

NaCl胁迫对不同抗旱强度胡麻品种农艺性状和生理指标的影响

赵 玮, 党占海, 张建平, 赵 利, 王利民, 党 照, 李闻娟

(甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 以强抗旱胡麻品种伊亚4号和抗旱系数较低的胡麻品种LY-8号为材料, 分析了不同浓度的NaCl胁迫下的胡麻苗期和成株期农艺性状以及SOD、POD、MDA含量。通过对叶片数、株高、根长等农艺性状分析的结果表明: NaCl胁迫对胡麻植株的伤害明显, 低浓度NaCl胁迫对不同品种胡麻幼苗的生长均有促进作用, 但是随着盐分积累, 生长后期对胡麻植株同样会产生伤害, 且抗旱性强的胡麻品种同样具有更强的耐盐特性。对生理指标的分析结果表明: 伊亚4号苗期和成株期的SOD和POD含量均较LY-8号高, 成株期MDA含量较高, 而幼苗期则相反。由于耐盐品种具有较高的MDA、SOD含量水平, 且保持相对稳定的动态平衡, 更有利于对盐胁迫的适应。

关键词: 胡麻; 盐胁迫; 农艺性状; 生理指标

中图分类号: S565.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2016)11-0001-06

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.11.001

Effect of NaCl Stress on the Agronomic Traits and Physical Indexes of Flax Cultivar With Drought Resistant

ZHAO Wei, DANG Zhanhai, ZHANG Jianping, ZHAO Li, WANG Liming, DANG Zhao, LI Wenjuan

(Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: To investigate the salt tolerance and physiological reaction of drought-resistant flax varieties to NaCl stress, the agronomic traits and the contents of SOD, POD and MDA of seedlings and adult stage of Yiya-4 (stronger drought-resistance ability) and LY-8 flax (weaker drought-resistance ability) grown in different NaCl concentration were analyzed. The results on agronomic traits, such as the number of leaves, height and the length of root showed that: NaCl stress had significant damages to plants; the low NaCl concentration stress could promote the seedling growth of flax varieties, but the damages would also appear in the later period with the accumulation of salinity; the stronger drought-resistance variety showed stronger salt-tolerance ability. The results on physical traits showed that compared with LY-8 flax variety, the seedlings and adult plants of Yiya-4 flax variety had higher contents of SOD and POD, the content of MDA in adult plants is higher and those in seedlings is lower. It is beneficial to adapt the salt stress because that the salt-tolerance variety had higher contents of MDA and SOD and could remain relative stable dynamic balance.

Key words: Flax; Salt stress; Agronomic traits; Physical indexes

胡麻(*Linseed*)即油用亚麻, 属于亚麻科(*Linaceae*)亚麻属(*Linum*), 具有抗旱、耐寒、耐瘠薄的特点, 属于资源节约型作物, 也是高寒、干旱、贫瘠和农业生产水平较低的地区不可替代的优质油料作物^[1-3]。胡麻油富含不饱和脂肪酸 α -亚麻酸, 具有促进人体智能、防止心血管疾病、强身健脑、抑制疾病基因等重要作用^[4-5]。胡

麻油也是典型的干性油, 在高档油漆、油墨、涂料等化工产品和工业领域也在广泛应用^[6]。我国胡麻主要分布在西北、华北等干旱半干旱农业生态区域, 并且大多数种植在瘠薄的土地上, 主产区的年降水量仅200~400 mm, 而胡麻是该地区不可替代的油料作物^[7]。

世界上目前多个国家存在着不同类型的盐

收稿日期: 2016-05-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560347); 兰州市人才创新创业科技计划(2014-rc-44)。

作者简介: 赵 玮(1976—), 男, 甘肃景泰人, 副研究员, 主要从事作物遗传育种工作。E-mail: 308214921@qq.com。

通信作者: 党占海(1955—), 男, 甘肃会宁人, 研究员, 博导, 主要从事功能遗传育种工作。E-mail: dangzh1955@yahoo.com.cn。

碱地近 10 亿 hm^2 ，约占全球可耕地面积的 10%。我国有盐碱地约 0.9 亿 hm^2 ，主要分布在新疆、甘肃等干旱、半干旱地区以及盐害地区^[8-9]。盐碱地是限制农业生产的一个重要逆境障碍因子之一，导致蔬菜和粮油等经济作物严重减产^[10]。由于胡麻主产区同时受到干旱与盐碱双重影响，胡麻产业可持续发展受到严重制约。以往对胡麻盐碱胁迫的研究报道极少。为了探明不同抗旱品种在不同浓度 NaCl 胁迫下的耐盐性和生理机理响应，我们分析研究了不同浓度的 NaCl 胁迫下胡麻苗期和成株期的农艺性状以及 SOD、POD、MDA 含量等生理特性。

1 材料与方法

1.1 材料

供试胡麻品种为伊亚 4 号和 LY-8 号，均由甘肃省农业科学院作物研究所提供，其中伊亚 4 号在抗旱性鉴定试验 2 a 结果为一级抗旱，排名第 1，LY-8 号为三级抗旱，排名第 20(国家胡麻产业技术体系提供资料)。供试基质为蛭石、细砂按体积比 1:1 混合。

1.2 试验设计与处理方法

处理方法参照王丽燕和赵可夫等^[11-13]采用的方法：NaCl 浓度分别为 0、50、100、150、200、250 mM，每隔 7 d 每盆浇灌 200 mL 的对应盐溶液，保证盐溶液浸透土壤。试验采用单因素随机区组设计，选用伊亚 4 号和 LY-8 号的饱满种子，播种于直径 10 cm 的花盆中，每盆 50 粒，重复 3 次。室温和自然光照萌发，当幼苗生长到第 2 片真叶展开时开始做盐胁迫处理。分别在盐胁迫后第 7 天开始，每周从每个处理随机取样 10 株，进行株高、叶片数、根长等农艺性状数据的测定，共测定 9 次。

分别在 NaCl 胁迫 15 d、30 d、60 d 时，采取破坏性方法每个处理随机挖取 10 株进行生理指标测定。

SOD 酶活性测定采用氮蓝四唑 (Nitro bluetetrazolium chloride, NBT) 比色法^[14]。3 mL 反应液中含 50 mM 磷酸缓冲液 (pH 7.8)、75 mM NBT、13 mM 甲硫氨酸、0.1 mM EDTA 和 40 μL 酶提取液。加入 2 mM 核黄素后在光照下启动反应，30 min 后于暗处终止反应。在 560 nm 光下测定反应液的吸光值，以抑制 NBT 光化学还原 50% 的酶量作为一个酶单位 (U)。酶活性以 U/mg 蛋白表示。

POD 酶活性测定参考 Chance 等的方法，采用愈创木酚法^[15]。向 3 mL 50 mM 磷酸缓冲液 (pH 7.0) 中加入 20 μL 上述备用酶液，再加入 10 μL 的 9 mM H_2O_2 ，摇匀。以每分钟 OD_{470} 增加 10 μM H_2O_2 为一个酶活单位，酶活性以 U/mg 蛋白表示。

MDA 含量测定参考 Fryer 等的方法^[16]。取经 NaCl 胁迫处理的胡麻苗，加 4 mL 含 10% 三氯乙酸 (TCA) 和 0.25% 硫代巴比妥酸 (TBA) 研磨，95 $^\circ\text{C}$ 加热 30 min，冰浴冷却，10 000 g 下离心 10 min。取上清液，于 532 nm 和 600 nm 下测定光吸收值。计算公式如下：

$$\text{MDA} = 6.45 \times (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) - 0.5$$

公式中 OD_{532} 和 OD_{600} 分别表示波长 532 nm 和 600 nm 下的光吸收值。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对不同胡麻品种主要农艺性状的影响

2.1.1 叶片数量 NaCl 浓度由低到高胁迫下，伊亚 4 号和 LY-8 号的叶片数增加呈现不同的趋势。当胁迫 28 d 时，随着浓度的增加，叶片数量明显减少，而且浓度越大，叶片减少越多。其中，LY-8 号的叶片在 NaCl 为 0 mM 时第 56 天叶片数达到最大值 68.52 片；50 ~ 250 mM 浓度下叶片数最大值均出现在第 49 天，其中 250 mM 下叶片数为 31.27 片，较对照降低了 54.3%，差异达到极显著水平 ($P < 0.1$)。伊亚 4 号叶片数量随着 NaCl 浓度的提高增加趋势减缓，到第 63 天时，0 mM 叶片数最大值为 73.4 片；250 mM 浓度下叶片数最大值为 37.7 片，较对照降低了 48.6% (表 1)，差异达到极显著水平 ($P < 0.1$)。

2.1.2 株高 株高的变化趋势与叶片数的变化趋势相似 (表 2)。当胁迫天数到 28 d 时，随着浓度的增加，株高生长幅度开始降低，而且浓度越大，降低趋势越大。其中，LY-8 号的株高在 NaCl 为 0 mM 浓度下第 63 天达到最大值 36.02 cm；50 ~ 250 mM 浓度下株高最大值均出现在第 49 天，其中 250 mM 下平均株高为 14.7 cm，较对照降低了 59.2%，差异达到极显著水平 ($P < 0.1$)。伊亚 4 号株高虽然随着浓度的增加生长缓慢，但没有明显下降趋势。其中到 63 d 时，0 mM 浓度平均株高最大值 38.83 cm；250 mM 浓度下平均株高最大值为 20.16 cm，较对照降低了 48.0%，差异达到极显著

表 1 NaCl 胁迫对不同胡麻品种叶片数量的影响

盐浓度 /mM	品种	叶片数/个								
		7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d	56 d	63 d
0(CK)	陇亚8号	6.00	15.18	16.80	18.88	34.8	54.16	65.00	68.52	70.80
	伊亚4号	5.60	14.65	17.55	22.68	41.48	54.48	69.56	71.17	73.40
50	陇亚8号	5.47	12.04	16.18	18.46	36.14	54.24	62.90	61.92	59.02
	伊亚4号	5.83	12.74	18.29	22.08	43.88	57.55	61.18	65.45	66.88
100	陇亚8号	5.60	12.60	16.73	17.56	34.54	48.72	52.18	51.36	51.49
	伊亚4号	6.33	13.96	19.10	28.23	42.87	57.10	52.90	60.50	61.53
150	陇亚8号	6.08	13.00	16.49	16.24	32.12	40.76	43.38	39.02	43.43
	伊亚4号	6.87	14.20	18.83	19.87	40.27	51.57	57.63	55.63	59.43
200	陇亚8号	5.78	12.09	16.44	16.26	29.13	33.93	38.10	35.10	32.25
	伊亚4号	6.23	13.33	17.60	18.90	36.48	53.05	49.68	49.55	56.02
250	陇亚8号	5.78	11.82	15.36	17.32	29.16	31.69	31.27	28.40	28.75
	伊亚4号	6.35	12.95	17.30	17.85	28.33	34.32	32.91	34.73	37.70

表 2 NaCl 胁迫对不同胡麻品种株高的影响

盐浓度 /mM	品种	株高 /cm								
		7 d	14 d	21 d	28 d	35 d	42 d	49 d	56 d	63 d
0(CK)	陇亚 8 号	6.30	10.45	13.46	16.19	18.36	27.15	30.97	34.95	36.02
	伊亚 4 号	6.13	12.33	14.80	18.56	22.93	30.82	34.85	36.90	38.83
50	陇亚 8 号	6.12	9.85	11.77	14.03	17.19	29.77	34.54	30.01	31.28
	伊亚 4 号	6.46	11.64	15.21	18.50	22.55	31.02	33.41	31.39	35.35
100	陇亚 8 号	6.11	9.49	11.93	12.96	15.45	25.17	25.69	25.66	25.44
	伊亚 4 号	6.61	11.50	13.61	20.99	20.00	24.76	28.16	29.27	29.62
150	陇亚 8 号	6.42	9.76	11.93	13.53	15.00	18.34	23.69	20.52	22.04
	伊亚 4 号	6.95	12.13	14.40	17.13	19.15	24.34	28.16	28.87	30.19
200	陇亚 8 号	6.24	9.68	11.29	12.58	13.82	15.25	15.14	14.88	14.80
	伊亚 4 号	6.52	10.66	13.26	15.15	16.92	21.49	22.00	23.80	24.70
250	陇亚 8 号	6.40	9.59	11.34	12.34	13.78	14.49	14.70	14.16	14.44
	伊亚 4 号	6.72	10.87	13.70	15.53	16.75	18.23	18.94	18.08	18.16

水平($P < 0.1$)。通过叶片数和株高变化趋势可以看出, 盐胁迫下伊亚 4 号叶片和株高减少幅度明显小于 LY-8 号。

2.1.3 根长 NaCl 胁迫对胡麻根系生长影响显著。随着 NaCl 浓度的增加, 不同胡麻品种根系平均长度均呈现先升高后降低的趋势。当盐浓度为 50 mM 时, 有利于根系生长, 2 个品种的根系长度均高于对照。其中伊亚 4 号平均根长达到最大值 11.2 cm, 较对照 7.8 cm 增加了 30.4%, 差异达到极显著水平($P < 0.1$); 当 NaCl 胁迫浓度为 50 mM 时, LY-8 号根系长度也达到最大值 10.7 cm, 较对照 9.6 cm 增加了 10.3%, 差异达到显著水平($P < 0.5$)。之后随着浓度的增加, 根系长度逐渐降低(见图1)。NaCl 胁迫对不同抗旱胡麻品种根长的影响与对株高的影响相似, 即当 NaCl 胁迫浓度

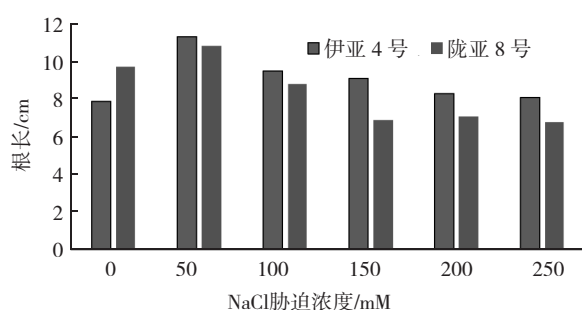


图 1 NaCl 胁迫对不同胡麻品种根长的影响

为 50 mM 时, 促进株高和根长的增长。

2.2 NaCl 胁迫对不同胡麻品种生理指标的影响

2.2.1 SOD 酶活性 随着由低到高不同浓度 NaCl 的胁迫, 伊亚 4 号的 SOD 含量变化呈现先上升后下降的趋势, 但变化幅度不大, SOD 含量最大值出现在 100 mM。其中不同浓度 NaCl 胁迫 30 d 后,

0 mM 浓度下 SOD 含量均达到最低; 60 d 后, 150 mM 浓度胁迫下 SOD 含量达到最低值, 之后随着浓度的增加 SOD 含量缓慢上升。随着胁迫天数的增加, 胡麻品种 LY-8 号的 SOD 含量出现先升高后降低的趋势。其中不同浓度 NaCl 胁迫 15 d 后, SOD 含量呈现先升高后降低的趋势, 0 mM 中 SOD 含量最低, 100 mM 浓度胁迫 SOD 含量达到高值, 之后随着盐浓度的增加 SOD 含量逐步降低。30 d 后, SOD 含量基本呈现先上升后平稳的趋势, 增加幅度不明显。胁迫 60 d 后, 150 mM 浓度胁迫下 SOD 含量达到最低值, 200 mM 下达到最高值。

在不同浓度的盐胁迫下, 幼苗期 (0~30 d) 伊亚 4 号、LY-8 号 SOD 含量均呈现出先升高后降低的趋势, 100 mM 时含量均达到最高, 但是变化幅度不大, 且不同浓度的 NaCl 胁迫下, 伊亚 4 号中 SOD 含量均高于 LY-8 号。成株期 (30~60 d) 伊亚 4 号中 SOD 含量呈现先升高后降低的趋势, 0 mM 时含量最低, 100 mM 时含量最高 (图 2)。

2.2.2 POD 酶活性 随着胁迫天数的增加, 胡麻品种伊亚 4 号 POD 含量在各种浓度的 NaCl 胁迫下均出现逐渐增加的趋势, 并且随着由低到高的不同浓度胁迫, POD 含量变化趋势均呈现先下降后上升的趋势。胁迫 15 d 后, 100 mM 浓度胁迫下 POD 含量达到最低值, 较对照降低了 1 倍, 之后随着浓度的增加, POD 含量逐步回升, 但总体低

于对照。胁迫 30 d 后, 150 mM 浓度胁迫下 POD 含量达到最低值, 较对照降低了近 30%, 之后随着浓度的增加, POD 含量略有回升, 但仍低于对照。胁迫 60 d 后, 100 mM 浓度胁迫下 POD 含量达到最低值, 较对照降低了近 30%, 之后随着浓度的增加 POD 含量快速提升, 当浓度达到 250 mM 浓度胁迫下 POD 含量到达最高值, 较最低含量高出 1 倍。随着胁迫天数的增加, LY-8 号胡麻品种 POD 含量在各种浓度的 NaCl 胁迫下均出现逐渐增加的趋势。其中胁迫 15 d 后, 对照 POD 含量达到最低值, 之后随着盐浓度的增加, POD 含量逐步回升; 当盐浓度达到 200 mM 时, POD 含量达到最大值, 是最低值的 1 倍。胁迫 30 d 后, 150 mM 浓度下 POD 含量达到最大值, 但 POD 含量变化不显著。胁迫 60 d 后, POD 含量呈现出先降低后升高的趋势, 当浓度达到 100 mM 时, POD 含量达到最小值, 降低幅度是对照的 1 倍; 当浓度达到 250 mM 时, POD 含量到达最高值, 较最低含量高出 1.5 倍。

幼苗期 (0~30 d) 伊亚 4 号在不同浓度 NaCl 胁迫下, POD 含量呈现出先降低后升高的趋势, 0 mM 时含量最高, 100 mM 时含量最低。LY-8 号 POD 含量呈现出逐步上升趋势, 到 200 mM 时达到最大值。0 mM 时伊亚 4 号中 POD 含量是 LY-8 中 POD 含量的 2.4 倍, 之后差距逐渐减少, 100~

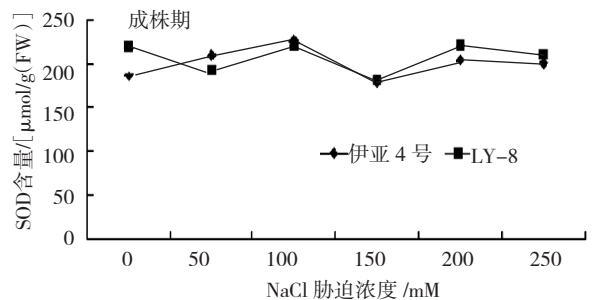
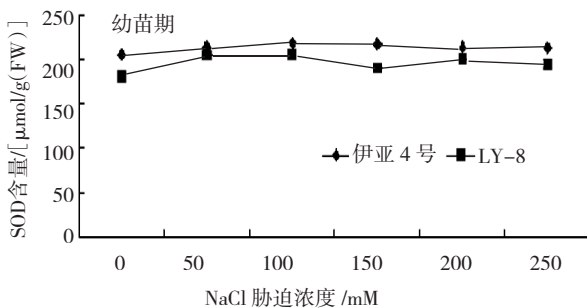


图 2 2 个品种在 NaCl 胁迫下 SOD 含量变化

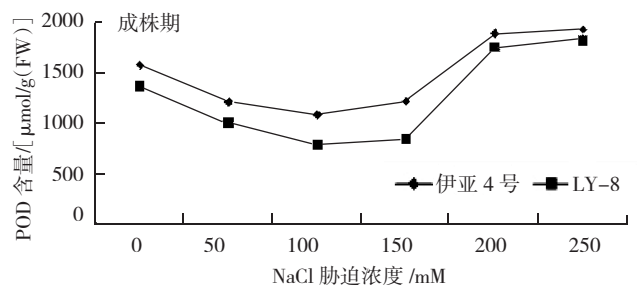
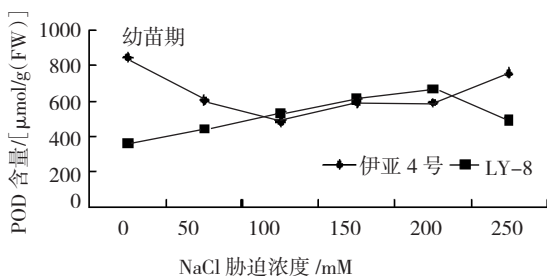


图 3 2 个品种在 NaCl 胁迫下 POD 含量变化

200 mM 时 LY-8 的 POD 含量略高出伊亚 4 号的 POD 含量, 250 mM 时 LY-8 的 POD 含量又低于伊亚 4 号的 POD 含量。成株期(30~60 d)伊亚 4 号和 LY-8 在不同浓度盐胁迫下, POD 含量均呈现先降低后升高的趋势, 100 mM 时含量最低, 200 mM 时均达到最大值。在不同浓度 NaCl 胁迫下幼苗期和成株期伊亚 4 号的 POD 平均含量均高于 LY-8 号(图 3)。

2.2.3 MDA 含量 随着胁迫天数的增加, 胡麻品种伊亚 4 号 MDA 含量均出现先降低后增加的趋势, 并且随着由低到高的不同浓度胁迫, MDA 含量变化趋势均呈现先下降后上升的趋势。其中胁迫 15 d 后, 0 mM 时 MDA 含量最高; 150 mM 浓度 MDA 含量达到最低, 较对照降低了 3 倍, 之后随着浓度的增加 MDA 含量逐步回升, 但总体低于对照。胁迫 30 d 后, MDA 含量先升高后降低, 150 mM 浓度下 MDA 含量达到最大值, 200 mM 迅速降低到最低值, 较最大值降低了近 1 倍。胁迫 60 d 后, 50 mM 浓度下 MDA 含量达到最低值, 150 mM 达到最高值, 较最低值增加了 1.7 倍, 之后随着浓度的增加 MDA 含量缓慢下降, 但仍然高于对照。随着胁迫天数的增加, 胡麻品种 LY-8 号 MDA 含量均出现先降低后增加的趋势, 并且随着由低到高的不同浓度盐胁迫, MDA 含量变化趋势均呈现先下降后上升的趋势。其中胁迫 15 d 后, 0 mM 时 MDA 含量最高, 100 mM 浓度胁迫的 MDA 含量达到最低, 较最高值降低了 3 倍, 之后随着浓度的增加 MDA 含量逐步回升, 但总体低于对照。胁迫 30 d 后, MDA 含量基本呈现上升趋势, 但增加幅度不明显, 250 mM 浓度胁迫下 MDA 含量达到最大值; 0 mM 迅速降低到最低值, 较最大值降低了近 1.88 倍。胁迫 60 d 后, 150 mM 浓度下 MDA 含量达到最低值; 250 mM 时达到 MDA 含量最高值, 较最低值增加了 3.1 倍。

幼苗期(0~30 d)伊亚 4 号、LY-8 胡麻品种在不同浓度 NaCl 胁迫下, MDA 含量均呈现出先降低后升高的趋势, 在 NaCl 浓度为 0 mM 时含量均达到最高; 最低值出现在不同的盐浓度下, 其中伊亚 4 号的 MDA 含量在 NaCl 浓度为 150 mM 时含量最低, LY-8 号的 MDA 含量在 NaCl 浓度为 100 mM 时达到最低。不同浓度的 NaCl 胁迫下, 伊亚 4 号的 MDA 含量均低于 LY-8 号。成株期(30~60 d)伊亚 4 号、LY-8 在不同浓度 NaCl 胁迫下, MDA 含量均呈现先降低后升高的趋势, 伊亚 4 号在 NaCl 浓度为 50 mM 时 MDA 含量最低, LY-8 在 NaCl 浓度为 150 mM 时 MDA 含量最低。伊亚 4 号在 NaCl 浓度为 150 mM 时 MDA 含量达到最高, LY-8 在 NaCl 浓度为 250 mM 时 MDA 含量达到最高(图 4)。

3 小结与讨论

本实验利用一定浓度的 NaCl 溶液对 2 个不同抗旱胡麻品种进行处理, 结果表明, 低浓度 NaCl 胁迫对不同品种胡麻幼苗的生长均有促进作用, 这与于晓丹等的研究结果一致, 即一定的低盐浓度对植物生长具有促进作用^[17]。但本研究表明, 随着低浓度盐分积累, 生长后期低浓度 NaCl 胁迫对胡麻植株同样会产生盐害。盐分胁迫对植物最普遍和最显著的效应就是抑制生长, 本研究结果同样表明胡麻品种在抗旱性和耐盐性方面具有一致性, 即抗旱性强的胡麻品种伊亚 4 号的耐盐性比抗旱性差的陇亚 8 号耐盐性强。本研究通过 NaCl 溶液模拟盐胁迫条件, 探讨了 1 种盐分对两个胡麻品种的影响, 而盐碱土都是复合盐分, 实际土壤盐分胁迫下各品种的变化趋势与 NaCl 溶液胁迫下的耐盐能力之间的差异有待于进一步的探讨。

植物在盐胁迫逆境条件下膜系统的变化分成两个阶段: 首先表现为盐分对膜系统的破坏, 也反映不同植物对盐分的忍耐程度, 然后是不同植物对膜系统的修复。通过生理指标分析, 伊亚 4

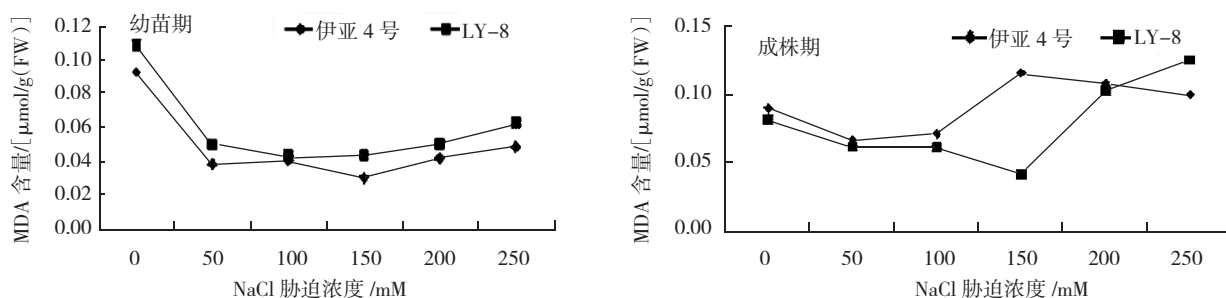


图 4 2 个品种在 NaCl 胁迫下 MDA 含量变化

号在 NaCl 胁迫下苗期和成株期 SOD 和 POD 含量较高,说明对膜脂修复能力更强,而且低浓度 NaCl 胁迫下修复能力逐渐增强,高浓度下修复能力达到极限后则逐渐变弱。MDA 本身对植物细胞有毒害作用,不但降低了 SOD、POD 的活性,加剧过氧化作用,而且能结合蛋白质,使其催化功能丧失^[18]。两个胡麻品种苗期和成株期 MDA 含量表现出差异,其中,成株期抗旱品种伊亚 4 号在 NaCl 胁迫下 MDA 含量较高,而幼苗期则相反。这一结果与相关报道具有一致性,如小麦在高盐生境中,其茎、叶的 MDA 含量均明显高于对照植物^[19-20]。

植物在盐胁迫下的生理生化反应十分复杂,可以通过测定这一代谢过程的各种物质含量及酶活性判断其耐盐性,但是任何一种生理指标均不能单独用作耐盐性指标,需要根据各种指标进行综合评价。如 MDA 含量作为脂质过氧化作用的产物,其含量的多少基本代表膜损伤程度的大小^[21-23],但也只是间接表示膜受损状况,并不能直接反应植物膜受损情况,在分析时应该同时考虑 SOD 对膜修复的速度,即使用 MDA 和 SOD 比率来衡量植物对逆境的反应更为合理。由此可以认为,胡麻跟其他作物一样,成株期由于受到盐胁迫时间更长,盐危害更严重。耐盐品种伊亚 4 号可能受制自身遗传性控制,形成适应性强的生理代谢机制,所以具有较高的 MDA、SOD 含量水平,且体内 MDA 与 SOD 含量保持相对稳定的动态平衡,有利于对盐胁迫的适应。

参考文献:

- [1] 赵 玮,党占海,李闻娟.强抗旱胡麻新品种陇亚 11 号组织培养技术优化研究[J].中国沙漠,2012,32(5):1355-1361.
- [2] 陈海华.亚麻籽的营养成分及开发利用[J].中国油脂,2004,29(6):72-75.
- [3] 王利民,张建平,米 君,等.国外引进油用亚麻品种资源农艺性状分析与评价[J].中国油料作物学报,2011,33(4):356-361.
- [4] 党占海,赵蓉英,王 敏,等.国际视野下胡麻研究的可视化分析[J].中国麻业科学,2010,32(6):305-313.
- [5] 杨 倩. α -亚麻酸新资源及其抗血栓作用研究[D].西安:第四军医大学,2008.
- [6] 李丽萍,韩 涛.富含 α -亚麻酸植物资源的开发与利用[J].食品科学,2007,28(11):614-618.
- [7] 赵 玮,党占海,张建平,等.胡麻胚状体诱导及植株再生的研究[J].北方园艺,2010(21):174-176.
- [8] 王恩军,李善家,韩多红,等.中性盐和碱性盐胁迫对黑果枸杞种子萌发及幼苗生长的影响[J].干旱地区农业研究,2014(6):64-70.
- [9] 田晨霞,张咏梅,王 凯,等.紫花苜蓿组织解剖结构对 NaHCO₃ 盐碱胁迫的响应[J].草业学报,2014,23(5):133-142.
- [10] 杨 飞,郭海波,吴 菊,等.海水胁迫对不同品种白菜种子发育及幼苗生物量的影响[J].分子植物育种,2014,12(5):943-949.
- [11] 刘爱荣,赵可夫.盐胁迫对盐芥生长及硝酸还原酶活性的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2005,31(5):469-476.
- [12] 商学芳,董树亭,郑世英,等.玉米种子萌发过程中 Na⁺、K⁺和 Ca²⁺含量变化与耐盐性的关系[J].作物学报,2008,2(12):333-336.
- [13] 彭云玲,保 杰,叶龙山,等.NaCl 胁迫对不同耐盐性玉米自交系萌动种子和幼苗离子稳态的影响[J].生态学报,2014,12(23):7320-7328.
- [14] 王丽燕,赵可夫.玉米幼苗对盐胁迫的生理响应[J].作物学报,2005,31(2):264-268.
- [15] 谭会娟,李新荣,刘玉冰,等.盐胁迫下红砂愈伤组织的抗氧化能力与耐盐性研究[J].中国沙漠,2013,33(2):549-553.
- [16] FRYER M J, ANDREWS J R, OXBOROUGH K, *et al.* Relation between CO₂ assimilation photosynthetic electron transport and active O₂ metabolism in leaves of maize in the field during pe-riods of low temperature[J]. Plant Physiology, 1998(116): 71-581.
- [17] 于晓丹,杜 菲,张蕴薇.盐胁迫对柳枝稷种子萌发和幼苗生长的影响[J].草地学报,2010,18(6):810-815.
- [18] 焦秀洁.NaCl 胁迫下榉树生理生化特性的研究[D].南京:南京林业大学,2009.
- [19] 肖 雯,贾恢先.几种盐生植物抗盐生理指标的研究[J].西北植物学报,2000,20(5):818-825.
- [20] 李 昂,简海明,贾恢先,等.几种牧草与春小麦抑盐效应比较研究[J].草原与草坪,2005(3):37-41.
- [21] 何奇江.盐胁迫下雷竹的离子响应及生理生态变化[D].北京:中国林业科学研究院,2011.
- [22] 管志勇.菊花近缘属植物的耐盐评价及耐盐机理研究[D].南京:南京农业大学,2010.
- [23] 李然红,金志民,宗宪春,等.NaCl 单盐胁迫对大白菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].甘肃农业科技 2015(12):31-34.

(本文责编:陈 珩)