

# 油菜 3 个栽培种发芽期耐盐性评价

龙卫华<sup>1,2</sup>, 浦惠明<sup>1</sup>, 陈松<sup>1</sup>, 张洁夫<sup>1</sup>, 戚存扣<sup>1</sup>, 张学昆<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>江苏省农业科学院经济作物研究所/农业部长江下游棉花与油菜重点实验室, 南京 210014;

<sup>2</sup>中国农业科学院油料作物研究所/农业部油料作物生物学与遗传育种重点实验室, 武汉 430062)

**摘要:**对油菜种质资源进行耐盐性评价是培育耐盐油菜品种的基础性工作。本研究在室内分别采用 3 种 NaCl 浓度 (86 mmol/L、170 mmol/L、256 mmol/L) 对芥菜型油菜 (*Brassica juncea*)、白菜型油菜 (*B. rapa*) 和甘蓝型油菜 (*B. napus*) 等 3 个栽培种的 203 份种质资源进行盐胁迫, 结果表明盐胁迫对各栽培种的发芽率有不同程度抑制作用, 白菜型油菜表现最好, 甘蓝型油菜次之, 芥菜型油菜最差。基于发芽率筛选出 14 份优异种质。进一步利用梯度浓度盐 (NaCl) 溶液对其进行胁迫, 发现各栽培种发芽率均随着盐浓度的升高呈下降趋势, 符合 Boltzmann 曲线, 但白菜型油菜下降最为缓慢。通过比较盐胁迫下各栽培种 6 个性状值 (胚轴长、根长、总鲜重、地上部分鲜重、总叶绿素含量和电导率) 后发现, 白菜型油菜发芽期耐盐性优于甘蓝型油菜和芥菜型油菜。对 170 mmol/L NaCl 胁迫下 14 份种质各性状值的主成分分析表明, 白菜型油菜 Br2、甘蓝型油菜 Bn1 和 Bn3 为最耐盐种质, 可用于耐盐油菜品种的培育。

**关键词:**油菜; 栽培种; 耐盐; 发芽期

## Evaluation for Salt Tolerance of Three Cultivated Species of Rapeseeds at Germination Stage

LONG Wei-hua<sup>1,2</sup>, PU Hui-ming<sup>1</sup>, CHEN Song<sup>1</sup>, ZHANG Jie-fu<sup>1</sup>, QI Cun-kou<sup>1</sup>, ZHANG Xue-kun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Industrial Crop Institute of Jiangsu Academy of Agriculture Sciences/ Key Lab of Cotton and Rapeseed of Ministry of Agriculture, Nanjing 210014; <sup>2</sup>Oil Crops Research Institute of Chinese Academy of Agriculture Sciences, Key Lab of Biology and Genetic Improvement of Oil Crops of Ministry of Agriculture, Wuhan 430062)

**Abstract:** Evaluation of the salt tolerance on existed rapeseeds germplasms is the primary work for breeding salt-tolerance varieties. 203 accessions of three cultivated species including *Brassica juncea*, *B. rapa*, and *B. napus* were stressed by three NaCl concentrations (86 mmol/L, 170 mmol/L, and 256 mmol/L) and the germination rate (GR) was checked. The results showed that the GRs of three species were all inhibited but with different degrees under salt stress and *B. rapa* performed best, which followed by *B. napus* and *B. juncea* sequentially. Fourteen lines with good GRs were then stressed by gradient NaCl concentrations and results indicated that the GRs of three species decreased as the Boltzmann curve with the increasing NaCl concentrations, and *B. rapa* did most slowly all the time. Six physiological characters including hypocotyl length, root length, plantlet fresh weight, up-ground fresh weight, total chlorophyll content, and electrical conductivity of the fourteen lines under the stress of three NaCl concentrations mentioned above were detected. It approved that the general salt tolerance of *B. rapa* was better than *B. juncea* and *B. napus*. The principle component analysis (PCA) of the trait values under 170 mmol/L NaCl stress revealed that Br2 of *B. rapa* and Bn1 and Bn3 of *B. napus* were the best salt-tolerant germplasms which could be used in the future breeding application.

收稿日期: 2013-04-24 修回日期: 2013-07-01 网络出版日期: 2013-12-19

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20131219.1115.012.html>

基金项目: 农业部油料作物生物学重点实验室开放课题 (2012-1); 江苏省农业科技自主创新资金 (CX(12)2028); 农业部“948”项目 (2011-G23)

第一作者主要从事油菜遗传育种及其抗逆性研究。E-mail: long-weihua@163.com

**Key words:** Rapeseed; cultivated species; salt tolerance; germination stage

盐害是典型的非生物胁迫,对作物产生渗透胁迫、离子胁迫以及次生二级胁迫(如氧化胁迫等),从而显著降低作物产量<sup>[1]</sup>。我国目前有 0.8 亿  $\text{hm}^2$  具有农业生产潜力的盐碱地,其中相当部分的盐碱地处于农业生产适宜区,既是非常宝贵的土地资源<sup>[2]</sup>,也是保证我国农产品供给的后备耕地资源。油菜是十字花科芸薹属油料作物的统称,包括甘蓝型油菜(AACC)、芥菜型油菜(AABB)、白菜型油菜(AA)、埃塞俄比亚芥(BBCC)、甘蓝(CC)和黑芥(BB)等 6 个栽培种,其中前 3 个种在我国广泛栽培,是重要的油料作物。评价 3 个油菜栽培种的耐盐能力并筛选耐盐新种质对于选育耐盐油菜品种具有重要意义。

油菜不同栽培种对盐害的抗(耐)性有显著差异。盐胁迫下双二倍体(包括甘蓝型油菜、埃塞俄比亚芥和芥菜型油菜)栽培种与二倍体栽培种(包括白菜型油菜、黑芥和甘蓝)相比,苗期具有更高的茎秆重和根重,更强的光合能力和水分利用率,也具有更高的产量。在离子分配上,前者的茎和根中积累着较低浓度的  $\text{Na}^+$  和较高浓度的  $\text{K}^+$ ,且  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值高于后者<sup>[3]</sup>。在双二倍体种内,甘蓝型油菜和埃塞俄比亚芥与芥菜型油菜相比,苗期叶片中积累较少的  $\text{Na}^+$ ,产量较高。盐胁迫还降低组织含水量、膜稳定性、叶绿素含量及钾含量,但耐盐品种较盐敏感品种受伤程度低<sup>[4-5]</sup>。此外,油菜不同时期对盐害的抗耐性也不尽一致。M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>测定了盐胁迫下埃塞俄比亚芥耐盐品系和盐敏感品系在发芽期、苗期以及成熟期的表型,认为基于埃塞俄比亚芥某一个特定时期的耐盐性表现不能代表其整个生育期的耐盐性。B. Ahmad<sup>[7]</sup>研究了 5 种不同浓度盐胁迫下甘蓝型油菜发芽期、营养生长期及成熟期的性状,发现发芽期的耐盐性对预测品种的整体耐盐性参考价值不大。水稻、高粱、大麦、谷子、大豆、小麦等也有类似报道<sup>[8-13]</sup>。因此在各个重要发育时期对 3 个栽培种分别进行耐盐鉴定更能反映油菜的真实耐盐能力。

发芽期是油菜生长发育的起始阶段,也是油菜对盐胁迫较为敏感的时期之一<sup>[14]</sup>。目前在发芽期对 3 个栽培种进行耐盐性评价比较的研究较少。本研究在室内利用  $\text{NaCl}$  溶液对 3 个油菜栽培种的种质资源进行盐胁迫,通过考察相关性状来比较油菜 3 个栽培种种内及种间品系的耐盐能力

并筛选耐盐种质,为培育耐盐油菜品种提供材料基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试材料共 203 份,其中甘蓝型油菜 80 份、芥菜型油菜 45 份和白菜型油菜 78 份。所有材料均来自江苏省油菜种质资源库,由江苏省农业科学院经济作物研究所油菜研究室保存。2011 年在大田扩繁种植,收获当年的种子用于本研究。

### 1.2 方法

试验于 2012 年在室内进行,昼夜温度保持  $25 \pm 1$   $^{\circ}\text{C}$ ,光照/黑暗时间为 12 h/12 h,强度为 7000 Lux,湿度为 60% ~ 80%。培养方法:将直径为 10 cm 的培养皿(培养皿高度 4 cm,前期预备试验表明油菜发芽期内幼苗低于此高度)洗净后再用纯水润洗,烘干后在皿底垫上相同厚度的吸水纸,分别定量加入 12 mL 特定浓度的  $\text{NaCl}$  溶液,每皿放入 100 粒大小一致的种子,排列整齐后随即盖上皿盖,试验过程中不再补充盐溶液,并用 parafilm 膜封好,中途不开封以防水分散失。以等体积的水溶液作为对照,3 次重复。发芽以胚根长至种子直径长度为标准。

基于龙卫华等<sup>[15]</sup>的研究结果,试验设置 86 mmol/L、170 mmol/L 和 256 mmol/L 3 种浓度。每天同一时间测定发芽率,持续 7 d。对于筛选获得的 3 个栽培种优异种质,于第 7 天打开皿盖,每皿随机选取生长一致的 20 株幼苗测定根长、胚轴长、总鲜重和地上部分鲜重,同时取地上部分测定总叶绿素含量和电导率。总叶绿素含量和电导率的测定分别按照姜瑞云等<sup>[16]</sup>、G. Kumar 等<sup>[17]</sup>的方法进行。各性状相对值 = 盐胁迫下的性状测定值/对照性状测定值  $\times 100$ 。利用 Excel 进行多重比较和主成分分析。

另外将优异种质分别在 9 种不同浓度的  $\text{NaCl}$  溶液(0、43、86、128、170、214、256、299、342 mmol/L)胁迫下发芽,统计发芽率,采用 Originlab 8.5.1 软件进行发芽曲线拟合。

## 2 结果与分析

### 2.1 3 个栽培种在盐胁迫下的发芽能力比较

低盐(86 mmol/L  $\text{NaCl}$ )、中盐(170 mmol/L  $\text{NaCl}$ )和高盐(256 mmol/L  $\text{NaCl}$ )胁迫下甘蓝型油

菜、白菜型油菜和芥菜型油菜种质资源的发芽率见图 1,从中可以看出:(1)3 个栽培种对盐胁迫的反应不尽一致。在低盐胁迫下,甘蓝型油菜和白菜型油菜的平均发芽率较高,分别达到 95% 和 93%;种内各品系的发芽率变幅较小,集中在 90%。芥菜型油菜平均发芽率仅为 66%,品系间发芽率在 48%~89%之间,变幅为 41%。说明低盐胁迫对甘蓝型油菜和白菜型油菜抑制作用小,对芥菜型油菜抑制明显。在中盐胁迫下,白菜型油菜平均发芽率和种内品系发芽率仍未有明显变化。甘蓝型油菜平均发芽率为 84%,比低盐胁迫降低 11%;品系间发芽率在 60%~94%之间。芥菜型油菜平均发芽率进一步降低为 31%,种内品系发芽率在 13%~45%之间,变幅为 32%。说明中盐胁迫对白菜型油菜仍未有明显抑制作用,对甘蓝型油菜抑制作用增大,而对芥菜型油菜的抑制进一步增大。在高盐胁迫下,白菜型油菜平均发芽率开始降低,为 67%,品系间发芽率在 58%~74%,变幅增大。甘蓝型油菜平均发芽率继续降低至 34%,品系间差异继续加大,在 13%~74%之间。芥菜型油菜平均发芽率为 32%,与中盐胁迫基本持平;品系间差异在 9%~48%之间。(2)盐胁迫下 3 个栽培种发芽率具有各自的变化规律。白菜型油菜在低盐与中盐胁迫下的平均发芽率分别为 93% 和 90%,降幅较小,品系间

发芽率变幅也较小,在 10% 以内;但在高盐胁迫下平均发芽率为 67%,品系间变幅为 16%。甘蓝型油菜在低、中、高盐胁迫下,发芽率分别为 95%、84% 和 34%,呈持续下降状态,并且下降幅度越来越大;品系间差异分别为 8%、34% 和 61%,变幅也持续增大。芥菜型油菜在低、中、高盐浓度胁迫下,发芽率分别为 66%、31% 和 32%,品系间差异分别为 41%、32% 和 39%。

分别从各栽培种种质中选取 3 个对盐胁迫反应差异较大的品系在 4 种盐浓度下进行发芽试验(发芽表现见图 2),可以看出盐胁迫导致幼苗表型发生较大变化。低盐胁迫下,子叶色泽变淡,但子叶面积较对照大,组织较为肥厚。大部分品系生长基本未受影响。但在中盐及高盐胁迫下,幼苗发育明显迟缓。主要表现为下胚轴和根生长受阻,植株矮小,子叶不能展平。部分品系根系发黄变黑,不能立苗。

综上所述,随着盐胁迫浓度的增加,白菜型油菜发芽率在低、中盐胁迫下表现较稳定,高盐胁迫下有所下降;而芥菜型油菜的发芽率在低盐胁迫下即表现明显下降,在中、高盐胁迫下继续维持低值;甘蓝型油菜在低、中、高盐胁迫下表现为逐步下降。因此白菜型油菜最为耐盐,甘蓝型油菜次之,芥菜型最差。

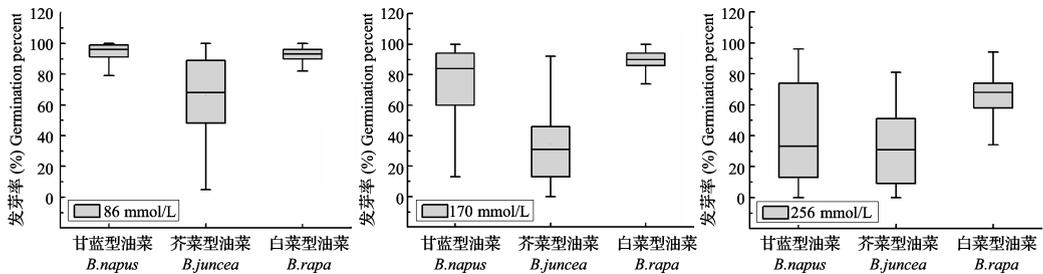
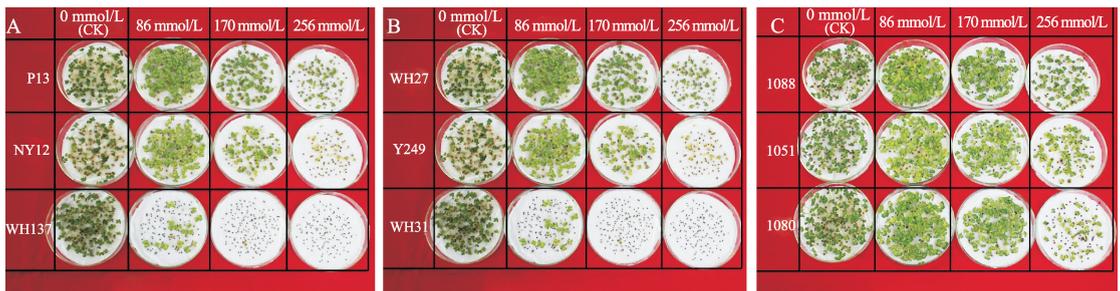


图 1 不同盐浓度胁迫下油菜 3 个栽培种的发芽率

Fig. 1 Germination rates of three species under three concentrations of salt solution



A: 甘蓝型油菜; B: 芥菜型油菜; C: 白菜型油菜

A: *B. napus*, B: *B. juncea*, C: *B. rapa*

图 2 3 个栽培种不同发芽能力品系在不同 NaCl 浓度胁迫下的发芽表现

Fig. 2 Germination phenotypes of three cultivars under NaCl stress

## 2.2 油菜 3 个栽培种发芽率的拟合曲线

分别从 3 个栽培种的种质资源中取盐胁迫下发芽率较好的 4~6 份种质(表 1),自 0 mmol/L 开始,以 43 mmol/L 的浓度梯度增加至 349 mmol/L 对其进行胁迫处理并考察发芽率。采用 Origin 软件进行非线性拟合发现,发芽率与盐浓度的关系符合 Boltzmann 曲线,各栽培种发芽率的变化曲线如图 3 所示,曲线方程为  $y = A2 + (A1 - A2)/(1 + \exp((x - x0)/dx))$ ,其中  $A1$ 、 $A2$ 、 $x0$ 、 $dx$  为 4 个常量,每个栽培种对应不同的常量数值,因此获得 3 个 Boltzmann 曲线方程。由图 3 可知,在盐胁迫浓度 < 150 mmol/L 时,3 个栽培种的发芽率均保持在 90% 以上,线型几乎呈水平状态,发芽率均无明显变化,说明盐胁迫对发芽率影响较小。当浓度 > 150 mmol/L 时,3 个栽培种的发芽率降幅急剧增大,但变化程度有差异。芥菜型油菜的降幅最大,甘蓝型油菜次之,白菜型油菜最小。随着盐胁迫浓度的增加,芥菜型油菜在 250 mmol/L 时发芽率达到最低点,甘蓝型油菜在 300 mmol/L 时达到最低点,而白菜型油菜在 350 mmol/L 时仍能保持 15%。由白菜型、甘蓝型、芥菜型 3 个栽培种对应的曲线方程计算出的半致死盐浓度分别为 304.25 mmol/L、237.15 mmol/L 和 198.89 mmol/L。以上结果表明,白菜型油菜在盐胁迫下的发芽率表现最佳。

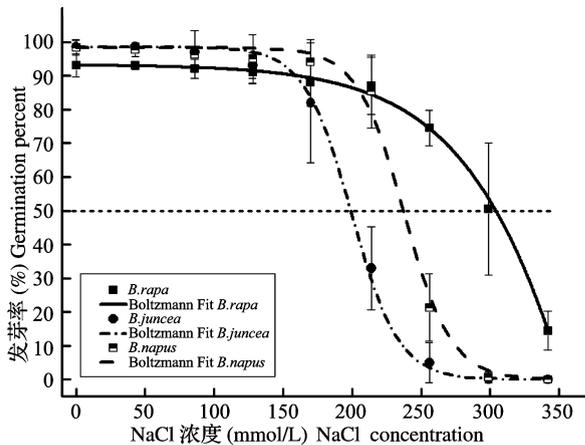


图 3 梯度浓度盐胁迫下 3 个栽培种发芽率的拟合曲线

Fig. 3 Fitting curves of three species of rapeseed under stress of gradient NaCl concentrations

## 2.3 不同盐浓度下 3 个栽培种的性状值比较

油菜 3 个栽培种在正常生长情况下,相关性状及生理指标等方面均具有各自的发育特点,因此采用性状相对值来比较评价更能真实地反映油菜不同栽培类型的耐盐性。对 3 个栽培种的 14 份种

质(表 1)分别在对照(0 mmol/L)、低盐(86 mmol/L)、中盐(170 mmol/L)和高盐(256 mmol/L)胁迫后测定相关性状并计算相对值(表 2)。从表 2 可以看出:(1)各性状的变化趋势不尽一致。电导率在 3 个栽培种中均随着盐胁迫浓度的升高而增大,在低、中盐胁迫下差异不显著,而在高盐胁迫下芥菜型油菜较白菜型油菜和甘蓝型油菜差异显著,说明芥菜型油菜植株体内吸收的离子较多;而总鲜重和地上部分鲜重随着盐浓度的升高呈现先增加后降低的趋势,说明低盐胁迫对总鲜重和地上部分鲜重有促进作用,而中、高盐胁迫对其有负向影响;其他性状均表现为持续降低,说明盐胁迫对其持续抑制。(2)在相同盐浓度胁迫下,各性状在 3 个栽培种中的差异表现不一致。在低盐胁迫下,根长和总叶绿素含量差异显著,其他性状无显著差异。在中盐胁迫下,总鲜重和总叶绿素含量差异显著。而高盐胁迫下,3 个栽培种的根长、胚轴长、总叶绿素含量和电导率等 4 个指标差异显著。表明不同性状对盐胁迫的敏感程度不同。从性状相对值来看,3 个盐浓度胁迫下,除电导率外,白菜型油菜性状相对值最高,甘蓝型油菜次之,芥菜型油菜最低。

表 1 3 个栽培种的 14 份耐盐种质

Table 1 14 salt-tolerance germplasm of three cultivated species of rapeseeds

编号 Code	栽培种类型 Species	资源编号 Code of germplasm	来源或系谱 Source or pedigree
Br1	白菜型油菜	1048	川沙薹油菜
Br2	白菜型油菜	1062	南昌甜油菜
Br3	白菜型油菜	1088	泾县花籽
Br4	白菜型油菜	1090	颍上小油菜
Bj1	芥菜型油菜	Y267	宜兴黄籽苦菜
Bj2	芥菜型油菜	Y277	靖边黄芥
Bj3	芥菜型油菜	Y260	平陆芥菜
Bj4	芥菜型油菜	Y271	刘安腊菜
Bn1	甘蓝型油菜	P29	H40 选系
Bn2	甘蓝型油菜	P27	苏油 1 号/03AP32 F <sub>7</sub>
Bn3	甘蓝型油菜	WH126	99J11/中双 7 号 F <sub>6</sub>
Bn4	甘蓝型油菜	P23	NY10 选系
Bn5	甘蓝型油菜	P80	08-1127 选系
Bn6	甘蓝型油菜	P28	DYM//821/8705 F <sub>8</sub>

表 2 3 个栽培种在 3 种盐浓度胁迫下性状值的比较

Table 2 Comparison of physiological traits of three species under stress of three NaCl concentrations

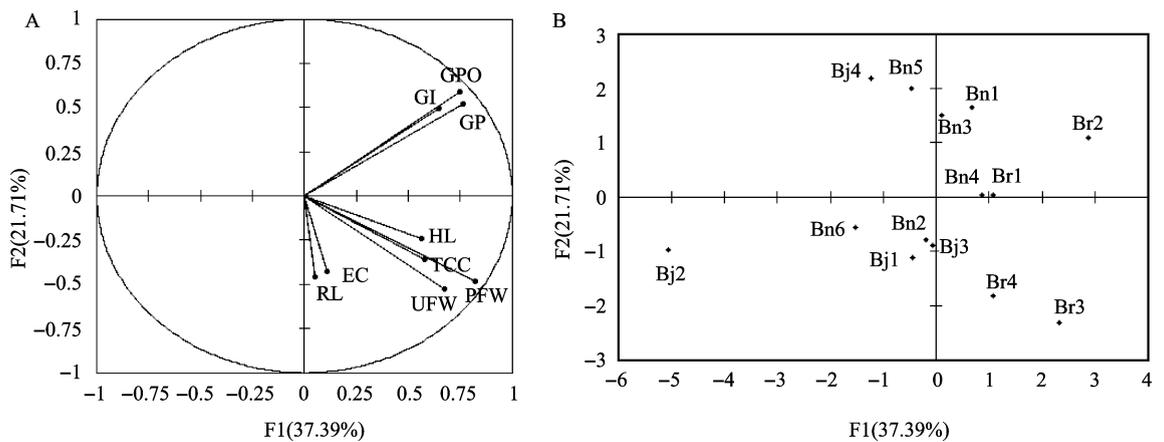
NaCl 浓度 (mmol/L)	类型	根长	胚轴长	总鲜重	地上部分鲜重	总叶绿素含量	电导率
NaCl concentration	Species	Root length	Hypocotyl length	Plantlet fresh weight	Up-ground fresh weight	Total chlorophyll content	Electrical conductivity
0 (CK)	/	100	100	100	100	100	100
86	白菜型油菜	65.12 ± 4.62 b	71.17 ± 11.47 a	168.37 ± 34.31 a	185.96 ± 20.14 a	87.54 ± 7.17 a	220.58 ± 39.08 a
	芥菜型油菜	69.66 ± 13.22 ab	64.58 ± 11.14 a	148.02 ± 21.25 a	176.26 ± 32.98 a	55.21 ± 10.11 c	218.41 ± 20.47 a
	甘蓝型油菜	86.55 ± 16.22 a	70.71 ± 6.20 a	143.10 ± 13.81 a	153.70 ± 16.94 a	72.09 ± 9.68 b	197.38 ± 37.00 a
170	白菜型油菜	55.32 ± 21.66 a	54.51 ± 16.51 a	116.27 ± 8.11 a	141.30 ± 16.29 a	74.97 ± 8.13 a	321.90 ± 49.68 a
	芥菜型油菜	57.38 ± 11.30 a	42.01 ± 7.29 a	87.81 ± 13.77 b	118.31 ± 25.00 a	48.75 ± 7.70 b	329.37 ± 29.60 a
	甘蓝型油菜	69.05 ± 16.19 a	40.09 ± 6.01 a	99.69 ± 9.21 b	116.71 ± 22.82 a	56.09 ± 6.66 b	291.91 ± 49.74 a
256	白菜型油菜	25.43 ± 6.52 a	31.71 ± 5.31 a	54.49 ± 5.28 a	72.65 ± 9.95 a	65.64 ± 6.67 a	427.62 ± 30.62 b
	芥菜型油菜	10.66 ± 14.43 b	11.65 ± 13.5 b	24.83 ± 28.99 a	35.25 ± 41.72 a	23.62 ± 22.27 b	529.59 ± 88.26 a
	甘蓝型油菜	13.96 ± 7.36 ab	21.97 ± 11.76 ab	50.41 ± 25.62 a	58.74 ± 33.90 a	39.72 ± 15.16 b	468.04 ± 80.05 b

“/”表示任意一种油菜栽培种 “/” means any cultivated species of rapeseeds

## 2.4 3 个栽培种种质的耐盐性主成分分析及评价

由图 3 和表 2 可知,在低盐胁迫下,3 个栽培种的表型降幅普遍较小,在高盐胁迫下芥菜型油菜和甘蓝型油菜的绝大部分表型相对值都低于 50%,因此以中盐胁迫下各品系的表型来进行耐盐性比较更符合实际。基于中盐胁迫下 14 个品系的性状相对值利用主成分分析综合评价各品系的耐盐性结果见图 4。前 2 个主成分分别可解释性状变异的 37.39% 和 21.71%。由图 4A 可以看出,9 个性状明显形成 3 类,第 1 类包含发芽指数、发芽率和发芽势;第 2 类为胚轴长、总叶绿素含量、总鲜重和地上

部分鲜重;第 3 类为根长和电导率。第 1 主成分 3 类性状均呈正相关,与第 1 类和第 2 类性状的相关性较强,与第 3 类性状相关性较弱;第 2 主成分与第 1 类性状呈正相关,与其他类型呈负相关。14 个不同类型的油菜品系耐盐性的二维散点图如图 4B 所示,第 1 象限的品系为耐盐性综合表现较好的品系,分别为 2 个白菜型油菜 Br1、Br2 和 3 个甘蓝型油菜品系 Bn1、Bn3、Bn4,而第 3 象限里则为耐盐性较差的品系,分别为 3 个芥菜型油菜品系 Bj1、Bj2、Bj3 和 2 个甘蓝型油菜品系 Bn2、Bn6。其他品系表现为中等耐盐性。



A: 前 2 个主成分与各性状的相关系数图; B: 主成分二维散点图

F1: 第 1 主成分; F2: 第 2 主成分; 括号内的数字为各主成分变异占总变异的百分比。GP: 发芽率; GPO: 发芽势; GI: 发芽指数; HL: 胚轴长; RL: 根长; UFW: 地上部分鲜重; PFW: 总鲜重; TCC: 总叶绿素含量; EC: 电导率

A: Correlations circle of the traits and the first two components, B: Scatter plot of first two components,

F1: the first principle component, F2: the second principle component. Figures in brackets refer to the percentage of each principle component variation of total variance, GP: Germination percent, GPO: Germination potential, GI: Germination index, HL: Hypocotyl length, RL: Root length, UFW: Up-ground fresh weight, PFW: Plantlet fresh weight, TCC: Total chlorophyll content, EC: Electrical conductivity

图 4 14 个油菜品系耐盐性主成分分析图

Fig. 4 Graphical displaying for 14 rapeseed lines of salt tolerance based on principle component analysis

## 3 讨论

### 3.1 3 个栽培种的耐盐性比较

中国是芥菜型油菜和白菜型油菜的起源中心,存在丰富的种质资源<sup>[18-19]</sup>。甘蓝型油菜虽引自国外,但经过长期的杂交选育,已具有广泛的遗传基础<sup>[20]</sup>。因此评价这 3 个栽培种现有种质的耐盐性对于发掘耐盐新种质具有现实意义。本研究表明,发芽期白菜型油菜的综合耐盐性较芥菜型油菜和甘蓝型油菜强。其中有关发芽率的比较结果与黄镇等<sup>[21]</sup>的结论一致,但在其他性状(包括根长、胚轴长、鲜重等)上的比较结论与 G. Kumar 等<sup>[17]</sup>的结果较一致,与 M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>不一致。原因可能是:(1) 试验对象不同。M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>采用的试材为芸薹属各亚种的苗期幼苗(约 1 月苗龄),而本研究与 G. Kumar 等<sup>[17]</sup>则采用的是发芽期幼苗(约 1 周苗龄)。(2) 参试品种(系)数目不同。M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>仅采用 3 个栽培种各 1 个品种(系)的试验结果来进行分析,而本研究则是基于大量种质的整体表现得出的结论,应更具有说服力。(3) M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>认为耐盐位点主要位于 A 和 C 基因组上,而 B 基因组则带有感盐位点。本研究表明白菜型油菜(AA)的耐盐性较甘蓝型油菜(AACC)强,而后者又较芥菜型油菜(AABB)强,并没有否定 M. Ashraf 等<sup>[6]</sup>的观点,同时还从一个侧面说明不能认为甘蓝型油菜(AACC)耐盐位点拷贝数多,就理应具有更强的耐盐性。G. Kumar 等<sup>[17]</sup>的研究证实了这一点,认为芸薹属 8 个亚种的耐盐性仅与 *SOS1* 基因的转录水平呈显著相关,而并非与其拷贝数相关。由于目前对于油菜耐盐基因的时空表达方式及控制途径研究尚不深入,同时芸薹属 A、C 亚基因组同源性较高,因此不能简单地将耐盐基因在基因组上的拷贝数与耐盐能力之间定义为线性关系。

此外,不同的性状仅在特定盐胁迫浓度下表现出差异。尽管白菜型油菜整体耐盐性评价较好,但并非所有性状都表现优异。这些结果至少说明:(1) 油菜的耐盐性涉及多个生物学过程,包括与叶绿素变化相关的光合作用、电导率相关的离子吸排过程以及细胞增殖(组织生长)相关的细胞分裂过程等;(2) 3 个栽培种在耐盐机制上不尽相同。上述的生物学过程均有参与到 3 个栽培种与盐胁迫的互动中,但不同的栽培种体内与各生物学过程相关的性状值变化各异,表明各栽培种在耐盐机制上可能各有侧重。品系综合评价表明 3 个栽培种内都有较

耐盐的品系,而各栽培种的基因组构成并非完全相同,因此可推断各栽培种的基因组上可能带有更多的不同耐(感)盐基因位点。

### 3.2 油菜耐盐种质的利用

水稻、番茄等多个作物的相关研究表明,耐盐性表现为数量性状遗传,位点间主要呈现加性效应<sup>[22-24]</sup>,说明耐盐性可以通过基因聚合得以增强。令人兴奋的是,甘蓝型油菜与白菜型油菜、芥菜型油菜均具有较好的种间杂交亲和性,基因交流比较容易,通过简单的人工杂交即可收获远缘杂交种子。因此以本研究筛选到的 3 个栽培种耐盐品系为基础材料,通过杂交来聚合 3 个栽培种的耐盐基因、培育耐盐性更好的甘蓝型油菜品种在理论上是可行的。

### 参考文献

- [1] Munns R, Twister M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. *Annu Rev Plant Biol*, 2008, 59: 651-681
- [2] 黄昌勇. 土壤学 [M], 2 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 303
- [3] Ashraf M, Nazir N, McNeilly T. Comparative salt tolerance of amphidiploid and diploid *Brassica* species [J]. *Plant Sci*, 2001, 160 (4): 683-689
- [4] Chakraborty K, Sairam R K, Bhattacharya R C. Differential expression of salt overly sensitive pathway genes determines salinity stress tolerance in *Brassica* genotypes [J]. *Plant Physiol Bioch*, 2012, 51: 90-101
- [5] Shirazi M U, Rajput M T, Ansari R, et al. Salt tolerance in *Brassica* species at early seedling stage [J]. *Sindh Univ Res J*, 2011, 43 (2): 203-208
- [6] Ashraf M, Sharif R. Does salt tolerance vary in a potential oil-seed *Brassica carinata* at different growth stages [J]. *J Agron Crop Sci*, 1998, 181: 103-115
- [7] Ahmad B. The influence of salt stress on seed germination, growth and yield of canola cultivars [J]. *Not Bot Hort Agrobot Cluj*, 2010, 38 (1): 128-133
- [8] Islam M M, Karim M A. Evaluation of rice genotypes at germination and early seedling stage for their tolerance to salinity [J]. *Agriculturists*, 2010, 8 (2): 57-65
- [9] Almodares A, Hadi M R, Dosti B. Effects of salt stress on germination percentage and seedling growth in sweet sorghum cultivars [J]. *J Biol Sci*, 2007, 7 (8): 1492-1495
- [10] Said E, Brahim E L B, Fouzia B A. Effects of salinity on germination and early growth of barley cultivars [J]. *Int J Agric Biol*, 2004, 6 (5): 767-770
- [11] 田伯红, 王素英, 李雅静, 等. 谷子地方品种发芽期和苗期对 NaCl 胁迫的反应和耐盐品种筛选 [J]. *作物学报*, 2008, 34 (2): 2218-2222
- [12] 姜奇彦, 胡正, 张辉, 等. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究 [J]. *植物遗传资源学报*, 2012, 13 (5): 726-732
- [13] 张巧凤, 陈宗全, 吴纪中, 等. 小麦种质芽期和苗期的耐盐性鉴定评价 [J]. *植物遗传资源学报*, 2013, 14 (4): 620-626
- [14] Ashraf M, Mcneilly T. Salinity tolerance in *Brassica* oilseeds [J]. *Crit Rev Plant Sci*, 2011, 23 (2): 157-174
- [15] 龙卫华, 浦惠明, 张洁夫, 等. 甘蓝型油菜发芽期的耐盐性筛选 [J]. *中国油料作物学报*, 2013, 35 (3): 271-275
- [16] 姜瑞云, 黄祯茂, 喻树迅, 等. 不同短季棉品种离体子叶衰老过程中的生理生化变化 [J]. *棉花学报*, 1993, 5 (1): 33-38