

Principal Component Analysis and Comprehensive Evaluation on Salt Tolerance Related Traits in *Brassica napus* L.

Dingxue Hu, Daoming Wu, Jingcan You, Yajun He*, Wei Qian

College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing
Email: *hyj790124@163.com

Received: Feb. 19th, 2018; accepted: Mar. 2nd, 2018; published: Mar. 9th, 2018

Abstract

Objective: To identify and screen the salt tolerance resource in *Brassica napus* L., four indexes of salt tolerance related traits during seed germination stage were studied. **Method:** In this study, 1.2% NaCl was determined as the optimal salt stress concentration by the concentration gradient experiment on Zhongshuang 11. Subsequently, 88 *Brassica napus* varieties with different genetic background were evaluated for salt tolerance under the conditions of normal water supply and salt stress with 1.2% NaCl. Four indexes related to salt stress tolerance, including relative germination rate, relative root length, relative fresh weight and relative germination potential were measured. Principal component analysis, membership function value analysis and clustering analysis were used to evaluate the salt tolerance of 88 genotypes. **Result:** The results showed that salt stress has less influence on germination rate. However, it has larger influence on root length. By the principal component analysis on the four indexes, contribution rate of each principal component was obtained. The 88 materials were evaluated by membership function value analysis and for cluster analysis. Eighty-eight genotypes were clustered into 4 different levels of tolerance. 8, 21, 33 and 26 lines were classified as strong salt tolerant, medium tolerant, low tolerant and sensitive under salt stress during seed germination stage, respectively. Based on the results of comprehensive analysis, SW190 was determined to possess the strongest salt tolerance. **Conclusion:** It is feasible to comprehensively evaluate the salt tolerance of *B. napus* at the stage of seed germination by principal component analysis, membership function value analysis, and clustering analysis, which could be used to screen germplasm lines of *B. napus* for salt tolerance.

Keywords

Brassica napus L., Salt Tolerance, Principal Component Analysis, Comprehensive Evaluation

*通讯作者。

甘蓝型油菜耐盐相关性状的主成分分析及综合评价

胡丁雪, 吴道明, 游婧璇, 贺亚军*, 钱 伟

西南大学农学与生物科技学院, 重庆

Email: *hyj790124@163.com

收稿日期: 2018年2月19日; 录用日期: 2018年3月2日; 发布日期: 2018年3月9日

摘 要

目的: 通过对种子萌芽期盐胁迫下甘蓝型油菜耐盐相关指标的研究, 筛选和鉴定甘蓝型油菜耐盐种质资源。方法: 通过浓度梯度实验对中双11号油菜种子萌芽期进行盐胁迫培养, 测定种子的发芽率, 确定最佳盐胁迫浓度为1.2% NaCl。在此浓度下, 对88份不同遗传背景的甘蓝型油菜在盐胁迫处理下进行发芽试验, 同时以去离子水为对照, 播种后7天测定种子的发芽率、根长、整株鲜重和发芽势, 以盐胁迫下各性状相对指数作为衡量耐盐性指标, 利用主成分分析、隶属函数分析及聚类分析对其进行耐盐性综合评价。结果: 在1.2% NaCl胁迫下, 根长受盐胁迫影响程度最大, 而发芽率受盐胁迫影响最小。各耐盐指标间的相关性分析表明, 除了根长与发芽率之间无显著相关外, 其他指标两两之间均存在显著正相关。通过对各耐盐指标进行主成分分析, 最终确定各主成分贡献率及各指标对耐盐综合指标的贡献率。进一步应用隶属函数分析法对88个材料各主成分进行了综合评估并进行聚类分析, 将88个基因型划分为高度耐盐、中度耐盐、不耐盐和盐敏感型4类, 其中高度耐盐基因型有8个, 中度耐盐21个, 低度耐盐33个, 盐敏感型26。根据综合评价结果, 筛选出最耐盐品种为SW190。结论: 可利用主成分分析、隶属函数分析和聚类分析对甘蓝型油菜种子萌芽期耐盐性进行分类和综合评价, 筛选甘蓝型油菜耐盐种质。

关键词

甘蓝型油菜, 耐盐性, 主成分分析, 综合评价

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

【研究意义】油菜是重要的食用油料作物之一。然而, 灌溉不合理导致盐渍地面积的不断增加, 严重限制了农业土地的利用[1] [2] [3], 也影响了油菜的产量和品质[4]。在中国, 现有大量具有农业潜力的盐碱地, 若能加以利用, 将能在短期内大量提高油菜产量。开展油菜耐盐相关性状的筛选及耐盐性评价, 对筛选耐盐资源、选育耐盐品种、提高油菜耐盐性从而利用大面积的盐渍地具有重要意义。【前人研究进展】盐胁迫影响着种子萌发、植物生长发育及光合作用[5], 而种子能否在盐胁迫下萌发成苗, 是植物在盐碱条件下生长发育的前提[6]。国内外已开展了关于作物萌芽期和苗期耐盐性的鉴定与研究, 也针对

作物耐盐性鉴定提出了多种鉴定方法。目前对水稻、棉花、大豆、小麦、大麦等农作物耐盐能力的研究较多[7] [8] [9] [10] [11]。方先文等对 38 份水稻耐盐种质资源用 0.5% NaCl 盐土进行了重复筛选, 获得了极端耐盐水稻种质资源, 同时研究了不同盐浓度对水稻发芽率的影响[7]。王秀萍等以 5 个棉花品种为试材, 分析不同盐胁迫处理下棉花各生理指标的相对值变化, 确定了棉花苗期耐盐性鉴定方法和鉴定指标[8]。姜静涵等利用 4 个耐盐品种和 4 个盐敏感品种进行苗期耐盐性鉴定, 提出了大豆苗期耐盐性的简便鉴定方法, 为大豆种质资源苗期耐盐性的大规模鉴定及耐盐品种选择和耐盐机制的研究提供了方法[9]。王萌萌等对小麦品种资源进行耐盐性初步鉴定, 并对不同耐盐级别的小麦品种萌芽期和苗期耐盐性进行相关分析, 发现两者并没有一致的相关关系, 在耐盐种质筛选过程中, 都有其本身的意义[10]。乔海龙等鉴定和评价大麦的耐盐性, 获得了供试品种中耐盐性最强的品种, 不仅为大麦的耐盐育种提供了理论依据, 也为盐渍化地区的大麦种植鉴定出了耐盐品种[11]。在油菜上, 前人也开展了耐盐性研究。陈新军等调查了 108 份甘蓝型油菜种子发芽势和发芽率, 结果表明, 种子萌发时甘蓝型油菜品种间这两个指标都存在较大差异, 由此认为甘蓝型油菜品种间耐盐能力存在较大差异[12]。龙卫华等采用梯度浓度盐胁迫 15 个不同遗传背景的甘蓝型油菜自交系, 考查耐盐相关性状的变化, 并认为根长和茎长可以作为评价油菜耐盐性的早期评价指标[13]。【本研究切入点】尽管国内外已开展了关于作物耐盐性的鉴定与研究, 但目前有关油菜发芽期耐盐性鉴定和品种筛选研究较少, 而且前人研究多以单一指标或单一分析方法来鉴定油菜的耐盐性[12] [13], 具有一定的局限性。【拟解决的关键问题】本研究通过对世界范围内收集的 88 份甘蓝型油菜在发芽期的耐盐相关性状进行测定, 以各性状的耐盐相对指数作为衡量耐盐性指标, 利用主成分分析、隶属函数分析及聚类分析对其进行耐盐性综合评价, 从而鉴定甘蓝型油菜的耐盐性并筛选出耐盐品种。

2. 材料与方法

2.1. 材料

88 份世界范围内收集的具有不同遗传背景的甘蓝型油菜由西南大学油菜中心收集、保存、提供。所用发芽试验的种子均为 2015 年自交套袋收获的种子。

2.2. NaCl 胁迫处理及培养

为确定实验材料的培养天数及最佳盐胁迫浓度, 以中双 11 号作为培养材料在油菜组培室内进行发芽试验, 试验方法根据奚天雪等人的研究方法加以改进[14]。每份参试材料取圆润饱满、大小均一的种子 100 粒, 其中 50 粒作为实验组, 50 粒作为对照组, 均匀放进各个培养皿中, 培养皿内垫有三层吸水纸及一层滤纸用以保持水分。对照液为去离子水, 处理液 NaCl 浓度分别为 0.1%, 0.3%, 0.6%, 1%, 1.5% 和 2%, 每个培养皿做好标签, 盖上皿盖以保持培养皿内的湿度。昼夜温度恒定 25℃, 光照/黑暗时间为 12 h/12 h, 光照强度为 7000 lx, 相对湿度为 60%。连续培养 7 天, 每天都记录种子发芽情况, 确定出最适盐胁迫浓度和最适培养天数。

2.3. 测定指标

在最适盐胁迫浓度下, 对 88 份不同遗传背景的材料用以上相同方法进行盐胁迫试验。播种后次日起每天观察并记录油菜种子的萌发情况, 统计种子萌发数目, 于第三天计算种子发芽势。播种 7 天后统计发芽率, 并随机选取生长一致的 10 株幼苗测定根长和单株鲜重。根长用 WinRHIZO 根系扫描测定系统测定, 将完整根系样本放入专用根盘, 用镊子调整根的位置避免交叉重叠, 用扫描仪对不同品种根系图像进行扫描并保存于电脑中, 利用 WinRhizo Pro 2004a 软件分析图像, 参照顾东祥等的方法提取相应的

根长度[15]。

发芽率 = 发芽种子数/参试种子数 × 100%。发芽势 = 前 3 天内发芽种子数/参试种子数 × 100%。将盐胁迫下各性状相对值作为评价耐盐性的指标。盐胁迫下各性状的相对值 = 1.2%NaCl 处理测定值/CK 测定值 × 100% [16] [17]。

2.4. 主成分分析

用软件 SAS v8 进行主成分分析。根据王德青等的方法[18]，按累计方差贡献率 ≥ 85% 的原则提取前 m 个主成分用于随后的隶属函数分析和聚类分析。

2.5. 隶属函数值的计算

使用隶属函数值方法评估甘蓝型油菜的耐盐性[19]。

计算公式为：

$$R(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

X_i 为第 i 个主成分值， X_{\max} 、 X_{\min} 分别为第 i 主成分的最大值和最小值。

$$W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

W_i 为第 i 个主成分在所有选择用于评价油菜耐盐性主成分中的权重， P_i 为第 i 个主成分的贡献率。

$$RW = \sum_{i=1}^n [R(x_i)] \times W_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$

RW 为各材料在耐盐胁迫条件下用主成分计算的加权隶属值，用于耐盐性评价。

2.6. 聚类分析

根据王德青等基于自适应权重的函数型数据聚类方法[20]，在用主成分分析得到的主成分的基础上，对主成分加权再将 88 材料进行聚类分析。

3. 结果与分析

3.1. 培养天数及盐胁迫浓度的确定

对中双 11 号在不同盐浓度下的发芽率进行统计，结果表明，从播种后第 2 天开始观察，到播种后第 6 天，种子已基本发芽完成，故实验观察天数定为 7 天。在不同浓度 NaCl 溶液处理下，中双 11 号种子的发芽受到不同程度的抑制(图 1)。NaCl 溶液浓度在 1%~2% 范围内，随着盐浓度升高，种子的发芽率明显下降，当 NaCl 浓度达 2% 以上时，种子已基本不发芽。当 NaCl 浓度在 1% 至 1.5% 之间时，种子受 NaCl 浓度影响变化程度最大，因此最终决定以 1.2% NaCl 溶液浓度作为胁迫浓度进行随后的实验。

3.2. 盐胁迫对耐盐指标的影响及各耐盐指标间的相关性分析

根据 88 份材料在盐胁迫处理及无胁迫对照下各耐盐相关性状的测定结果，计算出各性状的相对值，以各性状相对值作为耐盐指标进行表型变异分析(表 1)。由表 1 可以看出，在 1.2% NaCl 盐胁迫下，4 个耐盐指标的变异系数都在 20% 以上，说明不同品种甘蓝型油菜的四个耐盐相关性状均存在着较大的差异，且参试品种耐盐相关性状变异丰富，同时也表明这些性状指标对品种的耐盐性具有指示作用，可用于甘蓝型油菜的耐盐性鉴定。

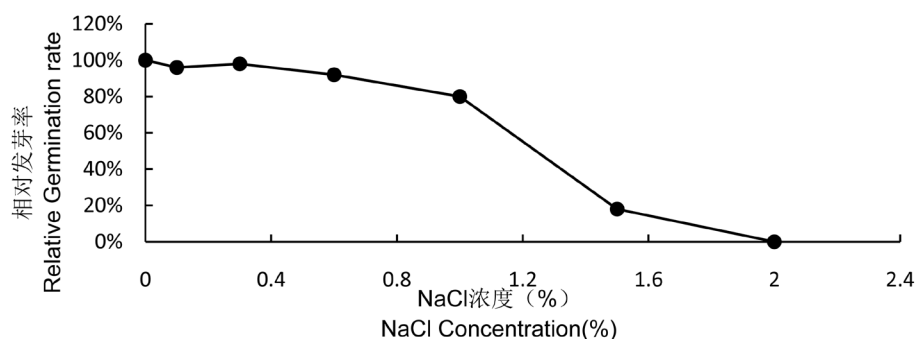


Figure 1. Relative germination rate in Zhongshuang 11 under different NaCl concentration

图 1. 中双 11 在不同盐浓度胁迫下的发芽情况

Table 1. Phenotypic variations of salt tolerance related traits

表 1. 耐盐指标的表型变异

| | 发芽率(%) seed germination rate | 根长(%) root length | 鲜重(%) fresh weight | 发芽势(%) germination potential |
|----------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 最大值 Max | 99.00 | 61.57 | 66.97 | 91.96 |
| 最小值 Min | 35.07 | 5.55 | 13.77 | 0.00 |
| 极差 Range | 63.93 | 56.02 | 53.20 | 91.96 |
| 均值 mean | 77.94 | 19.00 | 36.25 | 54.11 |
| 变异系数 CV | 20.17 | 56.35 | 30.25 | 57.04 |

受盐胁迫的影响, 各性状在盐胁迫下与对照相比都有明显下降, 但不同性状受影响的程度不同, 表 1 可以看出, 根长受盐胁迫的影响较大, 其均值仅为对照的 19%, 而发芽率受盐胁迫的影响最小, 该性状的均值为对照的 77.94%, 且品种间的变异与其他性状相比较低, 仅为 20.17%。通过观察各性状相对值的频率分布也可以看出(图 2), 发芽率的相对值主要分布在 70% 以上, 而根长相对值主要分布在 50% 以下, 表明在同等条件的盐胁迫下, 发芽率所受影响最小, 而根长对盐胁迫最敏感。

通过比较各耐盐指标间的相关性可以看出, 除了根长与发芽率相关性未达到显著水平外, 其他指标两两间的相关性均在 0.05 水平达到显著, 其中发芽率与单株鲜重、发芽率与发芽势、根长与鲜重、鲜重与发芽势之间的相关性均在 0.01 水平达到显著(表 2)。这表明, 受盐胁迫后这 4 个耐盐指标之间存在一定联系。

3.3. 油菜萌发期耐盐指标主成分分析

通过对 88 份甘蓝型油菜进行盐胁迫处理, 得出发芽率、根长、鲜重、发芽势的耐盐相对值。对这四个耐盐指标进行主成分分析, 结果表明(表 3), 第一、第二、第三和第四主成分的贡献率分别为 47.29%、21.30%、17.28%、14.13%。为了达到数据简化的目的, 按累计方差贡献率 $\geq 85\%$ 的原则提取主成分[18]。本研究中, 前三个主成分的累计贡献率已经超过 85%, 这一结果表明, 前三个主成分已经能代表所有生理指标的绝大部分信息, 可以用这三个主成分建立的评价体系对甘蓝型油菜种子萌发期的耐盐能力进行综合评价。由表 3 中各测定指标的贡献率及所测指标的特征向量值可以看出, 在第一主成分中, 四个生理指标相对值所占比重没有明显差别, 在第二主成分中, 相对根长占主要作用, 第三主成分中, 相对根长和相对发芽势占主要作用。

3.4. 油菜萌发期耐盐性隶属函数分析

对 88 个材料的第一、第二、第三主成分进行隶属函数分析, 获得这些材料的耐盐性差异, 以加权隶

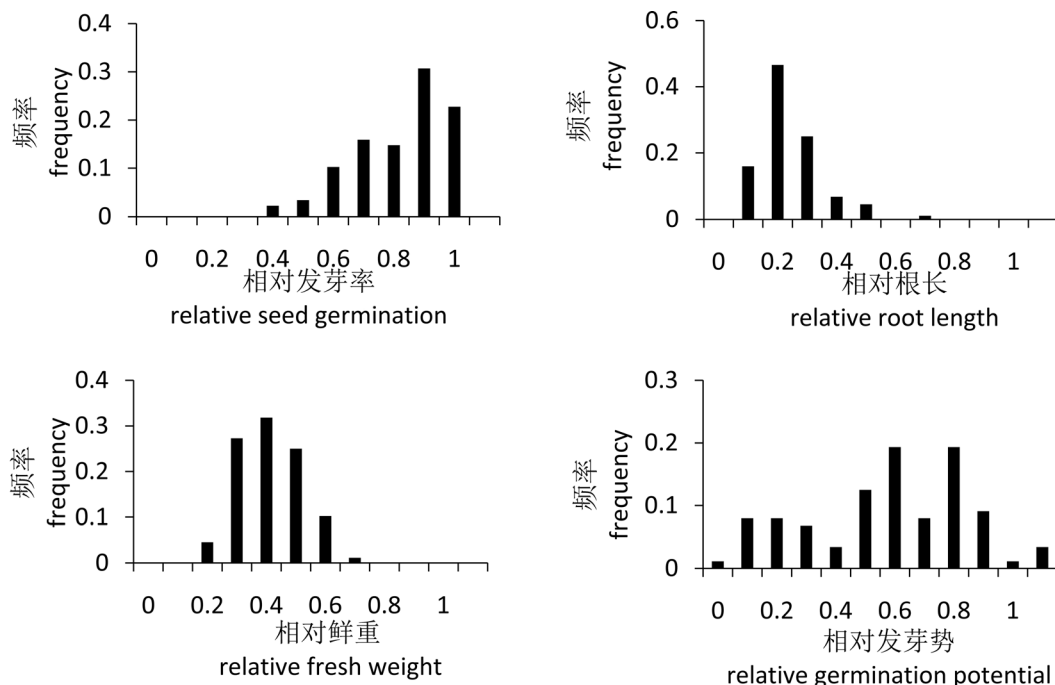


Figure 2. Frequency distribution of salt tolerance related traits
图 2. 耐盐指标的频率分布

Table 2. Correlations of salt tolerance related traits under 1.2% NaCl
表 2. 1.2% NaCl 胁迫下各耐盐指标间的相关系数

| | 发芽率 seed germination rate | 根长 root length | 鲜重 fresh weight | 发芽势 germination potential |
|------------------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|
| 发芽率 seed germination rate | 1.000 | | | |
| 根长 root length | 0.189 | 1.000 | | |
| 鲜重 fresh weight | 0.342** | 0.284** | 1.000 | |
| 发芽势 germination potential | 0.417** | 0.236* | 0.295** | 1.000 |

*, **分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著性。

Table 3. Eigen values and variance contribution ratio of measured indicators and characteristic value of principal components
表 3. 各测定指标的特征值、贡献率和主成分特征向量值

| 主成分 Principal component | 特征值 Eigen value | 贡献率(%) Variance contribution ratio | 累计贡献率(%) Accumulated variance contribution ratio | 所测指标的特征向量值 Eigen vector of measured indicators | | | |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|---|---|--------|--------|--------|
| | | | | Var1 | Var2 | Var3 | Var4 |
| 1 | 1.8915 | 47.29 | 47.29 | 0.5328 | 0.4166 | 0.5124 | 0.5291 |
| 2 | 0.8519 | 21.30 | 68.59 | -0.450 | 0.8111 | 0.1581 | -0.338 |
| 3 | 0.6912 | 17.28 | 85.87 | -0.006 | 0.357 | -0.793 | 0.4931 |
| 4 | 0.5654 | 14.13 | 100.00 | 0.7163 | 0.2031 | -0.288 | -0.602 |

注: Var1, Var2, Var3, Var4 分别代表发芽率、根长、鲜重、发芽势。

属函数值的大小即 RW 值评价耐盐性强弱顺序, 结果表明, SW190 的耐盐性最强, 而 SW215 的耐盐性

最弱, 其余材料根据其加权隶属值的大小排序见表 4。

3.5. 聚类分析及综合评价

采用欧氏距离和离差平方和法对加权隶属值即 RW 值进行聚类分析, 将 88 份材料划分为四类, 如图 3, SW190, SW188, SW183, 3P001, SW178, SW140, SW147, SW144 为第一类, 共 8 个, 占有材

Table 4. Membership value of 88 *Bassica napus* varieties

表 4. 88 份甘蓝型油菜隶属值排序

| 材料编号 Variety code | 主成分隶属值 membership value of principal component | | | 加权 隶属 函数 值 RW | 排序 sort | 材料编号 Variety code | 主成分隶属值 membership value of principal component | | | 加权 隶属 函数 值 RW | 排 序 sort |
|-------------------------|--|-------|-------|---------------------------|------------|-------------------------|--|-------|-------|---------------------------|----------------|
| | comp1 | comp2 | comp3 | | | | comp1 | comp2 | comp3 | | |
| SW190 | 1.00 | 0.57 | 0.57 | 0.81 | 1 | SW109 | 0.49 | 0.32 | 0.32 | 0.41 | 45 |
| SW188 | 0.95 | 0.60 | 0.51 | 0.77 | 2 | 3P044 | 0.55 | 0.11 | 0.40 | 0.41 | 46 |
| SW183 | 0.50 | 0.99 | 1.00 | 0.72 | 3 | SW192 | 0.47 | 0.22 | 0.49 | 0.41 | 47 |
| 3P001 | 0.86 | 0.42 | 0.64 | 0.71 | 4 | SW137 | 0.53 | 0.04 | 0.53 | 0.41 | 48 |
| SW178 | 0.91 | 0.39 | 0.34 | 0.67 | 5 | 3B062 | 0.49 | 0.30 | 0.30 | 0.41 | 49 |
| SW140 | 0.85 | 0.53 | 0.27 | 0.65 | 6 | SW206 | 0.34 | 0.42 | 0.56 | 0.40 | 50 |
| SW147 | 0.75 | 0.18 | 0.94 | 0.65 | 7 | 3P031 | 0.58 | 0.12 | 0.25 | 0.40 | 51 |
| SW144 | 0.55 | 0.72 | 0.76 | 0.63 | 8 | SW094 | 0.34 | 0.42 | 0.51 | 0.39 | 52 |
| SW103 | 0.71 | 0.41 | 0.61 | 0.61 | 9 | 3B280 | 0.47 | 0.24 | 0.31 | 0.38 | 53 |
| SW175 | 0.76 | 0.44 | 0.42 | 0.61 | 10 | SW224 | 0.49 | 0.35 | 0.12 | 0.38 | 54 |
| SW176 | 0.80 | 0.36 | 0.38 | 0.60 | 11 | 3B092 | 0.42 | 0.19 | 0.45 | 0.37 | 55 |
| SW118 | 0.89 | 0.17 | 0.34 | 0.60 | 12 | 3B079 | 0.49 | 0.02 | 0.46 | 0.37 | 56 |
| SW173 | 0.80 | 0.24 | 0.45 | 0.59 | 13 | SW164 | 0.31 | 0.46 | 0.37 | 0.36 | 57 |
| SW177 | 0.75 | 0.41 | 0.38 | 0.59 | 14 | SW184 | 0.34 | 0.29 | 0.45 | 0.35 | 58 |
| SW174 | 0.77 | 0.36 | 0.30 | 0.58 | 15 | SW194 | 0.36 | 0.15 | 0.54 | 0.34 | 59 |
| SW166 | 0.75 | 0.30 | 0.40 | 0.57 | 16 | 3P038 | 0.42 | 0.05 | 0.47 | 0.34 | 60 |
| SW142 | 0.66 | 0.61 | 0.23 | 0.56 | 17 | 3P091 | 0.39 | 0.06 | 0.52 | 0.33 | 61 |
| SW152 | 0.77 | 0.27 | 0.34 | 0.56 | 18 | SW193 | 0.40 | 0.08 | 0.44 | 0.33 | 62 |
| SW080 | 0.67 | 0.38 | 0.49 | 0.56 | 19 | 3P034 | 0.40 | 0.03 | 0.47 | 0.32 | 63 |
| SW167 | 0.76 | 0.16 | 0.47 | 0.55 | 20 | SW161 | 0.27 | 0.15 | 0.67 | 0.32 | 64 |
| SW141 | 0.64 | 0.14 | 0.82 | 0.55 | 21 | 3B286 | 0.38 | 0.11 | 0.42 | 0.32 | 65 |
| 3B076 | 0.76 | 0.13 | 0.45 | 0.54 | 22 | 3P053 | 0.39 | 0.00 | 0.48 | 0.31 | 66 |
| SW156 | 0.68 | 0.26 | 0.50 | 0.54 | 23 | SW081 | 0.30 | 0.25 | 0.42 | 0.31 | 67 |
| SW170 | 0.60 | 0.29 | 0.60 | 0.52 | 24 | SW163 | 0.23 | 0.49 | 0.30 | 0.31 | 68 |
| SW120 | 0.66 | 0.20 | 0.50 | 0.51 | 25 | SW171 | 0.27 | 0.24 | 0.46 | 0.30 | 69 |
| SW179 | 0.68 | 0.32 | 0.24 | 0.51 | 26 | 3P055 | 0.21 | 0.46 | 0.32 | 0.30 | 70 |
| SW133 | 0.74 | 0.11 | 0.29 | 0.49 | 27 | SW130 | 0.28 | 0.46 | 0.10 | 0.29 | 71 |

Continued

| | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|----|-------|------|------|------|------|----|
| 3B043 | 0.71 | 0.13 | 0.34 | 0.49 | 28 | 3P086 | 0.28 | 0.11 | 0.47 | 0.28 | 72 |
| SW200 | 0.76 | 0.06 | 0.23 | 0.48 | 29 | 3B082 | 0.21 | 0.39 | 0.31 | 0.28 | 73 |
| SW136 | 0.58 | 0.32 | 0.35 | 0.47 | 30 | SW101 | 0.21 | 0.16 | 0.57 | 0.27 | 74 |
| SW162 | 0.54 | 0.35 | 0.43 | 0.47 | 31 | SW172 | 0.19 | 0.20 | 0.56 | 0.27 | 75 |
| SW226 | 0.22 | 1.00 | 0.46 | 0.46 | 32 | 3P040 | 0.22 | 0.26 | 0.38 | 0.26 | 76 |
| 3P022 | 0.62 | 0.10 | 0.48 | 0.46 | 33 | SW092 | 0.18 | 0.35 | 0.37 | 0.26 | 77 |
| SW062 | 0.52 | 0.35 | 0.43 | 0.46 | 34 | SW157 | 0.21 | 0.22 | 0.44 | 0.26 | 78 |
| SW143 | 0.58 | 0.54 | 0.00 | 0.46 | 35 | 3P019 | 0.27 | 0.07 | 0.47 | 0.26 | 79 |
| SW187 | 0.59 | 0.23 | 0.34 | 0.45 | 36 | 3P012 | 0.24 | 0.12 | 0.46 | 0.26 | 80 |
| SW186 | 0.45 | 0.38 | 0.48 | 0.44 | 37 | 3P048 | 0.07 | 0.49 | 0.43 | 0.24 | 81 |
| 3P007 | 0.66 | 0.01 | 0.35 | 0.44 | 38 | SW212 | 0.19 | 0.30 | 0.30 | 0.24 | 82 |
| SW138 | 0.50 | 0.15 | 0.60 | 0.43 | 39 | 3B103 | 0.02 | 0.55 | 0.43 | 0.23 | 83 |
| 3P023 | 0.52 | 0.12 | 0.56 | 0.43 | 40 | SW055 | 0.09 | 0.25 | 0.59 | 0.23 | 84 |
| SW123 | 0.55 | 0.34 | 0.19 | 0.42 | 41 | SW075 | 0.13 | 0.39 | 0.30 | 0.23 | 85 |
| 3P032 | 0.59 | 0.03 | 0.43 | 0.42 | 42 | 3B325 | 0.07 | 0.40 | 0.41 | 0.22 | 86 |
| SW149 | 0.50 | 0.11 | 0.59 | 0.42 | 43 | 3P013 | 0.16 | 0.13 | 0.49 | 0.22 | 87 |
| SW205 | 0.50 | 0.38 | 0.23 | 0.42 | 44 | SW215 | 0.00 | 0.29 | 0.45 | 0.16 | 88 |

注: Var1, Var2, Var3, Var4 分别代表发芽率、根长、鲜重、发芽势。

料的 9.1%，将这一类归为高度耐盐型材料，这类材料在筛选耐盐性甘蓝型油菜中具有重要意义；SW103, SW175, SW176, SW118, W173, SW177, SW174, SW166, SW142, SW152, SW080, SW167, SW141, 3B076, SW156, SW170, SW120, SW179, SW133, 3B043, SW200 属于第二类，共 21 个，占有所有材料的 23.9%，为中度耐盐型材料；SW136, SW162, SW226, 3P022, SW062, SW143, SW187, SW186, 3P007, SW138, 3P023, SW123, 3P032, SW149, SW205, SW109, 3P044, SW192, SW137, 3B062, SW206, 3P031, SW094, 3B280, SW224, 3B092, 3B079, SW164, SW184, SW194, 3P038, 3P091 属于第三类，共 33 个，占有所有材料的 37.5%，属于低度耐盐型材料；其余材料，SW193, 3P034, SW161, 3B286, 3P053, SW081, SW163, SW171, 3P055, SW130, 3P086, 3B082, SW101, SW172, 3P040, SW092, SW157, 3P019, 3P012, 3P048, SW212, 3B103, SW055, SW075, 3B325, 3P013, SW215 属于第四类，共 26 个，占有所有材料的 29.5%，属于盐敏感型材料。

4. 讨论

甘蓝型油菜虽然被认为是具有较好耐盐性的品种[21] [22]，但其耐盐能力仍然有限，如果作为盐碱地主栽作物，还有很多不足。由于油菜耐盐机理十分复杂，目前尚未培育出可在盐渍地大面积种植的耐盐品种，因此对现有油菜种质资源进行耐盐性评价与筛选，对进一步耐盐品种的培育具有重要意义。本研究通过对 88 份甘蓝型油菜萌芽期耐盐性进行综合评价，选出强耐盐性的品种 8 份，其中 SW190 的耐盐性最强，这些筛选出的耐盐基因型可通过进一步验证后，应用于油菜的耐盐育种。

植物耐盐性是植物对于盐害的综合性反应，与其他性状指标不同，耐盐性无法直接测量，但盐胁迫下，植物的其他性状指标有明显变化，所以可通过盐胁迫处理后其他生理性状的改变作为参考指标来反映植物的耐盐性。目前对水稻、小麦、大麦、棉花等农作物耐盐能力的研究较多[7] [8] [9] [10] [11]，

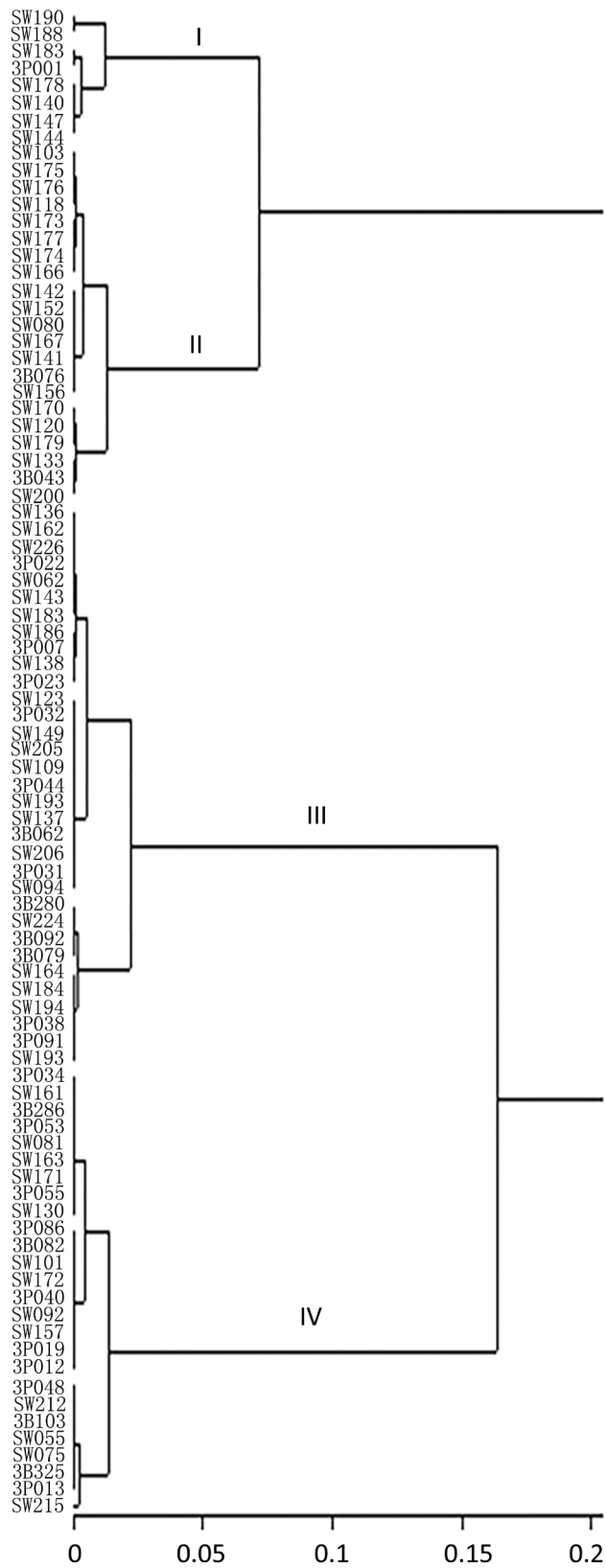


Figure 3. Clustering analyses of salt tolerance of 88 genotypes
图 3. 88 份基因型耐盐性聚类分析

在油菜上耐盐性评价与鉴定工作开展相对较晚。不同品系的油菜其耐盐性不同, 同品系油菜不同生长时期的耐盐性也不同[23]。而发芽期是油菜生长发育的起始阶段, 也是对盐胁迫最敏感的时期之一[24]。受盐胁迫的影响, 油菜的发芽率、发芽势、发芽期的根长、整株鲜重等会随着盐胁迫浓度的增加而降低[25]。在进行大量的种质资源耐盐性鉴定时, 简单而有效的鉴定指标是早期耐盐评价的重要环节。近年来, 在其他作物如水稻、小麦、大豆中, 国内外学者已筛选出许多与耐盐性有关的鉴定指标[7] [8] [9] [10] [11]。在油菜耐盐指标研究中, 陈新军等认为甘蓝型油菜种子发芽势和发芽率在品种间存在较大差异, 可以作为评价油菜耐盐性的指标[12], 而龙卫华等则认为根长和茎长可以作为评价油菜耐盐性的早期评价指标[13]。本研究通过对不同遗传背景的 88 份材料进行盐胁迫处理, 通过测定相对发芽率、相对根长、相对鲜重和相对发芽势四个指标, 发现不同性状受盐胁迫的影响程度不同, 其中相对发芽率受盐胁迫影响最小, 而相对根长对盐胁迫最敏感, 四个性状指标对耐盐性综合指标的贡献率不同, 因此, 在评价油菜种子萌芽期耐盐性时, 要综合分析多指标测定结果。

由于作物的耐盐性是由多基因控制的数量遗传性状, 不同基因型间耐盐相关性状表现也不相同, 因此, 单一鉴定指标很难全面准确地评价耐盐性的强弱。而仅利用多指标隶属函数分析法评价作物耐盐性时, 虽能更全面地反映作物耐盐所表现的众多耐盐相关性状, 但也存在一定的局限性。因为单纯利用隶属函数分析法进行多指标评价时, 各指标间存在不同程度的相关性, 这样导致各单项指标提供的信息发生重叠, 因而影响耐盐鉴定结果[26]。近年来, 主成分分析已逐渐应用于水稻、棉花、大豆、小麦、大麦等作物多指标耐逆性综合评价[27]-[32]。利用主成分分析的结果, 不仅保留了原始变量的主要信息, 而且彼此不相关, 又比原始测定指标具有更优越的性质[33]。本研究在甘蓝型油菜萌芽时期, 对不同遗传背景的 88 份材料进行盐胁迫处理, 通过对相对发芽率、相对根长、相对鲜重和相对发芽势四个指标的主成分分析, 综合分析各个指标在耐盐性分析中所占的比重, 再用隶属函数法对供试所有材料进行隶属值综合分析、排序, 最后通过聚类分析, 将 88 份甘蓝型油菜材料聚成高度耐盐、中度耐盐、低度耐盐和盐敏感型 4 类。研究表明, 可利用主成分分析、隶属函数分析和聚类分析对甘蓝型油菜种子萌芽期耐盐性进行分类和综合评价。

5. 结论

通过对 88 份甘蓝型油菜萌芽期 4 个性状相对耐盐指标进行主成分分析, 最终确定各主成分贡献率及各性状对综合指标的贡献率, 通过隶属函数分析及聚类分析, 将 88 份甘蓝型油菜材料聚成 4 类, 其中高度耐盐 8 个, 中度耐盐 21 个, 低度耐盐 33 个, 盐敏感型 26 个。选出最耐盐的品种为 SW190。

基金项目

国家重点研发计划“七大农作物育种”重点专项(2016YFD0100202)、国家自然科学基金(31671729, 31301351)、重庆市基础科学与前沿技术研究项目(cstc2017jcyjA0391)、中央高校基本科研业务费(XDJK2016B031)。

参考文献

- [1] Yong, H., Wang, C., Bancroft, I., Li, F., Wu, X., Kitashiba, H. and Nishio, T. (2015) Identification of a Gene Controlling Variation in the Salt Tolerance of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Planta*, **242**, 313-326. <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2310-8>
- [2] Ruan, C.J., da Silva, J.A.T., Mopper, S., Qin, P. and Lutts, S. (2012) Halophyte Improvement for a Salinized World. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **29**, 329-359. <https://doi.org/10.1080/07352689.2010.524517>
- [3] Munns, R. and Tester, M. (2008) Mechanisms of Salinity Tolerance. *Plant Biology*, **59**, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>

- [4] 陈兆波, 余健. 我国油菜生产形势分析及科研对策研究[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 303-308.
- [5] Parida, A.K. and Das, A.B. (2005) Salt Tolerance and Salinity Effects on Plants. *Ecotoxicol Environ Safe*, **60**, 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
- [6] 王东明, 贾媛, 崔继哲. 盐胁迫对植物的影响及植物盐适应性研究进展[J]. 中国农学通报, 2009, 25(4): 124-128.
- [7] 方先文, 汤陵华, 王艳平. 耐盐水稻种质资源的筛选[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(3): 295-298.
- [8] 王秀萍, 张国新, 鲁雪林, 吴新海, 刘雅辉, 曹彩霞. 棉花苗期耐盐性鉴定方法和鉴定指标研究[J]. 河北农业科学, 2011, 15(3): 8-11.
- [9] 姜静涵, 关荣霞, 郭勇, 常汝镇, 邱丽娟. 大豆苗期耐盐性的简便鉴定方法[J]. 作物学报, 2013, 39(7): 1248-1256.
- [10] 王萌萌, 姜奇彦, 胡正, 张辉, 樊守金, 冯沥, 张海玲. 小麦品种资源耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(2): 189-194.
- [11] 乔海龙, 沈会权, 陈健, 陶红, 臧慧, 栾海业, 张英虎, 陈和. 大麦种质耐盐性鉴定及评价[J]. 核农学报, 2015, 29(1): 153-160.
- [12] 陈新军, 胡茂龙, 戚存扣, 浦惠明, 张洁夫, 高建芹, 傅寿仲. 不同甘蓝型油菜品种种子萌发耐盐能力研究[J]. 江苏农业科学, 2007(4): 26-27.
- [13] 龙卫华, 浦惠明, 张洁夫, 戚存扣, 张学昆. 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.
- [14] 奚天雪, 杨磊, 袁玫, 李梦琦, 张景华, 周安琪, 高霞莉, 温洪宇. NaCl 胁迫对甘蓝、白菜和油菜种子萌发的影响[J]. 种子, 2016, 35(6): 32-35.
- [15] 顾东祥, 汤亮, 曹卫星, 朱艳. 基于图像分析方法的水稻根系形态特征指标的定量分析[J]. 作物学报, 2010(5): 810-817.
- [16] Nasu, S., Kitashiba, H. and Nishio, T. (2012) "Na-No-Hana Project" for Recovery from the Tsunami Disaster by Producing Salinity-Tolerant Oilseed Rape Lines: Selection of Salinity-Tolerant Lines of Brassica Crops. *Journal of Integrated Field Science*, **9**, 33-37.
- [17] Munns, R. and James, R.A. (2003) Screening Methods for Salinity Tolerance: A Case Study with Tetraploid Wheat. *Plant Soil*, **253**, 201-218. <https://doi.org/10.1023/A:1024553303144>
- [18] 王德青, 朱建平, 谢邦昌. 主成分聚类分析有效性的思考[J]. 统计研究, 2012, 11(11): 84-87.
- [19] 符明联, 李根泽, 杨清辉, 原小燕, 王敬乔. 隶属函数法鉴定油菜甘芥种间杂交后代的抗旱性[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(4): 368-373.
- [20] 王德青, 朱建平, 王洁丹. 基于自适应权重的函数型数据聚类方法研究[J]. 数理统计与管理, 2015, 1(1): 84-92.
- [21] 黄镇, 杨瑞阁, 徐爱遐, 李建宏, 鲁瑞文, 罗鹏. 盐胁迫对 3 大类型油菜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2010, 38(7): 49-53.
- [22] Marnville, J.W. and Baligar, B.V. (1993) Testing Crops for Salinity Tolerance. *Proceeding of the Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses*, Lincoln, NE, 1-4 August 1993, 234-247.
- [23] Hamdy, A., Abdul-Dayem, S. and Abu-Zeid, M. (1993) Saline Water Management for Optimum Crop Production. *Agricultural Water Management*, **24**, 189-203. [https://doi.org/10.1016/0378-3774\(93\)90023-4](https://doi.org/10.1016/0378-3774(93)90023-4)
- [24] Ashraf, M. and Mcneilly, T. (2011) Salinity Tolerance in Brassica Oil Seeds. *Critical Reviews in Plant Sciences*, **23**, 157-174.
- [25] 李春龙. 盐胁迫对油菜种子萌发的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11198-11199.
- [26] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 朱旭彤. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1378-1382.
- [27] 徐蕊, 王启柏, 张春庆, 吴承来. 玉米自交系抗旱性评价指标体系的建立[J]. 中国农业科学, 2009, 42(1): 72-84.
- [28] 孙璐, 周宇飞, 汪澈, 肖木辑, 陶冶, 许文娟, 黄瑞冬. 高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1714-1722.
- [29] 白志英, 李存东, 孙红春, 赵金锋. 小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4264-4272.
- [30] 王贺正, 马均, 李旭毅, 李艳, 张荣萍, 刘慧远, 汪仁全. 水稻开花期抗旱性鉴定指标的筛选[J]. 作物学报, 2005, 31(11): 1485-1489.
- [31] 祁旭升, 王兴荣, 许军, 张建平, 米君. 胡麻种质资源成株期抗旱性评价[J]. 中国农业科学, 2010, 43(15):

3076-3087.

- [32] 孟庆立, 关周博, 冯佰利, 柴岩, 胡银岗. 谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J]. 中国农业科学, 2009, 42(8): 2667-2675.
- [33] 袁志发, 周静芋. 多元统计分析[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: br@hanspub.org