

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)05-0456-07

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.05.010

马铃薯耐盐碱研究进展

杨新月^{1,2}, 闫梦^{1,2}, 张剑峰³, 赵朋⁴, 董道峰⁴, 李旭刚^{1,2*}

(1. 山东农业大学生命科学学院作物生物学国家重点实验室, 山东 泰安 271018;

2. 山东省盐碱地植物-微生物联合修复工程技术研究中心, 山东 泰安 271018;

3. 青岛农业大学, 山东 青岛 266109; 4. 山东省农业科学院蔬菜研究所, 山东 济南 250100)

摘要: 全球盐碱地面积的增加成为制约农业发展的主要因素。马铃薯是全球第四大粮食作物, 同时也是中国仅次于水稻、玉米、小麦的重要粮食作物。马铃薯属于中等耐盐性作物, 盐碱胁迫严重抑制马铃薯的产量, 因此提高马铃薯耐盐碱能力具有重要意义。文章从盐碱胁迫对马铃薯发育及生理的影响、马铃薯耐盐碱能力提高途径及其展望3个方面对马铃薯耐盐碱性研究现状进行综述, 旨在总结当前已知的马铃薯耐盐碱机制, 为马铃薯耐盐碱新品种选育提供理论基础与育种思路。

关键词: 盐碱胁迫; 马铃薯; 基因工程

Advances in Research of Saline-alkali Tolerance in Potato

YANG Xinyue^{1,2}, YAN Meng^{1,2}, ZHANG Jianfeng³, ZHAO Peng⁴, DONG Daofeng⁴, LI Xugang^{1,2*}

(1. State Key Laboratory of Crop Biology, College of Life Sciences, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China;

2. Shandong Engineering Research Center of Plant-Microbia Restoration for Saline-alkali Land, Tai'an, Shandong 271018, China;

3. Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China;

4. Vegetable Research Institute, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract: The increased saline-alkali land in the world has become one of the major factors to restrict the agriculture development. Potato (*Solanum tuberosum* L.) is the fourth largest food crop in the world, and it is also an important food crop in China, just after rice, maize and wheat. Potatoes are moderately salt-tolerant crops, and salt-alkali stress can severely inhibit the potatoes yield. Therefore, it is of great significance to improve the salt-tolerant ability of potatoes. This review focused on the current status of potato salt-alkali tolerance researches from three aspects: the influence of saline-alkali stress on potato development and physiology, the strategies to improve potato salt-tolerance capacity and future prospects, aiming to provide a theoretical basis and strategies for the development of new salt-tolerant potato varieties by summarizing the current known potato salt-tolerant mechanisms.

Key Words: saline-alkali stress; potato; genetic engineering

土壤盐碱化是一个全球性问题, 已成为影响 全球作物产量的制约因素之一, 盐碱土中有机质

收稿日期: 2021-10-12

基金项目: 山东省农业良种工程项目(2020LZGC003)。

作者简介: 杨新月(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向为马铃薯耐盐碱机理。

*通信作者(Corresponding author): 李旭刚, 博士, 教授, 研究方向为植物耐盐碱机理, E-mail: xgli@sdaa.edu.cn。

含量很少、土壤肥力较低、理化性质差, 制约植物正常的生长发育, 严重降低粮食作物的产量。马铃薯(*Solanum tuberosum* L.) 含有较高的营养价值, 具有高产、适应性强的特点, 是中国除小麦、玉米、水稻之外的第四大主粮作物。马铃薯是对盐中度敏感的作物^[1], 现阶段推广的马铃薯品种耐盐性较差^[2]。盐碱胁迫会影响马铃薯叶片、茎、根和块茎的生长发育, 造成马铃薯减产, 影响农业经济发展, 因此探究马铃薯抗盐碱机制及提高马铃薯的耐盐碱性具有重要的理论和实践意义。

1 盐碱胁迫对马铃薯发育及生理的影响

1.1 盐碱胁迫对马铃薯生长发育的影响

根系的生长与作物产量息息相关, 盐碱胁迫抑制植物根的生长, 从而限制植物的生长发育, 进而影响作物的产量^[3]。当马铃薯受到盐碱胁迫时, 其根长、株高、叶长叶宽等形态特征受到抑制, 而且随着土壤的盐碱化程度升高, 其抑制程度越明显^[4,5]。此外, 盐碱胁迫影响马铃薯的产量及品质, 马铃薯的品质指标主要包括干物质含量、淀粉含量、蛋白质含量、还原糖含量、维生素C含量等^[6]。姚彦红等^[7]针对马铃薯设置5个NaCl浓度胁迫处理, 结果表明, 随着NaCl浓度的逐渐增加, 马铃薯产量逐渐下降, 干物质、淀粉、蛋白质等含量均下降, 导致马铃薯品质下降。

现阶段对于马铃薯耐盐机制研究较多, 但是对于碱胁迫的耐碱机制研究较少。当用NaHCO₃处理马铃薯组培苗之后, 马铃薯叶片在碱胁迫下发生萎蔫、植株枯萎, 不能正常生长^[8,9]。对于不同的马铃薯品种, 其耐盐碱性也有一定的差异^[10-12]。

1.2 盐碱胁迫对马铃薯生理生化的影响

盐碱土壤中含有大量的中性盐离子, 在马铃薯植株生长过程中, 这类离子会在茎组织中积累^[13]。盐类的过度积累会严重影响马铃薯植株在生长发育过程中的各项生命活动^[14]。

1.2.1 影响内源激素

内源激素又称为植物激素, 已知的内源激素包括生长素、赤霉素、脱落酸、乙烯、细胞分裂素以及油菜素内酯等。植物激素的含量是否正常

直接决定植物能否正常生长, 当植物遭受盐碱胁迫时, 植物体内的内源激素会发生一系列响应^[15]。马铃薯组培苗在盐胁迫条件下, 叶片中生长素的含量会下降, 而在根系中生长素以及脱落酸的含量随着胁迫时间的延长而增加^[16]。而当马铃薯在碱性胁迫条件下, 其体内的脱落酸以及油菜素内酯含量随着碱浓度的增加而增加, 但是赤霉素的含量却逐渐下降^[17]。

1.2.2 干扰离子稳态, 产生离子毒害

盐碱胁迫会使植物体内Na⁺的含量增加, 而较高浓度的Na⁺会影响植物对K⁺的吸收, 从而导致植物体内Na⁺/K⁺比率增大。李亚平等^[18]研究表明, 不同浓度的混合盐胁迫条件下, 马铃薯脱毒苗植株体内的K⁺/Na⁺比率均下降。康益晨^[17]研究表明, 在不同浓度NaHCO₃碱胁迫条件下, 不同马铃薯品种之间Na⁺含量均随着碱浓度的增大而增加, K⁺含量均随着碱浓度的增大而降低, 根茎叶中钠钾离子含量比随着碱胁迫浓度的增大而降低。

1.2.3 造成渗透胁迫

在盐胁迫下, 渗透物质对维持植物耐盐性至关重要^[19]。其中脯氨酸作为渗透保护剂, 可以调节细胞内的渗透平衡。孙晓光等^[20]研究显示, 经过混合盐胁迫处理之后, 马铃薯叶片脯氨酸含量随着盐浓度的升高而升高, 可溶性糖的含量也逐渐增加。在经过不同浓度的NaHCO₃碱胁迫处理之后, 也得到了同样的结果^[17]。

1.2.4 削弱光合作用

叶绿素是植物进行光合作用的重要物质, 盐碱胁迫会导致叶绿素含量降低, 从而影响作物产量^[21]。马子竣^[22]研究表明, 耐盐株系与盐敏感株系随着盐浓度的逐渐升高, 叶绿素含量均下降, 进而影响植物的光合作用。当马铃薯植株受到盐碱胁迫之后, 不同品种之间的叶绿素A和叶绿素B的含量均下降^[23]。

1.2.5 导致氧化胁迫

丙二醛(Malondialdehyde, MDA)是植物在逆境条件下, 发生膜脂过氧化作用产生的, 其含量变化可以反映植物受到胁迫强弱的程度^[24]。当马铃薯植株受到盐碱胁迫时, 其含量随着盐碱浓度的增加而增加^[25]。植物对盐碱胁迫的主要反应是

产生活性氧(Reactive oxygen species, ROS)^[26]。ROS的积累会导致氧化胁迫, 为了避免氧化损伤, 植物体会合成过氧化物酶(Peroxidase, POD)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)、超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)等一系列酶以清除这些活性氧并防止氧化损伤^[27-29]。Charfeddine等^[30]将*SlERF94*基因导入到马铃薯植株中, 获得过表达转基因株系, 研究显示其植株中SOD的活性较高, 可以减轻由于盐胁迫引起的ROS介导的膜系统损伤。张景云^[31]、李青等^[32]研究了几种对盐敏感程度不同的马铃薯品种(系), 当胁迫时间逐渐增加时, POD、SOD的活性均呈现逐渐下降的趋势, 而随着盐胁迫时间的增加, CAT活性呈现先降后升的趋势。赵明辉等^[33]通过比较耐盐性不同的二倍体马铃薯在碱胁迫下的形态和生理性状, 结果显示无论是在5 mmol/L NaHCO₃浓度、还是10 mmol/L NaHCO₃浓度条件下, SOD活性相对值由高到低顺序为耐盐组 > 中耐盐组 > 感盐组, POD活性相对值由高到低顺序为耐盐组 > 中耐盐组 > 感盐组。

综上所述, 盐碱胁迫对马铃薯植株生理生化影响是多方面的, 但是不同品种之间是否具有差异性是值得研究的热点问题^[34-36]。

2 提高马铃薯耐盐碱性的方法

2.1 利用植物根际促生菌

植物根际促生菌(Plant growth promoting rhizobacteria, PGPR)是指生活在土壤中或附生于植物根系的一类能帮助植物吸收和利用矿质营养, 促进其生长发育的菌类。PGPR可以缓解盐碱胁迫给植物带来的负面影响, 改善植物生长, 并提高各种作物的耐盐性, 在农业发展领域具有重要的应用价值^[37,38]。

研究发现, 植物根际促生菌与马铃薯共生时, 可以提高马铃薯植株的生长能力, 并且改善马铃薯的品质^[39,40]。芽孢杆菌是常见的植物根际促生菌, 当芽孢杆菌与马铃薯在盐碱胁迫条件下共生时, 芽孢杆菌通过促进马铃薯根际生长素的生成, 维持离子稳态, 调控抗氧化酶的活性, 从而增强马铃薯的耐盐碱能力, 进而提高马铃薯植株

的生物量、单株块茎数和块茎产量^[41]。

2.2 施加外源物质

提高植物抗盐碱能力的方法有多种, 已有研究结果证明, 通过施加外源调节物质, 可以提高植物抗盐碱能力, 从而提高植物耐盐性^[42-44]。

植物激素在植物的生长发育过程中发挥重要作用, 参与了植物生长的全部过程, 当植物受到胁迫时, 植物激素可以提高植物的抗逆性^[45]。水杨酸是一种重要的生长调节剂, 已有研究表明, 施加外源水杨酸可以提高植物的抗逆性^[46,47]。Faried等^[48]研究结果表明, 水杨酸可以显著提高超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶等抗氧化酶的活性和调节脯氨酸和酚含量, 清除活性氧, 提高钾的利用率, 降低马铃薯叶片中的钠含量, 从而赋予马铃薯耐盐性。茉莉酸(Jasmonate, JA)是重要的分子, 参与植物各种生命活动^[49]。茉莉酸在盐碱胁迫下, 可以减小NaCl对光合色素的影响, 并维持细胞的渗透物质, 增强其耐盐性^[50]。

磷脂酰丝氨酸(Phosphatidylserine, PS)是细胞膜上的一种重要活性物质, 施加外源PS可以降低由于盐胁迫而导致的K⁺外流并上调质膜上H⁺-ATP酶活性来延缓叶片衰老, 诱导马铃薯耐盐性的提高^[51]。Ca²⁺不但是重要的营养元素, 而且也是重要的第二信使。当植物受到胁迫时, Ca²⁺能够提高植物的抗逆性^[52]。施加外源钙离子可以提高叶绿素含量, 增强马铃薯的光合作用, 其次还可以提高抗氧化酶的活性, 维持膜的稳定性, 从而提高马铃薯的耐盐性^[53]。

2.3 应用基因工程技术

众所周知, 马铃薯对盐分的敏感性中等, 在块茎芽萌生阶段易受盐分影响。为了培育耐盐马铃薯品种, 世界各国都在通过导入耐盐基因, 在马铃薯中表达功能蛋白进行转基因抗盐碱胁迫研究。

当植物受到胁迫时, 植物体内的脱落酸(Abscisic acid, ABA)被诱导合成^[54]。ABA在植物抗非生物胁迫过程中发挥关键作用, 在ABA信号途径中, ABF(ABA-responsive element binding factors)转录因子扮演着重要角色。研究表明, *ABF4*可以提高拟南芥的耐盐性^[55]。Noelia等^[56]在

马铃薯中过量表达拟南芥中 *ABF4* 基因, 结果表明在正常条件下, 转基因马铃薯与野生型相比, 各项生理指标无明显差异, 但是转基因马铃薯的块茎产量和块茎品质均高于野生型。经过盐胁迫处理后, 转基因马铃薯相对含水量、脯氨酸含量和叶绿素含量均显著高于野生型, 说明 *ABF4* 过量表达植株对盐耐受性增强。研究还发现, *ABF4* 基因在马铃薯中异源过表达, 不但增强耐盐能力, 还增强其耐旱能力。目前已经鉴定出的脱水反应元件结合蛋白(DREB)具有较强抗逆性, 研究发现在马铃薯植株中过量表达 *StDREB2*^[57] 基因, 可以通过参与 ABA 激素信号和脯氨酸合成途径提高马铃薯的耐盐性。此外, 研究者还发现 *StDREB1*^[58] 过表达也可以显著提高转基因马铃薯的耐盐性。

油菜素内酯(Brassinolide, BRS)广泛存在于植物体内^[59], 在抗非生物胁迫中发挥着重要作用^[60]。有研究表明, 施加外源BRS可以提高植物耐盐性^[61], 通过适量的外源油菜素内酯提高马铃薯抗氧化酶的活性, 增加脯氨酸含量, 降低丙二醛含量来提高马铃薯的耐盐碱能力^[62]。*DWARF4*(*DWF4*)基因是编码油菜素内酯的关键基因^[63]。Zhou 等^[64]将 *DWF4* 基因在马铃薯中过表达, 获得转基因马铃薯植株, 经过胁迫处理之后, *StDWF4* 转基因马铃薯株系的可溶性糖含量、可溶性蛋白含量、抗氧化酶活性等生理指标均高于正常植株, 表明过量表达 *StDWF4* 可提高马铃薯的耐盐能力。

吴英英等^[65]关于马铃薯转 *HaBADH* (甜菜碱醛脱氢酶)无性一代植株研究表明, 随着盐浓度的逐渐升高, 与正常植株相比, 转 *HaBADH* 基因植株的生长情况、单株结薯重量、单株结薯数以及脯氨酸和MDA含量均显著高于未转基因材料。研究结果初步说明盐胁迫下 *HaBADH* 基因的表达提高了马铃薯转基因株系的耐盐能力。

陈秀华等^[66]首次将硫腺苷甲硫氨酸基因转入到马铃薯。对比转 *GsSAMS* 基因的7个马铃薯株系(SM13、SM33、SM4、SM22、SM30、SM40 和 SM27)与未转基因‘大西洋’品种, 无论是正常培养还是经 NaHCO_3 胁迫处理, SM22、SM4、SM33 和 SM13 四个转基因株系产量均比未转基因植株

有所增加, 说明 *GsSAMS* 转入到马铃薯中可以提高其耐碱性。

3 展 望

由于人类活动、环境污染、工业废水等加剧了土壤盐碱化, 极大地影响了马铃薯的生产, 而现阶段种植户种植的大部分马铃薯品种耐盐性较差, 因此对种植户造成了一定的经济损失。马铃薯耐盐碱性是一个极其复杂的生理过程, 现阶段已有大量的研究阐明马铃薯的耐盐机制, 并筛选出一些耐盐品种。然而, 现在的研究大多以 NaCl 为胁迫条件, 而以 NaHCO_3 为胁迫条件的研究较少。当然, 也有研究表明, 马铃薯耐盐与耐碱的机制是类似的, 不同的品种之间, 其耐盐碱机制也有所不同。目前没有统一的标准可以确定耐盐碱品种, 马铃薯植株在实验室培养和在大田种植时, 其耐盐能力有一定差异, 这也使得耐盐品种的确定成为问题, 因此制定统一的标准确定耐盐品种是非常重要的。

目前, 植物根际促生菌主要应用于治疗马铃薯疮痂病等一系列疾病, 而将植物根际促生菌应用于提高马铃薯耐盐碱能力的研究较少。植物根际促生菌可以改善马铃薯在盐碱条件下的生长环境, 却不改变马铃薯植株的基因, 其安全性有一定的保障, 可应用于市场。因此, 寻找能够提高马铃薯耐盐碱能力的植物根际促生菌是有必要的。

近几年, 研究者通过基因工程技术获得了一些马铃薯耐盐碱转基因株系, 相比于未转基因植株, 转基因株系的耐盐碱能力有所提高。但是, 这些转基因株系的安全性及其应用性暂时未知, 需要从各个方面进行详尽研究之后才可用于育种。

[参 考 文 献]

- [1] 刘卫平, 李玉华, 孙秀梅, 等. 马铃薯离体茎尖生长点对几种培养因子的生长反应[J]. 中国马铃薯, 2001, 15(2): 81-82.
- [2] 王新伟, 徐龙臣, 田中艳, 等. 马铃薯高淀粉资源田间抗盐鉴定[J]. 中国蔬菜, 1999(1): 25-28.
- [3] An Y, Gao Y, Tong S, et al. Morphological and physiological traits related to the response and adaption of *Bolboschoenus planiculmis* seedlings grown under salt-alkaline stress conditions [J]. Frontiers in

- Plant Science, 2021, 12: 567782.
- [4] 柳永强, 马廷蕊, 王方, 等. 马铃薯对盐碱土壤的反应和适应性研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1388-1392.
- [5] 纪艺红, 何良伟, 郝晓卉, 等. 盐胁迫下马铃薯新品种北方001与北方002组培苗对NaCl基础抗性的研究[J]. 种子科技, 2021, 39(9): 5-6.
- [6] 李彤彤, 赵悦, 刘璐, 等. 马铃薯新品系的品质分析及利用评价[J]. 种子, 2020, 39(8): 70-71, 85.
- [7] 姚彦红, 康益晨, 杨昕宇, 等. NaCl胁迫对马铃薯生理生化特性产量及品质的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(4): 36-42.
- [8] 赵海红, 王士强, 胡喜平, 等. 9个马铃薯品种苏打盐碱适应性盆栽试验[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(3): 129-132.
- [9] Kang Y, Yang X, Liu Y, *et al.* Integration of mRNA and miRNA analysis reveals the molecular mechanism of potato (*Solanum tuberosum* L.) response to alkali stress [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 182: 938-949.
- [10] 陈彦云, 李紫辰, 曹君迈, 等. 马铃薯脱毒苗对NaCl胁迫的响应及耐盐性评价[J]. 西南农业学报, 2018, 31(10): 2052-2059.
- [11] 赵海红, 贝丽霞. 离体条件下马铃薯盐碱适应性的研究[J]. 农业与技术, 2007(3): 37-41.
- [12] 刘婕, 梅超, 王慧杰, 等. 盐胁迫对4种马铃薯脱毒苗生长及生理特性的影响[J]. 山西农业科学, 2021, 49(5): 550-553.
- [13] Aliche E B, Prusova-Bourke A, Ruiz-Sanchez M, *et al.* Morphological and physiological responses of the potato stem transport tissues to dehydration stress [J]. Planta, 2020, 251(2): 45.
- [14] Rahnama H, Vakilian H, Fahimi H, *et al.* Enhanced salt stress tolerance in transgenic potato plants (*Solanum tuberosum* L.) expressing a bacterial *mtlD* gene [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(4): 1521-1532.
- [15] Yu Z, Duan X, Luo L, *et al.* How plant hormones mediate salt stress responses [J]. Trends in Plant Science, 2020, 25(11): 1117-1130.
- [16] 王东霞, 曹东, 王晋民, 等. NaCl胁迫对马铃薯组培苗激素含量的影响[J]. 分子植物育种, 2020, 18(17): 5844-5851.
- [17] 康益晨. 马铃薯响应碱性盐胁迫的生理及分子机制研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.
- [18] 李亚平, 孙晓光, 蒙美莲, 等. 混合盐胁迫下马铃薯脱毒苗抗氧化系统及Na⁺, K⁺含量的变化[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 238-242.
- [19] Singh M, Kumar J, Singh S, *et al.* Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2015, 14(3): 407-426.
- [20] 孙晓光, 何青云, 李长青, 等. 混合盐胁迫下马铃薯渗透调节物质含量的变化[J]. 中国马铃薯, 2009, 23(3): 129-132.
- [21] Fang S, Hou X, Liang X. Response mechanisms of plants under saline-alkali stress [J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 667458.
- [22] 马子竣. 盐胁迫对二倍体马铃薯生理影响及外源物质缓解效应[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [23] 胡德龙, 许越珺, 许建民, 等. 马铃薯耐盐品种的鉴定及*StDWF4*基因生物信息学分析[J]. 分子植物育种, 2020, 18(23): 7654-7661.
- [24] Ebone L A, Caverzan A, Chavarria G. Physiologic alterations in orthodox seeds due to deterioration processes [J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2019, 145: 34-42.
- [25] 李欣. 模拟干旱和盐逆境对马铃薯试管苗生长生理及脯氨酸积累相关基因表达的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [26] Ramegowda V, Da Costa M, Harihar S. Abiotic and biotic stress interactions in plants: A cross-tolerance perspective [J]. Priming-Mediated Stress and Cross-Stress Tolerance in Crop Plants, 2020: 267-302.
- [27] Choudhary A, Kumar A, Kaur N. ROS and oxidative burst: Roots in plant development [J]. Plant Divers, 2019, 42(1): 33-43.
- [28] Baxter A, Mittler R, Suzuki N. ROS as key players in plant stress signalling [J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(5): 1229-1240.
- [29] Aghaei K, Ehsanpour A A, Komatsu S. Potato responds to salt stress by increased activity of antioxidant enzymes [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2009, 51(12): 1095-1103.
- [30] Charfeddine M, Charfeddine S, Ghazala I, *et al.* Investigation of the response to salinity of transgenic potato plants overexpressing the transcription factor StERF94 [J]. Journal of Biosciences, 2019, 44(6): 141.
- [31] 张景云. 二倍体马铃薯耐盐材料筛选及其生理特性表现[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2010.
- [32] 李青, 王万兴, 胡新喜, 等. NaCl胁迫对马铃薯组培苗生理生化的影响[J]. 分子植物育种, 2020, 18(14): 4754-4761.
- [33] 赵明辉, 白雅梅, 李文霞, 等. 对NaCl敏感度不同的二倍体马铃薯

- 薯在NaHCO₃胁迫下的表现[J]. 核农学报, 2014, 28(2): 358–363.
- [34] 田京江, 井大伟, 朱炎辉, 等. 我国马铃薯耐盐性研究进展[J]. 安徽农学通报, 2018, 24(8): 38–39, 44.
- [35] 江应红, 邢斌德, 冯怀章, 等. 离体条件下不同马铃薯品种耐盐性鉴定及评价[J]. 农村科技, 2021(1): 25–29.
- [36] 刘芳, 孔海明, 陈广侠, 等. 马铃薯种质资源组培苗耐盐性评价与耐盐种质筛选[J]. 山东农业科学, 2019, 51(4): 24–29.
- [37] Kumar A, Patel J S, Meena V S, *et al.* Recent advances of PGPR based approaches for stress tolerance in plants for sustainable agriculture[J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 2019, 20: 101271.
- [38] Etesami H, Maheshwari D K. Use of plant growth promoting rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2018, 156: 225–246.
- [39] 路晓培. 植物根际促生细菌的分离鉴定及对马铃薯快繁苗生长的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [40] 李培根. 马铃薯、番茄根际促生细菌的筛选鉴定及促生效果研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2020.
- [41] Tahir M, Ahmad I, Shahid M, *et al.* Regulation of antioxidant production, ion uptake and productivity in potato (*Solanum tuberosum* L.) plant inoculated with growth promoting salt tolerant *Bacillus* strains[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2019, 178: 33–42.
- [42] 粟莉圆, 胡颖, 梁机, 等. 几种外源物质对盐胁迫下火力楠幼苗生理特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2021, 49(7): 16–21.
- [43] 高青海, 郭远远, 吴燕, 等. 盐胁迫下外源褪黑素和Ca²⁺对甜瓜幼苗的缓解效应[J]. 应用生态学报, 2017, 28(6): 1925–1931.
- [44] Jiang D, Lu B, Liu L, *et al.* Exogenous melatonin improves salt stress adaptation of cotton seedlings by regulating active oxygen metabolism[J]. PeerJ, 2020, 8: e10486.
- [45] Verma V, Ravindran P, Kumar P P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1): 86.
- [46] 耿贵, 李任任, 吕春华, 等. 外源调节物质对盐胁迫下植物生长调控研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(24): 85–90.
- [47] Chen H, Tao L, Shi J, *et al.* Exogenous salicylic acid signal reveals an osmotic regulatory role in priming the seed germination of *Leymus chinensis* under salt-alkali stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2021, 188(4): 104498.
- [48] Faried H N, Ayyub C M, Amjad M, *et al.* Salicylic acid confers salt tolerance in potato plants by improving water relations, gaseous exchange, antioxidant activities and osmoregulation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(6): 1868–1875.
- [49] Griffiths G. Jasmonates: biosynthesis, perception and signal transduction[J]. Essays Biochemistry, 2020, 64(3): 501–512.
- [50] Efimova M V, Mukhamatdinova E A, Kovtun I S, *et al.* Jasmonic acid enhances the potato plant resistance to the salt stress *in vitro* [J]. Doklady Biological Sciences, 2019, 488(1): 149–152.
- [51] Yu Y, Kou M, Gao Z, *et al.* Involvement of phosphatidylserine and triacylglycerol in the response of sweet potato leaves to salt stress[J]. Frontiers in Plant Science, 2019, 10: 1086.
- [52] García Bossi J, Kumar K, Barberini M L, *et al.* The role of P-type IIA and P-type IIB Ca²⁺-ATPases in plant development and growth[J]. Journal of Experimental Botany, 2020, 71(4): 1239–1248.
- [53] 魏翠果. 钙对NaCl胁迫下马铃薯调控机制的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2014.
- [54] Verma V, Ravindran P, Kumar P P. Plant hormone-mediated regulation of stress responses[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16: 86.
- [55] 潘伟成. ABF4对FYVE1的转录调控在拟南芥盐胁迫中作用的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020.
- [56] Noelia M, Ignacio C J, F Marina, *et al.* Expression of the *Arabidopsis ABF4* gene in potato increases tuber yield, improves tuber quality and enhances salt and drought tolerance[J]. Plant Molecular Biology, 2018, 98(1–2): 137–152.
- [57] Bouaziz D, Pirrello J, Amor H B, *et al.* Ectopic expression of dehydration responsive element binding proteins (StDREB2) confers higher tolerance to salt stress in potato[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 60: 98–108.
- [58] Bouaziz D, Pirrello J, Charfeddine M, *et al.* Overexpression of *StDREB1* transcription factor increases tolerance to salt in transgenic potato plants[J]. Molecular Biotechnology, 2013, 54(3): 803–817.
- [59] Planas-Riverola A, Gupta A, Betegón-Putze I, *et al.* Brassinosteroid signaling in plant development and adaptation to stress[J]. Development, 2019, 146(5): 151894.
- [60] Krishna P, Prasad B D, Rahman T. Brassinosteroid action in plant abiotic stress tolerance[J]. Methods in Molecular Biology, 2017, 1564: 193–202.

- [61] Fimova M V, Khripach V A, Boyko E V, *et al.* The priming of potato plants induced by brassinosteroids reduces oxidative stress and increases salt tolerance [J]. *Doklady Biological Sciences*, 2018, 478 (1): 33–36.
- [62] Hu Y, Xia S, Su Y, *et al.* Brassinolide increases potato root growth *in vitro* in a dose-dependent way and alleviates salinity stress [J]. *Biomed Research International*, 2016, 2016: 8231873.
- [63] 白玉, 沙伟, 马天意. 油菜素内酯合成途径相关基因的研究进展 [J]. *高师理科学刊*, 2021, 41(6): 69–74.
- [64] Zhou X, Zhang N, Yang J, *et al.* Functional analysis of *StDWF4* gene in response to salt stress in potato [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2018, 125: 63–73.
- [65] 吴英英, 张丽, 巩楠, 等. 转基因 *HaBADH* 马铃薯无性一代耐盐性及农艺性状分析 [J]. *分子植物育种*, 2019, 17(7): 2327–2332.
- [66] 陈秀华, 王冬冬, 李先平, 等. 组成型表达S-腺苷甲硫氨酸合成酶基因提高转基因马铃薯抗旱耐盐碱性研究 [J]. *东北农业大学学报*, 2013, 44(10): 25–32.



大庆金辉农业科技开发有限公司

大庆金辉农业科技开发有限公司成立于2012年3月15日, 是一家以农业科技开发、农业机械装备、化肥研发与销售、农业技术推广及技术咨询为经营项目的民营企业, 公司总部位于大庆国家级高新技术产业开发区。公司以服务三农为宗旨, 以质量和诚信求生存, 以科技创新求发展, 以广交天下朋友为理念, 以农民增收为己任, 始终以从事农业生产者的市场需求为导向, 以解决生产中出现的实际问题为立足之本。公司本着“节约就是增效”的观念, 针对马铃薯生产中存在的实际问题, 提出了从播种到收获的全程高效低成本技术方案。重点技术方案有盐碱地种植解决方案, 防治早(晚)疫病、炭疽病、黑痣病等高效、低成本防病方案, 除草剂药害(前茬、封闭及苗后除草剂使用不当引起的药害)专用方案, 合理施肥技术方案。主要推广的技术有“药肥一体化”防病技术、“水肥一体化”施肥技术、“全程立体化”平衡施肥技术。主要产品有“信丰圆”马铃薯大、中微量元素水溶肥, 有机生物肥, 专用氮钾追肥; “金辉壮秧”“金辉促根”“农福保”等水肥一体化专用肥; “曙卫士”微生物拌种剂; “薯飘香”“施保宁”“薯留香”等专用叶面肥; “薯平安”解药害专用产品; “金绒一号”盐碱地专用肥以及马铃薯专用杀菌剂等系列产品。可为初次进入马铃薯领域的广大种植户们提供全程技术指导服务。

微信公众号: 大庆金辉农业科技开发有限公司

网址: www.dqjhny.com

联系电话: 0459-6280535

邮箱: dqjhny@163.com

