

红麻杂交种幼苗生长对盐胁迫的响应

张加强 潘凤英 廖小芳 周瑞阳 杨健 黄龙

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 F_1 为材料, 采用水培法研究盐胁迫对红麻幼苗生长效应以及红麻杂交种对盐胁迫是否存在杂种优势。结果表明: 盐胁迫显著抑制红麻幼苗的生长, 改变了干物质的分配, 使根冠比增大; 不同基因型红麻幼苗对盐胁迫的耐性存在显著差异; 红麻杂交种的幼苗生长对盐胁迫的响应表现出较强的中亲优势和超高亲优势, F_1 相对亲本的杂种优势在一定范围内随着盐浓度的提高进一步增强。

关键词 盐胁迫; 杂种优势; 红麻; 超高亲优势; 水培法

中图分类号 S 563.5; S 332.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)05-0552-06

土壤盐渍化是影响农业生产和生态环境的严重问题, 耕地的减少和淡水资源的不足将迫使人类开发和利用大面积的盐碱地、海岸带和滩涂地带, 植物耐盐的机理和耐盐植物的培育研究成为研究的热点之一^[1]。红麻是重要的纤维作物, 也是一种比较耐盐的作物, 杂种优势显著^[2]。红麻雄性不育系的研究是红麻杂种优势利用的重要基础。周瑞阳等^[3] 2004 年选育出了第 1 个红麻细胞质雄性不育系, 实现了红麻三系配套。

杂种优势是生物界普遍存在且复杂的生物学现象, 它不仅表现在生长势和生活力上, 还表现在抗逆性、产量、品质等方面^[4]。杂种优势在胚根的发育和幼苗生长阶段就已经存在^[5], 但长期以来, 人们对于杂种优势的研究多集中在形成的机理等方面^[6-9], 而对于逆境胁迫下植物杂种优势表现的研究则较少^[10]。对于盐胁迫下红麻杂交种的幼苗生长的杂种优势表现少见报道。

本试验以红麻细胞质雄性不育系 P3A、恢复系 992 及其杂交 F_1 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, 研究红麻杂交种及其亲本的幼苗生长对盐胁迫的响应, 以为红麻杂种优势利用及耐盐红麻杂交种的培育提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为红麻细胞质雄性不育系 P3A、恢复系 992 及其杂交 F_1 种子。

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 F_1 各 400 粒饱满完整的种子, 浸种 2 h, 播于装有石英砂的育苗盘中。培养 1 周至一叶一心期后, 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 2 cm、厚为 3 cm 泡沫塑料上, 用消毒海绵固定幼苗, 在装有 1/2 Hoagland 营养液的 5 L 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 2 周后进行盐处理, 采用直接加 NaCl 溶液的方法, 设 3 个处理, NaCl 溶液浓度分别为 50 mmol/L (1/2 Hoagland + 50 mmol/L NaCl)、150 mmol/L (1/2 Hoagland + 150 mmol/L NaCl)、200 mmol/L (1/2 Hoagland + 200 mmol/L NaCl), 以 1/2 Hoagland 营养液培养处理作为对照。培养期间, 每周更换营养液 1 次, 并及时用蒸馏水补充因蒸发失去的水分。培养期间的条件: 温度 24~36 °C, 相对湿度 40%~60%, 电动气

收稿日期: 2011-02-28

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

张加强, 博士研究生。研究方向: 红麻育种及种质创新。E-mail: zqiang414@163.com

通讯作者: 周瑞阳, 教授。研究方向: 麻类育种及栽培。E-mail: ruiyangzhou@yahoo.com.cn

泵 15 min 间隔通气, 并做好防病防虫工作。

1.3 测定指标

植株盐处理后 15 d 取样, 每个重复取生长一致的 8 株幼苗, 先用蒸馏水冲洗, 测定株高(采用直尺自子叶节处进行测量)、茎粗(采用游标卡尺测量红麻茎干 1/2 处的茎粗); 然后用剪刀将幼苗的茎和根在分节处分开, 采用 WinRHIZO(version 4.0b, 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; 将新鲜根和茎叶置于 105 °C 烘箱杀青 20 min, 然后在 80 °C 烘至恒质量, 称茎叶干质量、根干质量。根冠干质量比为根干质量和茎叶干质量的比

值。壮苗指数 = (茎粗/株高) × 干物质量^[11]。

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^[12]。中亲优势 = (F₁ - MP)/MP × 100%, 超高亲优势 = (F₁ - HP)/HP × 100%; 式中 F₁、MP 和 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 红麻杂交种幼苗期茎叶生长对盐胁迫的响应

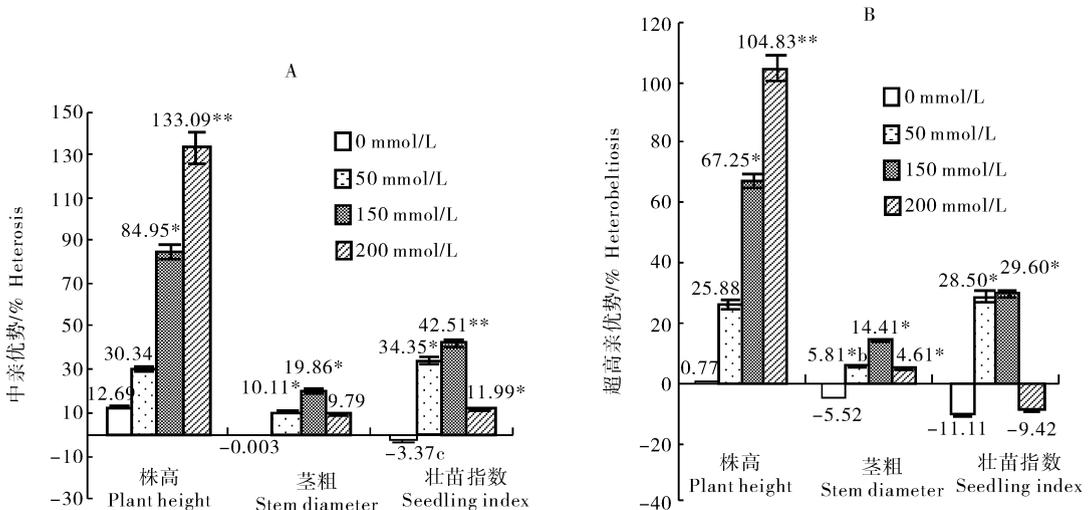
从表 1 可以看出, 盐胁迫显著抑制了红麻杂交种及其双亲株高和茎粗的生长。与亲本相比, 红麻

表 1 不同盐处理下的红麻杂交种及其双亲的株高、茎粗及壮苗指数¹⁾

Table 1 The plant height, stem diameter, and vigorous seedling index of kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

NaCl 浓度/(mmol/L) NaCl concentration	基因型 Genotype	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem diameter	壮苗指数 Seedling index
0	F ₁	38.83 ± 2.37 a	3.43 ± 0.14 a	0.10 ± 0.01 a
	P3A	30.33 ± 1.50 b	3.32 ± 0.10 a	0.11 ± 0.01 a
	992	38.67 ± 1.15 a	3.55 ± 0.11 a	0.11 ± 0.00 a
50	F ₁	37.83 ± 1.05 a	3.53 ± 0.12 a	0.15 ± 0.01 a
	P3A	29.00 ± 0.73 b	3.24 ± 0.09 ab	0.11 ± 0.00 b
	992	29.50 ± 1.34 b	3.18 ± 0.07 b	0.11 ± 0.01 b
150	F ₁	25.33 ± 0.76 a	3.31 ± 0.08 a	0.14 ± 0.01 a
	P3A	15.17 ± 1.42 b	2.88 ± 0.11 b	0.11 ± 0.01 b
	992	13.00 ± 0.93 b	2.67 ± 0.08 b	0.09 ± 0.01 b
200	F ₁	19.67 ± 0.88 a	3.00 ± 0.13 a	0.11 ± 0.01 a
	P3A	9.00 ± 0.52 b	2.87 ± 0.04 a	0.13 ± 0.01 a
	992	8.00 ± 0.73 b	2.61 ± 0.04 b	0.08 ± 0.01 b

1) 表中数据为平均值 ± 标准误, 数据后不同字母表示在相同盐处理下基因型间在 5% 水平上差异显著, 下同。Data in the table are Mean ± Standard deviation of eight replicates. In each treatment, different letters indicate the significant difference at 5%. The same as follows.



* 差异显著 Significant at $P < 0.05$; 误差线表示数据的标准误, 下同。Error bar denotes standard error, the same as follows.

图 1 不同盐处理下株高、茎粗及壮苗指数的中亲优势和超高亲优势

Fig. 1 Heterosis (A) and heterobeltiosis (B) for the plant height, stem diameter, and vigorous seedling index under different salt treatments

杂交种株高和茎粗下降幅度均小于双亲。在对照中,杂交种与双亲相比,两者的株高和茎粗均未达到显著,随着盐浓度的增大,差异达显著水平。

从图 1-A、B 可以看出,在中亲优势和超高亲优势方面,红麻杂交种幼苗的株高,在对照或处理条件下均表现出正向中亲优势和正向超高亲优势,并且在 150 和 200 mmol/L 差异达到显著水平。而茎粗和壮苗指数(对照除外),也表现出正向中亲优势和正向超高亲优势,在 150 mmol/L 时,表现出最大程

度的中亲优势和超高亲优势。

2.2 红麻杂交种幼苗期根系生长对盐胁迫的响应

从表 2 可以看出,盐胁迫对红麻杂交种幼苗根系的形态也产生显著影响。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下降趋势。与双亲相比,红麻杂交种根体积表现明显,在对照或盐处理下,基因型间差异均显著,并随盐浓度的增大,差异达极显著,而根长和根尖数差异则表现不明显。

表 2 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 2 The root length, root surface area, root volume and root tips of kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

NaCl 浓度/(mmol/L) NaCl concentration	基因型 Genotype	根长/cm Root length	根表面积/cm ² Root surface area	根体积/cm ³ Root volume	根尖数 Root tips
0	F ₁	610.04±68.81 a	250.78±26.13 a	8.27±0.90 a	261.00±22.07 a
	P3A	486.56±58.64 a	179.27±19.70 a	5.27±0.54 b	227.00±32.40 a
	992	488.93±57.43 a	187.98±22.41 a	5.78±0.73 b	188.83±33.07 a
50	F ₁	658.38±52.05 a	247.26±17.17 a	7.44±0.59 a	244.33±34.41 a
	P3A	552.53±49.90 a	199.9±16.67 a	5.78±0.48 b	242.17±22.14 a
	992	532.47±40.79 a	234.5±13.11 a	8.25±0.35 a	166.50±19.11 a
150	F ₁	429.14±19.08 a	197.32±8.96 a	7.28±0.54 a	124.17±6.76 b
	P3A	421.88±52.34 a	160.37±23.20 ab	4.87±0.81 b	160.83±16.63 a
	992	288.34±27.53 b	122.1±14.01 b	4.15±0.59 b	99.50±6.60 b
200	F ₁	364.06±42.76 a	161.12±20.03 a	5.71±0.81 a	116.83±13.46 a
	P3A	291.76±14.71 a	110.64±8.60 b	3.35±0.35 b	114.67±7.14 a
	992	210.26±16.69 b	76.58±5.25 c	2.22±0.13 b	85.67±9.03 b

从图 2-A、B 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(150 mmol/L 时除外)在对照或盐处理下,都表现出较强的正向中亲优势,并且在 200 mmol/L 时,根长、根表面积和

根体积均表现出最高的正向中亲优势和最高的正向超高亲优势。其中,中亲优势分别为 44.55%、69.63%和 100.06%;超高亲优势分别为 22.86%、42.98%和 67.24%。

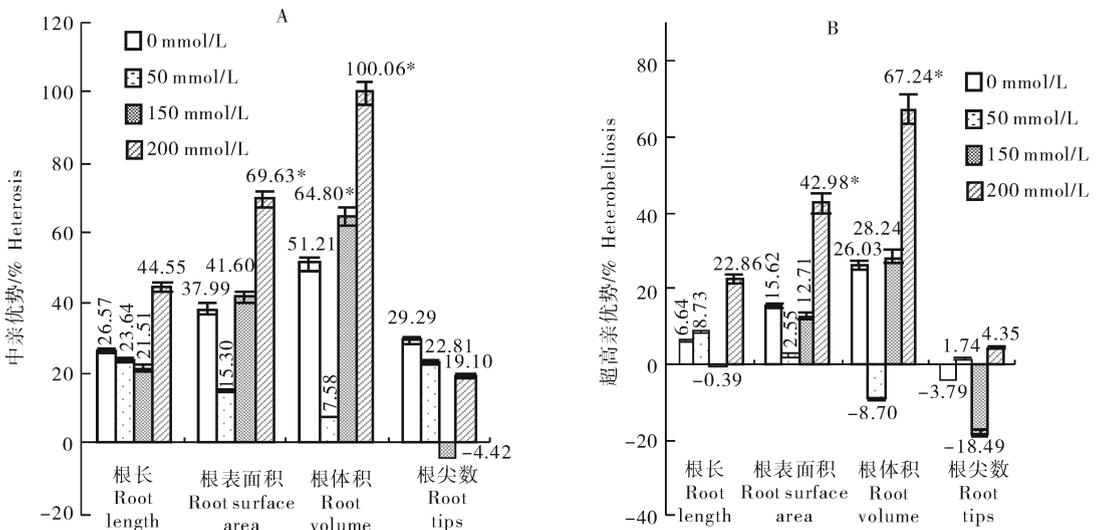


图 2 不同盐处理下根长、根表面积、根体积及根尖数的中亲优势和超高亲优势

Fig. 2 Heterosis (A) and heterobeltiosis (B) for the root length, root surface area, root volume and root tips under different salt treatments

2.3 盐胁迫对红麻幼苗期根冠比的影响

生物量能直接反映植物的生长状况,盐碱胁迫能导致植物正常发育失衡,生物量重新分配,抑制植物正常的生长发育。根冠比反映植物根系与地上部分的生长协调性,生长在不同立地条件下的植物,为适应其环境条件的变化,会导致光合产物在不同器官之间的分配发生相应变化而导致根冠比不同^[13-14]。

从表 3 可以看出,盐胁迫抑制红麻杂交种的正常生长发育,最终影响到茎叶干质量、根干质量及根冠比,并且随着盐浓度的增加,茎叶干质量、根干质量呈现下降趋势。在对照中,杂交种与双亲间的茎叶干质量、根干质量未达到显著差异,在 50 mmol/L 时,差异达到显著差异,并且在 200 mmol/L 时,杂交种与双亲间的根干质量差异达极显著。

表 3 不同盐处理下的红麻杂交种及其双亲的茎叶干质量、根干质量及根冠比

Table 3 The dry mass of leaf and stem, root dry mass and the ratio of root to shoot of kenaf hybrid and its parents under different salt treatments

NaCl 浓度/(mmol/L) NaCl concentration	基因型 Genotype	茎叶干质量/g Dry mass of leaf and stem	根干质量/g Root dry mass	根冠比 Ratio of root to shoot
0	F ₁	0.80±0.04 a	0.34±0.05 a	0.43±0.07 a
	P3A	0.71±0.08 a	0.26±0.01 a	0.41±0.08 a
	992	0.85±0.11 a	0.30±0.04 a	0.39±0.07 a
50	F ₁	1.16±0.12 a	0.43±0.04 a	0.39±0.05 a
	P3A	0.68±0.07 b	0.31±0.03 b	0.49±0.09 a
	992	0.72±0.05 b	0.31±0.04 b	0.46±0.05 a
150	F ₁	0.74±0.04 a	0.29±0.04 a	0.39±0.06 a
	P3A	0.36±0.05 b	0.17±0.02 b	0.50±0.07 a
	992	0.28±0.03 b	0.16±0.03 b	0.63±0.15 a
200	F ₁	0.50±0.07 a	0.23±0.03 a	0.54±0.14 a
	P3A	0.25±0.03 b	0.13±0.03 b	0.55±0.12 a
	992	0.15±0.02 b	0.07±0.01 c	0.56±0.14 a

从图 3-A、B 中可以看出,红麻杂交种的茎叶干质量、根干质量,在对照或盐处理下均表现出较强的正向中亲优势和正向超高亲优势,在 50 mmol/L

时,与对照相比差异显著,在 200 mmol/L 时,其值达到最大,而根冠比则多表现出负向中亲优势(对照除外)和负向超高亲优势。

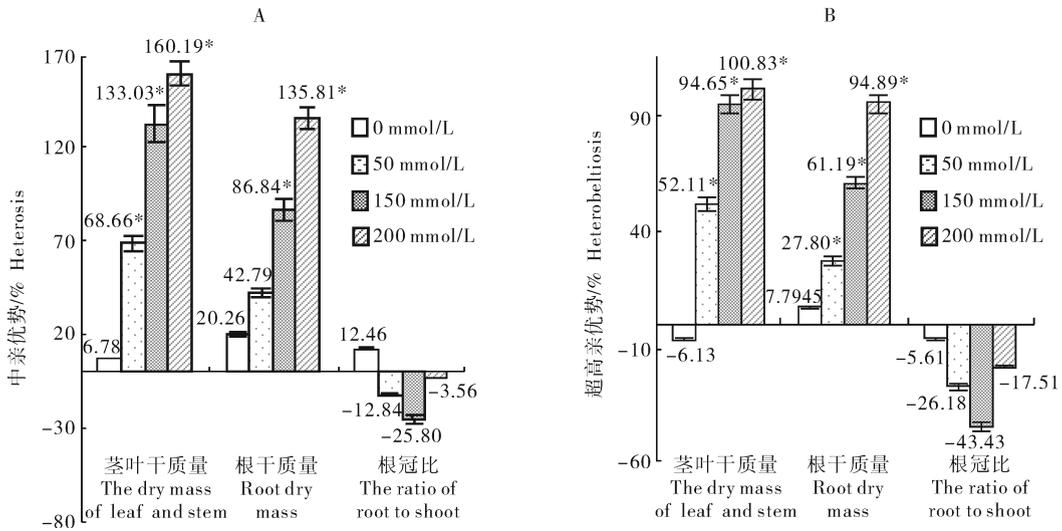


图 3 不同盐处理下茎叶干质量、根干质量及根冠比的中亲优势和超高亲优势

Fig. 3 Heterosis (A) and heterobeltiosis (B) for the dry mass of leaf and stem, root dry mass and the ratio of root to shoot under different salt treatments

由以上分析可知,盐胁迫抑制了红麻幼苗生长,植株和生物量都显著下降,杂种优势在红麻幼苗生

长中一直存在,但未达到显著水平,随着盐浓度的提高,红麻杂交种幼苗的株高、茎粗、茎叶干质量以及

根干质量的中亲优势和超高亲优势均达到显著水平,即表现显著的杂种优势。这说明在对照中,红麻的杂种优势表现不明显,而在盐胁迫条件下,由于亲本耐胁迫能力较弱,杂交种耐胁迫能力较强,从而导致杂交种与亲本幼苗生长的差异进一步加大。

3 讨论

作物杂种优势研究多集中在机制方面^[6-9,15-16],而作物对盐胁迫的响应研究则大多集中在抗氧化酶系统、离子吸收、转运和离子区域化、生理特性以及光合作用等方面^[1,17-20],将两者结合起来进行系统研究的甚少。本研究以细胞质雄性不育系 P3A、恢复系 992 及其杂交 F₁ 为材料,采用水培法研究了盐胁迫对红麻幼苗生长效应,并对红麻杂交种对盐胁迫是否存在杂种优势进行了研究。

植物生物量积累是表征其受盐害轻重的常用生长指标,生物量是植物对盐胁迫反应的综合体现,也是植物耐盐性的直接指标^[17]。本研究表明,随盐胁迫浓度增加,红麻幼苗株高和生物量积累均降低,但基因型间幼苗生长量的降幅存在较大差异。与亲本相比,红麻杂交种株高和茎粗下降幅度均小于双亲,并且表现出较高的正向中亲优势和正向超高亲优势,这与李博等^[10]的研究结果正好相反,这可能是由于所采用的材料及处理方法的差异所致。

根系是植物吸收矿质营养和水分的主要器官,其形态及构型在很大程度上决定着植物获取养分的能力。在土壤非生物逆境胁迫条件下,根系往往是最直接的受害器官。根系形态指标,包括根系总根长、根系表面积、根系体积和主根长,能够直接反应植株生长状态^[18]。本研究表明,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下降趋势。与双亲相比,红麻杂交种根体积表现明显,在对照或盐处理下,差异均显著,并随盐浓度的提高差异达极显著。红麻杂交种的根长、根表面积、根体积、根尖数在对照或盐处理下(150 mmol/L 时除外),都表现出较强的正向中亲优势,并且在 200 mmol/L 时,根长、根表面积和根体积,都表现出最高的正向中亲优势和最高的正向超高亲优势。

当作物受到盐胁迫时,根系吸水功能受阻,根系吸水与冠部蒸腾之间的平衡被打破,作物凭借本身的自我调节功能,向根部提供更多的光合产物,促进根系生长,弥补其受阻的吸水功能,使根冠比增加;

根冠干质量比是根干质量和茎叶干质量的比值,其值变化较大,因此,根冠比多表现出负向中亲优势(对照除外)和负向超高亲优势。研究表明,盐胁迫能导致植物正常发育失衡,生物量重新分配,随着盐浓度的增加,根冠比呈增加的趋势,这与弋良朋等^[21]的研究结果一致。

综上所述,盐胁迫显著抑制红麻幼苗的生长,使株高、茎粗下降,根长、根体积、根表面积以及根尖数减少;同时它还改变了红麻幼苗干物质的分配,使根冠比增大。不同基因型间存在差异,红麻杂交种的幼苗生长对盐胁迫的响应,表现出较强的中亲优势和超高亲优势,但这种表现是在一定阈值内的。本研究在预备试验时,当盐浓度提高到 300 mmol/L 时,无论是红麻亲本还是杂交种生长至第 7 天时,整株死亡。因此,也只是在一定阈值内随着盐浓度的提高,杂交种表现耐盐胁迫的能力越强。

杂种优势形成机制和植物耐盐机制的复杂性^[6-9,17,22],使得研究者已从多方面来对其开展了大量研究,但其产生的机制等许多重要问题仍有待探索。本研究发现,红麻杂交种幼苗生长在盐胁迫下表现出较强的中亲优势和超高亲优势,其产生的原因和生理机制等均需进一步研究。

致谢 在试验过程中得到了广西大学农学院窦俊煊、黎栋、武路云、周步进、梁丽萍等同学的热情帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 张天真.作物育种学总论[M].北京:中国农业出版社,2003:144-166.
- [5] 李宗贤,侯兆芳,韦应碧,等.杂交高粱的胚根优势及在种子工作中的利用[J].山西农业科学,1983(11):16-17.
- [6] 倪中福,孙其信,吴利民.普通小麦不同优势杂交种及其亲本之间基因表达差异比较研究[J].中国农业大学学报,2000,5(1):1-8.
- [7] 谢晓东,倪中福,孟凡荣,等.小麦杂交种与亲本发育早期种子的基因表达差异及其与杂种优势关系的初步研究[J].遗传学报,2003,30(3):260-266.
- [8] 王经源.杂交稻苗期杂种优势的比较蛋白质组学研究[D].福州:福建农林大学图书馆,2008.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 李祥云, 赵明, 高峻岭, 等. 穴盘育苗基质的养分供应对蔬菜幼苗生长的影响[J]. *山东农业大学学报: 自然科学版*, 2002, 33(4): 442-447.
- [12] 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.
- [13] 谢志良, 田长彦. 膜下滴灌水氮对棉花根系形态和生物量分配变化的影响[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(4): 138-143.
- [14] 董发明, 洪登峰, 刘平武, 等. 甘蓝型油菜隐性细胞核雄性不育系 9012AB 遗传模式新释[J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(3): 262-267.
- [15] 付新民, 王岩, 高冠军, 等. 利用水稻重组自交系进行配合力遗传分析[J]. *华中农业大学学报*, 2010, 29(4): 397-402.
- [16] 徐达文, 张立平, 赵昌平, 等. 小麦光温敏雄性不育系 BS366 育性的遗传分析[J]. *华中农业大学学报*, 2009, 28(6): 655-659.
- [17] 刘莹, 盖钧镒, 吕慧能. 作物根系形态与非生物胁迫耐性关系的研究进展[J]. *植物遗传资源学报*, 2003, 4(3): 265-269.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 朱进, 别之龙, 黄远. 不同耐盐性的黄瓜接穗嫁接后在 NaCl 胁迫下的生理响应[J]. *华中农业大学学报*, 2009, 28(4): 467-471.
- [21] 弋良朋, 马健, 李彦. 盐胁迫对 3 种荒漠盐生植物苗期根系特征及活力的影响[J]. *中国科学: D 辑 地球科学*, 2006, 36(S2): 86-94.
- [22] 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.

Response of hybrid kenaf seedling to salt stress

ZHANG Jia-qiang PAN Feng-ying LIAO Xiao-fang
ZHOU Rui-yang YANG Jian HUANG Long

College of Agronomy, Guangxi University, Nanning 530004, China

Abstract Responses of kenaf seedling to the salt stress were studied using water planting of cytoplasmic male sterility(CMS) line P3A, restorer line 992, and their F₁ hybrids. The results showed that salt stress significantly inhibited the growth of kenaf seedlings. Salt stress caused changes in dry matter partitioning and increased the ratio of root to shoot. Responses to salt were different among different genotypes. The F₁ hybrid showed positive midparent-/transgressive-heterosis. The heterosis of F₁ increases under higher concentration of salt within certain range.

Key words salt stress; heterosis; kenaf; heterobeltiosis; water culture method

(责任编辑: 陆文昌)