck	C4	C1	ck
0	84.75±0.75 a	80.41±1.99 a	79.17±0.29 a	71.77±6.87 a	67.79±5.66 a	69.42±1.27 a
5	78.87±1.52 b	77.30±1.87 b	74.81±1.47 b	67.16±1.07 b	65.23±1.30 ab	68.21±1.71 a
10	74.70±0.60 c	72.00±0.92 b	70.55±2.14 b	64.42±1.01 b	64.66±0.64 ab	63.45±1.31 b
15	74.68±0.42 c	77.00±2.50 b	73.43±1.45 b	64.16±1.30 b	64.46±0.71 ab	62.48±2.24 b
20	73.08±0.64 c	74.98±2.04 c	74.64±1.78 c	63.73±0.94 b	62.34±1.80 b	61.30±1.34 b

表中同一列数值后缀不同字母表示差异显著 ($P<0.05$), 同行标有相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)
Values suffixed with different letters meant significant difference at $P<0.05$, same letters in same column showed less difference $P>0.05$

表 2 不同质量浓度 NaCl 处理对菊花 SOD、POD 酶活力的影响

Table 2 Effect of various NaCl treatments with different concentration on SOD and POD activity of *C. morifolium*

NaCl/(g·L ⁻¹)	SOD/(U·g ⁻¹)			POD/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)		
	C4	C1	ck	C4	C1	ck
0	271.88±4.42	249.12±14.89	262.96±10.48	2 375.56±466.68	2 612.50±108.71	2 138.89±274.24
5	267.42±10.88	253.11±10.16	263.00±10.15	3 381.25±110.46	3 058.10±102.88	2 900.20±152.73
10	243.42±12.51	270.20±10.00	264.00±12.53	3 405.20±100.05	3 884.25±100.41	3 290.23±151.79
15	288.28±15.12	274.00±11.14	285.00±12.12	4 956.25±276.91	4 113.54±100.31	4 058.75±107.44
20	322.00±10.26	311.71±11.50	308.28±10.05	3 275.00±108.97	3 997.91±152.53	3 287.50±169.71

表 3 不同质量浓度 NaCl 处理对菊花 MDA 量的影响

Table 3 Effect of various NaCl treatments with different concentration on MDA content of *C. morifolium* leaves

NaCl/(g·L ⁻¹)	MDA/(μmol·g ⁻¹)		
	C4	C1	ck
0	10.60±1.02	12.24±2.35	13.90±1.98
5	12.55±1.05	13.50±1.04	14.40±1.50
10	16.31±1.10	14.35±1.07	16.50±1.04
15	15.64±1.07	14.87±0.54	14.49±1.50
20	16.46±0.75	15.43±1.03	15.79±1.01

表 4 不同质量浓度 NaCl 处理对菊花 PAL 酶活力的影响

Table 4 Effect of various NaCl treatments with different concentration on PAL activity of *C. morifolium*

NaCl/(g·L ⁻¹)	PAL 酶活力/(U·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		
	C4	C1	ck
0	7.57±0.89	2.21±0.42	3.00±0.35
5	11.66±1.02	2.33±0.51	3.55±0.50
10	14.58±1.06	2.68±0.51	4.20±0.53
15	40.83±2.06	2.83±0.54	5.33±0.51
20	4.00±0.36	4.58±0.50	4.33±0.51

NaCl 胁迫下, 接菌处理组根系活力明显低于对照组, 而在 20 g/L NaCl 胁迫下, 接菌组 C4、C1 根系活力均又明显高于对照组, 大约分别达到对照组的 4 和 3 倍。

3.7 对可溶性蛋白量的影响

接菌组与对照组的可溶性蛋白量均随着 NaCl 质量浓度的提高而增加 (表 5), 且在 4 种质量浓度胁迫下, C1、C4 接菌组可溶性蛋白量均高于对照组, C4 接菌组又均高于 C1 接菌组。

4 讨论

植物内生真菌是指那些在其生活史的一定阶段或全部阶段生活于健康植物组织或器官内部, 但其

宿主植物不表现出外在病害症状的真菌^[10]。内生真菌在植物体内是普遍存在的。本研究发现, 将内生真菌 C1、C4 接至菊花组培苗 3 周后, 可分别重分离出单菌落, 并发现菌落的特征、菌丝形态、菌落颜色分别和纯培养的 C1、C4 菌一致; 且接种内生真菌的菊花无任何病害现象, 表明内生真菌 C1、C4 均已分别与菊花组培苗共生。

盐胁迫会造成植物水分状况的变化, 影响其生理功能的正常进行, 因此盐胁迫可直接或间接引起植株一系列代谢功能的变化, 通过这些变化调节植物对环境的适应能力^[11]。本研究发现, 随着盐浓度的增加, 菊花根、叶含水量呈逐渐下降趋势; 接菌组根、叶含水量比对照组高, 内生真菌 C1、C4 能够增加菊花根、叶中的含水量, 缓解因盐过量而导致的植物生理干旱, 增强了菊花在盐环境中的忍耐力。冯固等^[12]在研究 VA 菌根后得到了同样的结果, 他们认为, 菌丝可能通过直接吸收作用, 及改善植物矿质营养状况和内源激素平衡状况的间接作用, 共同影响植物的水分代谢。

植物细胞在正常代谢过程中, 细胞内活性氧的产生和清除处于动态平衡状态。盐胁迫条件下, 植物细胞由于代谢受阻产生大量活性氧如 O₂^{·-}、H₂O₂ 和 ·OH 等, 这些活性氧浓度的升高导致细胞膜脂过氧化加剧, 使活性氧产生与清除之间的动态平衡被破坏, 导致膜系统损伤和细胞伤害^[13-14]。在此过程中植物主动或被动地调动抗氧化酶类 (SOD、POD 等) 来清除这些活性氧和氧自由基, 抵御和减缓细胞伤害^[15]。因此, SOD、POD 酶可作为植物重要的抗逆保护酶。植物体内活性氧增加能启动膜脂过氧化反应, MDA 是膜脂过氧化作用的主要产物之一, 其量愈高, 脂质过氧化作用愈强^[16]。张思平等^[17]研究发现, NaCl 胁迫后黄瓜幼苗 POD 酶活性增加。Ghorbanli 等^[18]发现在盐胁迫下, 菌根植物体

表 5 不同质量浓度 NaCl 处理对菊花根系活力和可溶性蛋白量的影响

Table 5 Effect of various NaCl treatments with different concentration on root vigor and soluble protein of *C. morifolium*

NaCl/(g·L ⁻¹)	根系活力			可溶性蛋白量/(mg·g ⁻¹)		
	C4	C1	ck	C4	C1	ck
0	147.88±20.70	157.91±18.54	150.80±32.71	0.79±0.07	0.72±0.11	0.66±0.09
5	271.39±10.03	290.31±10.00	283.21±10.17	0.83±0.05	0.75±0.05	0.69±0.08
10	137.75±10.08	250.50±10.00	329.31±20.71	0.86±0.05	0.81±0.06	0.71±0.08
15	237.75±15.08	123.81±10.24	330.48±10.00	0.96±0.05	0.85±0.05	0.76±0.05
20	175.63±10.31	148.06±10.06	30.78±2.05	1.20±0.10	0.94±0.05	0.82±0.06

内 SOD 酶和 POD 酶活性比非菌根植物显著提高。本研究中,随着盐浓度的增加,激发了植物的防御系统,各处理组 SOD 酶活力随着盐浓度的增加而增加,均在 20 g/L NaCl 时达到最大值,且接菌组酶活力高于对照, C4 组 SOD 酶活力高于 C1 组;轻度盐胁迫时各处理组 POD 酶活力逐渐增加,当盐浓度超过一定的范围后, POD 酶活力降低,除 C4 组在 20 g/L NaCl 胁迫外,接菌组 POD 酶活力均高于对照组。这可能是由于在高浓度盐胁迫下, C4 组 POD 酶受到了抑制,其还可能引起其他的防御反应。盐胁迫加速了菊花细胞膜的膜脂化,使得膜脂过氧化产物 MDA 增加,影响菊花的细胞膜透性,使其随着盐分胁迫的加重而受到严重破坏,添加内生真菌后可以降低 MDA 在菊花组织体中的积累,即可以减轻膜脂过氧化程度。这些都表明接菌组能够提高菊花的保护酶系统,降低细胞膜的膜脂化,减轻盐胁迫对膜系统的伤害,保持菊花一定的耐盐性。

PAL 是植物次生代谢中 3 个关键酶之一,对植物体内次生物质的形成起重要的调节作用,因此 PAL 活性可以作为植物抗逆境能力的一个生理指标^[19]。本实验结果表明,对照组和 C4 接菌组, PAL 酶活随盐浓度的增加呈现先增加后减少的趋势, C1 处理组 PAL 酶活随盐浓度的增加一直呈上升趋势。这说明在菊花耐受范围内, PAL 活性随着浓度的提高而上升,但是过度的盐胁迫会降低 PAL 活性。PAL 是植物合成黄酮过程中的关键酶,植物体内黄酮水平会随着 PAL 活性的增强或削弱而相应增加或减少^[20],逆境下也不例外^[21]。C4 处理组和对照组相比 PAL 酶活变化较大,且 PAL 值比对照组高很多,笔者推测 C4 菌可以促进菊花次级代谢产物的产生,提高菊花的品质。

植物体内的可溶性蛋白质大多数是参与各种代谢的酶类,其量的多少是了解植物体总代谢水平的

一个重要指标^[22]。本研究中,各处理组随盐胁迫的加重,可溶性蛋白量逐渐增加,且接菌处理组可溶性蛋白量高于对照组, C4 组可溶性蛋白量高于 C1 组。笔者推测可能是盐胁迫下,植物为抵御不良环境而积累较多的可溶性蛋白,而接菌处理组中可溶性蛋白量更高,其中 C4 组可溶性蛋白量最高,说明接菌处理组抵御逆境的能力更强, C4 组抵御能力高于 C1 组。

植物根系是活跃的吸收器官和合成器官,也是盐胁迫的直接感受部位,根系的活力直接影响到地上部分的生长、营养状况和产量^[23]。研究表明,根系活力的高低是植物耐旱避旱的重要因素之一。本研究中菊花根系对盐胁迫有一定的应激能力,在低浓度盐胁迫时,根系能够保持较高的活力,但随着盐浓度的增加,根系受到严重损伤,根系活力下降,杨秀玲^[24]在研究 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生理特性时发现, NaCl 胁迫造成植物根系对 K⁺的选择性运输能力下降,以致根系中有 Na⁺积累的现象,从而对根系产生毒害作用,导致根系活力降低。

本研究发现盐胁迫后,植物根、茎含水量,叶片 SOD、POD、PAL 活力,根系活力,可溶性蛋白量, MDA 量均发生了变化。接种内生真菌的菊花苗能够降低盐胁迫对细胞膜的伤害作用(SOD、POD 活力增加, MDA 量降低),提高根、茎的含水量,提高可溶性蛋白量,增加各种代谢酶活力,提高根系活力,缓解盐害,提高菊花苗的耐盐性,且 C4 菌效果好于 C1 菌。因此,本实验找到了比较合适的能够改善菊花抗盐能力的菌株,对菊花的生产有一定的指导意义,但是还需要进一步的大田试验进行验证。

参考文献

- [1] 孙向珏, 沈汉明, 朱心强. 菊花提取物抗肿瘤作用的研究进展 [J]. 中草药, 2008, 39(1): 148-151.

- [2] 梁珍海, 刘德辉, 卢义山, 等. 泥质海岸防护林对滩涂土壤盐分的影响及机制 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1998, 34(2): 139-143.
- [3] 盛 蒂, 郭亚勤, 王旭东, 等. 七种栽培类型菊花的植物学特征、产量及有效成分比较研究 [J]. 中草药, 2006, 37(6): 914-917.
- [4] 何先元, 郭巧生, 罗庆云, 等. 药用白菊花苗期耐盐性鉴定 [J]. 中国中药杂志, 2003, 28(6): 501-503.
- [5] 钮旭光, 韩 梅, 何随成. 内生真菌对植物抗旱性的影响 [J]. 生物技术, 2006, 16(3): 93-95.
- [6] 宋文玲, 戴传超, 姜宝娟, 等. 促进菊花苗期生长的内生真菌筛选与鉴定研究 [J]. 江苏农业科学, 2009(1): 149-152.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [8] 薛应龙. 植物生理学实验手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985.
- [9] 邹 琦. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [10] Strobel G A. Harnessing endophytes for industrial microbiology [J]. *Curr Opin Microbiol*, 2006, 9(3): 240-244.
- [11] 吴能表, 叶腾丰. NaCl 胁迫对豌豆幼苗生理生化指标的动态影响 [J]. 西南农业大学学报, 2006, 28(1): 41-44.
- [12] 冯 固, 白灯莎, 杨茂秋, 等. 盐胁迫下 AM 真菌对玉米生长及耐盐生理指标的影响 [J]. 作物学报, 2000, 26(6): 743-750.
- [13] Shalata A, Tal M. The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii* [J]. *Physiol Plant*, 1998, 104(2): 169-174.
- [14] Sreenivasulu N, Grimm B, Wobus U, et al. Differential response of antioxidants to salinity stress in salt-tolerant and salt-sensitive seedlings of foxtail millet (*Setaria italica*) [J]. *Physiol Plant*, 2000, 109: 435-442.
- [15] Alscher R G, Hess J L. *Antioxidants in Higher Plants* [M]. Boca Raton: CRC Press, 1993.
- [16] 吴银明, 王 平, 刘洪升. NaCl 分根胁迫对羊草幼苗生长及其生理生化特性的影响 [J]. 西北植物学报, 2007, 27(9): 1807-1813.
- [17] 张思平, 张淑红, 司龙亭, 等. NaCl 胁迫对黄瓜幼苗子叶膜脂过氧化的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2001, 32(6): 446-448.
- [18] Ghorbanli M, Ebrahimzadeh H, Sharifi M. Effects of NaCl and mycorrhizal fungi on antioxidative enzymes in soybean [J]. *Biol Plant*, 2004, 48(4): 575-581.
- [19] Bufler G, Bangert H F. UV-induced peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase activity and phaseollin accumulation in leaves of *Phaseolus vulgaris* L. in relation to ethylene [J]. *Plant Sci Lett*, 1982, 25(2): 227-237.
- [20] 唐 宇, 赵 刚. 荞麦中苯丙氨酸解氨酶活力与黄酮含量关系 [J]. 植物生理学通讯, 1992, 28(60): 419-420.
- [21] 孟朝妮, 刘 成, 贺军民, 等. 增强 UV-B 辐射、NaCl 胁迫及其复合处理对小麦幼苗光合作用及黄酮代谢的影响 [J]. 光子学报, 2005, 34(12): 1868-1872.
- [22] 刘惠芬, 高玉葆, 张 强. 不同种群羊草幼苗对土壤干旱胁迫的生理生态响应 [J]. 南开大学学报: 自然科学版, 2004, 37(4): 105-110.
- [23] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [24] 杨秀玲. NaCl 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2004.