



王建丽,牟林林,申忠宝,等. NaCl 胁迫对籽粒苋种子萌发的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(1):14-19.

NaCl 胁迫对籽粒苋种子萌发的影响

王建丽¹, 牟林林¹, 申忠宝¹, 尤佳¹, 张冬梅¹, 齐春杰², 邸桂俐¹

(1. 黑龙江省农业科学院 草业研究所, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 尚志市苇河林区中学, 黑龙江 尚志 150623)

摘要:为了筛选出耐盐籽粒苋种质资源,采用滤纸培养法,测定了不同浓度 NaCl 溶液处理下 4 份籽粒苋种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、相对盐害率和全株长,分析了不同盐胁迫下 4 个品系籽粒苋种子的平均隶属函数值。结果表明:随 NaCl 溶液浓度的增加,4 份籽粒苋种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及全株长度均呈下降趋势,相对盐害率呈上升趋势。低浓度盐胁迫(50 mmol·L⁻¹)对 LX014、LX022 品系发芽率无显著影响,而当盐浓度≥100 mmol·L⁻¹时,所有籽粒苋品系的种子萌发指标均显著下降,相对盐害率显著提高,种子盐胁迫效应明显加重。通过平均隶属函数值对 4 种籽粒苋品系材料种子耐盐性进行综合评价认为,LX014 品系耐盐性最强,其次是 LX022,而 LX006 和 LX019 耐盐性差。

关键词:籽粒苋;种子萌发;盐胁迫;耐盐性

据统计,我国盐碱地面积约 9 913 万 hm²,其中 1/3 能够被开发利用^[1]。在土地资源制约趋紧的今天,开发利用盐碱地则具有重要的战略意义。随着我国发展进入新阶段,选育耐盐碱牧草改良盐碱地已成为研究重点。种植耐盐碱牧草不仅有利于水土保持,促进畜牧业发展,还能提高盐碱地的生态平衡性和稳定性,从而有助于生态环境的可持续发展^[2-3]。籽粒苋(*Amaranthus hypochondriacus*)为苋科苋属一年生草本植物,具有生长快、产量高、蛋白质和氨基酸等营养成分含量高优点,现已成为粮、菜、饲等多用型作物^[4-5]。此外,籽粒苋抗性强、耐贫瘠,能抑制土壤返盐,是可推广的抗逆优质资源^[6]。目前,对籽粒苋研究主要集中在遗传多样性^[7]、种子产量^[8]、栽培技术^[9]、饲料化利用^[9]、食品加工^[5]以及土壤重金属修复^[10]等方面,对籽粒苋种质材料耐盐性的研究较少。相关籽粒苋耐盐性研究也仅见辛晓悦等^[11]对单一籽粒苋种子盐胁迫耐受范围以及冯钟慧等^[12]对单一浓度盐胁迫下的籽粒苋资源的耐盐性研究,而对多浓度梯度下,不同籽粒苋资源的耐盐能力研究鲜见报道。因此本试验通过不同浓度 NaCl 溶液处理 4 个籽粒苋品系,对其发芽

率、发芽势、发芽指数、活力指数、相对盐害率和全株长等指标进行综合评价,以期初步筛选出耐盐籽粒苋种质资源,为籽粒苋耐盐机制研究及耐盐新品种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试籽粒苋品系为 LX006、LX014、LX019 和 LX022,均来自于黑龙江省农业科学院草业研究所。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验采用 NaCl 溶液处理模拟盐胁迫,共设置 4 个浓度梯度,分别为 0, 50, 100 和 200 mmol·L⁻¹,对照组(CK)采用蒸馏水处理。选取饱满无损伤、大小一致的种子,用 75% 酒精清洗 1 min,蒸馏水冲洗 3~4 次,随后用 10% NaClO 消毒 5 min,蒸馏水冲洗 5~6 次,最后用无菌滤纸吸干水分后置于铺有双层滤纸的 90 mm 培养皿中。处理组中加入 5 mL 不同浓度的 NaCl 溶液,CK 组则加入 5 mL 蒸馏水。采取随机区组设计,每培养皿放 30 粒种子,每个处理 3 次重复,置于温度为 25 ℃/16 ℃、12 h 光照/12 h 黑暗的变温光照培养箱中进行试验。每日称重,以补充蒸发所散失的水分,从而保持盐浓度恒定。

1.2.2 测定项目及方法 种子露白即视为萌发。从第 3 天开始每天定时记录各个培养皿中萌发种子数,用第 3 天发芽率计算发芽势,共持续 15 d (发芽率连续 3 d 不变为止)。第 15 天测量全株

收稿日期:2021-10-04

基金项目:黑龙江省科研院所科研业务费项目(CZKYF2020C007);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX08)。

第一作者:王建丽(1977—),女,博士,副研究员,从事牧草分子设计与遗传育种研究。E-mail:wangjianlip@126.com。

长,每个重复测定 5 粒种子,最终结果取平均值。隶属函数值的计算参考刘向蕊等^[13]的方法。

发芽率(%)=(发芽种子总数/供试种子总数)×100

发芽势(%)=(第 3 天发芽种子数/供试种子总数)×100

发芽指数(GI) = $\sum GT/DT$

式中:GT 为第 T 天的种子发芽率,DT 指相应的发芽天数。

活力指数(VI)=GI×S

式中:S 为平均全株长。

相对盐害率(%)=(对照发芽率—处理发芽率)/对照发芽率×100

1.2.3 数据分析 应用 Excel 2010 对数据进行基本处理、计算和作图。采用 SPSS 22.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对籽粒苋种子发芽率的影响

由图 1 可知,随 NaCl 溶液浓度的增加,各品系的籽粒苋种子发芽率均呈下降趋势。CK 组中,4 个品系发芽率均处于较高水平,其中 LX014、LX019 品系发芽率为 100.00%,其他两品系发芽率也高于 95%。当 NaCl 浓度为 50 mmol·L⁻¹时,4 个品系籽粒苋发芽率均有所下降,但降幅不尽相同。LX014、LX022 品系的发芽率稍有降低,但与 CK 相比差异不显著($P>0.05$),而 LX006、LX019 品系发芽率显著低于 CK($P<0.05$),分别降低 22.10%和 30.00%。在 100 mmol·L⁻¹NaCl 溶液处理组中,4 个品系籽粒苋发芽率均较 CK 显著下降,且各品系种间发芽率差异显著($P<0.05$)。LX014 品系发芽率最高,为 78.89%,其他 3 个品系发芽率均低于 50%,LX022 品系发芽率与 CK 组相比,降幅达到 68.89%。当 NaCl 溶液浓度为 200 mmol·L⁻¹时,各品系发芽率进一步下降,与 CK 相比,4 个品系发芽率降幅由高到低分别为 95.35%(LX006)、94.44%(LX019)、85.23%(LX022)和 46.67%(LX014)。4 个品系中,LX014 品系发芽率最高为 53.33%,其次是 LX022,发芽率为 14.44%,LX006 和 LX019 发芽率均低于 10%,分别为 5.56%和 4.44%,且两品系间差异不显著($P>0.05$)。

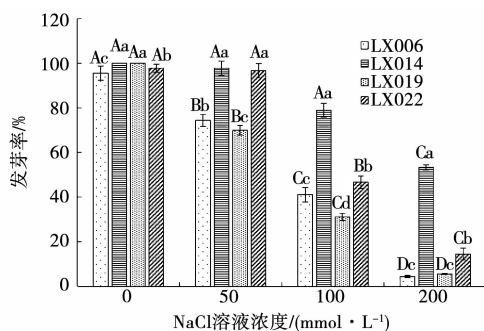


图 1 盐胁迫下籽粒苋种子发芽率的变化

注:不同小写字母表示同一盐处理下不同籽粒苋品系间差异显著($P<0.05$);不同大写字母表示同一籽粒苋品系不同盐浓度处理间差异显著($P<0.05$),下同。

2.2 盐胁迫对籽粒苋种子发芽势的影响

由图 2 可知,随着盐浓度增加,各籽粒苋品系的发芽势显著下降($P<0.05$)。CK 组中,各品系发芽势有所不同,LX022 品系发芽势最高,为 92.22%,其次是 LX006 和 LX019,发芽势分别为 77.78%和 75.56%,两品系间差异不显著($P>0.05$),LX014 发芽势偏低,为 66.67%。与 CK 组相比,当 NaCl 浓度为 50 mmol·L⁻¹时,各品系发芽势均显著下降($P<0.05$),LX006 的发芽势下降幅度最大,为 80.00%,其次是 LX019 和 LX014,降幅分别为 55.89%和 48.34%,两品系发芽势差异不显著($P>0.05$),LX022 的发芽势降幅最小,为 25.30%。在 100 mmol·L⁻¹溶液处理组中,LX006 和 LX022 发芽势为 0,LX014 和 LX019 发芽势均小于 10%,分别为 9.11%和 7.78%;当盐浓度达到 200 mmol·L⁻¹,仅有 LX014 发芽,其发芽势为 4.78%。

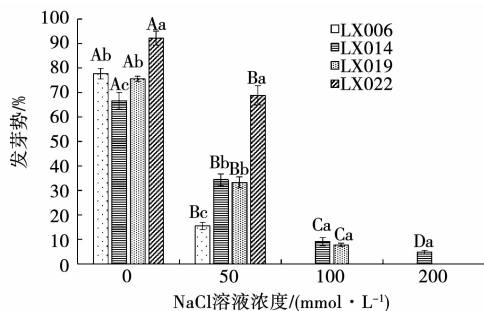


图 2 盐胁迫下籽粒苋种子发芽势的变化

2.3 盐胁迫对籽粒苋种子发芽指数的影响

由图 3 可知,增加 NaCl 溶液浓度,各籽粒苋品系的发芽指数均较 CK 显著下降($P<0.05$)。CK 组中,LX022 品系种子发芽指数显著高于其

他 3 个品系 ($P < 0.05$), 为 29.42。其次分别是 LX019(28.14)、LX014(27.01)、LX006(26.59)。当 NaCl 溶液浓度为 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, LX014 和 LX022 品系发芽指数差异不显著 ($P > 0.05$), 但显著高于其他两个品系 ($P < 0.05$), LX014 和 LX022 发芽指数降幅较小, 分别为 13.63% 和 17.69%, LX006 和 LX019 的发芽指数大幅度下降, 降幅分别为 45.85% 和 55.64%。当 NaCl 浓度为 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, LX014 品系发芽指数显著高于其他 3 个品系 ($P < 0.05$), 发芽指数为 14.58, 其次是 LX022 (7.84)、LX006 (6.75) 和 LX019 (6.16), 这 3 个品系发芽指数与 CK 组相比降幅均在 70% 以上。当 NaCl 浓度为 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, LX014 和 LX022 品系发芽指数显著高于 LX006 和 LX019 ($P < 0.05$)。4 个品系种子发芽指数与 CK 相比降幅均达到最大, 降幅由高到低分别为 98.09% (LX006)、97.59% (LX019)、89.94% (LX022)、73.00% (LX014)。

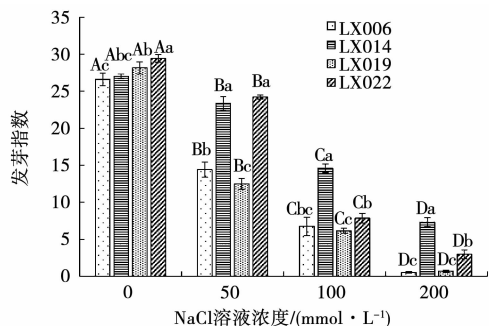


图 3 盐胁迫下籽粒苋种子发芽指数的变化

2.4 盐胁迫对籽粒苋种子活力指数的影响

由图 4 可知, 随盐浓度增加, 各品系种子活力指数均呈下降趋势, 其中 LX014 和 LX022 品系随盐浓度增加, 种子活力指数显著下降 ($P < 0.05$), 而 LX006 和 LX019 品系在盐浓度为 50 和 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 处理组间差异不显著 ($P > 0.05$)。CK 组中, 4 份籽粒苋种子活力指数都处于较高水平, LX019 品系种子活力指数最高, 为 130.78, 其次是 LX022 和 LX014, 活力指数分别为 120.11 和 117.84, 两品系间差异不显著 ($P > 0.05$)。LX006 品系种子活力指数最低, 为 100.50。在 $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理组中, 4 个品系间种子活力指数差异显著 ($P < 0.05$), 其

中 LX014 的活力指数最高, 为 102.81, 与 CK 组相比降幅仅为 14.40%, 而 LX006、LX019 和 LX022 籽粒苋种子的活力指数则相对偏低, 分别为 39.92、34.71 和 65.57, LX019 的活力指数降幅最大, 高达 73.46%。在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理组中, LX014 种子活力指数显著高于其他 3 个品系 ($P < 0.05$), 为 81.93, LX006、LX019 和 LX022 品系种子活力指数分别为 35.45、32.91 和 35.97, 3 个品系间差异不显著 ($P > 0.05$)。当 NaCl 溶液浓度达到 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, LX014 活力指数为 7.39, 与 CK 组相比降幅达到 93.85%, 其他 3 个品系种子活力指数降幅均在 99% 以上, LX006 和 LX019 品系种子活力指数仅为 0.24 和 0.23, 两品系差异不显著 ($P > 0.05$)。

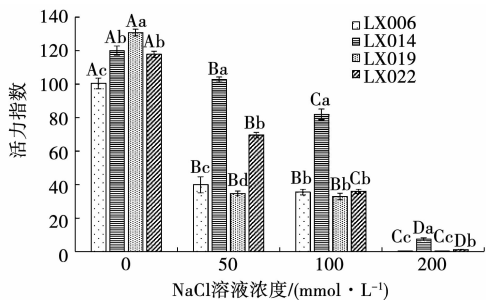


图 4 盐胁迫下籽粒苋种子活力指数的变化

2.5 盐胁迫对籽粒苋种子相对盐害率的影响

由图 5 可知, 增加 NaCl 溶液浓度, 籽粒苋品系种子的相对盐害率均呈上升趋势。50 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理组中, LX022 和 LX014 品系相对盐害率较低, 仅为 1.14% 和 2.22%, 两品系差异不显著 ($P > 0.05$), LX006 和 LX019 品系种子的相对盐害率均高于 20%。在 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理组中, 4 个品系种子的相对盐害率均显著增加且 4 个品系间差异显著 ($P < 0.05$), 相对盐害率按由高到低分别为 LX019 (68.89%)、LX006 (56.98%)、LX022 (52.27%) 和 LX014 (21.11%)。200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液处理组中, LX014 品系籽粒苋种子的相对盐害率显著低于其他 3 个品系 ($P < 0.05$), 为 46.67%, 其次是 LX022, 其相对盐害率为 85.23%, LX006 和 LX019 品系的种子盐害率 95.35% 和 94.44%, 两品系间差异不显著 ($P > 0.05$)。

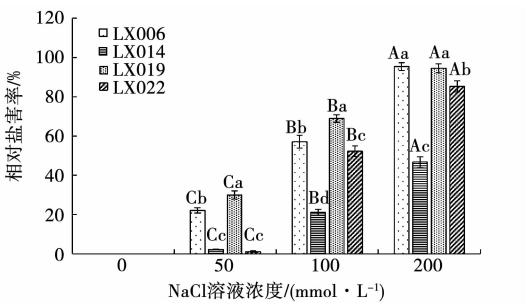


图 5 盐胁迫下籽粒苋种子相对盐害率的变化

2.6 盐胁迫对籽粒苋幼苗全株长度的影响

由图 6 可知,随盐浓度增加,LX006、LX019 和 LX022 品系全株长均显著下降($P<0.05$)。CK 组中,LX019 品系全株长最长(4.65 cm),其次是 LX014(4.45 cm),两品系差异不显著($P>0.05$),LX006 和 LX022 品系全株长度较短,二者差异也不显著($P>0.05$)。50 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液处理组中,LX014 品系籽粒苋全株长度略有下降,与 CK 组相比差异不显著($P>0.05$),全株长为 4.41 cm,显著高于其他 3 个品系($P<0.05$),LX006、LX019 和 LX022 品系全株长均较 CK 显著下降($P<0.05$),但 3 品系间全株长差异不显著($P>0.05$),其中 LX019 品系全株长降幅最大,达到40.17%。100 mmol·L⁻¹ NaCl 溶液处理组中,4 个品系全株长进一步降低,此时 LX014 品系全株长为 3.62 cm,其他 3 个品系全株长分别 2.25,2.34 和 2.35 cm,且三者间差异不显著($P>0.05$)。当 NaCl 溶液浓度达到 200 mmol·L⁻¹ 时,LX014 品系全株长显著高于其他 3 个品系($P<0.05$),其他 3 个品系中 LX019 全株长小于 0.5 cm,3 个品系差异不显著($P>0.05$)。此时,各品系籽粒苋种子的全株长降幅达到最大值,降幅由高到低排序分别为 92.68% (LX019)、91.27% (LX022)、87.57% (LX006) 和 77.29% (LX014)。

2.7 隶属函数分析

利用隶属函数,对 4 个籽粒苋品系进行耐盐性评价。由表 1 可知,随盐浓度上升,各品系平均隶属函数值均下降。在 50 mmol·L⁻¹ 盐胁迫下,LX014 和 LX022 品系平均隶属函数值较大,分别为 0.92 和 0.91,LX006 和 LX019 品系平均隶属函

数值较小,分别为 0.60 和 0.59。在 100 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,LX014 品系平均隶属函数值最大,其他 3 个品系平均隶属函数值均比较小。在 200 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫下,LX014 品系仍有较高平均隶属函数值,为 0.27。

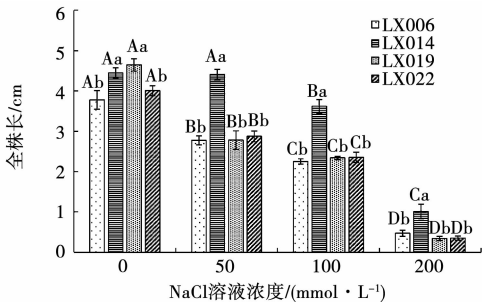


图 6 盐胁迫下籽粒苋幼苗全株长度的变化

表 1 盐胁迫下 4 个品系籽粒苋种子的平均隶属函数值

盐浓度/ (mmol·L ⁻¹)	品系	发芽率	发芽势	发芽 指数	全株长	平均隶属 函数值
50	LX006	0.78	0.27	0.62	0.72	0.60
	LX014	0.99	0.69	1.00	1.00	0.92
	LX019	0.69	0.59	0.50	0.57	0.59
	LX022	1.00	1.00	0.95	0.70	0.91
100	LX006	0.41	0.00	0.28	0.57	0.31
	LX014	0.79	0.18	0.62	0.81	0.60
	LX019	0.28	0.59	0.24	0.47	0.39
	LX022	0.46	0.00	0.31	0.56	0.33
200	LX006	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01
	LX014	0.52	0.10	0.30	0.17	0.27
	LX019	0.01	0.14	0.01	0.00	0.04
	LX022	0.11	0.00	0.10	0.02	0.05

3 讨论

种子萌发是作物生长周期的起始阶段,也是对环境胁迫最敏感的阶段,因此更易受到环境胁迫的伤害。盐胁迫下,一方面种子吸水困难,导致种子内的水分及离子平衡被打破,另一方面盐害离子 Cl⁻、Na⁺ 随种子代谢进入种子内部,产生大量活性氧,使细胞膜受损,进而打破种子代谢平衡,最终表现为种子停止萌发或死亡^[14-15]。多数研究表明,随盐浓度升高,其对种子的萌发抑制作用逐渐增强,也有研究表明低浓度盐胁迫对种子萌发影响不显著或可以促进种子的萌发^[16-18]。

本试验中随盐浓度增加 LX006 与 LX019 品系种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及全株长度均显著下降,而 50 mmol·L⁻¹ 盐胁迫下, LX014 和 LX022 品系种子发芽率则无显著影响。这一结果表明 LX014、LX022 品系种子对低浓度盐胁迫不敏感。本研究还发现,当盐浓度 ≥ 100 mmol·L⁻¹ 时,所有品系的籽粒苋种子萌发指标显著下降,相对盐害率显著提高,种子受盐胁迫作用明显加剧。这与李洪燕^[19] 的 12.5~100.0 mmol·L⁻¹ NaCl 胁迫处理对籽粒苋种子发芽率无显著影响的结论有所不同。分析原因可能是种子耐盐性具有多种调节机制,是一个复杂的生理过程,从而使不同籽粒苋材料间耐盐性存在差异。相对盐害率可以在一定程度上反映种子耐盐胁迫的程度^[15]。本试验中随盐浓度升高,4 种籽粒苋材料种子的相对盐害率均显著提高。郭猛等^[20] 在关于盐胁迫下丹参种子的萌发研究中有类似结论。植物耐盐性评价过程较复杂,方法也不唯一。本试验中为消除单一指标评价所造成的片面性和不准确性,利用隶属函数值方法,综合考虑各指标,从而全面、准确地评价这 4 种籽粒苋种质的耐盐性。本试验中相关耐盐性指标与耐盐性均呈正相关,因此平均隶属函数值越大,说明品种耐盐性越强。本研究中,LX014 品系在任何盐浓度处理下,平均隶属函数值都大于其他 3 个品系,而 LX006、LX019 则相反,这一结果表明 LX014 品系种子耐盐性较强,而 LX006、LX019 品系耐盐能力差,不适宜在盐碱地上种植。LX022 品系仅在 50 mmol·L⁻¹ NaCl 盐胁迫下平均隶属函数值较高,说明其更适合在低盐浓度条件下种植。

4 结论

随 NaCl 盐浓度增加,籽粒苋种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及全株长度均呈下降趋势,相对盐害率呈上升趋势;50 mmol·L⁻¹ 盐处理对 LX014 和 LX022 品系发芽率无显著影响。当盐浓度 ≥ 100 mmol·L⁻¹ 时,盐胁迫对各品系种子萌发的抑制作用明显加重。采用发芽率、发芽势、发芽指数和全株长度这 4 项指标平均隶属函数值对 4 种籽粒苋品系材料种子耐盐性进行

综合评价认为,LX014 品系耐盐性最强,其次是 LX022,LX006 和 LX019 耐盐性差。

参考文献:

- [1] 农民日报. 中国农网评论员怎样认识盐碱地的战略意义[N]. 农民日报,2021-10-28(1).
- [2] 高倩,卢楠. 盐碱地综合治理开发研究现状及展望[J]. 南方农机,2021,52(16):153-155.
- [3] 邵雪娟. 盐碱地改良技术研究综述[J]. 种子科技,2021,39(6):71-72.
- [4] 何金环,王清龙,王延方,等. 籽粒苋不同生育期营养特点和氨基酸饲用价值分析[J]. 中国饲料,2015(12):11-13.
- [5] 孙鸿良,岳绍先. 籽粒苋食品纳入营养健康产业的发展趋向——一个被埋没了的古老粮食作物健康机能的新发现[J]. 中国种业,2017(5):11-14.
- [6] 聂婷婷,李芳,祝振洲,等. 籽粒苋的应用研究进展[J]. 安徽农业科学,2016,44(4):8-10,31.
- [7] 王建丽,刘杰淋,朱瑞芬,等. 28 份籽粒苋种质资源的主要农艺性状遗传多样性分析[J]. 草地学报,2020,28(4):1050-1059.
- [8] 米世明,兰剑. 宁夏半干旱区配比施肥对籽粒苋种子产量的影响[J]. 南方农机,2021,52(9):2-7.
- [9] 彭爽. 籽粒苋的饲用价值和高产栽培技术[J]. 现代畜牧科技,2021(4):48-49.
- [10] 谷雨,黄铁平,唐珍琦,等. 籽粒苋修复土壤重金属污染研究进展[J]. 农学学报,2020(10):41-45.
- [11] 辛晓悦,姜丹,徐华阳,等. NaCl 和 Na₂SO₄ 胁迫对籽粒苋种子萌发的影响[J]. 现代园艺,2021,44(11):5-6,8.
- [12] 冯钟慧,刘立东,谢丽侠,等. 不同品种籽粒苋种子萌发期耐盐性鉴定评价[J]. 南方农业,2019,13(32):137-138.
- [13] 刘向蕊,陈小荣,杨军,等. 冷害隶属函数在水稻耐低温性状的评价[J]. 江西农业大学学报,2013,35(4):675-681.
- [14] 王晓龙,李红,米福贵,等. 3 种冰草种子萌发期耐盐性评价[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021(13):97-101,148.
- [15] 阎旭东. 植物耐盐性鉴定及评价技术规程[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2012.
- [16] 邸桂俐,高超,韩微波,等. 三种盐胁迫对稗草种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021(18):103-108.
- [17] 杨紫贻,唐芳,王亚文,等. 30 份苜蓿种质萌发期耐盐性评价[J]. 草原与草业,2021,33(2):6-14.
- [18] 马红媛,梁正伟,孔祥军,等. 盐分、温度及其互作对羊草种子发芽率和幼苗生长的影响[J]. 生态学报,2008(10):4710-4717.
- [19] 李洪燕. 籽粒苋耐盐特性及盐肥耦合效应研究[D]. 南京:南京农业大学,2009.
- [20] 郭猛,黄勇,李贺敏,等. 盐碱、温度及其互作对丹参种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学,2021,38(4):664-672.

Effects of NaCl Stress on Seed Germination of *Amaranthus hypochondriacus*

WANG Jian-li¹, MU Lin-lin¹, SHEN Zhong-bao¹, YOU Jia¹, ZHANG Dong-mei¹, QI Chun-jie², DI Gui-li¹

(1. Pratacultural Science Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China;

2. Shangzhi Weihe Forest District Middle School, Shangzhi 150623, China)

Abstract: In order to select salt-tolerant *Amaranthus hypochondriacus* germplasm resources, filter paper culture method was adopted and four *Amaranthus hypochondriacus* lines were used as materials, the effect of different concentrations of NaCl (0, 50, 100 and 200 mmol·L⁻¹) on the seed germination characteristics, including germination rate, germination energy, germination index, seed vigor index, relative salt injury rate and whole plant length were studied and the average membership function values of four seeds under different NaCl stress were analyzed. The results showed that with the increase of salt solution concentration, the germination rate, germination energy, germination index, seed vigor index and the whole plant length of the four materials all decreased, and the relative salt damage rate increased. Low-concentration salt stress (50 mmol·L⁻¹) had no significant effect on the germination rate of the LX014 and LX022. However, when the salt concentration was 100 mmol·L⁻¹, the seed germination index of all varieties decreased significantly, the relative salt injury rate increased significantly, and the seed salt stress effect was significantly intensified. By comprehensive evaluation of the average membership function value, we concluded that LX014 had the strongest salt tolerance, followed by LX022, LX006, LX019 have the poorest salt tolerance.

Keywords: *Amaranthus hypochondriacus*; seed germination; salt stress; salt tolerant

(上接第 13 页)

Cloning and Expression Analysis of *GmFtsH2* Genes in Soybean

JIN Xun, YANG Liu, PAN Hong-li, RUI Hai-ying, WANG Li-na, LI Na, LI Ze-yu

(Daqing Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Daqing 163316, China)

Abstract: In order to further understand the expression characteristics and functions of *FtsH* gene in soybean, primers for cloning *GmFtsH2* gene were designed in references with the *FtsH* gene sequences of *Arabidopsis* and other plants opened in GenBank. Full-length cDNA of *GmFtsH2* was cloned from soybean leaves with salt treatment, and analyzed with bioinformatics software online. The expression of *GmFtsH2* under the low temperature, salinity, drought and high temperature conditions were analyzed with real-time PCR. A full-length mRNA of 2 200 bp was cloned from soybean, and named *GmFtsH2* gene. The open reading frame was 2 091 bp, encoding 696 amino acids. The relative molecular weight was about 75.089 kDa and the theoretical isoelectric point was 5.65. Its protein instability index was 34.90, indicating a stable protein. The alignment of *GmFtsH2* in soybean and homologous protein amino acid sequence of *FtsH* from clover, grape, rice, corn and *Arabidopsis* sequence revealed that those proteins showed a common conservative domain structure, including membrane-spanning domains to N terminus, AAA-structure domain, Zinc ions in combination with module, etc. Phylogenetic analysis between *GmFtsH2* in soybean and *FtsH* protein of the other 19 kinds of plants showed that it was resembled to wild beans and kidney beans. Real-time RT-PCR analysis showed that *GmFtsH2* was expressed in soybean leaves, stem, root, stem tip, and the stem tip had the highest expression, the lowest expression was in the stem. The expression of *GmFtsH2* in soybean leaves was induced gradually with time and to a maximum at 9 and 12 h respectively under 4 °C low temperature and NaCl treatment. Under drought treatment *GmFtsH2* expression reached to maximum after 3 days. Thereafter *GmFtsH2* were down expressed subsequently and reached to a small peak again after 11 days treatment. It is suggested that the *GmFtsH2* plays a role in the resistance of adversity stress in soybean.

Keywords: soybean; *FtsH*; abiotic stress; expression analysis