

刘 芬,屈 成,方希林,等. 激动素处理对盐胁迫下水稻种子萌发和幼苗生长特性的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(24):64-69.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.24.011

激动素处理对盐胁迫下水稻种子萌发和幼苗生长特性的影响

刘 芬¹, 屈 成², 方希林³, 孙 琴¹, 肖建平¹

(1. 怀化职业技术学院,湖南怀化 418000;2. 湖南生物机电职业技术学院,湖南长沙 410127;3. 湖南农业大学农学院,湖南长沙 410128)

摘要:为研究激动素浸种对盐胁迫下水稻种子萌发和幼苗生长的影响,以常规稻湘早籼 45 号为试验材料,预先用 0.2%、0.8% 和 1.5% NaCl 浸种,通过计算种子萌发指标,研究激动素对 0.8% NaCl 胁迫下种子萌发及幼苗生长特性的影响。结果表明,0.8% 和 1.5% NaCl 胁迫会显著降低水稻种子萌发指标。在 0.8% NaCl 胁迫下,1、10、100 mmol/L 激动素处理可以明显缓解 NaCl 胁迫的伤害,提高种子的发芽势、发芽率、发芽指数和萌发指数,促进水稻幼苗生长,其中以 10 mmol/L 激动素处理效果最佳,使水稻幼苗株高、根长、茎基宽、倒二叶叶长、幼芽鲜质量、幼根鲜质量和幼芽含水量分别提高 10.48%、10.42%、4.80%、24.77%、33.33%、30.00% 和 15.93%。通过灰度关联分析,发芽率、发芽指数、活力指数、倒二叶叶长和幼芽干质量等指标能敏锐地反映出激动素对盐胁迫的缓解作用。本研究结果可为水稻抗逆性研究提供一定的理论依据。

关键词:激动素;水稻;种子萌发;盐胁迫;幼苗;生长特性

中图分类号:S511.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)24-0064-06

近年来,随着工业化、信息化和现代农业的深入推进,以及人们长期以来农药化肥的不合理使用,导致全球土壤酸化、盐渍化等问题日益突出。

据统计,世界盐碱地面积达 9.5 亿 hm^2 ,其中我国土壤盐碱化面积约达 3 600 万 hm^2 ,占全国可利用土地面积的 4.88%,严重制约全球农业的生产与发展,特别是制约了水稻等主要粮食作物的生产^[1]。盐渍化的土壤中离子浓度增加,盐浓度足够高时会改变土壤环境中的水势,使土壤渗透势降低^[2]。盐胁迫会扰乱植物细胞内正常的生理生化反应,使植物细胞内离子代谢紊乱,对植物造成一定的损伤,如细胞膜的结构受损,造成细胞内活性氧的大量积累,从而影响植物的生长发育^[3-4]。研究表明,植物种子在萌发阶段对盐胁迫最敏感^[5]。在盐渍化环

收稿日期:2021-06-17

基金项目:国家重点研发计划(编号:2017YFD0301501);国家自然科学基金(编号:31971923、31301650);湖南省教育厅科学研究课题(编号:20C1503)。

作者简介:刘 芬(1993—),女,湖南益阳人,硕士,助教,主要从事水稻高产栽培研究。E-mail:liufen410@163.com。

通信作者:肖建平,硕士,副研究员,主要从事水稻种子资源创新与育种研究。E-mail:15874555885@163.com。

China[J]. African Journal of Biotechnology, 2011, 10(45):9061-9067.

[10] Luan Y S, Zhang J, An L J. First report of sweet potato leaf curl virus in China[J]. Plant Disease, 2006, 90(8):1111.

[11] 张成玲,赵永强,孙厚俊,等. 甘薯卷叶病毒复制相关蛋白部分基因克隆及分析[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(2):298-303.

[12] 乔贞贞,秦艳红,乔 奇,等. 甘薯卷叶病毒江苏分离物基因组全长序列测定及其外壳蛋白基因在大肠杆菌中的表达[J]. 河南农业科学, 2012, 41(4):86-89.

[13] 王碧琴,盖安俊. 紫色甘薯茎尖脱毒与快繁及试管苗移植技术研究[J]. 江西科学, 2010, 28(2):196-198, 202.

[14] 宋吉轩,陈 超,李 云,等. 甘薯病毒病脱毒及检测[J]. 河北农业科学, 2009, 13(9):29-30.

[15] 王 丰. 甘薯病毒病脱毒技术及检测[J]. 植物检疫, 2003, 17

(5):295-298.

[16] 何海旺,何虎翼,谭冠宁,等. 反向斑点杂交法快速检测甘薯羽状斑驳病毒和甘薯 G 病毒[J]. 南方农业学报, 2014, 45(1):43-48.

[17] 李怀情,牛力立,赵佐敏,等. 紫云甘薯组培脱毒及离体快繁技术研究[J]. 种子, 2014, 33(10):131-132, 134.

[18] 秦 梅,张 燕,徐美恩,等. 甘薯茎尖脱毒及组培快繁技术[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(32):11238-11239, 11258.

[19] 王 颖. 甘薯高产栽培茎尖组培快繁方法[J]. 乡村科技, 2018(13):96-98.

[20] 何凤发,王季春,张启堂,等. 甘薯茎尖脱毒与快速繁殖技术研究[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(6):509-511, 528.

[21] 张先云,李长看,袁秀云. 甘薯高效再生体系的建立[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(13):6666-6667, 6678.

境下,种子萌发作为种子植物生活史的第一阶段,最先受到盐分的胁迫,盐胁迫容易抑制水稻种子萌发,降低种子的成苗率,造成烂种和死苗^[6]。因此,研究各种抵御盐胁迫的措施,增强对土壤盐渍化的抵抗能力,对指导盐害地区作物栽培与生产具有实际意义。

植物激素在种子萌发时起重要调节作用,也是植物胁迫信号转导的主要成员,参与植物对盐渍化的适应性,能够调节整个过程,被广泛应用于提高作物耐盐性的研究中。激动素(Kinetin)属于非天然细胞分裂素的一种,利用人工合成的激动素进行叶面喷施或对种子进行预处理能提高牧草^[7]、高粱^[8]和烟草^[9]的耐盐性。Ahanger 等研究表明,外源激动素一方面通过提高抗坏血酸和还原型谷胱甘肽等次生代谢物质含量降低了活性氧的损伤,另一方面通过增加叶绿素含量、净光合速率和胞间 CO₂ 浓度增强了光合作用,从而缓解了番茄盐胁迫损伤^[10]。激动素在大豆上的研究表明,外源激动素通过上调内源赤霉素的生物合成途径,使大豆的株高和生物量增加,从而减轻了胁迫对大豆生长的不利影响^[11]。目前,激动素对盐胁迫下水稻种子萌发和幼苗生长的研究鲜有报道,因此本研究以水稻品种湘早籼 45 号为试验材料,分析不同浓度的激动素处理后,水稻种子萌发及幼苗生长指标的变化,并利用灰度关联分析筛选水稻耐盐胁迫的重要指标,旨在为缓解水稻盐害提供相关的理论依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

以常规水稻品种湘早籼 45 号为试验材料,由湖南省水稻研究所提供。试验于 2019 年在湖南农业大学生命科学楼水稻油菜抗病育种实验室完成。挑选大小一致、饱满且无病虫害的种子,用 0.5% 次氯酸钠消毒 10 min 后用去离子水反复冲洗,自然晾干。分别先后做如下处理,处理一:分别用不同浓度的 NaCl(0、0.2%、0.8%、1.5%)溶液在常温下浸泡 24 h 处理;处理二:分别用 1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl 溶液、10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl 溶液和 100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl 溶液在常温下将种子浸泡 24 h,处理后取出放置于 37 °C 恒温烘箱中催芽。将催芽整齐的种子放置于规格为 120 mm × 120 mm × 60 mm 的发芽盒中,每处理 100

粒种子,重复 4 次。将所有发芽盒置于温度(25 ± 1) °C,光照/黑暗为 14 h/10 h,湿度 70%,光照度为 10 000 lx 的恒温光照培养箱中,培养过程中每日观察,并记录种子发芽情况,培养至 7 d 和 10 d,统计萌发相关指标和幼苗生长等形态指标。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 萌发指标 以胚根长为种子长的 2 倍,胚芽与种子等长作为萌发的标准,每天上午统计发芽数。种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数的计算公式如下:

发芽势 = 3 d 内正常发芽种子数/供试种子数 × 100%;

发芽率 = 7 d 内正常发芽种子数/供试种子数 × 100%;

发芽指数 = $\sum(G_i/D_i)$ 。

式中: D_i 为 t 日发芽种子数; G_i 为相应的发芽天数。

活力指数 = 发芽指数 × 培养 7 d 时正常幼苗的平均鲜质量;

耐盐指数 = $Vlv_{\text{盐}}/Vlv_{\text{水}} \times 100\%$ 。

式中: $Vlv_{\text{盐}}$ 为盐胁迫下的萌发活力指数; $Vlv_{\text{水}}$ 为对照下的萌发活力指数。

相对盐害率 = (对照萌发率 - 处理萌发率)/对照萌发率 × 100%^[12]。

1.2.2 幼苗形态指标 幼苗生长至 7、10 d,将幼苗用去离子水洗净,自然晾干。每处理随机取 10 株,测量其株高、根长、茎基宽、倒二叶叶长、倒二叶叶宽,将水稻幼芽与幼根分离,于 105 °C 烘箱中杀青 30 min,80 °C 烘干至恒质量,称取干质量,计算幼芽含水量。

幼芽含水量 = (鲜质量 - 干质量)/干质量 × 100%。

1.2.3 浸泡液电导率和幼芽含水量 每重复随机选取 100 粒种子并称质量,用去离子水冲洗 3 次,种子自然晾干。将种子置于 0% NaCl、0.8% NaCl、1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl、10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl、100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl 的溶液中室温浸泡 24 h,浸泡液摇匀后用上海雷磁仪器厂生产的 DDSJ-308 电导仪测定浸泡液电导率。

电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$) = (样品电导率 - 对照电导率)/样品种子质量。

1.3 数据处理与分析

水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、株高、根长、茎基宽、倒二叶叶长、倒二叶叶宽、

幼芽鲜质量、幼根鲜质量、幼芽干质量、幼根干质量、浸泡液电导率和幼芽含水量看作一个灰色系统,15 个性状为该系统中的因素。其中激动素浓度作为参考数列,15 个性状参数为比较数列 X_i ,利用下列公式计算 $X_{0(k)}$ 和各参数 X_i 的关联系数和关联度:

$$\varepsilon_{i(k)} = \frac{\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}| + \rho \max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|}{\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}| + \rho \min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|};$$

$$Y_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon_{i(k)}。$$

式中: $\varepsilon_{i(k)}$ 为 X_i 对 X_0 在 k 点的关联系数; ρ 为分辨系数,一般取 0.5,分辨系数越小,关联系数之间差异越明显,关联度的区分能力就越强; $\min_i \min_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|$ 为两级最小差的绝对值; $\max_i \max_k |X_{0(k)} - X_{i(k)}|$ 为两级最大差的绝对值; γ 为关联度, γ 的大小反映比较数量与参考数列的关联程度。

数据统计及作图采用 Microsoft Office Excel

2010 软件,采用 DPS 7.05 统计软件进行方差分析及显著性检验(Duncan's)。

2 结果与分析

2.1 外源激动素处理对水稻种子萌发的影响

由表 1 可知,不同浓度 NaCl 对水稻种子萌发具有一定的影响。与 CK 相比,随着 NaCl 浓度升高,水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数均呈现降低的趋势,其中,0.2% NaCl 处理水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数与 CK 差异不显著,0.8% 和 1.5% NaCl 处理使发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数显著降低,1.5% NaCl 处理使发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数分别降低了 97.87%、84.77%、92.44% 和 99.77%。此外,随着 NaCl 浓度升高,耐盐指数降低,相对盐害率提高,其中 1.5% NaCl 处理耐盐指数和相对盐害率分别为 0.23% 和 84.77%。

表 1 不同浓度 NaCl 对水稻种子萌发的影响

NaCl 处理 (%)	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽指数	活力指数	耐盐指数 (%)	相对盐害率 (%)
CK	94.35 ± 0.97a	94.90 ± 1.03a	36.92 ± 0.76a	8.88 ± 1.06a	100.00	0
0.2	93.60 ± 1.12a	93.31 ± 1.34a	36.04 ± 0.67a	8.28 ± 0.68a	93.24	1.68
0.8	39.55 ± 0.88b	74.45 ± 1.99b	19.20 ± 1.03b	1.67 ± 0.09b	18.81	21.55
1.5	2.01 ± 0.05c	14.45 ± 0.11c	2.79 ± 0.02c	0.02 ± 0.01c	0.23	84.77

注:同列数据后不同小写字母表示差异达 0.05 显著水平,下同。

由表 2 可知,盐胁迫下水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数显著低于 CK,相比 CK,0.8% NaCl 处理使水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数分别降低了 58.08%、21.54%、48.00% 和 81.19%。1 mmol/L 和 10 mmol/L 激动素预处理能提高盐胁迫下水稻种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数。其中,相比 0.8% NaCl 盐胁迫处理,1 mmol/L 激动素预处理分别提高发芽势、发芽率和发芽指数 48.70%、20.64% 和 22.55%,10 mmol/L 激动素预处理分别提高发芽率、发芽指数和活力指数 17.17%、26.15% 和 38.32%。100 mmol/L 激动素预处理下水稻种子发芽率、发芽指数和活力指数低于单一盐胁迫处理。此外,相比单一盐胁迫,1 mmol/L 和 10 mmol/L 激动素预处理提高了水稻种子耐盐指数,降低了相对盐害率。表明盐胁迫显著抑制了水稻种子的萌发,低浓度的激动素预处理可以明显促进盐胁迫下水稻种子的萌发,而高浓度的激动素预处理则抑制了水

稻种子萌发。

2.2 外源激动素处理对水稻幼苗生长形态指标的影响

由表 3 可知,盐胁迫对水稻幼苗生长有显著的抑制效果,幼苗生长 7 d,与 CK 相比,单一盐胁迫下水稻幼苗株高、根长、茎基宽、倒二叶叶长和倒二叶叶宽分别降低了 41.65%、46.38%、28.03%、69.17% 和 2.15%。随着激动素预处理浓度的增加,对水稻幼苗生长发芽的缓解作用呈现先增加后降低的趋势。其中,激动素浓度为 10 mmol/L 时,对水稻幼苗的缓解作用最为明显,幼苗生长 10 d,与单一盐胁迫处理相比,株高、根长、茎基宽和倒二叶叶长分别提高 10.48%、10.42%、4.80% 和 24.77%。

2.3 外源激动素处理对水稻幼苗生物量的影响

由表 4 可知,相比对照,盐胁迫处理显著抑制水稻幼苗的生物量,幼苗生长 7 d,0.8% NaCl 处理下,幼芽鲜质量、幼根鲜质量、幼芽干质量和幼根干质量分别降低了 66.67%、55.56%、66.67% 和 50.00%。

表 2 不同浓度激动素处理对水稻种子萌发的影响

处理	发芽势 (%)	发芽率 (%)	发芽指数	活力指数	耐盐指数 (%)	相对盐害率 (%)
CK	94.35 ± 0.97a	94.90 ± 1.03a	36.92 ± 0.76a	8.88 ± 1.06a	100.00	0
0.8% NaCl	39.55 ± 0.88c	74.45 ± 1.99c	19.20 ± 1.03c	1.67 ± 0.09c	18.81	21.55
1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	58.81 ± 1.63b	89.82 ± 2.14b	23.53 ± 1.09b	1.88 ± 0.06bc	21.17	5.40
10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	47.69 ± 0.96bc	87.23 ± 1.00b	24.22 ± 0.37b	2.31 ± 0.04b	26.01	8.08
100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	40.82 ± 3.12c	50.21 ± 2.91d	14.39 ± 0.63c	1.26 ± 0.12c	14.19	47.09

表 3 不同浓度激动素处理对水稻幼苗生长形态指标的影响

幼苗生长天数 (d)	处理	株高 (cm)	根长 (cm)	茎基宽 (mm)	倒二叶叶长 (cm)	倒二叶叶宽 (mm)
7	CK	5.21 ± 0.26a	2.07 ± 0.23a	1.32 ± 0.12a	3.60 ± 0.10a	0.93 ± 0.06a
	0.8% NaCl	3.04 ± 0.45c	1.11 ± 0.31b	0.95 ± 0.16b	1.11 ± 0.16c	0.91 ± 0.01a
	1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	3.52 ± 0.13c	1.14 ± 0.14b	1.01 ± 0.07b	1.73 ± 0.05b	0.88 ± 0.03a
	10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	3.98 ± 0.38b	1.98 ± 0.09a	1.12 ± 0.09b	1.79 ± 0.06b	0.98 ± 0.04a
	100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	3.88 ± 0.74bc	1.24 ± 0.10b	1.06 ± 0.18b	1.10 ± 0.08c	0.92 ± 0.06a
10	CK	7.32 ± 0.62a	2.05 ± 0.21a	1.42 ± 0.11a	4.78 ± 0.11a	1.16 ± 0.10a
	0.8% NaCl	5.44 ± 0.15b	1.92 ± 0.14a	1.25 ± 0.17c	2.18 ± 0.18c	1.06 ± 0.02a
	1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	5.57 ± 0.36b	1.63 ± 0.34ab	1.36 ± 0.14b	3.89 ± 0.13b	1.08 ± 0.02a
	10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	6.01 ± 0.35ab	2.12 ± 0.05a	1.31 ± 0.08b	2.72 ± 0.10c	1.05 ± 0.09a
	100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	6.12 ± 0.19ab	1.52 ± 0.17b	1.29 ± 0.10bc	3.92 ± 0.18b	1.09 ± 0.01a

表 4 不同浓度激动素处理对水稻幼苗生物量的影响

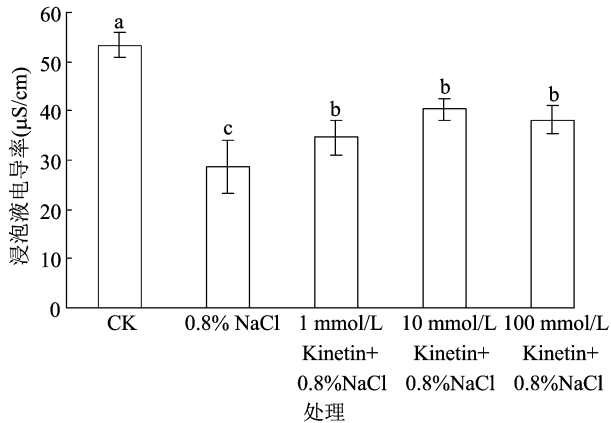
幼苗生长天数 (d)	处理	幼芽鲜质量 (g)	幼根鲜质量 (g)	幼芽干质量 (g)	幼根干质量 (g)
7	CK	0.15 ± 0.01a	0.09 ± 0.01a	0.03 ± 0.01a	0.02 ± 0.01a
	0.8% NaCl	0.05 ± 0.01b	0.04 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b
	1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.04 ± 0.01b	0.04 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b
	10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.05 ± 0.01b	0.05 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b
	100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.05 ± 0.01b	0.04 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b
10	CK	0.16 ± 0.01a	0.10 ± 0.01a	0.04 ± 0.01a	0.03 ± 0.01a
	0.8% NaCl	0.09 ± 0.01b	0.10 ± 0.01a	0.01 ± 0.01b	0.01 ± 0.01b
	1 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.12 ± 0.02ab	0.10 ± 0.01a	0.02 ± 0.01ab	0.02 ± 0.01ab
	10 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.12 ± 0.01ab	0.13 ± 0.01a	0.02 ± 0.01ab	0.02 ± 0.01ab
	100 mmol/L Kinetin + 0.8% NaCl	0.11 ± 0.01ab	0.07 ± 0.02a	0.02 ± 0.01ab	0.02 ± 0.01ab

激动素预处理增加了幼苗生长第 10 天的幼芽鲜质量、幼根鲜质量、幼芽干质量和幼根干质量,其中 10 mmol/L 激动素处理对幼芽鲜质量、幼根鲜质量、幼芽干质量和幼根干质量的促进作用最为明显。这说明 10 mmol/L 激动素最能缓解盐胁迫对水稻幼苗生物量的影响,其中外源激动素主要通过增加幼芽的质量,从而缓解盐胁迫的损害。

2.4 外源激动素处理对水稻种子浸泡液电导率和幼芽含水量的影响

由图 1 可知,相比 CK,盐胁迫显著降低了水稻种子浸泡液电导率,相比对照降低了 46.51%。不同浓度外源激动素浸种均能显著提高盐胁迫下水稻种子浸泡液电导率,1、10、100 mmol/L 激动素对水稻种子浸泡液电导率分别提高 21.09%、41.42%

和 34.02%。结果表明,适宜浓度的激动素浸种能显著提高盐胁迫下水稻种子浸泡液电导率,其中以 10 mmol/L 处理对电导率的提升效果最好。



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2 同
图 1 外源激动素对盐胁迫水稻种子浸泡液电导率的影响

由图 2 可知,盐胁迫处理降低了水稻幼芽含水量,而外源激动素处理提高了盐胁迫下水稻幼芽含水量,但外源激动素处理与单一盐胁迫下和对照均无显著差异。结果表明,适宜浓度的外源激动素可以提高盐胁迫下水稻幼芽含水量,其中 10 mmol/L 激动素对幼苗幼芽含水量的提升效果最为明显,提高了 15.93%。

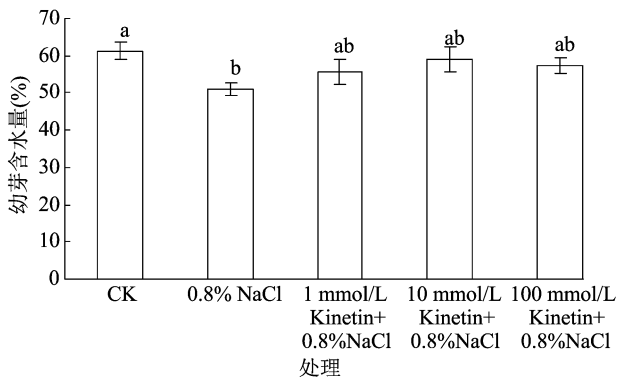


图 2 外源激动素对盐胁迫水稻幼苗幼芽含水量的影响

2.5 发芽率与各指标间灰色关联度顺序分析

通过分析外源激动素处理对盐胁迫下各指标的灰度关联度,明确了各指标与发芽率的关联顺序为发芽指数 > 活力指数 > 倒二叶叶长 > 幼芽干质量 > 倒二叶叶宽 > 发芽势 > 幼芽鲜质量 > 幼根干质量 > 茎基宽 > 幼芽含水量 > 浸泡液电导率 > 株高 > 幼根鲜质量 > 根长(表 5)。这说明发芽率、发芽指数、活力指数、倒二叶叶长和幼芽干质量等几个指标可以作为外源激动素缓解盐胁迫的重要性状,而根长与发芽率的关联度较低,因此可以针对关联度较高的指标来衡量外源激动素对盐胁迫的缓解程度。

表 5 外源激动素处理对盐胁迫水稻种子萌发发芽率与各指标的关联度顺序

指标	关联度	顺序
发芽指数	0.887 8	1
活力指数	0.773 4	2
倒二叶叶长	0.757 2	3
幼芽干质量	0.714 7	4
倒二叶叶宽	0.694 9	5
发芽势	0.688 6	6
幼芽鲜质量	0.670 8	7
幼根干质量	0.670 8	8
茎基宽	0.659 0	9
幼芽含水量	0.651 2	10
浸泡液电导率	0.638 8	11
株高	0.628 8	12
幼根鲜质量	0.611 1	13
根长	0.532 3	14

3 结论与讨论

种子萌发是种胚的生命活动从相对静止恢复到活跃状态的过程,此过程受到自身遗传特性和外部环境的影响,其中盐胁迫是种子萌发重要的限制因子。前人的研究表明,盐胁迫会影响种子的萌发和幼苗的生长,可以使水稻、小麦、大豆等^[13-16]作物种子发芽势、发芽率和发芽指数降低。本研究的结果也表明,水稻种子在盐浓度为 0.2%、0.8%、1.5% 的条件下,降低了发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数,其中盐浓度为 0.8%、1.5% 差异达到显著水平,盐胁迫下水稻种子的耐盐指数降低,而相对盐害率提高。阮松林等研究表明,水稻种子在 100 mmol/L 和 150 mmol/L 的 NaCl 溶液中发芽率和发芽势的降低,但是未到达显著性^[17],这表明不同品种在受到盐胁迫后种子萌发指标的下降幅度不一致,在不同浓度盐胁迫的影响也有差异。张红生等研究表明,pH 过高的盐碱土地影响了种子内部物质的转化,抑制了呼吸作用,降低了 α 、 β -淀粉酶的活性,进而抑制种子的萌发^[18]。

激动素是一种人工合成的嘌呤类激素,为典型的细胞分裂素,具有显著的生物学效应,近年来的研究表明,激动素预处理植物种子能够促进种子萌发和幼苗的生长^[19],在低温等条件下外源激动素对大豆种子的萌发有明显的促进作用^[20]。本研究表明,1、10、100 mmol/L 激动素预处理均能提高盐胁迫下种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数。

经过激动素处理后盐胁迫下的水稻幼苗株高、茎基宽、倒二叶叶长、倒二叶叶宽、幼芽含水量、幼芽鲜质量、幼芽干质量、幼根鲜质量和幼根干质量均呈增加趋势。本试验所用的1、10、100 mmol/L激动素处理,对浓度为0.8%的盐胁迫下水稻种子的萌发和幼苗的生长均有促进作用,但随着激动素浓度的增加促进作用呈现先增加后减少的趋势,激动素浓度为10mmol/L对效果最优。左进城等研究了不同浓度的激动素处理对苦草种子的萌发和幼苗生长,结果表明激动素对高枯草种子的萌发也存在浓度效应,即过低浓度和过高浓度的激动素均不适宜种子萌发,以150 mg/L处理效果最优^[21]。此外,本研究还表明,激动素主要通过促进幼芽的生长增加幼芽的生物量,达到缓解盐胁迫对水稻幼苗生长的抑制作用。前人的研究表明,激动素可能是通过降低叶绿素分解酶、蛋白质和核酸分解酶的活性,促进种子胚内蛋白质和核酸合成,从而调控逆境胁迫下种子的萌发^[22]。

本研究通过对盐胁迫下水稻种子萌发和幼苗生长的指标进行灰度关联分析,揭示了各性状与发芽率间的接近程度,即某些性状与发芽率具有较大的关联度,如发芽指数、活力指数、倒二叶叶长和幼芽干质量能敏锐地反映出激动素对盐胁迫的缓解作用。闫艳华等研究表明,发芽率与发芽势、发芽指数、幼芽含水量也具有较大关联度,是可以衡量水杨酸对盐胁迫缓解作用的指标^[23]。根长与幼根鲜质量等指标与发芽率关联度较低,原因可能是激动素主要通过影响水稻幼苗地上部分,而对幼苗根系影响较小。

参考文献:

[1] 王佳丽,黄贤金,钟太洋,等. 盐碱地可持续利用研究综述[J]. 地理学报,2011,66(5):673-684.
 [2] 刘少华,朱学伸,闫敏,等. NaCl 浸种对盐胁迫下杂交稻幼苗根系生长特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2020,42(8):59-65.
 [3] 袁驰,梁永霞,刘静,等. 复盐胁迫对不同水稻品种种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2018,37(6):78-81.
 [4] 洪森荣,尹明华. 盐胁迫对杂交水稻试管苗生长发育和部分生理生化指标的影响[J]. 杂交水稻,2008,23(4):69-72,77.
 [5] Elsey - Quirk T, Middleton B A, Proffitt C E. Seed flotation and

germination of salt marsh plants; the effects of stratification, salinity, and/or inundation regime[J]. Aquatic Botany,2009,91(1):40-46.
 [6] 徐芬芬,罗雨晴. 混合盐碱胁迫对水稻种子萌发的影响[J]. 种子,2012,31(2):85-87.
 [7] 孙守江,师尚礼,吴召林,等. 激动素对盐胁迫下老芒麦幼苗端粒酶活性及生理特性的影响[J]. 草业学报,2018,27(11):87-94.
 [8] Nimir N E A, Lu S Y, Zhou G S, et al. Comparative effects of gibberellic acid, kinetin and salicylic acid on emergence, seedling growth and the antioxidant defence system of sweet sorghum (*Sorghum bicolor*) under salinity and temperature stresses[J]. Crop and Pasture Science,2015,66(2):145.
 [9] Itai C, Benzioni A. Short - and long - term effects of high temperatures (47 ~ 49 °C) on tobacco leaves. II. O₂ uptake and amylolytic activity[J]. Physiologia Plantarum,1973,28(3):490-492.
 [10] Ahanger M A, Mir R A, Alyemini M N, et al. Combined effects of brassinosteroid and kinetin mitigates salinity stress in tomato through the modulation of antioxidant and osmolyte metabolism[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2020,147:31-42.
 [11] Hamayun M, Hussain A, Khan S A, et al. Kinetin modulates physio - hormonal attributes and isoflavone contents of soybean grown under salinity stress[J]. Frontiers in Plant Science,2015,6:377.
 [12] 赵丽珍,韩路. 水分与盐分对荒漠植物种子萌发的影响[J]. 塔里木大学学报,2012,24(3):96-104.
 [13] 潘晓飏,谢留杰,黄善军,等. 杂交水稻不同生育阶段的耐盐性及育种策略[J]. 江苏农业科学,2017,45(6):56-60.
 [14] 李三相,肖宁,王戈博,等. 盐胁迫对4种豆科植物种子萌发特征的影响[J]. 种子,2011,30(8):108-111.
 [15] 文廷刚,杜小凤,钱新民,等. 不同浸种剂对水稻种子发芽、幼苗生长及涝害胁迫下抗氧化酶的影响[J]. 江苏农业科学,2010,38(2):69-71.
 [16] 李强,倪先林,刘天朋,等. 不同浓度 NaCl 胁迫对糯高粱种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2020,48(22):67-72.
 [17] 阮松林,薛庆中. 盐胁迫条件下杂交水稻种子发芽特性和幼苗耐盐生理基础[J]. 中国水稻科学,2002,16(3):281-284.
 [18] 张红生,胡晋. 种子学[M]. 北京:科学出版社,2010.
 [19] 郭晔红,蔺海明. 赤霉素和细胞激动素对白刺种子萌发的调控研究[J]. 中国生态农业学报,2009,17(6):1196-1199.
 [20] 吕桂兰,王庆祥. 在低温条件下赤霉素和激动素对大豆种子萌发的影响[J]. 辽宁农业科学,1999(4):9-11.
 [21] 左进城,李秀玲,张鹏,等. 吡啶乙酸和激动素对苦草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 北方园艺,2014(23):53-56.
 [22] 韩德元. 植物生长调节剂:原理与应用[M]. 北京:北京科学技术出版社,1997:178-189.
 [23] 闫艳华. 水杨酸浸种对盐胁迫下燕麦种子萌发的影响[J]. 种子,2020,39(1):159-162.