

菜用黄麻种质萌发期耐盐性评价

侯文焕, 赵艳红, 唐兴富, 廖小芳, 李初英

(广西壮族自治区农业科学院经济作物研究所, 南宁 530007)

摘要: 为明确不同盐胁迫对菜用黄麻种子萌发的影响, 并综合评价菜用黄麻种质的耐盐性, 本研究以 13 份菜用黄麻种质为试验材料, 以 2 份纤维用黄麻为参照种质, 分别测定在不同浓度 (0、50、100、150、200 mmol/L) 的两种单盐 NaCl、Na₂SO₄ 处理下种子的发芽率、发芽势、胚芽长度、胚根长度, 采用隶属函数法和系统聚类分析法对其耐盐性进行综合评价。结果表明, 不同种类和不同浓度的盐胁迫对菜用黄麻发芽势、发芽率、胚根长度、胚芽长度存在不同程度的影响。随着盐浓度的增加菜用黄麻各指标均在盐浓度为 200 mmol/L 显著低于对照。NaCl 胁迫对菜用黄麻萌发期各指标的抑制作用由大到小依次为胚根长 > 发芽势 > 胚芽长 > 发芽率, Na₂SO₄ 胁迫对菜用黄麻萌发期各指标的抑制作用由大到小依次为胚根长 > 胚芽长 > 发芽势 > 发芽率。Na₂SO₄ 对菜用黄麻种子萌发的抑制作用高于 NaCl。根据对 13 份菜用黄麻种质以及 2 份参照种质的综合评价及聚类分析, 将 15 份黄麻种质划分为高耐盐、中度耐盐、盐敏感 3 种类型, 筛选出高耐 NaCl 的菜用黄麻 4 份分别为 14MCB-1、粤引 2 号、埃及麻菜、福农 1 号, 高耐 Na₂SO₄ 种质 1 份为桂麻菜 2 号及对 2 种单盐均表现敏感的菜用黄麻种质平果麻菜。

关键词: 菜用黄麻; 盐胁迫; 萌发期; 综合评价

Assessment for Salt Tolerance in Vegetable Jute Germplasms at the Germination Stage

HOU Wen-huan, ZHAO Yan-hong, TANG Xing-fu, LIAO Xiao-fang, LI Chu-ying

(Cash Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007)

Abstract: The objective of this study aimed to evaluate salt tolerance of vegetable jute, via under different salt stress conditions on and comprehensively evaluate the salt tolerance. In this study, 13 vegetable jute germplasms and 2 jute which used as control were treated with NaCl and Na₂SO₄ at different concentrations of 0, 50, 100, 150, 200 mmol/L, respectively. Then germination potential, germination rate, sprout length and radical length were measured after salt treatment. The 13 vegetable jute germplasms were evaluated and classified using subordination function method and hierarchical cluster analysis. The result showed the different kinds and concentrations salt stress have different effects on germination potential, germination rate, sprout length and radical length of vegetable jute. With the increase of salt concentration, all indexes were significantly lower than the control 200 mmol/L. According to the degree of inhibit of NaCl stress, the indexes of jute germination were from large to small radical length, germination potential, sprout length, germination rate. According to the degree of inhibit of Na₂SO₄ stress, the indexes of jute germination were from large to small radical length, sprout length, germination potential, germination rate. Na₂SO₄ stress on the germination of vegetable jute was higher than NaCl. Based on the results, 13 vegetable jute germplasms and 2 control lines could be classified into groups, including

收稿日期: 2018-07-26 修回日期: 2018-10-10 网络出版日期: 2018-11-14

URL: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4996.s.20181113.1002.002.html>

第一作者研究方向为麻类作物育种与栽培技术研究, E-mail: houwenhuan1112@126.com

通信作者: 李初英, 主要从事麻类作物育种与栽培技术研究, E-mail: lcy6689@126.com

基金项目: 国家麻类产业技术体系资助项目 (CARS-16-S15); 广西科技重大专项 (桂科 AA17204045-7); 广西农业科学院基本科研业务专项项目 (2015YT65)

Foundation project: China Agriculture Research System Foundation (CARS-16-S15), Science and Technology Major Projects in Guangxi (Guike AA17204045-7), Guangxi Academy of Agricultural Sciences Basic Scientific Research Project (2015YT65)

high salt tolerance, moderate salt tolerance, salt sensitivity. Finally, 14MCB-1, Yueyin No.2, Egypt macai, Funong No.1 were highly NaCl tolerant, Guimacai No.2 was highly Na₂SO₄ tolerant, the Pingguomacai showed salt sensitivity to both salt.

Key words: vegetable jute; salt stress; germination stage; comprehensive evaluation

黄麻 (*Corchorus capsularis* L.) 为一年生韧皮纤维作物,生产上有长果种和圆果种两个栽培种,依据用途可分为纤用黄麻和菜用黄麻^[1]。菜用黄麻主食嫩茎叶,嫩茎质地爽脆,幼叶软滑清香,风味独特,口感极佳,在中国广西桂南地区、广东潮汕及福建闽中南、闽西北地区均有栽培和食用黄麻嫩茎叶的习惯。黄麻作为一种经济作物,可以在沿海滩涂大面积种植^[2]。土壤盐渍化对农业的威胁是一个全球性的问题,并在世界范围内引起多种作物减产。土壤盐渍化是作物生长中常遇到的自然逆境之一,盐胁迫对作物的生长发育有很大影响,近年来随着土壤盐渍化面积的不断扩大,土壤盐渍化成为限制农业生产发展的重要因素之一^[3-4]。因而耐盐作物的筛选、鉴定和评价就显得尤为重要。

种子在萌发阶段的耐盐状况在一定程度上反映了该品种的耐盐程度,种子萌发期耐盐性是耐盐植物筛选与早期鉴定的主要依据之一^[5-6]。前人研究表明不同浓度的盐溶液处理可使小麦、油菜、亚麻、绿豆、红麻、玉米、棉花、大豆、高粱、大麻、裸燕麦、水稻、花生、甘薯、谷子、豇豆等^[7-24]种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数及幼苗的苗高、根长等性状遭受危害,随着盐浓度的增加盐害加重。多年来,国内外对纤用黄麻的耐盐性以及筛选鉴定方法进行了研究,马洪雨等^[2]对 12 份纤用黄麻种质进行芽期和苗期耐盐性鉴定,筛选出 3 份高耐盐材料 9511、中黄麻 1 号、93 繁-13;卢瑞克等^[25]对 20 份纤用黄麻种质进行苗期耐盐鉴定,筛选出 8 份强耐盐材料, O-3、O-6、K-11、和字 8 号、甜麻、K-56、K-116、长果红茎。Ghosh 等^[26]通过对 60 份纤用黄麻材料进行耐盐性鉴定,筛选出编号为 4965 和 4955 的 2

个优异种质。Sharma 等^[27]对 37 份黄麻种质进行耐盐性鉴定,筛选出耐盐种质 JRC 321 和 中度耐盐种质 JRC-517、UPC-94。Chaudhuri 等^[28]研究表明圆果种黄麻较长果种对盐胁迫更为敏感; Abass 等^[29]研究表明不同基因型的黄麻对盐胁迫的反应不同,高浓度显著降低种子的萌发和幼苗生长参数。以上研究主要集中在 NaCl 胁迫对纤用黄麻的影响及种质筛选方面,而关于菜用黄麻对 NaCl 尤其是 Na₂SO₄ 胁迫的评价尚未见报道。因此,本研究以 15 份不同类型的黄麻种质为试验材料,其中 O-3 和 南阳长果为参照种质,其余 13 份为菜用黄麻,利用不同浓度 NaCl 和 Na₂SO₄ 处理黄麻种子,在萌发期调查 15 份种质的发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长,明确盐胁迫对黄麻种质萌发的影响并综合评价不同种质的耐盐性,旨在筛选出耐盐种质,为抗逆育种提供亲本材料,同时也为黄麻耐盐机理研究奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

13 份菜用黄麻种质由广西农业科学院经济作物研究所提供,其中长果种 5 份,圆果种 8 份;品种 O-3 (耐盐) 和 南阳长果 (感盐)^[25]作为参照种质,由中国农业科学院麻类作物研究所提供,详见表 1。

1.2 试验方法

本试验于 2017 年 12 月在广西农业科学院人工气候室进行,试验分别设置了 5 个 NaCl 和 Na₂SO₄ 浓度梯度,即 0 (CK)、50、100、150、200 mmol/L。选取 15 份黄麻种质中大小一致、籽粒饱满的种子 100 粒,将种子消毒并冲洗干净。将种子置于放有两层滤纸直径 90mm 的培养皿中,向培养皿中加入

表 1 供试黄麻种质
Table 1 The jute accessions tested in this study

编号 Number	名称 Name	类型 Type	来源 Origin	编号 Number	名称 Name	类型 Type	来源 Origin	编号 Number	名称 Name	类型 Type	来源 Origin
1	14MCB-1	圆果种	中国广西	6	福农 4 号	长果种	中国福建	11	平果麻菜	长果种	中国广西
2	14MCH-1	圆果种	中国广西	7	福农 5 号	长果种	中国福建	12	粤引 1 号	圆果种	中国广东
3	14MCH-2	圆果种	中国广西	8	府城麻菜	圆果种	中国广西	13	粤引 2 号	圆果种	中国广东
4	埃及麻菜	长果种	埃及	9	桂麻菜 1 号	圆果种	中国广西	14	南阳长果	长果种	中国河南
5	福农 1 号	长果种	中国福建	10	桂麻菜 2 号	圆果种	中国广西	15	O-3	长果种	孟加拉

15 mL 的盐溶液,对照以清水代替,每处理 3 次重复。将培养皿置于 $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中培养,注意补充蒸发的水分,保持盐溶液的浓度,分别于发芽第 3 天和第 5 天统计种子发芽势和发芽率,第 5 天随机选取 10 粒种子测量胚根和胚芽长度。

1.3 测定项目

计算种子发芽势、发芽率,公式如下:

发芽势 (%) = 3 d 发芽种子数 / 供试种子数 $\times 100$;

发芽率 (%) = 发芽 5 d 累积的发芽数 / 供试种子数 $\times 100$;

抑制指数 = (对照值 - 处理值) / 对照值^[30]。

因不同指标单位不统一无法进行比较,为方便比较,故引申 2 个抑制指数:抑制指数 I 为相同品种相同盐浓度下各指标抑制指数之和;抑制指数 II 为相同指标所有品种各盐浓度抑制指数之和。

1.4 耐盐性评价

采用隶属函数法对菜用黄麻种质进行芽期耐盐

碱性综合评价,计算隶属函数值。公式如下:

$$U(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$$

$$\Sigma X_i = U(X_{ij}) / n$$

X_{ij} 为某一品种某指标的实测值, $X_{j\max}$ 为该指标的最大值, $X_{j\min}$ 为该指标的最小值。 $U(X_{ij})$ 为 i 品种 j 性状的隶属值。 X_i 为 i 品种的平均隶属函数值, n 为测定指标数, X_i 值越大,表明该材料耐盐性越强^[31]。

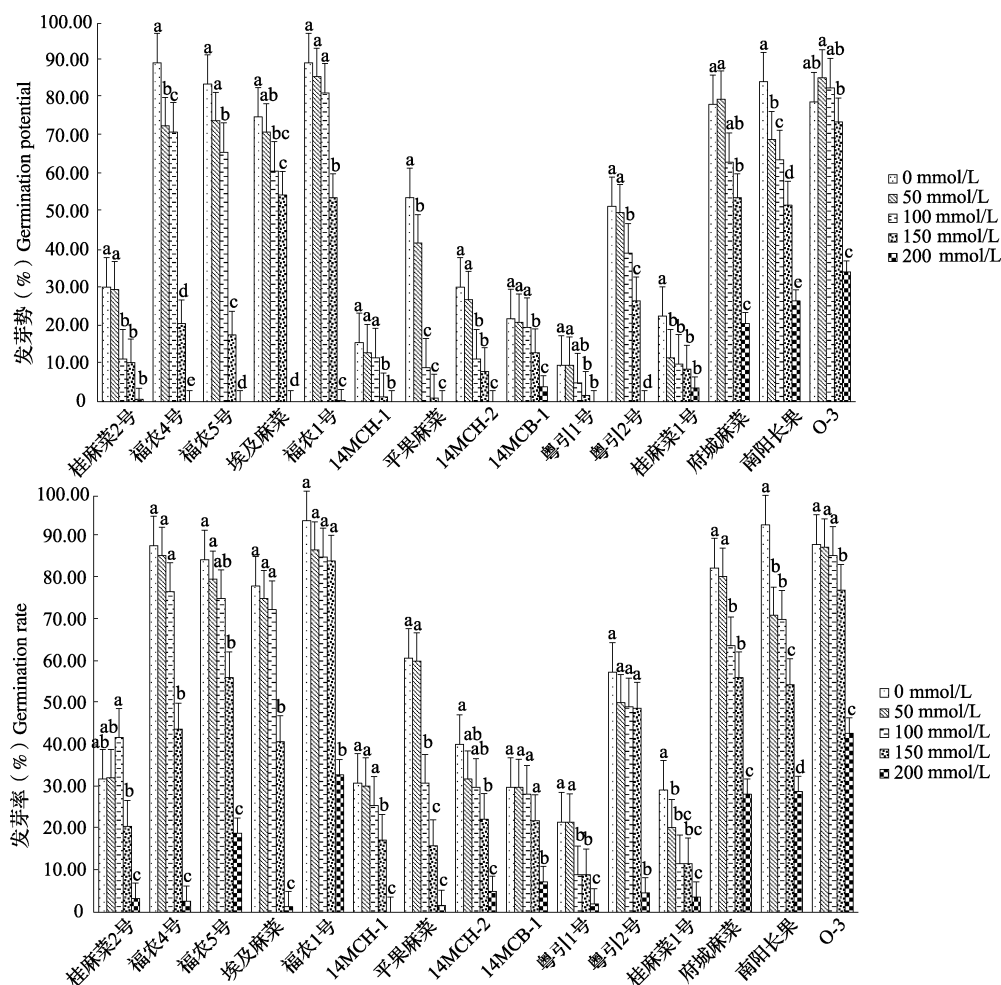
1.5 数据分析

采用 Excel 2010 和 SPSS Statistics 19 软件进行数据统计和系统聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻种质萌发的影响

2.1.1 不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻发芽势和发芽率的影响 由图 1 可知,在不同浓度的 NaCl 对 13 份菜用黄麻种质及参照种质南阳长果和 O-3 发芽势



同一品种不同小写字母表示差异显著,下同

Different lowercase letters in the same variety represented significant, the same as below

图 1 不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻种质发芽势、发芽率的影响

Fig.1 The effect of different concentrations NaCl on germination potential and germination rate of vegetable jute

和发芽率均产生了一定的影响。随着 NaCl 浓度的增加,府城麻菜和 O-3 的发芽势随 NaCl 浓度的增加呈现先升高后降低的趋势,余下的 12 份菜用黄麻种质和南阳长果的发芽势均呈现下降的趋势。在 NaCl 浓度为 150 mmol/L 时参照种质 O-3 的发芽势与对照差异不显著,其他种质均显著低于对照。随 NaCl 浓度的增加,桂麻菜 2 号的发芽率呈现先升高后降低的趋势,余下的 12 份菜用黄麻种质的发芽率均呈现下降的趋势,参照种质南阳长果和 O-3 发芽率也呈现下降的趋势,在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时各种质的发芽率均显著低于对照,其中 14MCH-1 在浓度为 200 mmol/L 时发芽率为 0。桂麻菜 2 号在浓度为 100 mmol/L 时发芽率为 42.0%,比对照提高了 10%,由此可见低浓度的 NaCl 对桂麻菜 2 号的发芽率有促进作用。

2.1.2 不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻胚根长度和胚芽长度的影响 由图 2 可知,不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻种质胚根和胚芽长度的影响也存在差异。随着 NaCl 浓度的增加,桂麻菜 1 号、桂麻菜 2 号、府城麻菜、平果麻菜、粤引 1 号、14MCH-2、O-3 和南阳长果的胚芽长度均呈现下降的趋势,福农 1 号、福农 4 号、福农 5 号、埃及麻菜、14MCH-1、14MCB-1、粤引 2 号的胚芽长度呈现先增加后降低的趋势,即在浓度为 50 mmol/L 时对菜用黄麻种质胚芽长度有促进作用。13 份菜用黄麻种质与参照种质均在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时胚芽长度显著低于对照。随 NaCl 浓度的增加平果麻菜和 14MCB-1 的胚根长度呈现先增加后降低的趋势,其他种质的胚根长度均随 NaCl 浓度的增加呈现下降的趋势。13 份菜用黄麻种质及参照种质的胚根长

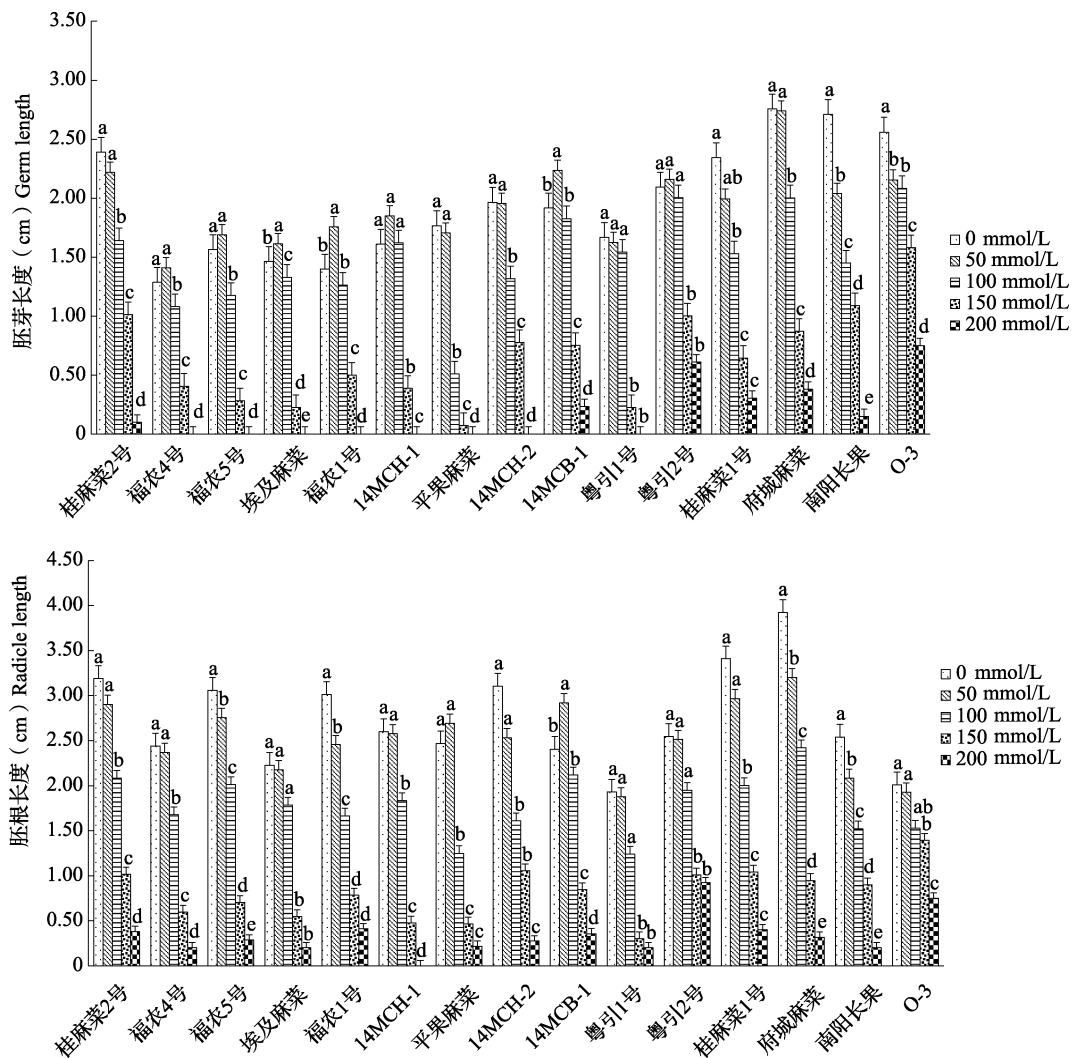


图 2 不同浓度的 NaCl 对菜用黄麻种质胚芽和胚根长度的影响

Fig.2 The effect of different concentrations NaCl on the length of the germ and the radicle of vegetable jute

度均在浓度为 150~200 mmol/L 时显著低于对照,与对照相比,参照种质 O-3 在 NaCl 浓度为 200 mmol/L 时的胚根长度下降最少,为 62.69%,由此可见高浓度的 NaCl 可显著降低菜用黄麻种质的胚芽和胚根长度,对菜用黄麻种质的萌发造成显著的影响,耐盐种质 O-3 表现出较强的耐性。

2.1.3 不同浓度的 NaCl 胁迫对菜用黄麻种质的抑制率的影响 抑制指数反映盐胁迫的抑制效果,值

越大抑制越显著,说明植物对盐反应越敏感,反之对盐的耐性越好。由图 3 可知,随着 NaCl 浓度的增加,15 份种质的抑制指数 I 呈现增加的趋势,表明 NaCl 对黄麻种质的胁迫作用随浓度的增加而增大。NaCl 对各项指标的抑制指数 II 依次为胚根长 (29.4820) > 发芽势 (28.6337) > 胚芽长 (27.3916) > 发芽率 (22.3056),这表明在萌发期各指标中发芽势和胚根长对 NaCl 胁迫较为敏感。

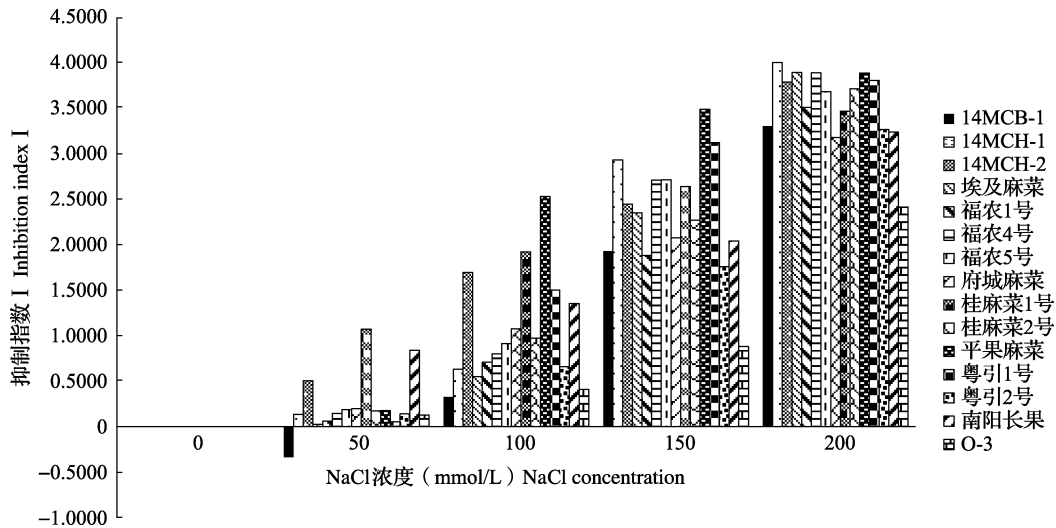


图 3 不同浓度的 NaCl 胁迫对菜用黄麻种质的抑制指数的影响

Fig.3 The effect of different concentrations NaCl on inhibition index of vegetable jute

2.2 不同浓度的 Na_2SO_4 对菜用黄麻种质萌发的影响

2.2.1 不同浓度的 Na_2SO_4 对菜用黄麻种质发芽势和发芽率的影响 由表 2 可知,不同浓度的 Na_2SO_4 对黄麻种质萌发的影响也不同。随着 Na_2SO_4 浓度的增加,埃及麻菜、福农 4 号、福农 5 号、粤引 1 号、14MCB-1 的发芽势呈现先升高后降低的趋势,当 Na_2SO_4 浓度为 50 mmol/L 时发芽势高于对照但差异不显著,说明低浓度 Na_2SO_4 对发芽势有促进作用。其他种质随 Na_2SO_4 浓度的增加发芽势呈现下降的趋势,在 Na_2SO_4 浓度为 150~200 mmol/L 时发芽势均显著低于对照;参照种质南阳长果和 O-3 随着处理浓度的增加发芽势也呈现下降趋势,且各处理浓度均显著低于对照。不同浓度的 Na_2SO_4 对发芽率的影响与发芽势略有不同,随着 Na_2SO_4 浓度的增加福农 5 号、粤引 1 号、粤引 2 号、14MCH-2 发芽率呈现先升高后降低的趋势;其他种质的发芽率随着 Na_2SO_4 浓度的增加呈现下降的趋势,且在浓度 150~200 mmol/L 时显著低于对照。参照种质南阳长果和 O-3 随着处理浓度的增加发芽率也呈现下降趋势,且各处理浓度发芽率均低于对照。

2.2.2 不同浓度的 Na_2SO_4 对菜用黄麻种质胚芽长和胚根长的影响 不同浓度的 Na_2SO_4 对菜用黄麻种质胚芽长和胚根长的影响相同,即随着 Na_2SO_4 浓度的增加胚根长和胚芽长呈现下降的趋势,且在 Na_2SO_4 浓度为 100~200 mmol/L 时各菜用黄麻种质的胚根长和胚芽长均显著低于对照(表 2)。埃及麻菜、平果麻菜、福农 1 号、福农 4 号、桂麻菜 1 号、桂麻菜 2 号、粤引 1 号、14MCH-1、14MCH-2 在浓度为 200 mmol/L 时胚芽长和胚根长均为 0。参照种质南阳长果与 O-3 随浓度的增加胚芽长和胚根长呈现下降趋势,各处理浓度的胚根长和胚芽长均显著低于对照,且南阳长果在浓度为 200 mmol/L 时胚芽长和胚根长均为 0。说明高浓度 Na_2SO_4 可抑制菜用黄麻的胚芽长和胚根长。

2.3 NaCl、 Na_2SO_4 两种盐胁迫对菜用黄麻种质的抑制指数的影响

从表 2 可以看出各种质的抑制指数随着 Na_2SO_4 浓度的增加呈现增加的趋势,即随着 Na_2SO_4 浓度的增加抑制效应逐渐增大,此种趋势与 NaCl 的结果相一致。 Na_2SO_4 胁迫处理下各项指标的抑制指数

表 2 不同浓度的 Na_2SO_4 对黄麻种质萌发的影响Table 2 The effect of different concentrations Na_2SO_4 on the germplasm germination of jute

品种 Cultivar	Na_2SO_4 浓度 (mmol/L) Na_2SO_4 concentration	发芽势 (%) Germination potential	发芽率 (%) Germination rate	胚芽长 (cm) Germ length	胚根长 (cm) Radical length	抑制指数 I Inhibition index I
14MCB-1	0	28.33 ± 1.53a	38.00 ± 2.00a	2.33 ± 0.03a	3.12 ± 0.04a	0.0000
	50	30.67 ± 1.53a	38.00 ± 1.73a	2.07 ± 0.03a	1.56 ± 0.08b	0.5305
	100	22.00 ± 1.00a	28.67 ± 1.53b	0.73 ± 0.06b	0.42 ± 0.09c	2.0233
	150	4.67 ± 1.15b	6.00 ± 1.73c	0.10 ± 0.01c	0.16 ± 0.14cd	3.5817
	200	0.00 ± 0.00b	0.67 ± 0.58c	0.00 ± 0.00c	0.07 ± 0.12d	3.9611
14MCH-1	0	20.67 ± 2.08a	28.00 ± 1.73a	2.22 ± 0.09a	3.25 ± 0.04a	0.0000
	50	17.33 ± 1.15a	22.00 ± 1.00b	1.82 ± 0.07b	1.88 ± 0.07b	0.9789
	100	10.00 ± 2.00b	20.67 ± 1.53b	0.52 ± 0.09c	0.45 ± 0.06c	2.4045
	150	0.00 ± 0.00c	5.67 ± 0.58c	0.02 ± 0.02d	0.15 ± 0.13c	3.7429
	200	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c	4.0000
14MCH-2	0	28.00 ± 1.00a	35.33 ± 1.53ab	2.27 ± 0.04a	3.55 ± 0.11a	0.0000
	50	28.00 ± 1.73a	40.00 ± 2.00a	2.00 ± 0.09a	1.87 ± 0.10b	0.4603
	100	11.67 ± 1.53b	28.67 ± 1.15b	0.71 ± 0.06b	0.53 ± 0.02c	2.3095
	150	3.00 ± 1.00c	11.67 ± 1.53c	0.06 ± 0.07c	0.21 ± 0.02cd	3.4803
	200	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00e	4.0000
埃及麻菜 Egypt macai	0	69.33 ± 2.08a	78.67 ± 1.15a	1.83 ± 0.05a	2.77 ± 0.02a	0.0000
	50	71.67 ± 2.52a	77.00 ± 1.73a	1.31 ± 0.06b	1.87 ± 0.06b	0.5968
	100	48.67 ± 1.53b	63.00 ± 1.73b	0.46 ± 0.04c	0.46 ± 0.09c	2.0792
	150	0.67 ± 1.15c	4.33 ± 1.15c	0.00 ± 0.00d	0.14 ± 0.12d	3.8842
	200	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	4.0000
福农 1 号 Funong No.1	0	91.33 ± 0.58a	95.33 ± 2.08a	2.09 ± 0.05a	2.97 ± 0.08a	0.0000
	50	82.67 ± 2.31b	83.67 ± 1.53a	1.34 ± 0.02b	1.25 ± 0.09b	1.1553
	100	73.00 ± 2.00c	76.00 ± 1.73a	0.58 ± 0.02c	0.46 ± 0.03c	1.9732
	150	8.33 ± 0.58d	36.00 ± 1.73b	0.07 ± 0.06d	0.21 ± 0.02d	3.4273
	200	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00d	4.0000
福农 4 号 Funong No.4	0	81.67 ± 2.08a	89.33 ± 1.15a	1.65 ± 0.05a	2.63 ± 0.10a	0.0000
	50	85.00 ± 0.00a	86.67 ± 1.53a	1.18 ± 0.07b	1.50 ± 0.09b	0.7044
	100	56.67 ± 3.51b	61.00 ± 2.00b	0.39 ± 0.04c	0.42 ± 0.06c	2.2258
	150	5.33 ± 0.58c	19.67 ± 1.53c	0.00 ± 0.00d	0.21 ± 0.02c	3.6348
	200	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00c	4.0000
福农 5 号 Funong No.5	0	73.33 ± 3.06a	81.00 ± 2.65a	1.89 ± 0.09a	2.05 ± 0.09a	0.0000
	50	79.67 ± 1.53a	87.00 ± 2.00a	1.20 ± 0.01b	0.90 ± 0.04b	0.7655
	100	54.67 ± 1.53b	62.00 ± 2.65b	0.42 ± 0.02c	0.41 ± 0.03c	2.0660
	150	9.67 ± 1.53c	19.33 ± 1.53c	0.03 ± 0.02d	0.20 ± 0.00d	3.5176
	200	0.00 ± 0.00c	0.33 ± 0.58d	0.00 ± 0.00d	0.07 ± 0.00e	3.9633
府城麻菜 Fuchengmacai	0	71.67 ± 2.31a	82.33 ± 2.08a	2.84 ± 0.09a	2.73 ± 0.06a	0.0000
	50	66.33 ± 2.52a	79.33 ± 1.15a	2.52 ± 0.08a	2.40 ± 0.09a	0.3460
	100	29.00 ± 1.00b	55.67 ± 1.15b	0.74 ± 0.05b	0.72 ± 0.06b	2.3954
	150	3.00 ± 1.00c	43.00 ± 1.00b	0.05 ± 0.03c	0.29 ± 0.06b	3.3109
	200	0.00 ± 0.00c	2.33 ± 0.58c	0.00 ± 0.00c	0.13 ± 0.12b	3.9228
桂麻菜 1 号 Guimacai No.1	0	16.67 ± 1.53a	23.33 ± 1.53a	2.36 ± 0.08a	3.32 ± 0.09a	0.0000
	50	15.33 ± 1.15a	21.00 ± 1.00a	1.95 ± 0.07b	1.67 ± 0.09b	0.8503
	100	12.67 ± 1.53a	18.33 ± 1.15a	0.71 ± 0.08c	0.52 ± 0.03c	1.9944
	150	3.00 ± 1.00b	8.67 ± 1.15b	0.03 ± 0.02d	0.20 ± 0.00cd	3.3770
	200	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00e	4.0000

表 2(续)

品种 Cultivar	Na ₂ SO ₄ 浓度 (mmol/L) Na ₂ SO ₄ concentration	发芽势 (%) Germination potential	发芽率 (%) Germination rate	胚芽长 (cm) Germ length	胚根长 (cm) Radical length	抑制指数 I Inhibition index I
桂麻菜 2 号 Guimacai No.2	0	18.67 ± 1.53a	23.67 ± 1.15a	2.49 ± 0.03a	3.36 ± 0.04a	0.0000
	50	18.67 ± 2.08a	20.33 ± 1.53a	2.25 ± 0.02b	2.18 ± 0.12b	0.5898
	100	14.67 ± 1.53a	20.00 ± 1.00a	0.98 ± 0.10c	0.77 ± 0.06c	1.7461
	150	6.67 ± 1.15b	12.67 ± 1.53b	0.27 ± 0.06d	0.23 ± 0.04d	2.9311
	200	0.00 ± 0.00b	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00d	4.0000
平果麻菜 Pingguomacai	0	49.67 ± 0.58a	52.67 ± 2.08a	1.92 ± 0.09a	3.28 ± 0.07a	0.0000
	50	29.00 ± 1.73b	45.33 ± 2.52a	1.17 ± 0.07b	1.45 ± 0.08b	1.5005
	100	2.67 ± 0.58c	28.33 ± 1.53b	0.23 ± 0.04c	0.38 ± 0.08c	3.1698
	150	0.00 ± 0.00c	1.33 ± 0.58c	0.00 ± 0.00d	0.07 ± 0.02d	3.9544
	200	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	4.0000
粤引 1 号 Yueyin No.1	0	41.00 ± 2.00a	46.33 ± 2.08a	2.36 ± 0.07a	2.46 ± 0.08a	0.0000
	50	42.67 ± 1.53a	47.67 ± 2.31a	2.10 ± 0.03a	1.81 ± 0.06b	0.3080
	100	14.67 ± 1.53b	32.33 ± 1.15b	0.69 ± 0.02b	0.48 ± 0.01c	2.4570
	150	0.00 ± 0.00c	5.67 ± 1.15c	0.07 ± 0.06c	0.20 ± 0.00c	3.7665
	200	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	0.00 ± 0.00c	4.0000
粤引 2 号 Yueyin No.2	0	46.33 ± 1.15a	51.33 ± 2.08a	2.74 ± 0.06a	2.96 ± 0.05a	0.0000
	50	44.00 ± 1.00a	51.33 ± 1.15a	2.47 ± 0.06a	1.40 ± 0.09b	0.6748
	100	38.67 ± 1.53a	52.33 ± 2.52a	1.09 ± 0.09b	0.53 ± 0.04c	1.5690
	150	2.00 ± 1.00b	7.00 ± 1.00b	0.13 ± 0.03c	0.20 ± 0.00cd	3.7549
	200	0.00 ± 0.00b	1.33 ± 1.15b	0.00 ± 0.00c	0.13 ± 0.12d	3.9290
南阳长果 Nanyangchangguo	0	86.33 ± 2.08a	88.00 ± 1.00a	3.31 ± 0.36a	2.10 ± 0.38a	0.0010
	50	81.67 ± 1.53b	85.67 ± 1.53a	2.33 ± 0.06b	1.34 ± 0.08b	0.7375
	100	73.00 ± 1.00c	82.00 ± 1.00b	0.51 ± 0.1.2c	0.51 ± 0.05c	1.8262
	150	26.33 ± 3.06d	39.33 ± 2.52c	0.00 ± 0.00d	0.25 ± 0.03cd	3.1305
	200	0.00 ± 0.00e	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	0.00 ± 0.00d	4.0000
O-3	0	89.00 ± 1.00a	90.33 ± 1.53a	3.57 ± 0.15a	1.95 ± 0.31a	0.0000
	50	85.00 ± 2.00b	86.33 ± 1.53b	2.13 ± 0.08b	1.37 ± 0.08b	0.7926
	100	79.33 ± 1.15c	85.00 ± 1.00b	1.01 ± 0.30c	0.77 ± 0.13c	1.4891
	150	64.00 ± 1.00d	74.00 ± 1.00c	0.00 ± 0.00d	0.28 ± 0.00d	2.3181
	200	0.67 ± 0.58e	1.33 ± 1.15d	0.00 ± 0.00d	0.13 ± 0.12d	3.9094
抑制指数 II Inhibition index II		33.9177	29.2031	43.9940	47.1032	154.2178

II 变化规律与 NaCl 胁迫下的规律存在差异, Na₂SO₄ 胁迫处理下各项指标的抑制指数 II 依次为胚根长 > 胚芽长 > 发芽势 > 发芽率。但是在两种单盐胁迫下 Na₂SO₄ 的抑制指数均高于 NaCl, 即 Na₂SO₄ 对菜用黄麻种子的胁迫程度高于 NaCl。

2.4 菜用黄麻种质耐盐性综合性评价

本研究中采用隶属函数法, 利用各项测定指标对 15 份黄麻种质进行综合评价。各种质的隶属函数值越大, 耐盐性越强。通过对各材料的隶属函数值综合评价(表 3)结果显示, 15 份种质中对 NaCl、Na₂SO₄ 隶属函数值最大即耐性最强的为参照种质

O-3, 13 份菜用黄麻种质中隶属函数值最大的分别为埃及麻菜、桂麻菜 2 号, 最小值均为平果麻菜。基于 15 份黄麻种质耐盐性综合评价值, 采用 ward 法进行耐盐性强弱聚类, 在欧氏距离为 5 处, 15 份种质可被划分为 3 类(图 4), 依据耐盐性综合评价值可归为 3 个耐盐性级别, 分析各级别中菜用黄麻种质的数量(表 4), 结果显示高耐 NaCl 的 5 份材料分别为 O-3、14MCB-1、粤引 2 号、埃及麻菜、福农 1 号, 高耐 Na₂SO₄ 的 3 份材料分别为 O-3、南阳长果、桂麻菜 2 号, 高耐盐的材料所占比例分别为 33.33% 和 20.00%; 中度耐盐材料所占比例分别为 46.67%

和 73.33%；盐敏感材料所占比例分别为 20.00% 和 6.67%。依据聚类结果,参照种质 O-3 和南阳长果对 NaCl 分别呈现高耐盐和盐敏感,而对 Na₂SO₄ 则均表现为高耐盐,筛选出高耐盐菜用黄麻 14MCB-1、粤引 2 号、埃及麻菜、福农 1 号、桂麻菜 2 号,以及对 2 种均敏感的菜用黄麻种质平果麻菜。

表 3 黄麻种质各指标隶属函数值及综合指标隶属函数值
Table 3 The subordinative function value of comprehensive index of jute

种质 Cultivar	NaCl					Na ₂ SO ₄				
	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	胚芽长 Germ length	胚根长 Radical length	综合 Comprehensive	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	胚芽长 Germ length	胚根长 Radical length	综合 Comprehensive
14MCB-1	0.663	0.715	0.579	0.536	0.623	0.559	0.579	0.449	0.327	0.478
14MCH-1	0.532	0.673	0.591	0.576	0.593	0.465	0.545	0.412	0.353	0.444
14MCH-2	0.505	0.592	0.612	0.509	0.555	0.505	0.578	0.443	0.347	0.468
埃及麻菜	0.696	0.681	0.574	0.586	0.634	0.531	0.567	0.394	0.378	0.468
福农 1 号	0.694	0.717	0.560	0.482	0.613	0.559	0.610	0.390	0.329	0.472
福农 4 号	0.568	0.666	0.593	0.561	0.597	0.538	0.575	0.391	0.362	0.466
福农 5 号	0.576	0.671	0.558	0.533	0.585	0.546	0.572	0.375	0.332	0.456
府城麻菜	0.652	0.627	0.577	0.512	0.592	0.474	0.628	0.433	0.432	0.492
桂麻菜 1 号	0.404	0.455	0.519	0.519	0.474	0.572	0.611	0.428	0.344	0.489
桂麻菜 2 号	0.533	0.588	0.599	0.546	0.567	0.629	0.648	0.481	0.389	0.537
平果麻菜	0.393	0.545	0.459	0.485	0.470	0.328	0.485	0.347	0.316	0.369
粤引 1 号	0.538	0.542	0.607	0.526	0.553	0.461	0.554	0.442	0.402	0.465
粤引 2 号	0.649	0.708	0.622	0.533	0.628	0.565	0.627	0.470	0.312	0.493
南阳长果	0.530	0.526	0.506	0.491	0.513	0.619	0.670	0.372	0.399	0.515
O-3	0.719	0.594	0.737	0.613	0.666	0.712	0.742	0.375	0.422	0.563

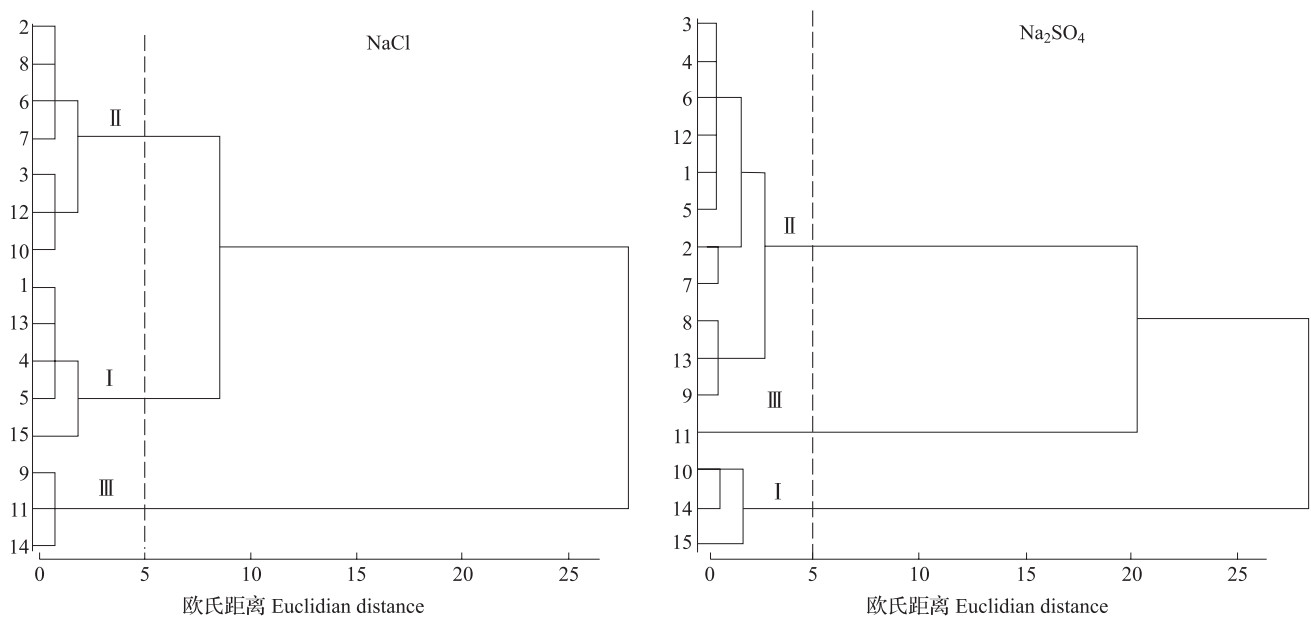


图 4 黄麻种质的聚类分析图
Fig.4 Cluster analysis of salt tolerance of 15 jute

表 4 黄麻种质芽期耐盐性分级结果
Table 4 Classification of salt tolerance of vegetable jute on the germplasm germination

盐种类 Salt	级别 Grade	耐盐性 Salt tolerance	数量 Number	种质 Cultivar
NaCl	1	高耐盐	5	O-3, 14MCB-1, 粤引 2 号, 埃及麻菜, 福农 1 号
	2	中度耐盐	7	14MCH-1, 14MCH-2, 福农 4 号, 福农 5 号, 府城麻菜, 桂麻菜 2 号, 粤引 1 号
	3	盐敏感	3	桂麻菜 1 号, 平果麻菜, 南阳长果
Na ₂ SO ₄	1	高耐盐	3	O-3, 南阳长果, 桂麻菜 2 号
	2	中度耐盐	11	14MCH-1, 14MCH-2, 福农 4 号, 福农 5 号, 府城麻菜, 桂麻菜 1 号, 粤引 1 号, 14MCB-1, 粤引 2 号, 埃及麻菜, 福农 1 号
	3	盐敏感	1	平果麻菜

3 讨论

3.1 盐胁迫对菜用黄麻种子萌发的影响

前人研究表明盐胁迫对植物种子萌发具有明显的抑制作用,而且随浓度提高抑制程度逐渐增大^[32-34];但也有研究结果显示,低浓度盐处理可促进细胞膜渗透调节和刺激呼吸酶,从而能促进种子的萌发^[35-38]。本研究结果表明在不同浓度盐胁迫时菜用黄麻种质的各项指标受到一定程度的影响,在高浓度时各项指标均受到显著抑制。在低浓度(50~100 mmol/L)盐胁迫时部分种质出现发芽势、发芽率、胚芽长度、胚根长度高于对照的现象,如在 NaCl 浓度 50 mmol/L 时桂麻菜 2 号发芽率,14MCB-1 的胚芽和胚根长度均高于对照,在 Na₂SO₄ 浓度 50 mmol/L 时福农 5 号、粤引 1 号的发芽势、发芽率均高于对照,这说明部分材料在低浓度盐处理时可促进菜用黄麻种质的生长。

13 份菜用黄麻种质的各项指标在高浓度时显著低于对照,在 NaCl、Na₂SO₄ 浓度为 200 mmol/L 时出现 14MCH-1 发芽率为 0,胚芽、胚根长度为 0,说明高浓度的盐溶液对菜用黄麻种质的萌发有较大的影响,原因可能是离子毒害作用,NaCl、Na₂SO₄ 浓度过高,破坏了细胞质膜的完整性,导致细胞膜选择性透性下降甚至丧失,Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻ 等在细胞内的大量积累,细胞内离子失调,引发一系列代谢紊乱^[18]。此外,溶液中盐分过多,使之水势降低,种子幼芽(胚)吸水困难,造成细胞内水分亏缺,影响幼芽(胚)的生长^[39]。

在本研究中通过比较两种盐胁迫下的各单项指标可知,两种单盐对黄麻产生的影响是不同的,所

有品种在相同浓度下 Na₂SO₄ 对种子的萌发抑制作用强于 NaCl,前人在对其他作物的研究中也有类似的报道^[40-41]。但也有针对不同种盐胁迫进行比较得出不同的结论,李鸿文等^[30]对小黑麦的研究显示 NaCl 对黑小麦的胁迫程度大于 Na₂SO₄。Na₂SO₄ 和 NaCl 对作物产生的毒性的差异可能是因为不同阴阳离子对植物的作用机制不同^[42]。

3.2 菜用黄麻种子耐盐性综合评价

在对作物萌发期进行耐盐性鉴定时多选用发芽率、发芽势、发芽指数等作物耐盐性的评价标准,本研究中对种子进行耐盐性综合评价时选用发芽势、发芽率、胚芽长、胚根长作为评价指标,由于各指标对盐浓度响应不一致,因此多采用多个指标结合隶属函数法对菜用黄麻的耐盐性进行综合评价^[43],并通过系统聚类对耐盐性进行划分更有利于对菜用黄麻种质的耐盐性进行评价。在不同种质对 NaCl 的耐性进行聚类分析后高耐和中度耐性类型分别为 33.33% 和 46.67%,此结果与马洪雨等^[2]、卢瑞克等^[44]的研究相一致,在对 Na₂SO₄ 的耐性进行聚类分析感盐品种所占比例仅为 6.67%,其余均为高耐和中度耐性的种质,由此可推断黄麻的耐盐性相对较强。本研究通过研究两种单盐 Na₂SO₄ 和 NaCl 胁迫对不同品种的影响,利用胁迫对种质萌发的影响来评价黄麻的耐盐性更具有现实意义。

本研究以 13 份菜用黄麻种质为试验材料,选用前人研究中对 NaCl 表现耐盐和感盐的 2 份种质作为参照,结果表明 2 份参照种质对 NaCl 的耐性表现出明显的差异,通过聚类分析将其分别划分为高耐盐和盐敏感类别,此结果与前人^[25]研究结果相同。在对 Na₂SO₄ 的耐性综合评价中 2 份参照种质

均表现出较好的耐性,通过聚类分析均划分为高耐 Na_2SO_4 类别,参照种质南阳长果对 2 种单盐的耐性差异较大,而通过比较 13 份菜用黄麻种质对 2 种盐的耐性划分,也存在同一种质对不同盐的抗性差异显著,如桂麻菜 2 号对 Na_2SO_4 表现出较强的耐性,而对 NaCl 则表现出中度耐盐,可能是因为南阳长果、桂麻菜 2 号对 Cl^- 毒害更为敏感。

参考文献

- [1] 赵艳红,黄其椿,赵洪涛,唐兴富,侯文焕,劳赏业,李初英. 菜用黄麻桂麻菜 1 号和桂麻菜 2 号的营养成分分析. 南方农业学报, 2017, 48(1): 127-131
Zhao Y H, Huang Q C, Zhao H T, Tang X F, Hou W H, Lao S Y, Li C Y. Nutritional components analysis on fresh leaves of vegetable jute varieties Guimacai 1 and Guimacai 2. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(1): 127-131
- [2] 马洪雨,王瑞君,王显生,麻浩. 黄麻种质芽期和苗期耐盐性的鉴定与评价. 植物遗传资源学报, 2009, 10(2): 236-247
Ma H Y, Wang R J, Wang X S, Ma H. Identification and evaluation of salt tolerance of jute germplasm during germination and seedling periods. Journal of Plant Genetic Resources, 2009, 10(2): 236-247
- [3] Jafar M Z, Farooq M, cheema M, Afzal I, Bastra S M A, Wahid M A. Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. Journal of Agronomy & Crop Science, 2012, 198(1): 38-45
- [4] Farooq M. Potassium substitution by sodium in plants. Critical Reviews in Plant Sciences, 2011, 30(4): 401-413
- [5] 时津霞,乔永利,杨庆文,何蓓如,吉万全,翁跃进. 以色列野生二粒小麦 (*Triticum dicoccoides*) 耐盐性鉴定. 植物遗传资源学报, 2004, 5(4): 369-373
Shi J X, Qiao Y L, Yang Q W, He B R, Ji W Q, Weng Y J. Evaluation of salt tolerance for wild emmer (*Triticum dicoccoides*) from Israel. Journal of Plant Genetic Resources, 2004, 5(4): 369-373
- [6] 李培英,孙宗玖. 33 份偃麦草种质芽期耐盐性评价. 草业科学, 2015, 32(4): 593-600
Li P Y, Sun Z J. Evaluation on the salt resistance of germplasm resources of 33 *Elytrigia repens* during seed germination period. Pratacultural Science, 2015, 32(4): 593-600
- [7] 彭智,李龙,柳玉平,刘惠民,景蕊莲. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 638-645
Peng Z, Li L, Liu Y P, Liu H M, Jing R L. Evaluation of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) genotypes at germination and seedling stages. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(4): 638-645
- [8] 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. 中国油料作物学报, 2013, 35(3): 271-275
Long W H, Pu H M, Zhang J F, Qi C K, Zhang X K. Screening of *Brassica napus* for salinity tolerance at germination stage. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2013, 35(3): 271-275
- [9] 郭瑞,李峰,周际,李昊儒,夏旭,刘琪. 亚麻响应盐、碱胁迫的生理特征. 植物生态学报, 2016, 40(1): 69-79
Guo R, Li F, Zhou J, Li H R, Xia X, Liu Q. Eco-physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum*) to salt and alkali stresses. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 40(1): 69-79
- [10] 徐宁,陈冰娜,王明海,包淑英,王桂芳,郭中校. 绿豆品种资源萌发期耐碱性鉴定. 作物学报, 2017, 43(1): 112-121
Xu N, Chen B R, Wang M H, Bao S Y, Wang G F, Guo Z X. Identification of alkali tolerance of mungbean germplasm resources during germination. Acta Agronomica Sinica, 2017, 43(1): 112-121
- [11] 杨健. 红麻种质资源萌发期及苗期的耐盐性鉴定. 南宁: 广西大学, 2013
Yang J. Salt tolerance evaluation of kenaf germplasm resources at germination and seedling stages. Nanning: Guangxi University, 2013
- [12] 张海艳,赵海军. 不同品种玉米萌发期和苗期耐盐性综合评价. 玉米科学, 2016, 24(5): 61-67
Zhang H Y, Zhao H J. Comprehensive evaluation of salt tolerance of different corn varieties at the germination and seedling stages. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(5): 61-67
- [13] 张国伟,路海玲,张雷,陈兵林,周治国. 棉花萌发期和苗期耐盐性评价及耐盐指标筛选. 应用生态学报, 2011, 22(8): 2045-2053
Zhang G W, Lu H L, Zhang L, Chen B L, Zhou Z G. Salt tolerance evaluation of cotton (*Gossypium hirsutum*) at its germinating and seedling stages and selection of related indices. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(8): 2045-2053
- [14] 李顺利,王省芬,王国宁,李志坤,吴立强,张艳,吴金华,张桂寅,马峙英. 低酚棉种质资源耐盐性鉴定. 植物遗传资源学报, 2016, 17(6): 1099-1105
Li H L, Wang X F, Wang G N, Li Z K, Wu L Q, Zhang Y, Wu J H, Zhang G Y, Ma Z Y. Identification of salt tolerant germplasm resources in glandless cotton. Journal of Plant Genetic Resources, 2016, 17(6): 1099-1105
- [15] 姜奇彦,胡正,张辉,王萌萌,唐俊源,倪志勇,姜锋. 大豆种质资源耐盐性鉴定与研究. 植物遗传资源学报, 2012, 13(5): 726-732
Jiang Q Y, Hu Z, Zhang H, Wang M M, Tang J Y, Ni Z Y, Jiang F. Evaluation for salt tolerance in soybean cultivars (*Glycine max* L. Merrill). Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(5): 726-732
- [16] 崔江慧,谢登磊,常金华. 高粱材料耐盐性综合评价方法的初步建立和验证. 植物遗传资源学报, 2012, 13(1): 35-41
Cui J H, Xie D L, Chang J H. Establishment and verification of comprehensive evaluation method for salt tolerance of sorghum materials. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(1): 35-41
- [17] 胡华冉,刘浩,邓纲,杜光辉,徐云,刘飞虎. 不同盐碱胁迫对大麻种子萌发和幼苗生长的影响. 植物资源与环境学报, 2015, 24(4): 61-68
Hu H R, Liu H, Deng G, Du G H, Xu Y, Liu F H. Effects of different salt-alkaline stresses on seed germination and seedling growth of *Cannabis Sativa*. Journal of Plant Resources and Environment, 2015, 24(4): 61-68
- [18] 陈新,张宗文,吴斌. 裸燕麦萌发期耐盐性综合评价与耐盐种质筛选. 中国农业科学, 2014, 47(10): 2038-2046
Chen X, Zhang Z W, Wu B. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of naked

- oat (*Avena nuda* L.) at germination stage. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(10): 2038-2046
- [19] 杨福, 梁正伟, 王志春. 水稻耐盐碱鉴定标准评价及建议与展望. *植物遗传资源学报*, 2011, 12(4): 625-628
Yang F, Liang Z W, Wang Z C. Evaluation, suggestion and prospect on identification standards of saline-alkali tolerance in rice. *Journal of plant genetic resources*, 2011, 12(4): 625-628
- [20] 刘永惠, 沈一, 陈志德, 王州飞, 颜伟. 不同花生品种(系)萌发期耐盐性的鉴定与评价. *中国油料作物学报*, 2012, 34(2): 168-173
Liu Y H, Shen Y, Chen Z D, Wang Z F, Yan W. Identification of salt tolerance in peanut varieties /lines at the germination stage. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2012, 34(2): 168-173
- [21] 孙东雷, 卞能飞, 陈志德, 邢兴华, 徐泽俊, 齐玉军, 王晓军, 王幸. 花生萌发期耐盐性综合评价及耐盐种质筛选. *植物遗传资源学报*, 2017, 18(6): 1079-1087
Sun D L, Bian N F, Chen Z D, Xing X H, Xu Z J, Qi Y J, Wang X J, Wang X. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of peanut (*Arachis hypogaea* L.) at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(6): 1079-1087
- [22] 马佩勇, 边小峰, 郭小丁, 贾赵东, 禹阳, 谢一芝. 甘薯全生育期耐盐种质筛选与耐盐性评价. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(3): 546-553
Ma P Y, Bian X F, Guo X D, Jia Z D, Yu Y, Xie Y Z. Evaluation and screening for salt tolerant sweetpotato accessions during growth period. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(3): 546-553
- [23] 韩飞, 诸葛玉平, 娄燕宏, 王会, 张乃丹, 何伟, 晁赢. 63 份谷子种质的耐盐综合评价及耐盐品种筛选. *植物遗传资源学报*, 2018, 19(4): 685-693
Han F, Zhuge Y P, Lou Y H, Wang H, Zhang N D, He W, Chao Y. Comprehensive evaluation of salt tolerance and screening for salt tolerant accessions of 63 foxtail millet germplasm. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2018, 19(4): 685-693
- [24] 李依, 潘磊, 吴华, 余晓露, 刘琴, 郭瑞, 胡志辉, 陈禅友. 60 份豇豆品种资源的耐盐能力评判. *植物遗传资源学报*, 2016, 17(1): 70-77
Li Y, Pan L, Wu H, Yu X L, Liu Q, Guo R, Hu Z H, Chen C Y. Assessment of the salt tolerant ability on 60 asparagus bean (*Vigna unguiculata* (L.) ssp. *sesquipedalis* Verdc.) cultivars. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2016, 17(1): 70-77
- [25] 卢瑞克, 杨泽茂, 戴志刚, 许英, 唐靖, 程超华, 陈基权, 栗建光. 黄麻耐盐性评价及盐胁迫下的生理响应. *中国麻业科学*, 2017, 39(4): 195-203
Lu R K, Yang Z M, Dai Z G, Xu Y, Tang Q, Cheng C H, Chen J Q, Su J G. Evaluation of salt tolerance and the physiological response of jute at seedling growth stages. *Plant Fiber Sciences in China*, 2017, 39(4): 195-203
- [26] Ghosh R K, Phumichai T, Sreewongch T, Nakasathien S, Phumichai C. Evaluation of salt tolerance of jute (*Corchorus* spp.) genotypes in hydroponics using physiological parameters. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2013, 12(4): 149-158
- [27] Sharma H K, Satya P, Choudhary S B, Kar C S, Mitra J, Karmakar P G. Determination of threshold and screening for salt tolerance in jute. *Indian Journal of Agricultural Research*, 2012, 46(4): 324-330
- [28] Chaudhuri K, Choudhuri M A. Effects of short-term NaCl stress on water relations and gas exchange of two jute species. *Biologia Plantarum*, 1997, 40(3): 373-380
- [29] Abass S M, Latif H H. Germination and protein patterns of some Genotypes of two species of Jute as affected by NaCl stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2005, 8(2): 227-234
- [30] 李鸿文, 林存亮, 石培春, 张新疆, 王卫超, 李士磊, 李召锋, 孔广超, 曹连莆. Na₂SO₄ 和 NaCl 胁迫对小黑麦萌发及幼苗生长影响. *石河子大学学报: 自然科学版*, 2012, 30(2): 142-146
Li H W, Lin C L, Shi P C, Zhang X J, Wang W C, Li S L, Li Z F, Kong G C, Cao L P. Effect of Na₂SO₄ and NaCl on triticale germination and seedling growth. *Journal of Shihezi University: Natural Science*, 2012, 30(2): 142-146
- [31] 戴凌燕, 张立军, 阮燕晔, 胡凯. 盐碱胁迫下不同品种甜高粱幼苗生理特性变化及耐性评价. *干旱地区农业研究*, 2012, 30(2): 77-83
Dai L Y, Zhang L J, Ruan Y Y, Hu K. Research on physiological characteristics and the assessment of tolerance of different varieties of sweet sorghum seedlings to saline-sodic stress. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(2): 77-83
- [32] 朱世杨, 张小玲, 罗天宽, 刘庆, 唐征, 荆赞革. 花椰菜种质资源萌发期耐盐性综合评价. *核农学报*, 2012, 26(2): 38-390
Zhu S Y, Zhang X L, Luo T K, Liu Q, Tang Z, Jing Z G. A comprehensive evaluation of salt tolerance in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L.) during germination stage. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2012, 26(2): 380-390
- [33] 龙卫华, 浦惠明, 陈松, 张洁夫, 戚存扣, 张学昆. 油菜 3 个栽培种发芽期耐盐性评价. *植物遗传资源学报*, 2014, 15(1): 32-37
Long W H, Pu H M, Chen S, Zhang J F, Qi C K, Zhang X K. Evaluation for salt tolerance of three cultivated species of rapeseeds at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(1): 32-37
- [34] 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. *核农学报*, 2015, 29(1): 153-160
Qiao H L, Shen H Q, Chen J, Tao H, Zang H, Luan H Y, Zhang Y H, Chen H. Salt tolerance identification and evaluation of barley germplasms. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2015, 29(1): 153-160
- [35] 罗志娜, 赵桂琴, 刘欢. 24 个燕麦品种种子萌发耐盐性综合评价. *草原与草坪*, 2012, 32(1): 34-38
Luo Z N, Zhao G Q, Liu H. Influence of cadmiu on seed germination of *Trifolium repens* and *Dichondra repens*. *Grassland and Turf*, 2012, 32(1): 34-38
- [36] 王清华, 杨建平, 张中华, 陈圣栋, 吴玉辉. 盐胁迫对不同品种辣椒种子萌发特性的影响. *西北农业学报*, 2007, 16(3): 136-140
Wang Q H, Yang J P, Zhang Z H, Chen S D, Wu Y H. Effect of salt stress on germination characteristics of different depper varieties. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2007, 16(3): 136-140

- [37] 张振霞,刘萍,杨中艺.25 个多年生黑麦草品种萌发期对盐胁迫的抗性研究.草业科学,2007,24(2):14-19
Zhang Z X, Liu P, Yang Z Y. Salt tolerance of 25 *Lolium perenne* varieties at germination stage. *Pratacult Ural Sciences*, 2007, 24(2): 14-19
- [38] 于洁,李鸿雁,李俊,李志勇,黄帆,李俊峰.2 个百脉根品系种子萌发期的耐盐性评价.草地学报,2018,26(2):414-419
Yu J, Li H Y, Li J, Li Z Y, Huang F, Li J F. Evaluation to salt resistance of two *Lotus corniculatus* strains in germination period. *Acta Agreatia Sinica*, 2018, 26(2): 414-419
- [39] 景欣,张咏,李玉花.植物耐盐研究进展.生物技术通讯,2010,21(2):79-82
Jing X, Zhang Y, Li Y H. Plant salt-tolerance and research. *Development Letters in Biotechnology*, 2010, 21(2): 79-82
- [40] 徐小玉,张凤银,曾庆微. NaCl 和 Na₂SO₄ 盐胁迫对波斯菊种子萌发的影响.东北农业大学学报,2014(4):55-59
Xu X Y, Zhang F Y, Zeng Q W. Effect of NaCl and Na₂SO₄ stress on seed germination of *Cosmos bipinnatus*. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2014(4): 55-59
- [41] 张德罡.盐胁迫对五个早熟禾草坪草品种苗期细胞膜伤害性的研究.甘肃农业大学学报,1998(1):38-41
Zhang D G. Study on the cell damage of five poaturf grass varieties at seedling stage under the salt stress. *Journal of Gansu Agriculture University*, 1998(1): 38-41
- [42] 杨春武,李长有,尹红娟,鞠淼,石德成.小冰麦(*Triticum aestivum-Agropyron intermedium*)对盐胁迫和碱胁迫的生理响应.作物学报,2007,33(8):1255-1261
Yang C W, Li C Y, Yin H J, Ju M, Shi D C. Physiological response of xiaobingmai (*Triticum aestivum-Agropyron intermedium*) to salt-stress and slkali-Stress. *Acta Agronmica Sinica*, 2007, 33(8): 1255-1261
- [43] 曹齐卫,李利斌,孔素萍,邱岸,张允楠,张小镭.我国设施黄瓜新育成品种芽期耐盐性评价.植物遗传资源学报,2014,15(3):546-553
Cao Q W, Li L B, Kong S P, Qiu A, Zhang Y N, Zhang X L. Evaluation of salt tolerance of newly-bred greenhouse cucumber cultivars at germination stage. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2014, 15(3): 546-553
- [44] 卢瑞克,杨泽茂,戴志刚,许英,唐靖,程超华,陈基权,栗建光.50 份长果黄麻种质资源耐盐性鉴定评价.植物遗传资源学报,2017,18(6):1055-1066
Lu R K, Yang Z M, Dai Z G, Xu Y, Tang Q, Cheng C H, Chen J Q, Su J G. Evaluation for salt tolerance of 50 Jute (*Corchorus olitorius* L.) germplasm resources. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(6): 1055-1066