

红麻杂交种的根系生长对盐胁迫的抗性优势表现

张加强 潘凤英 窦俊焕 陈鹏 周琼 周瑞阳*

(广西大学农学院, 南宁 530004)

摘要 以红麻细胞质雄性不育系 P3A、恢复系 992 及其杂交种为材料, 采用水培法研究了红麻杂交种根系生长对盐胁迫的抗性优势表现。揭示不同程度盐胁迫对红麻杂交种根系生长的影响, 以期红麻杂交种优势利用及耐盐红麻杂交种的培育提供理论参考。结果表明: 在盐胁迫下, 不同基因型对盐胁迫的耐性存在明显差异; 红麻杂交种幼苗的根长、根表面积、根体积和根尖数等均优于亲本, 存在明显的杂种优势, 表现出较强的中亲优势和超高亲优势; 随着盐浓度的提高, 杂交种与亲本间差异达到显著水平。说明在一定阈值内, 红麻杂交种根系生长在盐胁迫下明显表现出比亲本较强的耐性, 红麻杂交种在耐盐性方面具有杂种优势。同时盐胁迫改变了红麻根系的形态构型, 使根系趋于简单化, 可以有效增加根系生长形成更多的粗根, 提高其耐盐能力。研究结果为通过杂交育种获得更加耐盐的红麻材料提供了依据。

关键词 红麻; 盐胁迫; 杂交种; 根系

中图分类号 S 563.5; Q 321⁺.6

文章编号 1007-4333(2011)05-0006-07

文献标志码 A

Superiority of resistance in the root growth of kenaf hybrid under salt stress

ZHANG Jia-qiang, PAN Feng-ying, DOU Jun-huan, CHEN Peng, ZHOU Qiong, ZHOU Rui-yang*

(College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract The heterosis of salt tolerance for kenaf hybrid was studied through hydroponic methods, with cytoplasmic male sterility (CMS) kenaf P3A, maintainer line P3B and hybrid as experimental materials. The objective of this study was to investigate the heterosis of kenaf root growth at seedling stage under salt stress, thus provide a scientific basis for kenaf heterosis utilization and kenaf hybrid breeding for salt-tolerance. The results showed that salt stress significantly inhibited the root growth of kenaf. They were different among different genotypes. The heterosis existed in the root length, root surface area, root volume and root tips under salt stress, and the hybrid with advantages over the parents. The F₁ hybrid of kenaf showed both strong midparent and overparent heterosis. The finding suggested that the F₁ hybrid possessed higher salt tolerance than that of the parents within certain range. The root architecture of kenaf were altered under salt stress, and more coarse root (root diameter > 2.25 mm) were formed. This suggested that salt stress promoted the superiority of resistance. Under salt stress condition, kenaf hybrid develop more coarse root (root diameter > 2.25 mm) than that of its parents, which enable them to resist moderate salt better.

Key words kenaf; salt stress; hybrid; root

盐胁迫是影响植物生长发育、降低作物产量的主要逆境因素之一^[1]。在人口、粮食与耕地日益紧张的情况下, 合理开发与利用盐渍土资源成为重要课题^[2]。植物耐盐机理研究已成为植物生理研究的

热点, 培育抗盐品种也成为抗逆育种的重要目标^[3]。根系是植物吸收养分和水分的主要器官, 也是先感受土壤逆境胁迫的部位。已有研究表明, 在逆境下植物能够感应外界胁迫, 并能通过自身的调节系统,

收稿日期: 2011-04-20

基金项目: 国家麻类产业技术体系建设专项(nycytx-19-E16); 广西研究生教育创新计划项目(105931001010)

第一作者: 张加强, 博士研究生, E-mail: zqiang414@163.com

通讯作者: 周瑞阳, 教授, 主要从事麻类育种及栽培研究, E-mail: ruiyangzhou@yahoo.com.cn

使之在生理和形态上发生适应性反应,以增强在胁迫条件下的生存机会^[4]。杂交种根系作为重要的营养器官,是杂种优势的主要表现者之一^[5]。杂种优势是生物界存在的普遍又复杂的生物学现象,在逆境条件下,则表现为抗性优势^[6]。红麻是一种较为耐盐的经济作物,杂种优势显著^[7]。而红麻雄性不育系的研究是红麻杂种优势利用的重要基础。2004年周瑞阳选育出第一个红麻细胞质雄性不育系,实现了红麻三系配套,2007年选育出第一个由不育系配制的红麻杂交种“红优1号”,红麻雄性不育系的选育与杂种优势利用取得突破性进展^[8]。近年来,许多学者对于植物生长在胁迫环境下是否具有杂种优势进行了有益的探索,有些研究认为杂交种具有对水分胁迫抗性的显著超亲杂种优势^[6];而有些研究则认为严重干旱(田间持水量的35%)完全抑制了玉米杂交种根系生长的杂种优势^[9]。但关于红麻杂交种在盐胁迫下根系生长是否具有抗性优势未见报道。本试验以红麻细胞质雄性不育系P3A、恢复系992及其杂交种为材料,采用不同浓度的盐胁迫,以未进行盐胁迫的处理为对照,研究盐胁迫下红麻杂交种及其亲本根系生长的形态特征变化,以期为耐盐红麻杂交种的培育及红麻杂交种在盐碱地种植栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为红麻细胞质雄性不育系P3A、恢复系992及其杂交种种子,由广西大学周瑞阳提供。

1.2 试验方法

试验于2010年7—8月在广西大学网室进行。取红麻雄性不育系P3A;恢复系992;杂交种各400粒饱满完整的种子,浸种2h,播于装有石英砂的育苗盘中,培养至1周(大约一叶一心期)后,挑取发育健壮、长势一致的幼苗各15株,分别植于穿孔直径为2cm、厚为3cm泡沫塑料上,用消毒海绵固定幼苗,在装有1/2 Hoagland营养液的5L培养桶中培养。设3次重复。培养桶外围遍贴黑膜,以保持根系的黑暗生长环境。在生长至2周后进行盐处理,采用非渐进式加盐的方法,设3个处理,NaCl浓度分别为50mmol/L(1/2 Hoagland+50mmol/L NaCl)、150mmol/L(1/2 Hoagland+150mmol/L NaCl)、200mmol/L(1/2 Hoagland+200mmol/L NaCl),以不加NaCl的1/2 Hoagland营养液培养

的为对照。培养期间,每7d更换营养液1次,并及时用蒸馏水补充因蒸发去的水分。培养期间的条件为:温度24~36℃,相对湿度40%~60%,电动气泵15min间隔通气,做好防病防虫工作。

1.3 测定项目与方法

于植株盐处理后20d取样,每个重复取生长一致的8株幼苗先用蒸馏水冲洗,测定以下项目:用剪刀把幼苗的茎和根在分节处分开,用WinRHIZO(version4.0b,Canada 2000)根系分析系统分别测定单株的根系总长度、表面积、直径、体积、根尖数、根长比例等根系性状参数。WinRHIZO软件可将根系按直径分级(分辨单位0.01mm)进行各性状统计,本试验将根系划分为细根、中等根和粗根3个等级,直径范围分别为0~1.25mm(其中包括1.25mm)、1.25~2.25mm(其中包括2.25mm)和大于2.25mm。

1.4 数据处理

用Microsoft Excel 2003和DPS软件进行数据分析,采用新复极差法进行差异显著性检验^[10]。中亲优势: $R_{MPH}/\% = (R_{F_1} - R_{MP})/R_{MP} \times 100$;超高亲优势: $R_{OPH}/\% = (R_{F_1} - R_{HP})/R_{HP} \times 100$ 。式中, R_{F_1} 、 R_{MP} 和 R_{HP} 分别表示杂交种、双亲均值和高值亲本,用 t 测验检验显著性。

2 结果与分析

2.1 红麻杂交种的根长、根表面积、根体积及根尖数对盐胁迫的抗性优势表现

根长、根表面积和根体积是反映根系生长发育状况的指标,在盐胁迫下,根系往往是最直接的受害器官^[4]。从表1可以看出,盐胁迫抑制了红麻根系的生长,根长、根表面积、根体积、根尖数随着盐浓度的增加呈逐渐下降趋势。在非胁迫条件下,杂交种与双亲的根系生长性状(根长、根表面积、根体积、根尖数)均表现出明显差异,但未达到显著水平;而在盐胁迫下,红麻杂交种根系生长明显表现出比亲本较强的耐(抗)性,红麻杂交种的根长、根表面积、根体积、根尖数一般较亲本高,表现为与高值亲本相近,但与低值亲本呈显著差异。其中,在盐胁迫下,根长与根尖数表现相似,均为杂交种>P3A>992;在150和200mmol/L胁迫下,红麻杂交种的根表面积、根体积表现相似,均为杂交种>P3A>992,且杂交种显著大于其双亲的对应值。

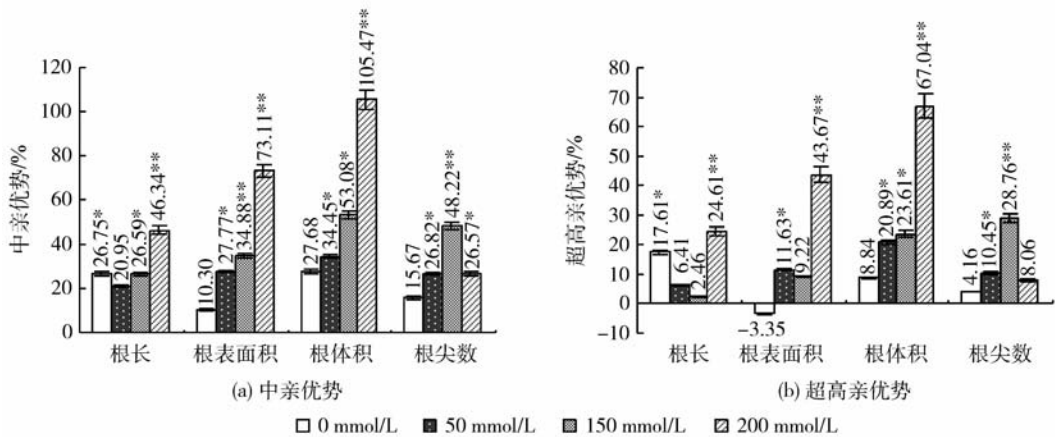
表1 不同盐处理下的红麻杂交种及其双亲的根长、根表面积、根体积及根尖数
Table 1 Root length, root surface area, root volume and root tips of kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

盐处理/(mmol/L)	基因型	根长/cm	根表面积/cm ²	根体积/cm ³	根尖数
0	F ₁	686.00±54.03 a	259.98±14.14 a	9.09±0.45 a	258.00±38.68 a
	P3A	587.49±43.6 a	209.39±16.80 a	5.95±0.54 a	257.60±19.44 a
	992	524.36±55.36 a	271.96±18.75 a	8.37±0.40 a	210.40±30.70 a
50	F ₁	651.23±67.51 a	242.89±12.35 a	7.90±0.46 a	265.80±26.39 a
	P3A	562.28±34.11 ab	186.69±22.35 b	5.46±0.61 b	241.20±35.66 ab
	992	508.79±66.46 b	199.83±23.30 ab	6.80±0.87 ab	179.00±17.70 b
150	F ₁	451.42±52.92 a	198.89±10.80 a	7.21±0.65 a	161.80±20.34 a
	P3A	440.30±18.95 a	173.69±23.26 b	5.34±0.82 b	122.80±8.11 b
	992	291.00±33.56 b	125.20±16.75 b	4.31±0.69 b	98.20±7.92 b
200	F ₁	382.12±47.47 a	170.63±21.60 a	6.10±0.87 a	124.40±13.64 a
	P3A	303.41±11.00 b	116.80±7.34 b	3.59±0.32 b	112.00±8.11 a
	992	218.09±18.05 b	79.04±5.68 c	2.28±0.14 b	88.40±10.54 b

注:数据为盐处理后20 d的平均值±标准误;数据后不同字母表示在同一盐处理下基因型间在5%水平上差异显著,下同。

从图1中可以看出,在所测定的根系性状中,根长、根表面积、根体积、根尖数等性状,在对照或处理时,均表现出较强的中亲优势和超高亲优势。并且,在200 mmol/L盐浓度时,根长、根表面积和根体

积,表现出最高的正向中亲优势和正向超高亲优势,中亲优势分别为46.34%、73.11%和105.47%,超高亲优势,分别为24.61%、43.67%和67.04%,均极显著高于对照;而根尖数在150 mmol/L盐浓度



* 差异显著, ** 差异极显著。

图1 不同盐处理下根长、根表面积、根体积及根尖数的中亲优势和超高亲优势

Fig. 1 Midparent heterosis and overparent heterosis for the root length, root surface area, root volume and root tips under different salt treatments

时表现出最高的正向中亲优势和正向超高亲优势。

以上说明,盐胁迫明显抑制了红麻根系的生长。

在非胁迫条件下,杂交种与亲本的根系生长状况并未达到显著差异,但随着盐浓度的提高,红麻杂交种

根系生长明显表现出比亲本较强的耐性,表现出较强的中亲优势和超高亲优势。并且,在 200 mmol/L 盐浓度时,根长、根表面积和根体积,表现出最高的正向中亲优势和正向超高亲优势,均极显著高于对照。

2.2 红麻杂交种的根长及根长比对盐胁迫的抗性优势表现

从表 2 中可以看出,对于红麻杂交种及双亲,在对照或盐处理条件下,红麻幼苗均以细根的根系长度为主,占总根长的 72.35%~83.53%,说明细根的根多少决定根长的大小,即细根的长度决定了红麻根长的大小。不同盐浓度处理对粗根的根系生长

影响较大,且在 200 mmol/L 时,对红麻杂交种及其双亲的中等根和粗根影响达到显著或极显著水平。与总根长一致的是,在对照或盐处理条件下,细根,中等根以及粗根的长度都表现出较强的中亲和超高亲优势,并且均在 200 mmol/L 盐浓度时,中亲和超高亲优势为最高;细根,中等根以及粗根的长度中亲优势分别为 42.23%、40.59%和 93.48%;细根,中等根以及粗根的长度超高亲优势分别为 22.25%、33.32%和 48.98%。与细根和中等根根长相比,粗根根长的中亲和超高亲优势为最高;这说明在盐胁迫下,粗根对抗性优势突出,这对提高其耐盐能力是有利的。

表 2 不同盐处理下红麻幼苗杂交种及其双亲各种细度的根长以及占总根长的比例
Table 2 Root length of three diameter classes and their ratios to total root length in kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

盐处理/ (mmol/L)	基因型	根长/cm			根长比/%		
		0<.L.≤1.25	1.25<.L.≤2.25	.L.>2.25	0<.L.≤1.25	1.25<.L.≤2.25	.L.>2.25
0	F ₁	554.81±34.61 a	80.25±7.24 a	50.41±5.04 a	77.80±1.79 b	11.15±0.84 a	11.05±1.22 a
	P3A	485.60±43.06 b	67.70±9.03 ab	34.07±5.75 b	82.43±0.83 a	8.82±0.31 a	8.75±0.76 b
	992	424.04±54.96 b	60.11±3.61 b	40.12±5.57 ab	82.25±1.41 a	9.20±1.00 a	8.56±0.44 b
50	F ₁	504.49±30.7 a	69.13±6.29 a	78.38±1.66 a	81.26±1.58 a	10.19±0.68 ab	8.55±0.95 b
	P3A	439.03±58.35 b	60.12±6.29 b	63.03±3.42 b	83.53±0.68 a	8.50±0.65 b	7.98±0.62 b
	992	422.40±60.82 b	44.99±8.80 c	41.29±5.14 c	75.97±1.08 b	12.01±0.53 a	12.02±1.04 a
150	F ₁	318.98±18.24 b	60.31±4.00 a	72.04±6.58 a	72.35±2.01 b	13.49±0.88 a	14.16±1.59 a
	P3A	336.47±23.29 a	50.19±6.86 b	54.16±6.64 b	80.09±1.20 a	10.23±0.81 b	9.68±0.87 b
	992	213.17±40.88 c	42.49±5.64 b	35.19±8.13 c	75.07±2.15 ab	13.58±1.15 a	11.35±1.14 ab
200	F ₁	296.05±5.99 a	43.73±3.61 a	42.28±1.61 a	74.16±1.50 b	13.54±1.10 a	12.30±1.05 a
	P3A	242.17±15.96 b	32.80±1.07 b	28.38±1.81 b	80.43±0.97 a	10.60±0.72 b	8.97±0.39 b
	992	174.13±33.83 c	29.41±10.28 b	15.33±6.12 c	82.00±0.67 a	10.67±0.68 b	7.33±0.55 b

2.3 红麻杂交种的不同细度根表面积及根体积对盐胁迫抗性优势的表现

根系表面积是根系与环境介质直接接触的重要指标^[11]。根系体积是根系的数量、长度、粗度以及分枝多少的综合体现,根体积大小是反映根系生长发育状况的重要指标^[12]。

从根表面积分级可以看出(表 3),红麻杂交种及双亲,在对照或盐处理条件下,细根和粗根的根表面积,所占的比例较多,二者约占总根系表面积的 24.47%~56.40%。盐胁迫对细根的根表面积影响

较大,其次是粗根,对中等根的根表面积影响最小。与总根系表面积变化相一致,在对照或盐处理条件下,细根,中等根的根表面积均表现出较高的中亲优势和超高亲优势,尤其是粗根(150 mmol/L 时除外)的根表面积表现出显著差异。并且,细根、粗根(150 mmol/L 时除外)和中等根均是在 200 mmol/L 盐浓度时,中亲和超高亲优势表现为最高;细根,中等根以及粗根的根表面积中亲优势分别为 33.97%、87.76%和 154.04%;细根,中等根以及粗根的根表面积超高亲优势分别为 14.88%、59.16%

表3 不同盐处理下红麻幼苗杂交种及其双亲各种细度的根表面积以及占总根表面积的比例

Table 3 Root surface area of three diameter classes and their ratios to total root surface area in kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

盐处理/ (mmol/L)	基因型	根表面积/cm ²			根表面积比/%		
		0<. SA. ≤1.25	1.25<. SA. ≤2.25	. SA. >2.25	0<. SA. ≤1.25	1.25<. SA. ≤2.25	. SA. >2.25
0	F ₁	96.67±11.50 a	36.76±5.60 a	87.52±10.69 a	44.16±2.97 a	16.21±1.16 a	39.63±3.22 a
	P3A	78.49±10.10 a	22.67±2.86 a	54.07±4.84 b	50.14±1.71 a	14.49±0.50 a	35.37±2.02 a
	992	79.76±8.95 a	24.21±4.28 a	54.07±4.84 b	49.98±3.09 a	14.88±1.94 a	35.14±4.29 a
50	F ₁	106.92±9.36 a	34.91±2.81 a	71.69±7.22 ab	50.14±2.61 a	16.30±0.63 a	33.56±2.36 b
	P3A	89.68±7.96 a	24.65±3.50 a	58.94±6.59 b	51.80±1.81 a	14.10±1.29 a	34.10±2.75 b
	992	84.00±7.37 a	34.12±3.40 a	86.37±2.58 a	40.70±1.65 b	16.52±0.92 a	42.78±2.33 a
150	F ₁	64.44±3.60 a	30.71±2.55 a	76.65±7.78 a	37.93±2.78 b	17.87±1.18 b	44.19±3.35 a
	P3A	44.27±3.98 b	23.02±3.69 a	46.15±9.24 b	50.34±2.23 a	16.80±1.28 b	32.86±2.65 b
	992	67.13±8.36 a	21.19±3.17 a	36.43±6.58 b	44.78±3.09 ab	20.55±1.03 a	34.67±2.37 b
200	F ₁	54.95±6.48 a	26.98±4.72 a	55.76±8.55 a	40.53±1.97 b	18.98±1.37 a	40.49±2.49 a
	P3A	47.09±2.26 a	16.34±1.85 b	27.45±3.01 b	52.43±1.64 a	17.80±1.04 a	29.77±1.40 b
	992	34.89±2.81 b	11.60±0.59 b	15.24±1.75 b	56.40±0.92 a	19.13±1.33 a	24.47±1.84 b

和 96.55%。

红麻杂交种及双亲,在对照或盐处理条件下,红麻幼苗均以粗根的根本体为主,所占比例最高达 52%以上(表 4),说明在根体积中,盐胁迫对粗根的根本体影响最大。与总根体积变化相一致,在对照或盐处理条件下,细根,中等根的根本体均表现出较高的中亲优势和超高亲优势,尤其是粗根(150

mmol/L 时除外)的根本体表现出显著差异。并且,细根、粗根(150 mmol/L 时除外)和中等根均在 200 mmol/L 盐浓度时,中亲优势和超高亲优势表现为最高;细根,中等根以及粗根的根本体中亲优势分别为 35.87%、88.55%和 238.71%;细根,中等根以及粗根的根本体超高亲优势分别为 16.83%、59.76%和 157.97%。

表4 不同盐处理下红麻幼苗杂交种及其双亲各种细度的根体积以及占总根体积的比例

Table 4 Root volume of three diameter classes and their ratios to root volume in kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

盐处理/ (mmol/L)	基因型	根体积/cm ³			根体积比/%		
		0<. V. ≤1.25	1.25<. V. ≤2.25	. V. >2.25	0<. V. ≤1.25	1.25<. V. ≤2.25	. V. >2.25
0	F ₁	1.72±0.21 a	1.59±0.24 a	10.88±1.44 a	12.69±1.62 a	11.28±1.39 b	76.03±2.79 a
	P3A	1.33±0.17 a	0.98±0.12 a	6.62±0.87 b	14.96±1.04 a	14.96±1.04 a	74.01±1.74 a
	992	1.37±0.15 a	1.05±0.19 a	8.50±1.52 ab	13.48±1.30 a	9.50±0.32 b	77.02±1.29 a
50	F ₁	1.85±0.16 a	1.50±0.12 a	9.57±1.34 ab	15.03±0.81 a	11.96±0.97 a	73.01±2.32 a
	P3A	1.51±0.13 a	1.05±0.15 b	7.33±0.99 b	15.97±1.90 a	11.12±1.86 a	72.91±3.70 a
	992	1.51±0.14 a	1.48±0.15 a	11.98±0.58 a	10.09±1.52 b	9.92±0.93 a	80.00±1.70 a
150	F ₁	1.17±0.07 a	1.33±0.11 a	9.35±1.07 a	10.43±1.34 b	11.66±1.25 b	77.91±2.45 a
	P3A	1.17±0.16 a	0.99±0.16 a	4.50±1.06 b	19.05±2.04 a	15.68±1.87 a	65.27±3.68 b
	992	0.80±0.07 b	0.93±0.14 a	3.48±0.70 b	16.68±1.93 a	18.10±0.68 a	65.23±2.24 b
200	F ₁	0.98±0.05 a	1.17±0.21 a	6.55±1.14 a	11.82±1.07 b	13.33±1.35 b	74.85±2.24 a
	P3A	0.83±0.05 ab	0.70±0.08 b	2.48±0.39 b	21.65±1.67 a	17.88±1.49 ab	60.48±2.74 b
	992	0.61±0.12 b	0.50±0.03 b	1.28±0.18 b	26.01±1.32 a	21.79±2.32 a	52.20±3.56 b

3 讨 论

杂种优势是一种综合表现,在逆境条件下,则表现为抗性优势^[6]。在逆境胁迫下,杂交种苗期根系是否具有杂种优势?前人的研究表明:无论是在低磷胁迫下的杂交稻^[13]、芸薹种蔬菜杂交种^[14]、不同磷效率小麦品种配制杂交种^[15],还是在水分胁迫下杂交种马褂木^[6],以及在盐胁迫下的高粱-苏丹草杂交种^[16]、玉米杂交种^[17]、南瓜杂交种^[18]和Cd胁迫下的杂交稻^[19],杂交种均具有显著的杂种优势,明显表现出比亲本较强的耐性。本研究表明,在对照或处理条件下,红麻杂交种的根长、根表面积、根体积均表现出较强的中亲优势和超高亲优势,且在对照中,红麻根系生长的杂种优势均未达到显著水平,随着盐浓度的提高,其杂种优势越来越明显,其中根长、根表面积、根体积的中亲优势和超高亲优势在200 mmol/L时,达到极显著差异。说明红麻杂交种根系生长在盐胁迫下明显表现出比亲本较强的耐性。这与李博等研究结果不一致^[9],这可能是由于所采用的材料及处理方法等不同所致。

红麻杂交种根系生长在盐胁迫下表现出比亲本较强的抗性,也是在一定阈值内。本研究预备试验时,当盐浓度提高至300 mmol/L时,红麻幼苗生长至7 d时,植株死亡。在土壤非生物逆境胁迫条件下,植物根系生长表现出明显的可塑性^[4]。在盐胁迫下,红麻杂交种根系生长表现出比亲本较强的抗性优势,也随着盐处理天数的变化而变化(另文待发)。根据前人的研究结果,推断杂交种在干旱、低磷、水分等非生物胁迫逆境下,表现出较强的杂种优势,可能是由于杂交种有其比双亲更高的根系活力、光合速率,水通道蛋白表达量及其活性,能够维持相对较高的细胞色素途径呼吸,从而具有比亲本较高的元素的吸收效率以及某些酶类活性(叶片酸性磷酸酶活性)等原因^[13,15,19],同时,由于杂种的多数性状由不育系和恢复系共同决定,它们间的耐盐能力差异,与其亲缘关系有关^[20],在杂种优势形成的过程中,杂交种和亲本之间的基因表达发生了显著的变化。基因在杂种与亲本间存在表达差异,既有质上的差异也有量上的差异^[5,21-22]。mRNA差异显示技术分析认为杂交种光抑制差异表达基因多数为父母本所共有,只有少数基因才表现为母本或父本的单亲特异性^[23]。而杂交种和亲本之间耐盐性差异是否与差异表达基因有关,目前还未见有关报道,有

关原因还需进一步研究。

植物根系由不同粗细的根组成,而通过不同细度根长、根体积和根表面积组成所谓的“根系构型”^[24]。逆境胁迫下,改变了不同直径大小根系所占的比例,从而改变根系的组成和形态构型。对其界定范围目前没有统一标准,许多学者根据自己的研究需要进行了界定^[9,25]。本研究将根粗(D)划分为细根($0 < D \leq 1.25$)、中等根($1.25 < D \leq 2.25$)和粗根($D > 2.25$)3个等级。研究表明,盐胁迫对红麻幼苗不同细度的根长、根体积和根表面积均有显著影响。红麻杂交种粗根根长、根体积、根表面积的杂种优势显著高于细根和中等根(尤其在150和200 mmol/L时)。可见,在盐胁迫下,与亲本相比,红麻杂交种细根虽然表现出生长优势,但其受影响的程度大于中等根和粗根,因此细根的根长、根体积和根表面积下降,而粗根的根长、根体积和根表面积则相应上升,这可能是红麻幼苗杂交种根系生长对盐胁迫的一种适应性反映。说明红麻杂交种在盐胁迫下,可以有效增加根系生长形成更多的粗根,提高其耐盐能力。这与在冬小麦^[26]、玉米^[27]上的研究结论相一致,且在酚酸处理^[28]、低温^[29]、铝胁迫^[30]等非生物胁迫也存在上述现象,其原因认为是植物根尖在铝毒胁迫下细胞木质素积累显著增加,细胞分裂和伸长受阻,因而导致根系增粗^[30],但在盐胁迫下的具体原因还有待于进一步研究。

红麻杂交种根系生长在盐胁迫下明显表现出比亲本较强的耐性,这不仅为通过利用杂种优势进行育种进而获得更加耐盐的红麻材料提供了依据,也可望成为耐盐性育种一条新的途径。

参 考 文 献

- [1] 郭予琦,田曾元,闫道良,等.盐生植物海滨锦葵幼苗盐胁迫下基因差异表达分析[J].遗传,2008,30(7):941-950
- [2] 徐鲜钧,沈宝川,祁建民.植物耐盐性及其生理生化指标的研究进展[J].亚热带农业研究,2007,3(4):275-280
- [3] 杨帆,丁菲,杜天真.盐胁迫下构树幼苗各器官中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 和 Cl^- 含量分布及吸收特征[J].应用生态学报,2009,20(4):767-772
- [4] 任艳芳,何俊瑜,周国强,等.镉对镉胁迫下水稻幼苗根系生长和根系形态的影响[J].生态环境学报,2010,19(1):102-107
- [5] Fu N Z, Sun Q X, Wu L M, et al. Differential gene expression between wheat hybrids and their parental inbreds in primary roots[J]. Acta Botanica Sinica, 2002, 44(4):457-462
- [6] 叶金山,王章荣.水分胁迫对杂种马褂木与双亲重要生理性状

- 的影响[J]. 林业科学, 2002, 38(3): 20-26
- [7] 廖英明, 祁建民, 张广庆, 等. 我国红麻雄性不育系选育及对不育机理研究的思考[J]. 中国麻业科学, 2009, 31(2): 125-129
- [8] 周瑞阳, 张新, 张加强, 等. 红麻细胞质雄性不育系的选育及杂种优势利用取得突破[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 314
- [9] 李博, 田晓莉, 王刚卫, 等. 苗期水分胁迫对玉米根系生长杂种优势的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(4): 662-668
- [10] 白厚义. 试验方法及统计分析[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 105-161
- [11] 何俊瑜, 王阳阳, 任艳芳, 等. 镉胁迫对不同水稻品种幼苗根系形态和生理特性的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5): 1863-1868
- [12] 任永峰, 刘景辉, 李倩, 等. 不同水分胁迫对裸燕麦根系生长的影响[J]. 作物杂志, 2009(2): 17-21
- [13] 严宽, 王昌全, 李焕秀, 等. 磷水平对杂交水稻及其亲本根系酸性磷酸酶活性的影响[J]. 中国水稻科学, 2010, 24(1): 43-48
- [14] 吴才君, 曹家树, 董德坤. 芸薹种蔬菜杂交种及其亲本莲座期基因差异表达与杂种优势的关系[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1654-1659
- [15] 李宾兴, 郭程瑾, 王斌, 等. 缺磷胁迫下不同磷效率小麦品种及其杂种 F₁ 的磷吸收利用特性[J]. 作物学报, 2006, 32(2): 267-272
- [16] 孙守钧, 刘惠芬, 王云, 等. 高粱-苏丹草杂交种耐盐性的杂种优势研究[J]. 华南农业大学学报, 2004, 25(增刊 II): 24-27
- [17] 张春宵, 刘晓鑫, 郝东云, 等. 玉米杂交种郑单 958 及其双亲自交系耐盐碱性分析[J]. 玉米科学, 2009, 17(6): 39-44
- [18] 周俊国, 朱月林, 刘正鲁, 等. NaCl 胁迫对中国南瓜自交系及其杂交种幼苗生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(5): 334-339
- [19] 王昌全, 郭燕梅, 李冰, 等. Cd 胁迫对杂交水稻及其亲本叶片丙二醛含量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5377-5384
- [20] 杨敏生, 李艳华, 梁海永, 等. 白杨派杂种无性系及其亲本光合和生长对盐胁迫的反应[J]. 林业科学, 2006, 42(4): 19-26
- [21] Yao Y, Ni Z, Zhang Y, et al. Identification of differentially expressed genes in leaf and root between wheat hybrid and its parental inbreds using PCR-based cDNA subtraction[J]. Plant Molecular Biology, 2005, 58(3): 367-384
- [22] Song X, Ni Z F, Xie C J, et al. Wheat (*Triticum aestivum* L.) root proteome and differentially expressed root proteins between hybrid and parents[J]. Proteomics, 2007, 7: 3538-3557
- [23] 姜国强, 郭晋隆, 孟庆伟, 等. 超级杂交水稻两优培九光抑制差异表达基因的遗传来源[J]. 中国农业科学, 2005, 38(1): 33-37
- [24] 梁泉, 廖红, 严小龙. 植物根构型的定量分析[J]. 植物学通报, 2007, 24(6): 695-702
- [25] 常文静, 郭大立. 中国温带、亚热带和热带森林 45 个常见树种细根直径变异[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1248-1257
- [26] 谷艳芳, 丁圣彦, 李婷婷, 等. 盐胁迫对冬小麦幼苗干物质分配和生理生态特性的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(2): 840-845
- [27] 王宁. 不同玉米品种苗期对盐胁迫的生物学响应及耐性机制研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009: 44-46
- [28] 杨阳, 王华田, 王延平, 等. 外源酚酸对杨树幼苗根系生理和形态发育的影响[J]. 林业科学, 2010, 46(11): 73-80
- [29] 任旭琴, 缪旻珉, 陈晓明, 等. 低温逆境下辣椒根系生长及生理特性的响应[J]. 中国蔬菜, 2007(3): 12-14
- [30] 刘鹏, Yang Y S, 徐根娣, 等. 铝胁迫对大豆幼苗根系形态和生理特性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(4): 49-54

(责任编辑: 袁文业)