



作物耐碱新机制, 碱地粮仓新希望

马晓薇¹, 谢旗^{1,2*}

1. 先正达集团中国, 玉米等作物种质创新及分子育种全国重点实验室, 武汉 430073;

2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所, 北京 100101

* 联系人, E-mail: qxie@genetics.ac.cn; qi.xie@syngentagroup.cn

New mechanism of crop alkali tolerance, might promote crop production in solic land

Xiaowei Ma¹ & Qi Xie^{1,2*}

¹ State Key Laboratory of Crop Germplasm Innovation and Molecular Breeding, Syngenta Group China, Wuhan 430073, China;

² Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

* Corresponding author, E-mail: qxie@genetics.ac.cn; qi.xie@syngentagroup.cn

doi: [10.1360/TB-2024-0510](https://doi.org/10.1360/TB-2024-0510)

万物土中生, 有土斯有粮, 土地是粮食安全之基。然而, 由于气候条件、地形地貌、人为活动等因素影响, 现有耕地质量和面积正遭受极大的破坏^[1]。其中, 因土壤盐碱水平升高造成土地盐碱化现象尤为严重, 过高的盐碱水平不利于作物生长, 从而导致可供利用土地质量下降以及面积减少, 极大影响粮食产量^[2]。据联合国粮食及农业组织的不完全统计, 全球耕地面积约为16亿公顷, 但是在未来几十年内将会有超过50%耕地逐渐盐碱化, 这意味着将有15亿人因粮食不足而挨饿。因此, 开展盐碱地的改良和综合利用迫在眉睫。

我国是农业大国, 尽管粮食产量逐年提升, 但人均耕地少的现状难以改变。因此, 土地逐渐盐碱化将严重威胁我国人民的“饭碗”安全, 是我国农业发展的“卡脖子”问题。据统计, 在我国17个省区的范围内有超过15亿亩的盐碱地, 主要分布在东北、华北、华东、西北四大区域^[3]。其中, 有超过三分之一的盐碱地具有一定的开发利用潜力, 如能有效开发利用这些土地将极大缓解我国耕地“人多粥少”的局面。因此, 盐碱地作为我国重要的后备耕地资源, 使其成为我们的“潜在粮仓”, 将是我们突破农业发展瓶颈的重要目标。

继2022年中央一号文件提出盐碱地综合利用规划和试验方案以来, 之后连续两年的中央一号文件都持续关注盐碱地问题。尤其是今年特别提出了“以种适地”同“以地适种”相结合的盐碱地治理改良新思路, “以种适地”是从“改种”入手来提升作物耐盐碱性。包含小麦、水稻等在内的大部分主要粮食作物都是对盐度、碱度高敏感的甜土植物, 在盐碱地里无法生长^[4,5]。因此, 需要利用育种手段提升现有作物耐盐碱

性, 来实现在盐碱地里种粮食和盐碱地高效利用。近年来, 随着分子设计育种的兴起, 通过解析作物耐盐碱的分子调控机制来挖掘相关耐盐碱主效基因^[6,7], 是加快培育耐盐碱作物新品种的有效途径之一^[2,8]。

在植物耐盐碱调控分子机制研究中发现, 活性氧(reactive oxygen species, ROS)是植物细胞有氧代谢的副产物^[9]。在盐碱胁迫条件下, 植物细胞内ROS会迅速积累, 从而破坏细胞的氧化还原稳态并造成细胞内的大分子物质及其他组分严重损伤, 最终影响植物生长发育^[10-12]。与此同时, 耐盐碱植物则可以通过水通道蛋白(aquaporin, AQP), 快速外排以清除胞内ROS来维持氧化还原稳态, 减轻对植物生长发育的影响^[13]。因此, 对耐盐碱作物如何维持细胞ROS稳态水平的探索, 是作物耐盐碱机制研究以及主效耐盐碱基因挖掘的重要方向之一。

中国科学院遗传与发育生物学研究所谢旗团队联合先正达集团中国在内的8家单位, 通过对高粱自然群体材料进行全基因组分析, 鉴定出一个与耐碱显著相关的主效基因*Alkaline Tolerance 1 (AT1)*, 并揭示了*AT1*在碱胁迫条件下调控水孔蛋白磷酸化水平来促进植物细胞中H₂O₂的外排从而赋予植物高耐盐碱性的机制。

经对比发现, *AT1*编码一个异源三聚体G蛋白γ亚基(Gγ)。在植物中, G蛋白是较保守的一类信号传导蛋白, 主要由α、β、γ三个不同亚基组成, 在植物逆境应答、生长及发育过程中发挥重要的调控作用^[14]。

在体内实验表明, *AT1*编码Gγ亚基可以与水通道蛋白

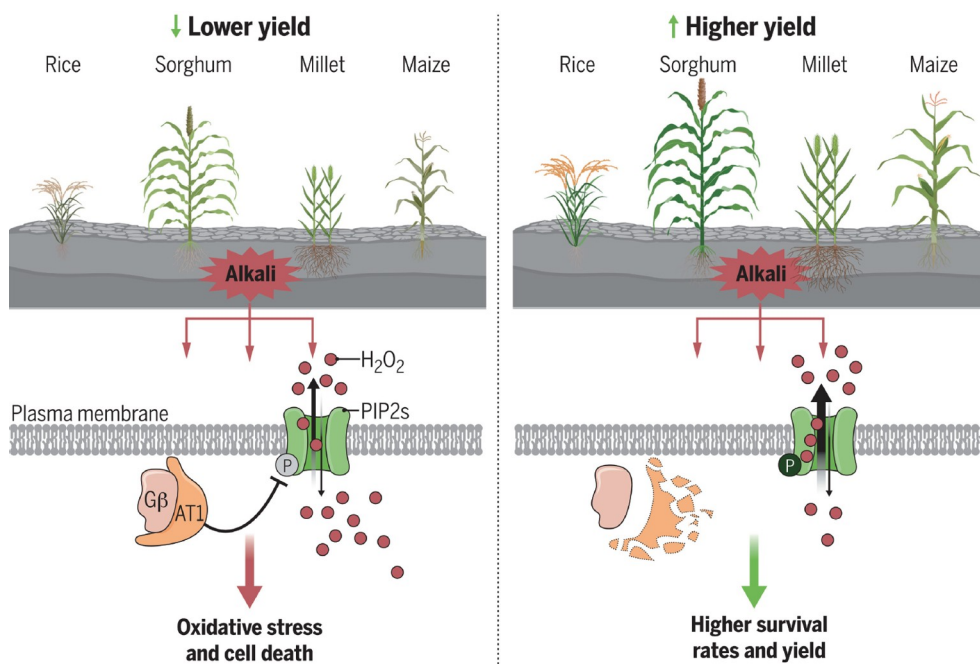


图1 *AT1* 编码G γ 蛋白介导植物对碱胁迫的响应机制

Figure 1 The response mechanism of crops to alkali stress mediated by the G γ subunit encoded by *AT1*

PIP2s相互作用, PIP2s利用自身磷酸化水平调控H₂O₂的外流,从而稳定细胞内的ROS含量. 在碱胁迫条件下, *AT1*编码的G γ 亚基通过与PIP2s互作抑制其磷酸化, 胞内ROS水平升高, 最终引起作物萎蔫乃至死亡. 与此同时, 该研究发现在谷子、水稻和玉米等单子叶植物中, *AT1*的同源基因发挥着类似的功能, 证明在单子叶作物中存在依赖于*AT1*来调控作物对碱胁迫的耐受性的保守途径(图1).

在大田试验中, 通过基因编辑技术改良的*AT1*高粱, 在宁夏平罗盐碱地, 其籽粒产量增加了20.1%, 全株生物量(青贮用)增加了30.5%. 此外, 将*AT1*基因应用于改良水稻、玉米等主要禾本科作物的耐盐碱性, 也取得了显著成效. 在吉林大安盐碱地, 水稻年增产达到22.4%~27.8%; 在宁夏平罗盐碱

地, 谷子增产19.5%.

该研究揭示了作物对盐碱环境的耐受机制, 不仅为改良传统作物品种、培育新的耐盐碱作物提供了坚实的科学基础, 也为我国盐碱地的开发利用提供了重要的科学依据^[15]. 随着该成果的不断推广和应用, 我们有望看到更多作物品种在盐碱地条件下茁壮生长, 这将有助于提高全球盐碱地区作物产量, 改善粮食供应状况, 为粮食安全和农业可持续发展做出更大的贡献.

相关研究成果“A G γ protein regulates alkaline sensitivity in crops”已发表在*Science*上^[16], 并入选央视“2023年度国内十大科技新闻”、国家自然科学基金委发布的“2023年度中国科学十大进展”和“两院”院士评选的“2023年中国十大科技进展新闻”.

推荐阅读文献

- Ouhibi C, Attia H, Rebah F, et al. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: Growth, antioxidant activity and phenolic compounds. *Plant Physiol Biochem*, 2014, 83: 126–133
- Kumar A, Singh S, Gaurav A K, et al. Plant growth-promoting bacteria: Biological tools for the mitigation of salinity stress in plants. *Front Microbiol*, 2020, 11: 1216
- Wei B X. Distribution and genesis analysis of saline alkali soil in China (in Chinese). *Technol Soil Water Conserv*, 2012, 6: 27–28 [魏博娴. 中国盐碱土的分布与成因分析. *水土保持应用技术*, 2012, 6: 27–28]
- Gong Z, Xiong L, Shi H, et al. Plant abiotic stress response and nutrient use efficiency. *Sci China Life Sci*, 2020, 63: 635–674
- Fang S, Hou X, Liang X. Response mechanisms of plants under saline-alkali stress. *Front Plant Sci*, 2021, 12: 667458
- Afzal M Z, Jia Q, Ibrahim A K, et al. Mechanisms and signaling pathways of salt tolerance in crops: Understanding from the transgenic plants.

- [Trop Plant Biol](#), 2020, 13: 297–320
- 7 Zhu J K. Abiotic stress signaling and responses in plants. [Cell](#), 2016, 167: 313–324
- 8 Cao Y, Song H, Zhang L. New insight into plant saline-alkali tolerance mechanisms and application to breeding. [Int J Mol Sci](#), 2022, 23: 16048
- 9 Mittler R. ROS are good. [Trends Plant Sci](#), 2017, 22: 11–19
- 10 Sun X, Sun M, Jia B, et al. A *Glycine soja* methionine sulfoxide reductase B5a interacts with the Ca^{2+} /CAM-binding kinase GsCBRLK and activates ROS signaling under carbonate alkaline stress. [Plant J](#), 2016, 86: 514–529
- 11 Zhang H, Liu X L, Zhang R X, et al. Root damage under alkaline stress is associated with reactive oxygen species accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). [Front Plant Sci](#), 2017, 8: 1580
- 12 An M, Wang X, Chang D, et al. Application of compound material alleviates saline and alkaline stress in cotton leaves through regulation of the transcriptome. [BMC Plant Biol](#), 2020, 20: 462
- 13 Tong H, Wang X, Dong Y, et al. A *Streptococcus* aquaporin acts as peroxiporin for efflux of cellular hydrogen peroxide and alleviation of oxidative stress. [J Biol Chem](#), 2019, 294: 4583–4595
- 14 Xu D, Gao S, Ma Y, et al. The G-protein β subunit AGB1 promotes hypocotyl elongation through inhibiting transcription activation function of BBX21 in *Arabidopsis*. [Mol Plant](#), 2017, 10: 1206–1223
- 15 Shi H, Song C P. Cereals fight alkalinity with $\text{G}\gamma$ -modulated H_2O_2 efflux. [Sci Bull](#), 2023, 68: 966–968
- 16 Zhang H, Yu F, Xie P, et al. A $\text{G}\gamma$ protein regulates alkaline sensitivity in crops. [Science](#), 2023, 379: eade8416