

四种能源植物种子萌芽期的耐盐性研究

高 永¹, 杨静慧¹, 李宏平¹, 李建科¹, 黄俊轩¹, 张伟玉², Takano³, Yujisakai³

(1. 天津中日农村环境资源合作研究中心, 天津农学院 园艺系, 天津 300384; 2. 天津中日农村环境资源合作研究中心, 天津农学院 机电工程系, 天津 300384; 3. 东京大学, 日本 东京 11328656)

摘 要:通过对盐胁迫下种子发芽率、相对发芽率、发芽势和相对胚根长度指标的测定, 分析了 4 种能源植物的耐盐浓度、耐盐半致死浓度、耐盐极限浓度, 并根据各指标隶属函数值, 综合评价了各种植物的耐盐性。结果显示: 随着处理盐浓度的增加, 4 种植物的发芽势、发芽率和胚根长度均呈下降趋势。在 $3 \sim 6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 浓度下, 亚麻、油菜种子的相对发芽率变化不大, 但大豆下降较多。当盐浓度 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 4 种植物的相对胚根长度均明显减少; 其中减少最多的是油菜, 其次是亚麻, 再次是大豆; 油菜胚根长度减少的最少; 在 $12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐浓度下 4 种能源植物的相对胚根长度均降至 11% 以下。亚麻的耐盐浓度最高, 为 6%, 是大豆、油菜和油菜的耐盐浓度的 2 倍以上。耐盐半致死浓度最大的为亚麻和油菜 ($9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 大豆次之 ($6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 油菜最低 ($3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)。抗盐隶属函数综合分析表明, 在各种盐浓度下, 4 种植物萌芽期的耐盐性最强的是亚麻, 其次是油菜, 再次是大豆和油菜。

关键词: 亚麻; 大豆; 油菜; 油菜; 耐盐半致死浓度; 耐盐性; 能源植物

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2010)06-1091-04

Salt Tolerance Studies in Four Energy Plants at Germination Period

GAO Yong¹, YANG Jing-hui¹, LI Hong-ping¹, LI Jian-ke¹, HUANG Jun-xuan¹, ZHANG Wei-yu², Takano³, Yujisakai³

(1. Tianjin Japan Rural Environmental Resources Cooperative Research Center, Department of Horticulture, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384; 2. Tianjin Japan Rural Environmental Resources Cooperative Research Center, Department of Mechanical and Electrical Engineering, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China; 3. University of Tokyo, Tokyo 11328656, Japan)

Abstract: In order to study the salt tolerance in germination period of different energy plants. Seeds of *Linum usitatissimum*, *Glycine max*, *Helianthus annuus* and *Brassica campestris* were treated with different concentrations of NaCl solutions, the germination related indexes such as germination rate (GR), relative germination rate (RGR), germination potential (GP) and relative radical length (RRL) were calculated. The salt-tolerance concentration, semi-lethal salt concentration, limit concentration of salt tolerance and the membership function of each indicator were analyzed. With the increasing of NaCl concentration, all the indicators declined and the differences between varieties were obvious. The relative germination rate of flax, rape did not changed remarkably and that of soybean decreased greatly under $3 \sim 6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl treatment. When the salt concentration was $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, the relative radical length of four plants reduced significantly, and the decrease extent of oil sunflower was the most than others plant, which following by flax and soybean and the decrease extent of rape was the least. In $12 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ salt concentration, relative radical length of various kinds of energy plants was less 11%. The highest salt-tolerance concentration of the flax was 6% and 2 times than that of soybean, rape seed and sunflower. Semi-lethal salt concentration of flax and rape was the highest ($9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), followed by soybean ($6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) and sunflower ($3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$). The comprehensive analysis of salt tolerance showed that in various salt concentrations, the salt tolerance of four species seedling from higher to lower was flax, rape, soybean and sunflower.

Key words: Flax; Soybean; Rape; Helianthus; Semi-lethal salt concentration; Salt tolerance; Energy plants

我国共有约 660 万 hm^2 的盐碱耕地^[1]。开发和利用荒地和盐碱地是我国农业发展的战略之一。天津市有盐渍化土壤 422 038.7 hm^2 , 占全市总面积的 38.9%, 为全国各省市盐碱地所占比例最大的地

区^[2], 土地盐渍化是阻碍天津市农业可持续发展的瓶颈之一。此外, 目前我国石油的国际依存度达 40%, 发展生物能源是解决能源短缺的重要手段, 也是能源产业发展的方向。

收稿日期: 2010-08-18

基金项目: 天津市科委科技支撑项目 (08ZCKFNC01200, 07ZCKFNC01100, 05YFJMJC14400)。

第一作者简介: 高永 (1986 -), 男, 在读硕士, 主要从事生物技术研究工作。E-mail: 4457025@163.com。

通讯作者: 杨静慧, 教授, 博士。E-mail: jinghuiyang2@yahoo.com.cn。

生产生物能源的能源植物具有生产潜力大、资源丰富,能源植物的种植和生物柴油生产投资少,耗能低等特点。因此,利用荒山荒坡和盐碱地、荒滩种植能源植物是一种可持续发展的环境友好的发展生物能源的方法^[3]。因此天津应发展耐盐碱的能源植物。发展能源植物的经济而有效的方法是对原有耐盐植物种类和品种的进行筛选和利用。

亚麻、油菜、油葵和大豆是目前重要的草本能源植物,是生物能源发展中重要的种类。该文研究了4种能源植物萌芽期的耐盐性,旨在筛选出最耐盐的草本能源植物,为能源植物在盐碱地上的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

亚麻、油菜种子由天津农学院园林植物教研室提供,油葵 658、大豆合丰 55 的种子购自黑龙江飞龙种业公司。供试盐为分析纯 NaCl。

1.2 试验方法

供试种子分别设 3、6、9、12、15 g · L⁻¹ 5 个 NaCl 浓度梯度,以蒸馏水为对照。具体方法:取直径 90 mm 的洁净玻璃培养皿,底部垫一张滤纸,大豆合丰 55、油葵 658 每个培养皿播 20 粒种子(挑选大小一致、籽粒饱满的种子),亚麻、油菜每个培养皿播 50 粒种子(挑选大小一致、籽粒饱满的种子),种子上再覆 1 层滤纸。播种后分别加入上述不同浓度的 NaCl 溶液各 10 mL 直到滤纸吸收饱和并稍有溢出为止。将培养皿盖上,置于 24.5℃ 培养箱中培养。每 24 h 更换 1 次相应浓度的盐溶液。试验期间每天记录发芽数,连续 2 d 种子发芽数不变时调查结束。根据调查数据,统计各处理种子的实际发芽率、相对发芽率、发芽势、胚根长度及胚根相对长度,并计算耐盐指数。各指标的计算公式如下:

发芽率(%) = 最终发芽种子数/供试种子数 × 100

相对发芽率(%) = 处理的发芽率/相应对照的发芽率 × 100

相对胚根长度(%) = 处理的胚根长度/相应对照的胚根长度 × 100

发芽势(%) = 发芽达到高峰期时发芽种子数/供试种子数 × 100

耐盐浓度(%):发芽率达对照发芽率 75% 时相对应的盐浓度

盐极限浓度(%):发芽率达对照发芽率 10% 时相对应的盐浓度

耐盐半致死浓度(%):发芽率达对照发芽率 50% 时相对应的盐浓度

耐盐性综合评价方法:利用模糊数学中求隶属函数的方法进行各指标抗盐性综合评价。其公式为: $A: \hat{X}_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$, $B: \hat{X}_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$, $C: \hat{X}_{ij} = \bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum \hat{X}_{ij}$, 其中: X_{ij} 表示 i 种类 j 指标的抗盐隶属函数值, X_{\max} 和 X_{\min} 分别表示各种指标的最大和最小值,如果抗性指标测定值与抗性呈正相关用 A 式,反之用 B 式。 n 表示抗性测定指标总和。

先求出各个抗盐指标在不同盐浓度下的隶属值,再把每一指标在不同盐浓度下的隶属值累加求平均值,最后再将各品种不同抗盐指标的隶属值累加求其平均值,平均值越大则表明其抗盐性越强^[4]。数据采用 Excel 处理。

2 结果与分析

2.1 盐分胁迫对 4 种能源植物种子发芽势的影响

由图 1 可知,4 种能源植物的发芽势均随着盐浓度的提高而下降,且在不同盐浓度处理下,亚麻、油菜、油葵的发芽势有明显差异。当浓度从 0 增加至 6 g · L⁻¹ 时,4 个品种间发芽势差异最大,亚麻发芽势最高,为 78%,油葵发芽势最低仅为 30%,二者相差 48%。当盐浓度上升到 12 g · L⁻¹ 时,4 种能源植物的发芽势都低于 20%。

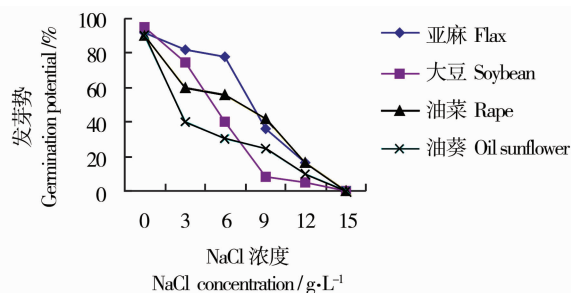


图 1 盐胁迫下不同植物种子发芽势

Fig. 1 Germination potential of flax, soybean, rape and oil sunflower seeds under NaCl treatment

2.2 盐分胁迫对 4 种能源植物相对发芽率的影响

由图 2 可以看出,随 NaCl 浓度的升高,4 种能源植物的发芽率均呈明显下降趋势。在 3 ~ 6 g · L⁻¹ NaCl 浓度下,亚麻、油菜相对发芽率变化不大,但大豆下降最多。表明此浓度对亚麻、油菜种子没有产生危害。当 NaCl 浓度增加到 9 g · L⁻¹ 时,4 种能源植物的相对发芽率都降至 50% 以下。当 NaCl 浓度上升为 12 g · L⁻¹ 时,各种类的发芽率均低于 20%。当 NaCl 浓度上升为 15 g · L⁻¹ 时,4 种能源植物的发芽率均为零。

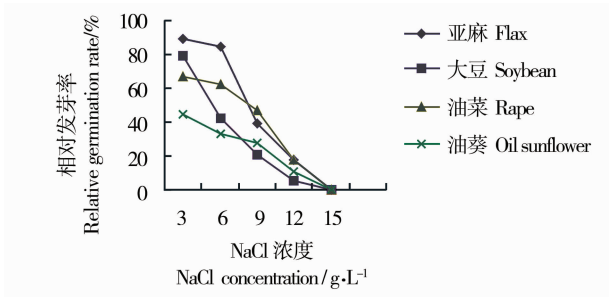


图2 盐胁迫下不同植物种子的相对发芽率
Fig.2 Relative germination rate of flax, soybean, rape and oil sunflower seeds under NaCl treatment

2.3 盐分胁迫对4种能源植物胚根生长的影响

由图3可知,3 g·L⁻¹盐浓度时,各种间的相对胚根长度为46%~57%,相差不大。当盐浓度为6 g·L⁻¹时,4种能源植物的相对胚根长度均明显减少;其中减少最多的是油葵,减少了38.2%;其次是亚麻,减少了30.8%,再次是大豆减少了25.6%;油菜胚根长度减少的最少,为11.2%。在12 g·L⁻¹的盐浓度下各种能源植物的相对胚根均降至11%以下。在15 g·L⁻¹的高盐度下,相对胚根长度均为零,即没有伸长生长。

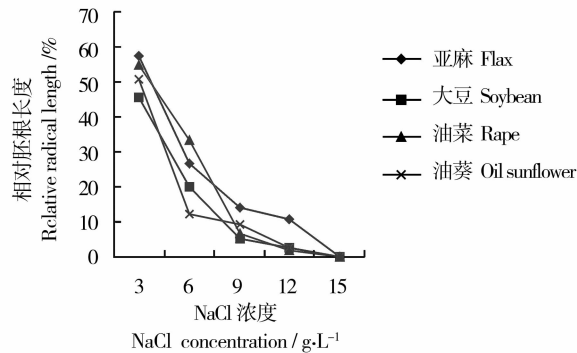


图3 盐胁迫下不同植物种子的相对胚根长度
Fig.3 Relative radical length of flax, soybean, rape and oil sunflower seeds under NaCl treatment

2.4 亚麻、大豆、油菜、油葵的耐盐程度

表1中显示,4种能源植物的耐盐程度不同。亚麻的耐盐浓度最高,为6%,是大豆、油菜和油葵的2倍以上。其余3种植物种子萌芽期的耐盐浓度基本相同。表明亚麻种子萌芽期的耐盐性很强。耐盐半致死浓度最大的为亚麻和油菜(9 g·L⁻¹),大豆次之(6 g·L⁻¹),最低为油葵(3 g·L⁻¹)。表明4种植物的耐盐程度依次为亚麻>油菜>大豆>油葵。4个品种的耐盐极限浓度均为15 g·L⁻¹。

表1 不同植物种子的耐盐程度

Table 1 Salt tolerance of flax, soybean, rape and oil sunflower seeds under NaCl treatment/g·L⁻¹

耐盐程度	亚麻	大豆	油菜	油葵
Salt tolerance	Flax	Soybean	Rape	Oil sunflower
耐盐浓度				
Salt tolerance concentration	6	3	2	2
耐盐半致死浓度				
Semi-lethal salt concentration	9	6	9	3
耐盐极限浓度				
Limit salt concentration	15	15	15	15

2.5 亚麻、大豆、油菜、油葵耐盐性综合评价

通过综合分析相对发芽率、相对胚根长度、发芽势3个指标的抗盐隶属值总平均值,可以客观地分析出不同能源植物种类在萌芽期的耐盐性。由表2可以看出,在6 g·L⁻¹ NaCl低浓度下4种植物的耐盐性强弱顺序依次是亚麻>油菜>大豆>油葵;在NaCl浓度为9 g·L⁻¹时,4个品种的耐盐性强弱顺序依次是亚麻>油菜>油葵>大豆。

所以,在各种盐浓度下,4种植物萌芽期的耐盐性:最强的是亚麻,其次是油菜,再次是大豆和油葵。

表2 亚麻、大豆、油菜、油葵种子在不同浓度NaCl处理下的耐盐性综合评价

Table 5 Comprehensive analysis of the salt tolerance in flax, soybean, rape and oil sunflower seeds under NaCl treatment

各种指标 Indexes	3 g·L ⁻¹ NaCl				6 g·L ⁻¹ NaCl				9 g·L ⁻¹ NaCl			
	亚麻	大豆	油菜	油葵	亚麻	大豆	油菜	油葵	亚麻	大豆	油菜	油葵
	Flax	Soybean	Rape	Oil sunflower	Flax	Soybean	Rape	Oil sunflower	Flax	Soybean	Rape	Oil sunflower
发芽势 GP	1	0.833	0.472	0.000	1.000	0.208	0.542	0	0.824	0	1.000	0.500
相对发芽率 RGR	1	0.772	0.499	0.000	1.000	0.171	0.561	0	0.703	0	1.000	0.262
相对胚根长度 RRL	1	0.000	0.778	0.444	0.668	0.360	1.000	0	1.000	0	0.169	0.438
平均值 Average	1	0.552	0.583	0.148	0.889	0.246	0.701	0	0.842	0	0.723	0.400
耐盐性 Salt tolerance	1	3	2	4	1	3	2	4	1	4	2	3

GP:germinaton potential;RGR:relative germination rate;RRL:relative radical length.

3 讨论

NaCl 浓度为 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,大豆比油葵耐盐,而当 NaCl 浓度增加到 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,油葵比大豆耐盐。在 $3 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,亚麻的耐盐性都是最强。当 NaCl 浓度增加到 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,4 个品种的发芽率和发势差异最大,因此可将 $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 作为 4 种植物萌芽的盐浓度临界值。

亚麻、大豆合丰 55、油菜、油葵 658 的种子在萌发过程中,总体趋势都是在低盐浓度下盐胁迫抑制作用不明显,表明种子对低盐浓度有一定的适应性,这种现象可能与低盐促进细胞膜的调节有关。但随着 NaCl 浓度的升高,种子的发芽率、发势和胚根生长均呈明显降低趋势,表明高浓度盐分胁迫显著抑制了亚麻、大豆合丰 55、油菜、油葵 658 的种子萌发。可能是由于高浓度的离子会对种子造成离子毒害而抑制种子萌芽^[5-6]。植物在盐胁迫后,质膜会发生一系列的协变,其透性、运输、离子流等都会受到影响而发生变化,从而损害膜的正常生理功能,进而影响细胞的代谢作用,使得细胞的生理功能受到不同程度的破坏^[7]。

种子的发芽率是种子本身的生物学特性,但是和外界环境的关系更为密切^[8]。高盐胁迫下可以鉴定不同种类的耐盐性强弱。比较表 1 和表 2 可知,种子在发芽初期的发芽率和发势存在差异,表明盐胁迫确实影响了它们的发芽,而有些品种则具有较强的盐适应能力^[9]。该试验中,仅是模拟盐胁迫条件,探讨了一种盐分对能源植物种类的发芽的影响,但实际盐土都是复合盐分,实际土壤盐分胁迫下各品种的变化趋势与在 NaCl 溶液胁迫下的发芽能力是否有差距有待于进一步的研究探讨。

参考文献

[1] 邵桂花,常汝镇,陈一舞.大豆耐盐性研究进展[J].大豆科学,

1993, 12 (3): 244-248. (Shao G H, Chang R, Z, Chen Y W. The research progress of soybean tolerance [J]. Soybean Science, 1993, 12 (3): 244-248.)

- [2] 武庆树,郭云峰,窦连彬,等.天津市盐碱地改良思路[J].农业环境与发展,2004,21(2): 32-33. (Wu Q S, Guo Y F, Dou L B, et al. Tianjin saline soil improvement ideas[J]. Agro-environment and Development, 2004, 21(2): 32-33.)
- [3] 谢承陶.盐渍土改良原理与作物抗性[M].北京:中国农业科技出版社,1993: 184-185. (Xie C T. Saline soil improvement principle and crop resistance[M]. Beijing: Agricultural Science and Technology Press, 1993: 184-185.)
- [4] 陈德明,俞仁培,杨劲松.盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价[J].土壤学报,2002,39(3): 368-373. (Chen D M, Yu R P, Yang J S. Evaluation of salt resistance of wheat with subordinate function value method [J]. Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(3): 368-373.)
- [5] 柴媛媛,史团省,谷卫彬.种子萌发期甜高粱对盐胁迫的响应及其耐盐性综合评价分析[J].种子,2008,27(2): 43-47. (Chai Y Y, Shi T S, Gu W B. Response to salt stresses and salt-resistance evaluation of sweet sorghum during seed germination stage[J]. Seed, 2008, 27(2): 43-47.)
- [6] 时丽冉.混合盐碱胁迫对玉米种子萌发的影响[J].衡水学院学报,2007,9(1): 13-15. (Shi L R. Effects of complex saline-alkali stress on the seed germination of *Zea mays* L. [J]. Journal of Hengshui University, 2007, 9(1): 13-15.)
- [7] 程大友,张义,陈丽.氯化钠胁迫下甜菜种子的萌发[J].中国糖料,1996(2): 21-23. (Cheng D Y, Zhang Y, Chen L. Germination of sugar beet seed under stress of sodium chloride[J]. Chinese Journal of Diabetes, 1996(2): 21-23.)
- [8] 刘卓,徐安凯,王志锋.13个苜蓿品种耐盐性的鉴定[J].草业科学,2008,25(6): 51-55. (Liu Z, Xu A K, Wang Z F. Study on the salt tolerance of 13 alfalfa varieties [J]. Pratacultural-Science, 2008, 25(6): 51-55.)
- [9] 刘太林,杨静慧,穆俊丽,等.不同大豆品种种子萌芽期的耐盐性[J].大豆科学,2009,28(5): 837-841. (Liu T L, Yang J H, Mu J L. Salt tolerance selection of ten soybeans in germination period[J]. 大豆科学,2009,28(5): 837-841.)