

姚琳,孙璇,张高杨,等.甘蓝型油菜耐盐性评价研究[J].江苏农业科学,2025,53(1):103-109.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.015

# 甘蓝型油菜耐盐性评价研究

姚琳,孙璇,张高杨,袁嘉玮,杜春芳

(山西农业大学棉花研究所,山西运城 044000)

**摘要:**盐渍化土壤是我国重要的后备土地资源,筛选耐盐作物品种是有效利用盐渍化土地的重要途径。以 5 份不同的甘蓝型油菜种质资源为材料,通过盐胁迫试验初步筛选出耐盐性较好的品系 YC-1、YC-3 及 YC-4,并将这些品系种植于山西南部盐碱地块中,研究油菜收获后对土壤的改良效果。结果表明,甘蓝型油菜可以不同程度地降低土壤中的  $\text{Na}^+$  含量、pH 值及全盐含量。采用相关性、主成分和隶属函数分析法,对 3 个品系在盐碱地种植后的土壤  $\text{Na}^+$  含量、pH 值、全盐含量及油菜收获后的经济性状和品质性状等 12 项指标进行综合分析,其中:土壤  $\text{Na}^+$  含量与株高、千粒重呈极显著负相关,与有效角果数、产量呈极显著正相关;pH 值与硫苷含量呈极显著正相关;株高与有效角果数、产量呈极显著负相关,与千粒重呈极显著正相关;有效角果数与千粒重呈极显著负相关,与产量呈极显著正相关;千粒重与产量呈极显著负相关。提取 3 个可较好概括 12 个指标的主成分,结合隶属函数得到的表达式  $Y = 0.582Y_1 + 0.320Y_2 + 0.098Y_3$  对供试材料进行综合评价,筛选出适宜在山西南部盐碱地种植的甘蓝型油菜品系为 YC-3、YC-4。

**关键词:**甘蓝型油菜;盐胁迫;耐盐性;综合评价

**中图分类号:**S634.303.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0103-06

土壤盐渍化已成为限制作物生长发育及产量形成的关键逆境因子,其导致我国耕地面积逐年减少,严重制约农业的发展<sup>[1-2]</sup>。目前,全球盐渍化土面积超过 9 亿  $\text{hm}^2$ ,而我国拥有的各类可利用盐碱地资源达 3 600 万  $\text{hm}^2$ ,主要分布于干旱、半干旱区及一些滨海地区<sup>[3]</sup>。土壤中高浓度的盐离子会造成植物体内渗透压失衡,进而积累大量有毒物质,导致植株出现生长受阻、发育迟缓、叶片变小、株体矮化、提早开花、早衰甚至死亡等现象<sup>[4-5]</sup>。山西省地处干旱和半干旱地区,其盐渍土面积达 30.13 万  $\text{hm}^2$ ,占全省平川区总面积的 9.9%,受人为活动、气候条件及地形地貌等因素影响,盐渍土面积仍在持续扩大,筛选培育耐盐作物种质资源,利用其对盐碱地进行生物改良,是当前提高盐碱地产能、实现盐碱地资源化利用的有效措施<sup>[6-7]</sup>。

甘蓝型油菜 (*Brassica napus*, AACCC,  $2n = 38$ ) 是

我国重要的油料作物之一,具有适种范围广、生物学产量高、耐盐碱能力强等优点,成为盐碱地改良与利用的先锋作物<sup>[8]</sup>。研究表明,当油菜受到盐胁迫时,可通过清除活性氧自由基、合成与积累渗透调节物质、吸收和存储高浓度的  $\text{Na}^+$ 、根系分泌有机酸等一系列调节机制来适应或抵御盐胁迫<sup>[9]</sup>。选育耐盐品种是提高油菜盐碱地适应能力的重要途径,不同的甘蓝型油菜品种耐盐性存在显著差异,对甘蓝型油菜种质资源进行萌发期耐盐性试验鉴定,结合盐碱地田间全生育期种植,筛选出耐盐能力强的优异种质,对改良利用山西南部盐碱地、扩大油菜种植面积、助力农民增产增收具有重要意义。

油菜种子萌发期是对盐胁迫最敏感的时期,该时期耐盐性的强弱决定了其能否在盐碱土中萌发出苗。胡凤仪等利用不同浓度 NaCl 溶液对 479 份芥菜型油菜进行萌发期盐胁迫处理,通过测定发芽率、根长、芽长、鲜重等指标对参试材料进行耐盐性综合评价,最终筛选出耐盐品种 12 份<sup>[10]</sup>。Wan 等研究发现用 1.0% NaCl 浓度鉴定油菜种子萌发期的耐盐性较合适,并对 214 份甘蓝型油菜种质进行了萌发期耐盐性鉴定<sup>[11]</sup>。目前关于甘蓝型油菜耐盐性评价相关研究主要集中在萌发期对种质资源的筛选鉴定上,而结合盐碱地田间种植表现来综合评价其耐盐性的报道相对较少。本研究以 5 份不同

收稿日期:2024-03-05

基金项目:运城市科技计划基础研究项目(编号:YCKJ-2022075);山西省科技重大专项计划“揭榜挂帅”项目(编号:202201140601025-5-03);山西农业大学科技创新提升工程(编号:CXGC2023050)。

作者简介:姚琳(1989—),女,山西运城人,硕士,助理研究员,研究方向为油菜遗传育种。E-mail:yaoyao302302@126.com。

通信作者:杜春芳,博士,研究员,主要从事油菜遗传育种与推广研究。E-mail:chunfangdu@163.com。

的甘蓝型油菜种质资源为材料,通过盐胁迫试验初步筛选出耐盐性较好的品系,并种植于山西南部盐碱地块中,研究油菜收获后对土壤的改良效果,结合它们在盐碱地种植的经济性状及品质性状表现对其耐盐性进行综合评价,为山西南部盐碱地筛选适宜种植的油菜种质资源及其改良利用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点及材料

耐盐性试验于 2023 年 4 月在山西农业大学棉花研究所作物生理实验室进行,供试材料为 5 个甘蓝型油菜双低品系,其中 YC-1 为耐盐碱甘蓝型油菜品种华油杂 62, YC-2 ~ YC-5 为山西农业大学棉花研究所油料作物研究室自育品系。盐碱地田间试验于 2023 年 9 月在山西省运城市盐湖区金井乡西王村进行,该试验田土壤 pH 值 9.01,速效氮含量 74.42 mg/kg,速效磷含量 14.39 mg/kg,速效钾含量 179.06 mg/kg,有机质含量 13.25 g/kg,水溶性含盐量 4.085 g/kg,供试材料为经过耐盐性试验初筛表现较好的耐盐品系。

### 1.2 试验方法

1.2.1 耐盐性试验 试验设计盐分浓度为 0 (CK)、0.6%、0.9%、1.2%、1.5%,每个重复 100 粒种子,重复 3 次。选取颗粒饱满、无破损的油菜种子,经 0.5% NaClO 消毒后用纯净水冲洗干净晾干后置于铺有滤纸的灭菌培养皿中,向其中分别加入相应浓度的盐溶液 30 mL,置于 20 ℃ 恒温培育箱中避光培养,发芽后保持 12 h/d 光照。每天采用称重补水法保持各培养皿中盐浓度不变。

1.2.2 盐碱地田间试验 将经过耐盐性试验初筛表现较好的耐盐品系种于盐碱地块中,开沟条播,采用完全随机区组设计,3 次重复,每个品系种植面积为 100 m<sup>2</sup>,采用常规方式进行大田管理。采集土壤样品时,各小区按 5 点交叉取样法获取 0 ~ 20 cm 土层土壤,装入灭菌塑料自封袋保存。

### 1.3 指标测定

1.3.1 种子发芽势、发芽率及萌发指标测定 盐胁迫试验每天记录种子发芽数(以萌发胚芽长达到种子长为标准),分别以 5 d 内和 7 d 内发芽种子比例计算发芽势和发芽率,于第 10 天测量其苗长和根长。

$$\text{发芽势} = \frac{5 \text{ d 发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% ;$$

$$\text{发芽率} = \frac{7 \text{ d 发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% 。$$

1.3.2 土壤 Na<sup>+</sup> 含量、pH 值及全盐含量测定 盐碱地田间试验,在当年油菜播种前进行土壤样品采集,待次年油菜收获后再次采集土壤样品,测定油菜播种前后土壤 Na<sup>+</sup>、pH 值及全盐含量变化,土壤 Na<sup>+</sup> 由电感耦合等离子体发射光谱仪 (Optima 5300 DV, Perkin Elmer) 测定;土壤 pH 值采用电位法测定;土壤全盐含量采用电导率法测定。此外,对盐碱地收获的各油菜品系进行田间经济性性状考种及品质性状检测。

1.3.3 经济性质和品质性质测定 在油菜成熟期,各小区随机选取 2 个样点 (1.5 m × 1.5 m), 其中一个样点连续取 10 株 (剔除重病株和不育株) 作考种单株,考种株高、有效分枝数、有效角果数,此外,在该样点内随机均匀选取 20 个角果,用于计算每角粒数及千粒重,另一个样点全部收获,用于单位面积产量及品质性状检测。

### 1.4 数据处理与分析

利用 Excel 2007 对试验数据进行整理,使用 SAS 9.4 软件对材料进行方差分析、相关性分析、主成分分析及隶属函数值分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同盐浓度对油菜种子萌发期的影响

由表 1 可知,随着 NaCl 溶液浓度的升高,各油菜品系种子的发芽势、发芽率、苗长、根长均受到了不同程度的抑制,与盐溶液浓度呈负相关。各品系的发芽势、发芽率在不同盐浓度间的差异性较小,而在相同盐浓度胁迫下 YC-1、YC-4 与其他品系存在显著性差异。在 0.9% 盐浓度下, YC-1、YC-3、YC-4 的发芽势和发芽率分别在 69.67% ~ 78.33% 和 71.00% ~ 79.00% 之间,而 YC-2 和 YC-5 的发芽势分别为 57.00%、53.00%,发芽率分别为 58.67%、55.33%,这 2 个品系的发芽势和发芽率明显低于 YC-1、YC-3 和 YC-4,随着盐胁迫浓度增加, YC-2、YC-5 的发芽势和发芽率降幅远超 YC-1、YC-3 和 YC-4。对苗长和根长而言,除 YC-4 外其余各品系在不同盐浓度间存在显著性差异,而在相同盐浓度胁迫下 YC-4 与其他品系存在显著性差异。在 1.5% 盐浓度下, YC-2、YC-5 品系因其种子仅处于萌发状态,故无法测定苗长和根长。对不同盐浓度下各油菜品系的发芽势、发

芽率、苗长、根长指标进行测定分析,发现 YC - 1、YC - 3 及 YC - 4 品系的耐盐能力相对较强,可作为盐碱地田间试验的供试材料。

表 1 不同盐浓度对 5 个油菜品系种子萌发的影响

品系	盐浓度 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	苗长 (cm)	根长 (cm)
YC - 1	0(CK)	90.00 ± 1.00a	93.00 ± 1.00a	6.39 ± 0.07ab	9.49 ± 0.03b
	0.6	80.00 ± 1.00a	83.33 ± 0.58a	6.22 ± 0.04b	7.16 ± 0.07b
	0.9	77.33 ± 0.58a	78.33 ± 0.58a	4.24 ± 0.10a	4.42 ± 0.07b
	1.2	74.33 ± 0.58a	75.00 ± 1.00a	2.24 ± 0.11a	2.84 ± 0.10a
	1.5	69.67 ± 1.53a	70.67 ± 0.58a	0.98 ± 0.02b	1.01 ± 0.02b
YC - 2	0(CK)	85.00 ± 1.00c	90.00 ± 1.00bc	6.18 ± 0.11c	8.30 ± 0.04d
	0.6	75.33 ± 1.16bc	77.00 ± 1.00c	5.31 ± 0.04d	5.46 ± 0.06d
	0.9	57.00 ± 1.00c	58.67 ± 1.16c	3.56 ± 0.09c	3.21 ± 0.06d
	1.2	36.67 ± 1.53c	38.33 ± 0.58c	0.83 ± 0.06c	0.68 ± 0.06c
	1.5	21.00 ± 1.00c	21.33 ± 1.16c		
YC - 3	0(CK)	87.33 ± 1.53b	91.33 ± 1.16b	6.24 ± 0.14bc	9.02 ± 0.18c
	0.6	77.33 ± 1.53b	80.33 ± 1.53b	5.85 ± 0.08c	6.74 ± 0.12c
	0.9	69.67 ± 1.53b	71.00 ± 1.73b	3.78 ± 0.09b	3.97 ± 0.05c
	1.2	63.67 ± 4.16b	66.00 ± 3.61b	1.68 ± 0.11b	2.04 ± 0.07b
	1.5	56.33 ± 2.08b	57.00 ± 1.73b	0.76 ± 0.05c	0.76 ± 0.04c
YC - 4	0(CK)	91.00 ± 1.00a	93.33 ± 0.58a	6.47 ± 0.10a	9.66 ± 0.07a
	0.6	81.67 ± 0.58a	84.00 ± 1.00a	6.39 ± 0.11a	7.34 ± 0.12a
	0.9	78.33 ± 0.58a	79.00 ± 1.00a	4.37 ± 0.07a	4.66 ± 0.11a
	1.2	75.67 ± 0.58a	76.00 ± 1.00a	2.38 ± 0.06a	2.79 ± 0.04a
	1.5	70.67 ± 0.58a	71.00 ± 1.00a	1.04 ± 0.03a	1.05 ± 0.02a
YC - 5	0(CK)	84.33 ± 1.53c	89.67 ± 0.58c	6.07 ± 0.05c	8.16 ± 0.06d
	0.6	74.67 ± 1.53c	76.00 ± 1.00c	4.80 ± 0.05e	4.99 ± 0.09e
	0.9	53.00 ± 1.00d	55.33 ± 1.16d	3.57 ± 0.05c	3.26 ± 0.07d
	1.2	33.33 ± 1.53c	35.00 ± 1.73c	0.60 ± 0.08d	0.58 ± 0.05c
	1.5	19.33 ± 1.16c	19.33 ± 1.16c		

注:同列同浓度处理数据后不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

2.2 不同油菜品系种植后对土壤  $\text{Na}^+$  含量、pH 值及全盐含量的影响

由表 2 可知,甘蓝型油菜在盐碱地种植后,土壤中  $\text{Na}^+$  含量、pH 值及全盐含量与播前相比均有不同程度的下降。具体到  $\text{Na}^+$  含量来看,降幅变化范围在 68.52% ~ 78.06%,平均降幅达 72.01%,其中 YC - 4 品系降幅最大,为 78.06%。对土壤 pH 值而言,3 个品系播种后均有所下降,但差异未达显著水平,降幅变化范围为 1.37% ~ 2.77%,平均降幅为 2.13%,其中 YC - 1 品系降幅最大,为 2.77%。对土壤全盐含量而言,降幅变化范围在 8.31% ~ 21.58%,平均降幅为 15.69%,其中 YC - 4 品系降幅最大,为 21.58%。结果表明,甘蓝型油菜对降低盐碱地土壤  $\text{Na}^+$  含量、pH 值及全盐含量均有效果,

尤其是对降低土壤  $\text{Na}^+$  含量具有显著效果,3 个甘蓝型油菜品系中,YC - 1、YC - 4 对土壤的改良效果相对较好。

表 2 油菜播种后土壤  $\text{Na}^+$  含量、pH 值、全盐含量变化趋势

%			
土壤	$\text{Na}^+$ 含量增幅	pH 值增幅	全盐含量增幅
YC - 1 播后	-68.52 ± 0.89a	-2.77 ± 1.05a	-17.19 ± 1.93b
YC - 3 播后	-69.46 ± 2.05a	-1.37 ± 0.88a	-8.31 ± 2.63a
YC - 4 播后	-78.06 ± 1.46b	-2.25 ± 1.08a	-21.58 ± 1.76c

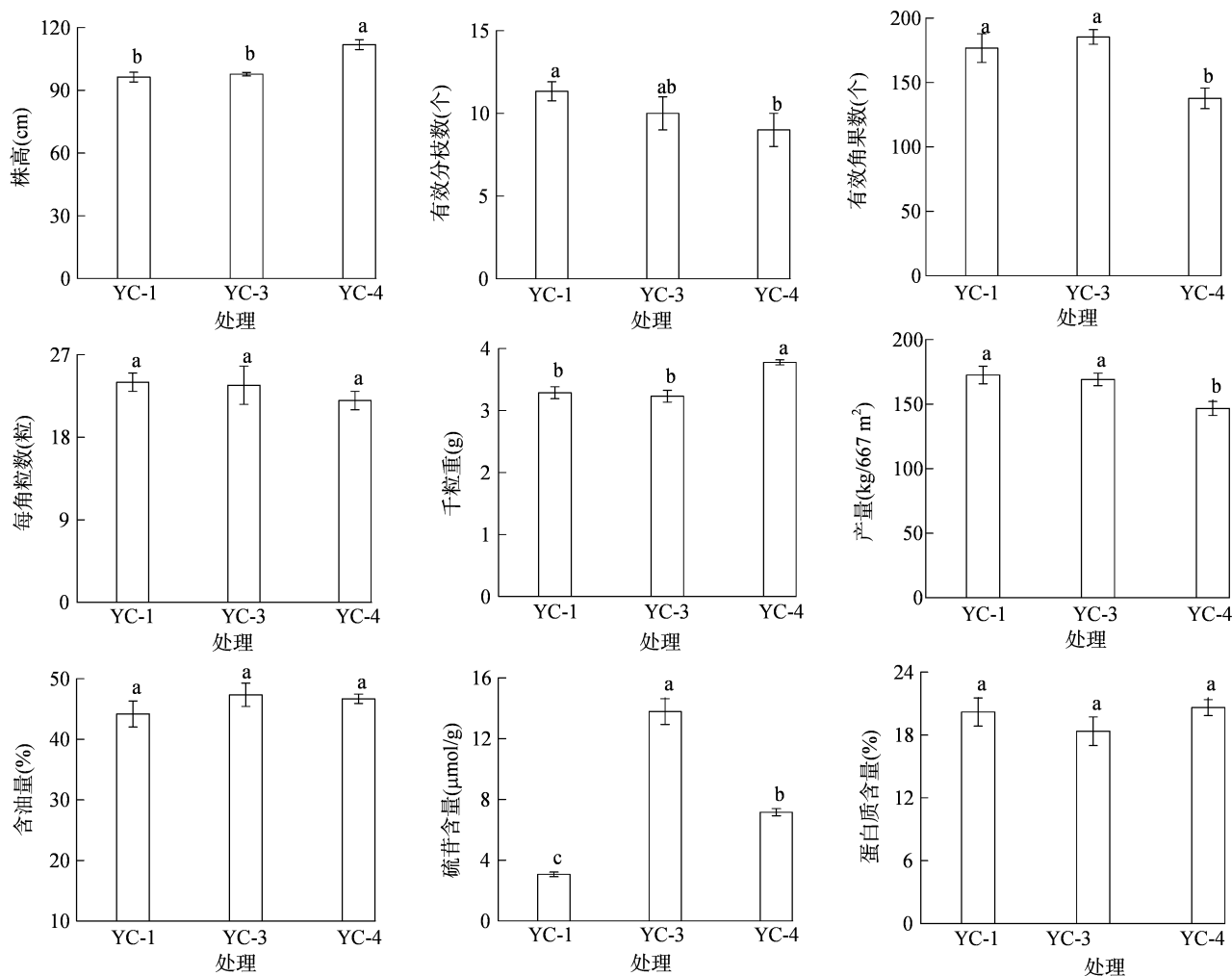
注:表中同列数据后不同小写字母表示组间差异显著( $P < 0.05$ )。

2.3 不同油菜品系在盐碱地种植后田间经济性状及品质性状表现

由图 1 可知,甘蓝型油菜在盐碱地种植后,各品系的每角粒数、含油量及蛋白质含量间无显著性差

异,而硫苷含量间存在显著性差异。对有效分枝数来说,YC-1 与 YC-4 品系间存在显著性差异,而对株高、有效角果数、千粒重及产量来说,YC-1、YC-3 品系均与 YC-4 品系存在显著性差异。就品系而言,YC-1 品系的有效分枝数、每角粒数及产量最高,株高、含油量、硫苷含量最低,有效角果数、千粒重、蛋白质含量居中;YC-3 品系有效角果数、含油量、硫苷含量最高,千粒重、蛋白质含量最

低,株高、有效分枝数、每角粒数、产量居中;YC-4 品系的株高、千粒重、蛋白质含量最高,有效分枝数、有效角果数、每角粒数、产量最低,含油量、硫苷含量居中。盐碱地田间试验表明,YC-1、YC-3 品系的产量相对较高,经济性状表现较好,这与它们的有效角果数、每角粒数相对较高有关,而 YC-4 品系含油量、蛋白质含量相对较高,硫苷含量相对较低,其品质性状表现较好。



柱上不同小写字母表示品种间差异显著( $P < 0.05$ )  
图1 油菜在盐碱地种植后的田间经济性状及品质性状表现

#### 2.4 不同油菜品系在盐碱地种植后各指标相关性分析

甘蓝型油菜各品系在盐碱地种植后,将土壤  $\text{Na}^+$  含量、pH 值、全盐含量、油菜经济性状及品质性状等 12 个指标进行相关性分析(表 3),有 11 对指标呈极显著相关关系,有 6 对指标呈显著相关关系。土壤  $\text{Na}^+$  含量与株高、千粒重呈极显著负相关,与有效角果数、产量呈极显著正相关;pH 值与硫苷含量呈极显著正相关;株高与有效角果数、产量呈极显

著负相关,与千粒重呈极显著正相关,与有效分枝数呈显著负相关;有效角果数与千粒重呈极显著负相关,与产量呈极显著正相关;千粒重与产量呈极显著负相关;全盐含量与有效角果数、硫苷含量呈显著正相关,与千粒重、蛋白质含量呈显著负相关;有效分枝数与千粒重呈显著负相关。

#### 2.5 不同油菜品系在盐碱地种植后各指标主成分和隶属函数分析

如表 4 所示,采用主成分分析法对 3 个甘蓝型

表 3 油菜在盐碱地种植后各指标的相关性

指标	相关系数											
	土壤 Na <sup>+</sup> 含量	pH 值	全盐含量	株高	有效分枝数	有效角果数	每角粒数	千粒重	产量	含油量	硫苷含量	蛋白质含量
土壤 Na <sup>+</sup> 含量	1.000											
pH 值	0.005	1.000										
全盐含量	0.640	0.563	1.000									
株高	-0.957 **	-0.056	-0.618	1.000								
有效分枝数	0.643	-0.113	0.130	-0.682 *	1.000							
有效角果数	0.928 **	0.241	0.773 *	-0.906 **	0.590	1.000						
每角粒数	0.600	0.088	0.244	-0.613	0.238	0.533	1.000					
千粒重	-0.902 **	-0.168	-0.768 *	0.924 **	-0.690 *	-0.921 **	-0.380	1.000				
产量	0.957 **	0.035	0.619	-0.883 **	0.650	0.907 **	0.645	-0.862 **	1.000			
含油量	-0.301	0.360	0.318	0.385	-0.350	-0.016	-0.472	0.073	-0.216	1.000		
硫苷含量	0.030	0.839 **	0.710 *	-0.053	-0.315	0.297	-0.018	-0.228	0.005	0.638	1.000	
蛋白质含量	-0.312	-0.514	-0.771 *	0.414	-0.142	-0.461	0.226	0.602	-0.209	-0.267	-0.606	1.000

注：\* 表示在 0.05 水平上显著相关，\*\* 表示在 0.01 水平上显著相关。

油菜品系在盐碱地种植后的土壤 Na<sup>+</sup> 含量、pH 值、全盐含量、油菜经济性状及品质性状等 12 个指标进行分析,根据特征值大于 1、累计贡献率大于 85% 的原则,提取 3 个主成分,累计贡献率为 91.4%,可较好地概括 12 个指标的信息。第 1 主成分特征值为 6.385,贡献率为 53.2%,土壤 Na<sup>+</sup> 含量、全盐含量、有效角果数、产量载荷较高。第 2 主成分特征值为 3.502,贡献率为 29.2%,土壤 pH 值、含油量、硫苷含量载荷较高。第 3 主成分特征值为 1.085,贡献率为 9.0%,每角粒数、蛋白质含量载荷较高。

根据主成分分析结果,计算出第 1、第 2、第 3 主成分的相对贡献率分别为 58.20%、31.95% 和 9.85%,得出以下函数表达式,结合隶属函数分析,对甘蓝型油菜的耐盐性进行综合评价。

$$Y_1 = 0.371x_1 + 0.137x_2 + 0.333x_3 - 0.375x_4 + 0.247x_5 + 0.386x_6 + 0.218x_7 - 0.381x_8 + 0.359x_9 - 0.045x_{10} + 0.117x_{11} - 0.210x_{12};$$

$$Y_2 = -0.141x_1 + 0.479x_2 + 0.276x_3 + 0.137x_4 - 0.257x_5 + 0.011x_6 - 0.203x_7 + 0.003x_8 - 0.146x_9 + 0.435x_{10} + 0.489x_{11} - 0.315x_{12};$$

$$Y_3 = 0.028x_1 + 0.213x_2 + 0.067x_3 + 0.017x_4 - 0.427x_5 + 0.018x_6 + 0.691x_7 + 0.211x_8 + 0.091x_9 - 0.102x_{10} + 0.210x_{11} + 0.426x_{12};$$

$$Y = 0.582Y_1 + 0.320Y_2 + 0.098Y_3。$$

计算结果见表 5 中综合得分。由表 5 可知, YC-1 品系综合表现最优良,得分最高,耐盐性由强到弱排序为 YC-1 > YC-3 > YC-4。

表 4 油菜在盐碱地种植后各指标主成分分析

主成分	载荷		
	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
土壤 Na <sup>+</sup> 含量	0.371	-0.141	0.028
pH 值	0.137	0.479	0.213
全盐含量	0.333	0.276	0.067
株高	-0.375	0.137	0.017
有效分枝数	0.247	-0.257	-0.427
有效角果数	0.386	0.011	0.018
每角粒数	0.218	-0.203	0.691
千粒重	-0.381	0.003	0.211
产量	0.359	-0.146	0.091
含油量	-0.045	0.435	-0.102
硫苷含量	0.117	0.489	0.210
蛋白质含量	-0.210	-0.315	0.426
特征值	6.385	3.502	1.085
贡献率(%)	53.2	29.2	9.0
累计贡献率(%)	53.2	82.4	91.4

3 讨论

种子萌发期是对盐胁迫最敏感的时期,此阶段受自身基因与外界环境共同影响,可通过渗透胁迫、离子危害等作用对植物种子萌发造成伤害<sup>[12-13]</sup>。种子萌发期的萌发质量与其在盐碱地出苗及后期生长发育息息相关,因此将萌发期的耐盐性作为评价种质耐盐能力的一个重要指标。本研究对 5 份不同的甘蓝型油菜品系进行不同 NaCl 浓

表 5 油菜盐碱地种植后的耐盐性综合评价

品系	土壤 Na <sup>+</sup> 含量	pH 值	全盐 含量	株高	有效 分枝数	有效 角果数	每角 粒数	千粒重	产量	含油量	硫苷 含量	蛋白质 含量	综合 得分	排名
YC-1	0.147	0.204	0.280	-0.024	0.018	0.097	0.039	-0.063	0.097	0.056	0.220	-0.033	1.040	1
YC-3	0.148	0.138	0.278	-0.026	0.014	0.105	0.037	-0.058	0.102	0.065	0.132	-0.005	0.931	2
YC-4	0.155	0.182	0.280	-0.046	0.011	0.061	0.026	-0.102	0.129	0.064	0.187	-0.039	0.908	3

度处理,观察种子的萌发情况,结果表明随着 NaCl 浓度的增加,各品系的发芽势、发芽率、苗长、根长均呈现不同程度的下降,这与严中琪等的研究结果<sup>[14]</sup>一致。植物的耐盐性由多个数量性状控制,当受到盐胁迫时,其生理及发育机制会发生一系列复杂变化,此外,单一阶段的耐盐能力并不能决定最终产量,不同生育阶段的耐盐性均会对植物最终产量产生影响,因此为了更加准确地反映植物的耐盐能力,本研究在萌发期对甘蓝型油菜种质进行耐盐筛选的基础上,结合它们在盐碱地的全生育期表现对其耐盐性进行综合评价。

本研究结果显示,油菜在盐碱地种植后,可以不同程度地降低土壤中的 Na<sup>+</sup> 含量、pH 值及全盐含量,这可能与其生长发育过程中改善了土壤胶体的种类和数量有关,这与范倩玉等的研究结果<sup>[15]</sup>相一致。3 个甘蓝型油菜品系中,YC-1、YC-4 对土壤的改良效果相对较好,尤其是 YC-4 品系,对土壤 Na<sup>+</sup> 含量及全盐含量降低最多。对不同油菜品系在盐碱地种植后田间经济性性状及品质性状进行分析,发现 YC-1、YC-3 品系的经济性状表现较好,产量相对较高,这与它们的有效角果数、每角粒数相对较高有关,而 YC-4 品系的品质性状表现较好,经济性状表现相对较差,在之前的非盐碱地田间测产中,YC-4 品系产量高于 YC-3 品系,这可能与盐碱地种植中 YC-4 植株体内积累了较多 Na<sup>+</sup> 而影响其正常生长发育有关。对油菜在盐碱地种植后的土壤 Na<sup>+</sup> 含量、pH 值、全盐含量及油菜收获后的经济性性状和品质性状等 12 个指标进行相关性分析,发现土壤 Na<sup>+</sup> 含量与有效角果数、产量呈极显著正相关,土壤 Na<sup>+</sup> 含量越高,说明甘蓝型油菜从盐碱土中吸收的 Na<sup>+</sup> 就越少,对其自身造成的盐害就越小,因而有效角果数与产量相对越高,这就解释了 YC-4 品系对土壤的改良效果相对较好而经济性状表现相对较差的原因。本研究选取了 12 个性状,综合相关性分析和主成分分析对甘蓝型油菜的耐盐性鉴定进行了主要耐盐指标的筛选,筛选出土壤 Na<sup>+</sup> 含

量、pH 值、全盐含量、有效角果数、产量可以作为评价甘蓝型油菜耐盐性的重要指标,降低了指标间信息的重叠和冗余,有利于客观全面地评价甘蓝型油菜种质资源的耐盐性,再利用隶属函数将 3 个主成分进行归一化处理,获得甘蓝型油菜耐盐性综合评价得分,鉴定 3 个甘蓝型油菜品系的耐盐性。本研究中 YC-1 品系得分最高,YC-3 次之,YC-4 品系得分最低,但 YC-3、YC-4 品系与 YC-1 品系综合得分相差较少,因此这 2 个品系均可作为山西南部盐碱地适宜推广种植的油菜品系,YC-3 侧重于盐碱地种植收获,YC-4 则侧重于盐碱地改良。

4 结论

“以种适地”筛选优质的耐盐碱作物品种是有效利用盐碱地资源的主要途径。本研究以 5 份不同的甘蓝型油菜种质资源为材料,通过盐胁迫试验初步筛选出耐盐性较好的品系,并种植于山西南部盐碱地块中,通过相关性、主成分和隶属函数分析法对油菜种植后土壤中的 Na<sup>+</sup> 含量、pH 值、全盐含量及油菜收获后的经济性性状和品质性状等 12 项指标进行综合分析评价,得到甘蓝型油菜耐盐性强弱排序为 YC-1 > YC-3 > YC-4。YC-3、YC-4 是适宜在山西南部盐碱地种植的油菜种质资源。

参考文献:

[1]张 静,高文博,晏 林,等. 燕麦种质资源耐盐碱性鉴定评价及耐盐碱种质筛选 [J]. 作物学报,2023,49(6):1551-1561.  
[2]杨劲松,姚荣江,王相平,等. 中国盐渍土研究:历程、现状与展望 [J]. 土壤学报,2022,59(1):10-27.  
[3]季 新,肖 迪,张佳会,等. 特种稻种质资源耐盐性综合评价及耐盐种质筛选 [J]. 种子,2023,42(5):110-117.  
[4]黎远东,江海霞,谢丽琼. 植物盐胁迫适应性机制研究进展 [J]. 植物遗传资源学报,2022,23(6):1585-1593.  
[5]Tao J,Xu Y J,Zhang H,et al. The effect of brackish ice mulching on soil salinity content and crop emergence in man-made,raised bed on saline soils [J]. Eurasian Soil Science,2018,51(6):658-663.  
[6]哈力旦·依克热木,刘 娜,刘联正,等. 小麦近缘种芽期和苗期的耐盐性鉴定与评价 [J]. 新疆农业科学,2023,60(5):1118-1126.

李金凤,尹兴福,岩罕温龙,等. 4 个热带玉米单倍体诱导系利用价值研究[J]. 江苏农业科学,2025,53(1):109-116.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2025.01.016

## 4 个热带玉米单倍体诱导系利用价值研究

李金凤<sup>1</sup>,尹兴福<sup>2</sup>,岩罕温龙<sup>3</sup>,李霖卓<sup>1</sup>,张兴洁<sup>1</sup>,张培高<sup>2</sup>,李绍雄<sup>1</sup>,刘美辰<sup>1</sup>,蒋辅燕<sup>2</sup>

(1. 云南大学资源植物研究院,云南昆明 650500; 2. 云南省农业科学院粮食作物研究所,云南昆明 650205;

3. 云南省景洪市种子管理站,云南景洪 666100)

**摘要:**为系统评价 4 个云诱系列热带玉米单倍体诱导系的诱导和加倍效果,为热带亚热带地区玉米双单倍体技术的规模化运用提供新的诱导系和理论依据,以 13 份温热带玉米杂交种为母本、4 个云诱系列热带玉米单倍体诱导系为父本,进行杂交诱导和加倍试验,对 4 个诱导系的诱导率、标记鉴定准确率、单穗平均单倍体粒数及 14 份单倍体材料自然加倍率进行分析。结果表明,4 个诱导系的诱导率和标记鉴定准确率之间存在显著差异,云诱一号的平均实际诱导率(6.45%)和平均标记鉴定准确率(42.92%)最低,与其他 3 个诱导系之间的差异均达到了极显著水平,云诱二号、云诱三号、云诱四号的平均实际诱导率分别为 12.82%、11.15%、11.69%,平均标记鉴定准确率分别为 70.08%、78.08%、80.03%,三者之间差异不显著;云诱二号诱导母本材料产生的单穗平均单倍体粒数最多(27.75 粒),显著优于其他 3 个诱导系;14 份单倍体材料的授粉率为 3.6%~19.6%,加倍结实株率为 1.2%~10.7%。在对不同基础材料进行诱导时,云诱二号诱导产生的单穗平均单倍体粒数最多,平均实际诱导率最高,产生高诱导率组合(实际诱导率>15%)的概率最大,诱导获得的单倍体自然加倍效果好;云诱三号诱导能力强且诱导效果比较稳定。综上所述,在进行热带和温热带种质育种过程中可加强对热带玉米单倍体诱导系云诱二号和云诱三号的利用。

**关键词:**玉米;单倍体;热带单倍体诱导系;诱导率;自然加倍

**中图分类号:**S513.03 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2025)01-0109-08

大量获取单倍体是运用双单倍体(double haploid,简称 DH)技术培育玉米新品种的第一步,

人为选育出诱导能力强的高频诱导系将有助于实现高效生产单倍体,推动 DH 技术的规模化运用,加快玉米种质的改良和新品种的选育。

自然情况下,单倍体发生的概率一般不超过 0.01%<sup>[1]</sup>。为了提高获取单倍体的效率,科研工作者对外培养花药(花粉)产生单倍体与杂交诱导孤雌生殖产生单倍体这 2 个技术方向进行了研究。在实验室培养花药(花粉)产生单倍体难度大、效率低,很难运用到玉米育种生产中,而通过诱导系与优良玉米种质材料杂交诱导孤雌生殖产生单倍体

收稿日期:2023-12-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:31961143014);云南省重大科技专项(编号:202102AE090023);云南省种子种业联合实验室项目(编号:202205AR070001);云南省科技支撑绿色产业发展专项(编号:202204AC100001-A05)。

作者简介:李金凤(2000—),女,广西桂平人,硕士研究生,研究方向为玉米遗传育种。E-mail:jinfengli1020@163.com。

通信作者:蒋辅燕,博士,副研究员,研究方向为玉米遗传育种。

E-mail:jiangfuyansxx@126.com。

[7]陆宝金,田生昌,左忠,等.盐渍化土地可持续利用研究综述及展望[J].宁夏大学学报(自然科学版),2023,44(1):79-88.

[8]万何平,张浩,余忆,等.油菜耐盐碱研究与应用[J].中国农业科技导报,2022,24(12):59-67.

[9]曹禹,史睿,杨廷海,等.甘蓝型油菜萌发期耐盐性 QTL 定位及耐盐种质资源筛选[J].中国油料作物学报,2023,45(6):1185-1196.

[10]胡凤仪,侯献飞,于月华,等.479 份芥菜型油菜种质资源萌发期耐盐性综合评价[J].中国油料作物学报,2023,45(6):1174-1184.

[11]Wan H P,Wei Y K,Qian J L,et al. Association mapping of salt

tolerance traits at germination stage of rapeseed (*Brassica napus* L.) [J]. Euphytica,2018,214(10):190.

[12]朱琨,刘骅峻,冯成龙,等.盐胁迫对不同苜蓿品种种子萌发的耐盐性综合评价[J].草地学报,2023,31(12):3724-3733.

[13]刘自刚,王志江,方圆,等. NaCl 胁迫对白菜型冬油菜种子萌发和幼苗生理的影响[J].中国油料作物学报,2017,39(3):351-359.

[14]严中琪,朱家骝,吴国泉.5 个油菜品种耐盐性试验及盐碱地改良应用[J].浙江农业科学,2021,62(12):2407-2409.

[15]范倩玉,李晋,刘振华,等.饲用油菜对盐碱地土壤改良效果探究[J].河南农业科学,2020,49(11):71-78.