

NaCl 胁迫对几种典型耐盐经济作物种子萌发的影响

李 源, 朱倩倩, 许咏梅*

(新疆农业科学院土壤肥料与农业节水研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘 要: 研究黄秋葵、饭豆、海蓬子、碱蓬和三角叶滨藜 5 种不同耐盐经济作物对 NaCl 胁迫的响应, 筛选耐盐能力强的品种, 对改良盐碱地和提升土地利用率具有重要意义。用不同浓度 NaCl 溶液进行胁迫处理, 测量发芽率、发芽势、发芽指数。结果表明: NaCl 胁迫下, 不同耐盐经济作物种子发芽率、发芽势和发芽指数均随 NaCl 浓度的升高而下降。NaCl 浓度在 0 ~ 50 mmol/L 时, 黄秋葵发芽率最高; NaCl 浓度在 50 ~ 250 mmol/L 时, 饭豆种子发芽率最高; 不同耐盐作物耐盐程度大小依次为: 饭豆 > 黄秋葵 > 海蓬子 > 碱蓬 > 三角叶滨藜。NaCl 浓度在 250 ~ 450 mmol/L 时, 仅有饭豆发芽率大于 20%。当 NaCl 浓度大于 500 mmol/L 时, 所有耐盐作物几乎都不发芽。综合分析表明, 黄秋葵、饭豆均具有很强的抗盐性。黄秋葵在低盐环境下的耐盐性最好, 饭豆在高盐环境下的耐盐性最好。

关键词: 经济作物; 新疆; 种子; 发芽率

盐渍土面积约占我国耕地面积的 10%, 如新疆、华北平原存在大面积的盐渍化土壤, 持续的土壤盐渍化已成为制约我国农业可持续发展所面临的关键问题^[1]。盐渍土含盐成分主要是 NaCl、KCl、CaCl₂、Na₂SO₄、MgSO₄ 等^[2]。其中, Na⁺ 和 Cl⁻ 对作物生长发育的影响及危害最为突出^[3-4], 主要表现在 Na⁺ 对其它离子具有拮抗作用, 影响作物对 K、P 和其它营养元素的吸收。同时, 高盐造成的植物叶片气孔失水关闭以保持叶内相对较高的水势, 严重阻碍了 CO₂ 进入叶肉细胞内, 使光合速率下降^[5]。关于盐分过高所造成的离子毒害、渗透胁迫及元素亏缺等方面问题已被广泛研究^[6]。随着近年来耕地面积逐年递减, 如何对这些盐渍化土壤进行改良以及科学合理的利用是当前迫切需要解决的问题。

国内外针对盐碱地的治理已积累了较多的成果, 主要包括化学改良、生物改良以及水利工程改良方法^[7-8]。其中, 工程改良方法效果最好, 但需要大量水资源以及较高的成本投入, 很难大范围推广。种植耐盐作物是盐碱地生物改良的重要方法,

在盐碱地上种植耐盐经济作物, 不仅可以提供蔬菜、饲料从而取得经济效益, 同时改善盐碱地, 提高土地利用效率。碱蓬、黄秋葵、海蓬子、三角叶滨藜和饭豆作为典型的耐盐经济作物, 得到了较多学者的关注^[9-12]。前人关于耐盐作物的报道多集中于渗透调节、离子吸收、水分关系和运输等方面^[13-15]。种子能否健康发芽是耐盐作物生长的前提, 部分学者针对作物种子萌发期的耐盐性进行研究^[16-19], 厘定了评价种子耐盐能力的指标, 主要包括发芽率、发芽指数、发芽势、相对盐害率、胚根长、胚芽长、膜透性以及相对电导率。依据以上评价指标对不同盐胁迫下种子发芽情况进行研究, 认为盐胁迫严重抑制种子的发芽率和发芽势^[20-23], 但在低浓度盐胁迫时可能对种子萌发起促进作用^[24]。因此, 不同耐盐经济作物种子萌发与盐胁迫响应关系存在着明显的差异。种子发芽期是作物生命史中最为重要的阶段, 与生长阶段相比, 种子发芽期是对盐胁迫响应比较敏感的时期^[25], 是进行耐盐性研究的重要时期。通过研究不同盐浓度下发芽率、发芽势等性状指标来反映作物的耐盐程度, 这有利于耐盐经济作物的选择与评价^[26], 而目前关于该方面的文献仅有零星报道, 从而极大程度限制了耐盐经济作物在盐碱地上的推广和应用。

新疆被喻为世界盐碱地博物馆, 南疆地区土地盐渍化程度较严重, 对盐碱地的治理与合理利用对

收稿日期: 2019-04-03; 录用日期: 2019-05-24

基金项目: 国家自然科学基金 (41561070); 新疆兵团重大专项 (2018AA005)。

作者简介: 李源 (1987-), 男, 新疆乌鲁木齐人, 助理研究员, 博士, 研究方向为土壤肥料与农业信息技术应用。E-mail: liyuan586287@126.com。

通讯作者: 许咏梅, E-mail: xym1973@163.com。

新疆农民脱贫及边疆稳定的国家战略起着至关重要的作用。新疆地区传统盐碱地改良及开发利用的效率低且成本高,在耐盐经济作物种植方面的研究,多集中在萌发后生长阶段,而关于耐盐经济作物萌发期耐盐适应范围及耐盐阈值的确定鲜有报道^[9, 24]。本研究以碱蓬、黄秋葵、海蓬子、三角叶滨藜和饭豆典型耐盐经济作物为研究对象,探究不同 NaCl 浓度胁迫对这些耐盐作物种子发芽的影响,确定不同耐盐作物的耐盐阈值及最适盐浓度,为具有经济效应和生态效应耐盐作物的引进、筛选以及在新疆地区的推广应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

碱蓬、黄秋葵、海蓬子、三角叶滨藜和饭豆种子来源于盐城绿苑盐土农业科技有限公司,经干燥处理后,保存于 4℃ 冰箱。

1.2 方法

1.2.1 试验设计

试验在 2018 年 5 月进行。NaCl 单盐处理,共设 11 个浓度梯度处理,浓度分别为 0 (对照)、50、100、150、200、250、300、350、400、450 和 500 mmol/L。在洗净、烘干的培养皿中放入滤纸,分别配置上述 NaCl 浓度的溶液,然后选取饱满的碱蓬、黄秋葵、海蓬子、三角叶滨藜和饭豆种子,将种子消毒后冲洗干净,然后摆入种子 100 粒,3 次重复,将培养皿放入温度 25℃/20℃ (昼/夜) 培养箱中,将培养皿用 PE 封口膜密封。每 24 h 统计种子发芽数,以可见胚根为萌发标准。连续记录 7 d 后结束,计算发芽率、发芽势、发芽盐害率、发芽势盐害率和发芽指数。

1.2.2 测定指标与方法^[17]

从培养的第 1 d 开始,每天观察并记录发芽种子 (种子萌发以胚根伸出种皮 2 mm 作为发芽标志) 的数量,至第 7 d 结束。萌发指标计算公式如下:

萌发率 = (试验种子萌发个数 / 待测种子总数) × 100%

萌发指数 = Σ (第 t 天种子萌发个数 / 相应的萌发天数 t)

发芽势 = 6 d 内发芽种子数 / 待测种子数 × 100%

发芽盐害率 = (对照发芽率 - 处理发芽率) / 对照发芽率 × 100%

发芽势盐害率 = (对照发芽势 - 处理发芽势) /

对照发芽势 × 100%

1.3 数据统计与分析

采用 Excel 2003 对数据进行整理,采用 SPSS 16.0 软件进行相关统计分析处理。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对不同耐盐植物种子发芽率的影响

如表 1 所示,随着 NaCl 浓度的升高,不同耐盐作物种子发芽率表现出显著差异。如在对照条件下,黄秋葵种子发芽率为 94.00%,在 NaCl 浓度升高至 100 mmol/L 时,发芽率与对照相比显著降低,即种子萌发受到了盐胁迫的抑制,随后在浓度升至 250 mmol/L 时发芽率降低至 27.54%;饭豆在对照条件下种子发芽率为 84.67%,当 NaCl 浓度升高至 250 mmol/L 时,种子发芽率与对照相比显著降低,随后在浓度升至 450 mmol/L 时降低至 26.00%;海蓬子在对照条件下种子发芽率为 61.67%,在 NaCl 浓度升高至 50 mmol/L 时,种子发芽率与对照相比显著降低,随后在浓度升高至 250 mmol/L 时降低至 23.33%;三角叶滨藜在对照条件下种子发芽率为 32.33%,在 NaCl 浓度升高至 50 mmol/L,种子发芽率表现出对盐胁迫的响应,在浓度大于 50 mmol/L 时,发芽率低于 20%;碱蓬在对照条件下种子发芽率为 46.00%,在 NaCl 浓度升高至 150 mmol/L 时表现出对盐胁迫的响应,随后在浓度升至 200 mmol/L 时降低至 29.00%。

综上所述,不同耐盐作物种子发芽率有如下几个特征:(1) 不同耐盐植物种子发芽率均随 NaCl 浓度的升高而下降。(2) 在无盐 (对照) 条件下,黄秋葵和饭豆发芽率最高,分别为 94.00%、84.67%,发芽率均显著高于海蓬子 (61.67%)、碱蓬 (46.00%)、三角叶滨藜 (32.33%);(3) 在盐胁迫下,饭豆种子萌发受抑制程度最低,而黄秋葵发芽率对盐胁迫最为敏感,盐害率最高。在 NaCl 浓度为 250 mmol/L,饭豆种子发芽率开始受到盐胁迫的抑制,发芽盐害率为 18.04%,而黄秋葵发芽盐害率已达到 76.60%。(4) 在发芽率大于 20% 时,饭豆、黄秋葵、海蓬子、碱蓬、三角叶滨藜对应的最高 NaCl 浓度分别为 450、250、250、200 和 50 mmol/L。因此,在 NaCl 浓度大于 250 mmol/L 时,仅有饭豆发芽率大于 20%;NaCl 浓度在 0 ~ 250 mmol/L 范围内,种子耐盐程度依次为:饭豆 > 黄秋葵 > 海蓬子 > 碱蓬 > 三角叶滨藜。

表 1 不同浓度 NaCl 胁迫对种子发芽率的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	黄秋葵			饭豆			海蓬子			三角叶滨藜			碱蓬		
	发芽势 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)
0	94.00 ± 2.65a	0a	84.67 ± 6.81a	0a	61.67 ± 2.89a	0a	32.33 ± 2.08a	0a	46.00 ± 9.64a	0a	46.00 ± 9.64a	0a	46.00 ± 9.64a	0a	46.00 ± 9.64a
50	88.67 ± 8.74a	5.67 ± 9.3a	83.30 ± 6.433ab	1.96 ± 7.56ab	51.00 ± 1.53b	18.82 ± 2.46b	21.60 ± 4.04b	18.82 ± 2.46b	40.60 ± 5.69a	32.29 ± 12.63b	40.60 ± 5.69a	32.29 ± 12.63b	40.60 ± 5.69a	11.50 ± 12.36ab	40.60 ± 5.69a
100	61.00 ± 9.54b	35.10 ± 10.15b	80.67 ± 2.52ab	5.10 ± 2.96ab	50.33 ± 1.73b	17.74 ± 2.79b	19.00 ± 4.36b	17.74 ± 2.79b	38.00 ± 4ahe	40.63 ± 13.62b	38.00 ± 4ahe	40.63 ± 13.62b	38.00 ± 4ahe	17.39 ± 8.7ab	38.00 ± 4ahe
150	31.00 ± 6.08c	67.02 ± 6.47c	80.67 ± 4.62ab	12.55 ± 5.43ab	36.33 ± 6.35c	41.40 ± 10.24c	8.00 ± 1.73c	41.40 ± 10.24c	33.30 ± 5.51c	75.00 ± 5.41c	33.30 ± 5.51c	75.00 ± 5.41c	33.30 ± 5.51c	27.50 ± 11.97bc	33.30 ± 5.51c
200	28.33 ± 6.67c	69.86 ± 7.08c	74.33 ± 4.93ab	5.10 ± 5.8ab	25.00 ± 6.81d	66.67 ± 10.98cd	0.67 ± 0.58d	66.67 ± 10.98cd	29.00 ± 11.14c	98.96 ± 1.8d	29.00 ± 11.14c	98.96 ± 1.8d	29.00 ± 11.14c	36.90 ± 24.21c	29.00 ± 11.14c
250	27.54 ± 17.32cd	76.60 ± 18.42cd	69.67 ± 3.06b	18.04 ± 3.59b	23.33 ± 7d	59.68 ± 11.29d	0.33 ± 1.15d	59.68 ± 11.29d	17.30 ± 2.74d	97.92 ± 3.61d	17.30 ± 2.74d	97.92 ± 3.61d	17.30 ± 2.74d	62.30 ± 27.7d	17.30 ± 2.74d
300	13.33 ± 5.51de	85.81 ± 5.86de	55.33 ± 3.79c	34.90 ± 4.45c	17.33 ± 4.93de	62.37 ± 7.96d	0d	62.37 ± 7.96d	8.00 ± 4de	100d	8.00 ± 4de	100d	8.00 ± 4de	82.61 ± 8.7de	8.00 ± 4de
350	0.67 ± 1.15e	99.29 ± 1.23e	43.00 ± 12.12c	49.41 ± 14.26c	15.33 ± 5.13e	75.27 ± 8.28e	0d	75.27 ± 8.28e	2.67 ± 0.58e	100d	2.67 ± 0.58e	100d	2.67 ± 0.58e	94.20 ± 1.26e	2.67 ± 0.58e
400	0.33 ± 0.58e	99.65 ± 0.61e	28.33 ± 6.08d	69.41 ± 7.16d	7.00 ± 6f	88.71 ± 9.68f	0d	88.71 ± 9.68f	5.67 ± 4.51e	100d	5.67 ± 4.51e	100d	5.67 ± 4.51e	87.68 ± 9.8e	5.67 ± 4.51e
450	0e	100e	26.00 ± 17.04d	66.67 ± 20.05d	4.67 ± 3.79f	92.47 ± 6.11f	0d	92.47 ± 6.11f	2.00 ± 2.65e	100d	2.00 ± 2.65e	100d	2.00 ± 2.65e	95.65 ± 5.75e	2.00 ± 2.65e
500	0e	100e	4.67 ± 6.43e	94.50 ± 7.56e	2.00 ± 1f	96.77 ± 1.61f	0d	96.77 ± 1.61f	2.00 ± 2.52e	100d	2.00 ± 2.52e	100d	2.00 ± 2.52e	94.93 ± 5.47e	2.00 ± 2.52e

注：同列不同小写字母表示 5% 水平差异显著，下同。

表 2 不同浓度 NaCl 胁迫对种子发芽势的影响

NaCl 浓度 (mmol/L)	黄秋葵			饭豆			海蓬子			三角叶滨藜			碱蓬		
	发芽势 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)	发芽率 (%)	发芽盐害率 (%)	发芽率 (%)
0	84.00 ± 4.58a	0a	84.00 ± 6.56a	0a	43.00 ± 3a	0a	19.67 ± 2.52a	0							

2.2 盐胁迫对不同耐盐植物种子发芽势的影响

发芽势反映种子发芽的快慢程度^[27]。随着 NaCl 浓度的增加 (表 2), 不同耐盐作物种子发芽势具体表现出如下 3 个特征: (1) 不同耐盐作物种子发芽势均随 NaCl 浓度的增加而降低。在 NaCl 浓度升高至 50 ~ 150 mmol/L 时, 不同耐盐作物发芽势较对照全部显著降低。(2) 对比发芽率盐害率和发芽势盐害率可以看出, NaCl 胁迫对种子发芽势的影响比对发芽率的影响要大, 盐胁迫严重影响了种子的发芽势。(3) 与其它耐盐作物相比, 饭豆在不同盐胁迫下的发芽势最高, 黄秋葵发芽势对盐度胁迫最为敏感, 在 NaCl 浓度小于 250 mmol/L 时, 发芽势大小依次为: 饭豆 > 黄秋葵 > 海蓬子 > 碱蓬 > 三角叶滨藜, 这与发芽率的结果高度一致。

2.3 盐胁迫对不同耐盐植物种子发芽指数的影响

发芽指数能反应种子的活力, 能较好地反映盐胁迫对种子发芽的影响程度^[28]。由图 1 可知, 随着 NaCl 浓度的升高, 不同耐盐作物种子的发芽指数呈下降趋势, 不同耐盐作物种子的发芽指数与 NaCl 浓度呈线性相关关系。通过拟合方程可以看出, NaCl 浓度每增加 10 mmol/L, 饭豆、黄秋葵、海蓬子、碱蓬、三角叶滨藜发芽指数分别下降 1.05、1.19、0.5、0.38、0.18。在相同浓度 NaCl 胁迫下, 发芽指数大小依次为: 饭豆 > 黄秋葵 > 碱蓬 > 海蓬子 > 三角叶滨藜。这与发芽率与发芽势结果略有不同, 主要表现在碱蓬与海蓬子的对比上。海蓬子的发芽势和发芽率大于碱蓬, 但发芽指数小于碱蓬, 说明碱蓬具有初期发芽较快, 后期发芽率较低的特点。

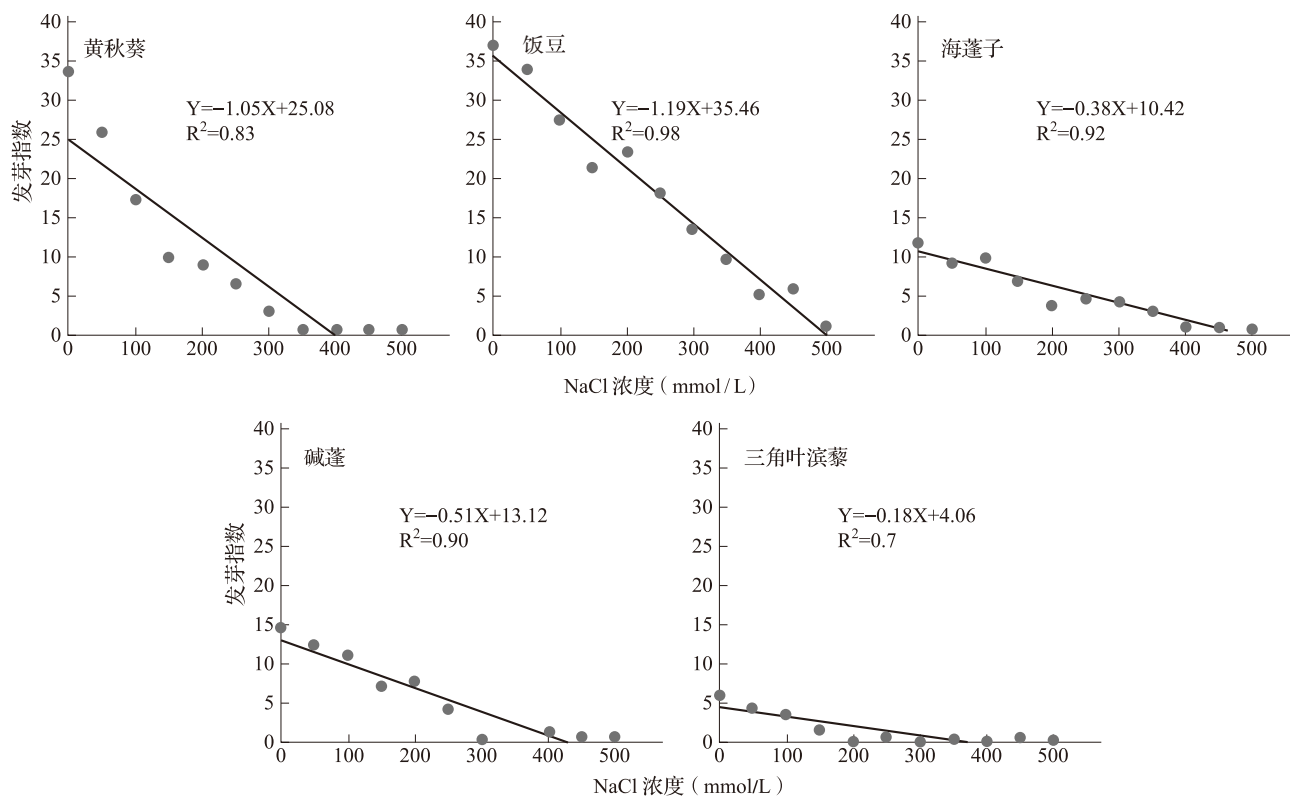


图 1 不同 NaCl 浓度对耐盐作物发芽指数的影响

3 讨论与结论

种子发芽期是作物生长过程中的关键时期^[29]。本研究依据前人研究成果筛选出几种典型的耐盐经济作物, 设置了 11 个不同浓度梯度 NaCl 溶液作为胁迫溶液, 研究了这些耐盐经济作物在不同盐度胁迫下的发芽情况。结果表明, 不同耐盐作物种

子发芽率、发芽势和发芽指数均随 NaCl 浓度的升高而下降, NaCl 胁迫对种子发芽势的影响大于对发芽率的影响, 盐胁迫严重影响了种子的发芽势。NaCl 浓度在 0 ~ 50 mmol/L 时, 黄秋葵发芽率最高; NaCl 浓度高于 50 mmol/L 时, 饭豆种子发芽率、发芽势最高, 黄秋葵对盐度胁迫最为敏感; NaCl 浓度在 50 ~ 250 mmol/L 范围内, 不同耐盐作物耐盐

程度大小依次为: 饭豆 > 黄秋葵 > 海蓬子 > 碱蓬 > 三角叶滨藜; 当 NaCl 浓度在 250 ~ 450 mmol/L 时, 仅有饭豆发芽率大于 20%; 当 NaCl 浓度大于 500 mmol/L 时, 所有作物几乎都不发芽。

除饭豆外, 其他几种作物受盐胁迫的最低浓度都在 50 ~ 150 mmol/L。因此, 在 0 ~ 50 mmol/L 的低盐胁迫下对作物种子的发芽无抑制作用, 这一结果与刘国民^[30]、张秀玲^[31]研究结果一致, 这可能是由于低浓度盐对细胞膜渗透调节以及对呼吸酶的抑制作用较小; 低盐胁迫下黄秋葵的发芽率最高, 是最适宜种植的经济作物。当浓度大于 100 mmol/L 时, 种子的发芽率、发芽指数、发芽势急剧下降, 这一研究结果与杨林^[32]、杨秀玲等^[33]的研究结果相一致。在高浓度 NaCl 溶液胁迫下, 种子发芽率显著降低, 可能是由于过高浓度的 NaCl 溶液破坏了细胞质膜的完整性和功能, Na⁺、Cl⁻ 等在细胞内的大量积累, 造成细胞内离子失调, 引发一系列代谢紊乱, 导致种子萌发受阻, 其中, 黄秋葵的下降幅度最大。徐丽等^[34]研究表明, 黄秋葵种子的吸水速度较快, 最佳发芽温度在 25℃, 过高和过低都不利于种子发芽。本次实验发芽时温度控制在 25℃, 使种子能快速吸收 NaCl 溶液中的 Na⁺、Cl⁻, 从而引起离子毒害, 造成黄秋葵种子发芽率的快速下降, 但其耐盐能力仍然强于碱蓬和海蓬子。乔永旭等^[35]的研究表明, 碱蓬种子的发芽率随着盐分浓度的增加而减少, 30℃时种子的发芽率最高, 在无盐对照中获得最大的发芽率, 种子的低发芽率主要是因为盐胁迫下的渗透效应, 高浓度盐抑制种子萌发过程中水分吸入。张晶等^[36]研究表明, 海蓬子种子在 NaCl 浓度为 150 mmol/L 时的发芽率最高, 随 NaCl 浓度增加发芽率呈下降的趋势, 可能是由于低盐环境能够刺激海蓬子种子中脯氨酸等其他可溶性物质的积累, 提高细胞内部的渗透压, 增加种子的吸水能力, 还有可能改变细胞膜质蛋白的功能, 细胞从外界环境中吸收无机离子, 降低细胞水势, 促进种子吸水萌发。吉荣龙等^[37]的研究表明, 饭豆具有耐盐、耐旱、适应性广、播种适期长等优点, 盐度过高不利于饭豆的发芽与生长, 在盐度低于 5‰ 的沿海滩涂地块上进行种植时获得较好的经济效益。以上学者对饭豆、碱蓬、海蓬子的研究结果与本次研究结果一致, 但对其耐盐机制的认识仍然不是十分清楚。

因此, 在 NaCl 浓度为 0 ~ 50 mmol/L 低盐环境

下, 黄秋葵种子具有较好的耐盐性; 在 NaCl 浓度为 50 ~ 450 mmol/L 高盐环境下, 饭豆种子具有较好的耐盐性; NaCl 浓度大于 450 mmol/L 时, 以上耐盐经济作物都无法发芽。本次仅仅是在实验室内对种子的发芽情况及耐盐性进行研究, 还需要在大田中进行进一步的试验, 为耐盐经济作物的推广应用提供参考。

参考文献:

- [1] 罗佳, 陈波浪, 向光荣, 等. 有机肥对盐渍化耕地棉花干物质积累、养分吸收及产量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (2): 107-113.
- [2] 陈永利. 新疆地区盐渍土的形成机理危害性及防治措施 [J]. 黑龙江科技信息, 2008, (9): 21-117.
- [3] 樊瑞苹, 周琴, 周波, 等. 盐胁迫对高羊茅生长及抗氧化系统的影响 [J]. 草业学报, 2012, 21 (1): 112-117.
- [4] 张春平. 不同外源物质提高盐胁迫下黄连种子及幼苗抗逆性机理研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2012.
- [5] Greenway H, Munns R. Mechanism of salt tolerance in nonhalophytes [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980, 31: 149-190.
- [6] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 651-681.
- [7] 陈义群, 董元华. 土壤改良剂的研究与应用进展 [J]. 生态环境, 2008, 17 (3): 1282-1289.
- [8] Guerrero C, Moral R, Gómez I, et al. Microbial biomass and activity of an agricultural soil amended with the solid phase of pig slurries [J]. Bioresource Technology, 2007, 98 (17): 3259-3264.
- [9] 李存桢, 刘小京, 杨艳敏, 等. 盐胁迫对盐地碱蓬种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 中国农学通报, 2005, 21 (5): 209-209.
- [10] 赵欢蕊, 李鲜花, 刘娟, 等. 不同外源激素对黄秋葵种子萌发的影响 [J]. 农学学报, 2018, (6): 43-46.
- [11] 祁通, 孙阳讯, 黄建, 等. 两种盐生植物在南北疆地区的适生性及吸盐能力 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, (1): 43-46.
- [12] 陈晓亚, 汤章城. 植物生理与分子生物学 (第3版) [M]. 北京: 高等教育出版社, 2007. 144-148.
- [13] 李圆圆, 郭建荣, 杨明峰, 等. KCl 和 NaCl 处理对盐生植物碱蓬幼苗生长和水分代谢的影响 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29 (6): 576-580.
- [14] Song J, Shi G, Xing S, et al. Effects of nitric oxide and nitrogen on seedling emergence, ion accumulation, and seedling growth under salinity in the euhalophyte *Suaeda salsa* [J]. Journal of Plant Nutrition & Soil Science, 2010, 172 (4): 544-549.
- [15] 高奔, 宋杰, 刘金萍, 等. 盐胁迫对不同生境盐地碱蓬光合及离子积累的影响 [J]. 植物生态学报, 2010, 34 (6): 671-677.
- [16] 卜庆梅, 柏新富, 朱建军, 等. 盐胁迫条件下三角滨藜叶片

- 中盐分的积累与分配 [J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13 (2): 192-195.
- [17] 王永慧, 陈建平, 张培通, 等. 黄秋葵盐材料的筛选及萌发期耐盐性相关分析 [J]. 西南农业学报, 2014, 27 (2): 788-792.
- [18] 周泉澄, 华春, 周峰, 等. 毕式海蓬子和盐角草幼苗抗氧化酶与渗透物质对海水浇灌的适应性研究 [J]. 中国草地学报, 2010, 32 (5): 101-105.
- [19] 高桂娟, 毛凯, 杨春华, 等. 牧草及草坪草种子耐盐性研究进展 [J]. 四川草原, 2002, (4): 33-37.
- [20] 郭艳超, 孙昌禹, 王文成, 等. NaCl 胁迫对芙蓉葵种子萌发和种苗生长的影响 [J]. 西北农业学报, 2012, 21 (3): 158-163.
- [21] Lobato K S, Santos B G, Costa M C, et al. Morphological, physiological and biochemical response during germination of the cowpea seeds under salt stress [J]. World Journal of Agricultural Sciences, 2009, 5 (5): 590-596.
- [22] 王俊娟, 叶武威, 周大云, 等. 盐胁迫下不同耐盐类型棉花的萌发特性 [J]. 棉花学报, 2007, 9 (2): 315-317.
- [23] 华春, 周泉澄, 周峰, 等. 毕氏海蓬子种子萌发及幼苗生长对盐分和水分胁迫的响应 [J]. 湖北农业科学, 2010, 49 (8): 1853-1855.
- [24] 王永慧, 陈建平, 张培通, 等. NaCl 胁迫对黄秋葵种子萌发和幼苗生理特性的影响 [J]. 扬州大学学报 (农业与生命科学版), 2015, 36 (1): 78-82.
- [25] Nable R O, Brownell P F. Effect of sodium nutrition and light upon the concentrations of alanine in leaves of C4 plants [J]. Functional Plant Biology, 1984, 11 (4): 319-324.
- [26] 曹兵, 宋丽华, 魏婷婷. NaCl 胁迫对 3 个臭椿种源种子萌发的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2007, 35 (12): 9-10.
- [27] 毛居代, 买热木古丽, 原慧. NaCl 胁迫对阿克苏鹰嘴豆种子萌发特性的影响 [J]. 种子, 2011, 30 (11): 97-100.
- [28] 张凤银, 张萍, 陈元元. NaCl 胁迫对不同藜豆品种种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 东北农业大学学报, 2013, (1): 45-48.
- [29] 郭艳超, 孙昌禹, 王文成, 等. NaCl 胁迫对芙蓉葵和黄秋葵种子萌发的影响 [J]. 河北农业科学, 2011, 15 (8): 10-14.
- [30] 刘国民, 李娟玲, 王英义, 等. 黄秋葵组培快繁的研究 [J]. 植物分类与资源学报, 2002, 24 (4): 521-524.
- [31] 张秀玲, 李瑞利, 石福臣. 盐胁迫对野大豆种子萌发特性的影响 [J]. 种子, 2007, 26 (8): 21-23.
- [32] 杨林. NaCl 胁迫对 5 种豆科牧草种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 种子, 2013, 32 (12): 79-80.
- [33] 杨秀玲, 郁继华, 李雅佳, 等. NaCl 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2004, (1): 6-9.
- [34] 徐丽, 刘迪发, 张如莲, 等. 黄秋葵种子研究进展 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (22): 97-101.
- [35] 乔永旭, 张永平, 陈超, 等. 温度、光照、盐分和 pH 值对碱蓬种子萌发的影响 [J]. 北方园艺, 2009, (11): 60-63.
- [36] 张晶, 乔星, 倪伟超, 等. 不同处理对海蓬子种子萌发的影响及其最佳萌发条件的研究 [J]. 中国野生植物资源, 2015, (6): 32-36.
- [37] 吉荣龙, 张春银, 刘勇, 等. “苏饭豆 2 号”在沿海垦区的种植表现与栽培技术 [J]. 上海农业科技, 2017, (2): 68.

Effects of salt stress on seed germination of different cash crops

LI Yuan, ZHU Qian-qian, XU Yong-mei* (Institute of Soil, Fertilizer and Water Saving Agriculture, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi Xinjiang 830091)

Abstract: To study the effects of NaCl stress on okra, rice bean, salicornia, suaeda glauca, quinoa triangulata and to select salt tolerance strains, which is very important to improve salinized soil and land efficiency, the seeds were treated with different concentrations of NaCl solution during germination, and germination rate, germination energy, germinating index were measured. The results showed that under NaCl stress, the germination rate, germination energy and germination index were all decreased with increasing concentrations of NaCl. The okra seeds had the highest germination rate when the concentrations of NaCl was 0 ~ 50 mmol/L; The rice bean seeds had the highest germination rate when the concentrations of NaCl was 50 ~ 250 mmol/L. Comprehensive evaluation indicated that the salt-tolerance order of different cash crops was as follow: rice bean>okra>salicornia>suaeda glauca>quinoa triangulata. Only the germination rate of rice bean exceeded 20% when the concentrations of NaCl was 250 ~ 450 mmol/L. They didn't germinate when the concentrations of NaCl was more than 500 mmol/L. The findings suggested that okra and rice bean seeds exhibited strong resistance to NaCl, the resistance of okra to low salinity was greater than rice bean, and the resistance of rice bean to high salinity was greater than okra.

Key words: cash crop; Xinjiang; seed; germination rate