



孙羽,王麒,宋秋来,等.寒地水稻对盐碱胁迫的响应及耐盐碱生理机制研究进展[J].黑龙江农业科学,2022(8):57-61.

# 寒地水稻对盐碱胁迫的响应及耐盐碱生理机制研究进展

孙羽<sup>1,2</sup>,王麒<sup>1,2</sup>,宋秋来<sup>1,2</sup>,曾宪楠<sup>1,2</sup>,冯延江<sup>2,3</sup>,李柱刚<sup>1,2</sup>,刘凯<sup>2,4</sup>,来永才<sup>2,4</sup>

(1.黑龙江省农业科学院 耕作栽培研究所,黑龙江 哈尔滨 150023; 2.国家耐盐碱水稻技术创新中心东北中心,黑龙江 哈尔滨 150086; 3.黑龙江省农业科学院 水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154026; 4.黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**水稻是我国重要的粮食作物,也是盐碱地改良的首选粮食作物。为提高水稻耐盐碱能力,明确水稻耐盐碱机理,本文概述了寒地水稻对盐碱胁迫的响应,并总结了水稻耐盐碱的生理机制,包括在盐碱胁迫下水稻体内脯氨酸积累、可溶性糖含量、相对电导率、膜脂过氧化水平及叶绿素含量变化规律等。提出挖掘寒地耐盐碱水稻种质资源、应用常规育种技术和分子育种技术在寒地进行耐盐碱水稻育种。

**关键词:**寒地;水稻;耐盐碱;生理机制

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



水稻是重要的粮食作物,全世界有 50% 以上的人口以稻米为主食。黑龙江省作为全国粮食生产的“压舱石”,保障全国粮食安全具有重要作用。黑龙江省水稻 2015 年以来种植面积超过 378 万  $\text{hm}^2$ ,成为黑龙江省第二大粮食作物<sup>[1]</sup>。合理开发改造中低产田,对于增加水稻总产量、促进区域农业和农业发展具有重要意义。盐碱地是国家重要的后备耕地资源,我国内陆盐碱地面积近 1 亿  $\text{hm}^2$ ,滩涂面积 234 万  $\text{hm}^2$ <sup>[2]</sup>。在北纬 43° 以北,包括整个黑龙江省和吉林省图们市及桦甸以北地区,盐碱化土地面积达到 342 万  $\text{hm}^2$ ,也属于季节性冻土层地带,是寒地盐碱地稻作区。水稻是盐碱地改良的首选粮食作物,通常耐盐碱水稻是指可以在盐(碱)浓度 0.3% 以上的盐碱地生长、单产可达 300  $\text{kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$  以上<sup>[2]</sup>。苏打盐碱地开发栽培水稻对苏打盐碱地的综合开发利用以及北方水稻产量的增加做出了巨大贡献<sup>[3]</sup>。水稻的耐盐碱能力是制约盐碱地种稻的重要因素,水稻耐盐性与耐碱性均受多基因控制<sup>[4-5]</sup>,是生理生化的综合反映表现。提高水稻耐盐碱性是盐碱地

水稻实现安全生产的基础,水稻耐盐碱机理的深入研究是提高水稻耐盐碱能力的前提和重要保证。鉴于此,本文概述了寒地水稻对盐碱胁迫的响应,并总结了水稻耐盐碱的生理机制及耐盐碱水稻育种策略,以期为进一步提高水稻耐盐碱能力提供参考。

## 1 寒地水稻对盐碱胁迫的响应

土壤盐碱胁迫是一种复杂的环境胁迫,大多数植物在含盐量 0.3% 以上的土壤均会受到伤害,但是伤害程度各不相同。水稻属于中度盐碱敏感作物,盐碱地栽培对水稻种子萌发、幼苗生长等生长阶段都会产生不同程度的影响,最终影响其产量和品质。

### 1.1 寒地水稻种子萌发对盐碱胁迫的响应

种子萌发期是植物生长发育的起点和重要环节,与植物生长相比,种子萌发更容易受到盐碱的伤害。盐碱胁迫常常会抑制种子发芽,导致发芽不齐,发芽势和发芽率下降。冯钟慧等<sup>[6]</sup>在盐碱环境下,对吉林省 60 份粳稻种质资源进行了种子萌发试验,结果表明,种子萌发期的耐盐性和耐碱性呈显著正相关,但品种间存在明显差异。渗透胁迫可能是抑制种子萌发的关键<sup>[7]</sup>,吕丙盛<sup>[8]</sup>研究水稻对各胁迫因子的响应,结果表明种子萌发在渗透胁迫下抑制作用最显著,其次是盐胁迫和碱胁迫,这直接证明在盐碱胁迫下,水分是影响水稻种子萌发的决定性因素。

收稿日期:2022-05-28

基金项目:黑龙江省重点研发计划(GA21B002)。

第一作者:孙羽(1980—),女,博士,研究员,从事水稻栽培生理及黑土保护研究。E-mail:syfx19801979@163.com。

通信作者:来永才(1964—),男,博士,研究员,从事现代农作制度、耕作栽培及农业资源利用研究。E-mail:yame0451@163.com。

目前关于盐碱浓度胁迫对水稻种子萌发有三种效应,增效效应、负效效应和完全抑制效应。增效效应是指低浓度盐碱胁迫处理对种子萌发具有一定的促进作用<sup>[9]</sup>。赵海新等<sup>[10]</sup>研究表明,胚根对碱胁迫的反应最为敏感,发芽率变化则不是很明显。赵红等<sup>[11]</sup>研究表明,在碱性盐胁迫下,发芽率、发芽势、发芽指数等指标均显著降低,水稻种子发芽受到明显抑制。

## 1.2 寒地水稻幼苗生长对盐碱胁迫的响应

在盐碱环境下,寒地水稻幼苗生长发育受碱胁迫的危害程度远大于盐胁迫带来的危害。主要原因是由于碱胁迫的高 pH 会严重影响水稻幼苗根系<sup>[8]</sup>,从而使水稻幼苗总根数、根表面积、根体积、根数、总生物量等发生变化<sup>[12]</sup>。在苏打盐碱胁迫下,水稻的株高、根长以及地上和地下鲜重等指标随盐碱浓度升高呈下降趋势,相比于植株的地上部分,水稻的地下部分受胁迫程度更大<sup>[13]</sup>。寒地水稻幼苗的株高会受到盐碱浓度的影响,当 PEG6000(聚乙二醇,Macrogol)大于  $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,水稻幼苗生长开始受到抑制,而 NaCl 大于  $30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时或者当  $\text{Na}_2 \text{CO}_3$  的浓度达到  $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时幼苗的生长都会受到抑制<sup>[8]</sup>。

## 1.3 盐碱胁迫对寒地水稻产量的影响

盐碱胁迫使水稻分蘖、抽穗等生长过程受到影响,分蘖延迟,抽穗期延长<sup>[14]</sup>,进而导致寒地水稻产量降低。分析盐碱胁迫下寒地水稻产量降低的原因主要有两种观点:一是盐碱胁迫导致穗数、成穗率和千粒重降低,从而造成水稻减产<sup>[15-17]</sup>;另一观点认为水稻减产主要是由穗粒数和千粒重下降造成的<sup>[17]</sup>。吉林省水稻品种长白 9 号是一个耐盐碱水稻品种,可以在土壤  $\text{pH} < 8.5$  和含盐量 0.3% 的盐碱环境正常生长成熟,当土壤 pH 超过 8.5 会显著降低水稻产量,减产主要原因是二次枝梗数、二次枝梗上的颖花数、二次枝梗上的实粒数受到影响<sup>[18]</sup>。盐碱胁迫引发水稻分蘖受阻,使部分主茎和分蘖死亡,抽穗期也出现推迟<sup>[18]</sup>。李红宇等<sup>[19]</sup>对黑龙江省 21 个水稻材料进行混合盐碱胁迫研究发现,穗重降低是影响水稻产量下降的主要原因,造成穗重降低的原因主要是一次枝梗数、二次枝梗数及一次枝梗粒数、二次枝梗粒数的减少。朱明霞等<sup>[20]</sup>研究表明,分蘖期盐碱浓度增加导致水稻叶面积降低的原因可能是

叶面积减小导致光合速率降低,进而导致产量下降。苏打盐碱土的特点是可溶性盐含量高,pH 高,交换性  $\text{Na}^+$  含量高,盐碱胁迫如果达到较高程度将会影响水稻的幼穗分化、小穗的形成,显著降低穗重、减少穗粒数,导致产量下降。

盐碱胁迫影响寒地水稻种子萌发,抑制寒地水稻生长,降低植株株高、生物量等指标,影响水稻分蘖和抽穗等发育过程,降低产量。

## 2 寒地水稻耐盐碱的生理机制

### 2.1 盐碱胁迫下寒地水稻体内脯氨酸积累的变化

植物应对环境胁迫,脯氨酸是大家普遍认可的最重要的渗透调节物质。当植物受到外界胁迫时会通过渗透调节来应对胁迫,主要是积累脯氨酸、甜菜碱及单糖等渗透调节物质<sup>[21]</sup>。碱胁迫下脯氨酸迅速积累,脯氨酸含量的高低受胁迫程度影响,两者之间呈正相关,胁迫重脯氨酸含量高,反之则低<sup>[15]</sup>。脯氨酸积累是植物响应环境胁迫时的普遍生理现象。在盐胁迫和碱胁迫下,水稻幼苗均表现为脯氨酸积累增加。但是盐胁迫下的幼苗通过不同的分子代谢途径积累脯氨酸,而碱胁迫下的水稻幼苗通过脯氨酸合成基因表达来实现脯氨酸积累<sup>[8]</sup>,正常生长的水稻脯氨酸含量始终稳定。

### 2.2 盐碱胁迫下寒地水稻体内可溶性糖含量的变化

可溶性糖是改变渗透胁迫非常重要的小分子物质,是提升渗透性溶质的重要组成成分<sup>[22]</sup>。碳水化合物是脯氨酸积累的重要前提,碳水化合物提供脯氨酸合成必需的氢和还原能力,主要通过氧化磷酸化作用。水稻植株体内可溶性糖随盐碱胁迫的变化而变化,当盐碱胁迫增加可溶性糖会有增加的趋势。耐盐碱品种体内可溶性糖积累量高于不耐盐碱的品种<sup>[23]</sup>。

### 2.3 盐碱胁迫下寒地水稻体内相对电导率的变化

相对电导率可以反映渗透胁迫下细胞膜遭受伤的程度,是逆境胁迫下反映细胞膜生理活性的重要指标之一<sup>[24]</sup>。相对电导率越高,细胞质电解液的外渗会越多,细胞膜被破坏的程度越高,细胞受到的损伤越大。齐春艳等<sup>[23]</sup>研究表明,盐碱胁迫电导率发生变化,与野生型相比,耐盐碱品

种 ACR78 鲜叶、穗颈节、穗以及颈节鞘的相对电导率显著降低,说明盐碱胁迫下耐盐碱水稻品种受伤害程度小,质膜透性受到比较轻的伤害。

## 2.4 盐碱胁迫下寒地水稻体内膜脂过氧化水平的变化

植物受到逆境伤害时,膜脂氧化的产物是丙二醛(MDA)。MDA 含量是被用来判断细胞受胁迫程度大小的常用指标,可以使蛋白质与核酸发生变性,膜的透性增强,膜流动性降低,细胞功能下降,严重的情况会导致细胞死亡。MDA 的积累动态研究发现盐胁迫显著促进类脂过氧化物物质生成,盐胁迫导致老叶 MDA 的积累量更大,而幼叶部分的 MDA 含量出现在可见伤害症状之前。淡水中水稻叶内的 MDA 含量通常比较稳定,MDA 含量在不耐盐品种中表现为随盐胁迫处理时间的延长而持续升高<sup>[25]</sup>。这表明水稻叶片膜脂过氧化水平的高低和水稻耐盐碱性的强弱有着比较密切的关系。

## 2.5 盐碱胁迫下寒地水稻体内叶绿素含量的变化

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,植株的叶绿素含量和叶片的光合作用有着密切的相关性。叶绿素主要由叶绿素 a、叶绿素 b 等组成,叶绿素含量与净光合速率呈正相关。在一定范围内,随着叶绿素含量增加可以增强叶绿体对光能的吸收与转化,增强光合速率。在寒地水稻生长发育的各个时期,叶绿素(a+b)含量与净光合速率呈正相关,即在一定范围内,叶绿素含量越高,净光合速率越强。盐碱胁迫会降低寒地水稻叶绿素含量,同一盐碱胁迫处理,叶绿素含量在水稻生长发育前期值比较低,随着生育进程推进而逐渐增加,至抽穗期达到最大值,之后呈现逐渐下降的趋势,但是胁迫处理的叶绿素含量总是低于对照<sup>[26]</sup>。叶绿素 a 含量的变化范围总是大于叶绿素 b 含量的变化范围。

盐碱胁迫下寒地水稻渗透调节会发生改变,当盐碱胁迫逆境增强会引起水稻植株脯氨酸含量、可溶性糖含量、相对电导率、膜脂过氧化水平增加、叶绿素含量降低。

# 3 寒地耐盐碱水稻育种策略

## 3.1 挖掘寒地耐盐碱水稻种质资源

不同的水稻资源耐盐性和耐碱性存在很多的差异,耐盐碱种质资源鉴定筛选受水稻盐碱胁迫

时期、盐碱胁迫采用的药剂水平、耐盐碱的测定指标影响。挖掘耐盐碱性的水稻种质,对野生稻种质资源和寒地水稻品种进行筛选,以便于选育综合性状好、抗性且适宜大面积种植的耐盐碱水稻。单莉莉等<sup>[27]</sup>对适合黑龙江省第二、第三积温带种植的 46 份水稻材料进行筛选,分析返青期叶片数和最终穗长两个指标,结果表明,龙粳 21、04-582、485 等 10 份材料返青期抗盐碱胁迫而龙粳 22、龙粳 21、龙花 01-558 等 10 份材料穗部受害较小,综合分析龙粳 21 耐盐碱的能力最强。马波等<sup>[28]</sup>对中度盐碱地条件下 132 份黑龙江水稻资源进行筛选,以死叶率、盐碱危害指数以及农艺性状作为主要评价指标,结果发现绥粳 5 号和龙粳 21 对盐碱环境适应能力强,垦稻 14、龙粳 22、绥粳 01-5193 和龙花 99-771 的耐盐碱性也较好,均可用于耐盐碱粳稻资源的培育。迅速并且准确鉴定筛选耐盐碱性强、性状好、产量高的水稻种质资源关系着盐碱地资源的有效利用,因此关于耐盐碱的鉴定和评价方法十分重要,亟需在全国范围建立统一的标准化评价鉴定方法。

## 3.2 常规育种技术选育寒地耐盐碱水稻新品种

选育耐盐碱寒地水稻新品种并推广种植,对改良苏打盐碱地土壤、扩大寒地水稻种植面积、提高水稻总产、实现寒地盐碱地水稻生产具有重要意义。水稻耐盐碱育种目前仍以常规育种为主,通过鉴定筛选确定亲本,通过人工杂交或辅之回交等方法,经过多世代的盐碱胁迫鉴定筛选,选育出耐盐碱水稻品种。1939 年斯里兰卡选育出世界第一个强抗盐水稻品种 Pokkali<sup>[29]</sup>,20 世纪 50 年代我国开始进行水稻耐盐性研究,1994 年由吉林省农业科学院选育的长白 9 号在苏打盐碱地耐盐碱表现出色,在 pH8.5、土壤含盐量 0.3% 条件下,水稻秧苗可以正常生长发育,当 pH 达到 10 的情况下仍可以保持生长,为吉林省水稻生产做出了重要贡献<sup>[30]</sup>。常规育种方法以表型选择为基础进行耐盐碱水稻育种,周期长、效率低,很难满足水稻生产需求。因此,用苗期水稻的耐盐性来代表全生育期耐盐性有可能提高选择的效果<sup>[31]</sup>。采用杂交与复交育种手段从 F<sub>2</sub> 代进行芽期鉴定和盐碱土条件下筛选实现更高一级的耐性鉴定<sup>[32]</sup>。陈受宜等<sup>[33]</sup>通过 EMS 诱变和盐胁迫

获得耐盐愈伤组织和再生植株并对后代进行耐盐选择获得比原始亲本耐盐性明显提高的株系。

### 3.3 分子育种技术在寒地耐盐碱水稻育种中的应用

随着分子生物学的发展,分子育种方法对未来农业发展具有十分重要的意义。水稻耐盐性和耐碱性由多基因控制,遗传基础复杂,利用分子标记辅助选择作为常规育种技术的辅助技术,可以加快新品种的培育进程,缩短选育年限。目前大量研究对水稻的耐盐碱性相关性状进行定位,相关的定位结果并不相同,这主要是构建群体和选择的耐盐碱指标不同造成的<sup>[34-38]</sup>。耐盐碱分子育种过程,选择强耐盐水稻品种开展耐盐 QTL 定位,需要采用多年多次多点试验保证耐盐 QTL 的稳定性,以保证鉴定筛选出能够稳定表达、遗传效应较大的耐盐 QTL。水稻耐盐基因定位和克隆研究只有较少一部分针对水稻的不同发育阶段,大多数只关注其中一个生育时期。幼苗期和生殖生长期是水稻较敏感时期,围绕水稻不同生育时期尤其是敏感时期耐盐碱性分析,可以鉴定优异耐盐性基因用于新品种培育。应加强水稻耐盐敏感突变体、耐碱敏感突变体的鉴定,进行基因克隆,建立寒地水稻耐盐碱敏感突变体库。目前全基因组关联分析(Genome-wide Association Study, GWAS)技术多被用于解析植物的复杂性状,未来应采用 GWAS 技术加强对寒地水稻耐盐基因的挖掘工作。

## 4 结语

水稻是中度盐碱敏感作物,盐碱地种植水稻直接对种子萌发、幼苗生长等阶段产生影响,最终降低产量、改变品质。尽管很多学者对水稻耐盐碱开展了大量试验和研究,但是由于耐盐碱机制十分复杂,水稻的耐盐碱胁迫机制和机理还有很多问题需要深入研究。寒地水稻苏打盐碱土的耐盐碱生理机制和分子机制是未来研究的重点。

### 参考文献:

- [1] 马锐,王晓军,李华芝,等. 黑龙江省主要粮食作物种植面积与产量变化分析[J]. 黑龙江农业科学, 2020(8): 96-101.
- [2] 王才林,张亚东,赵凌,等. 耐盐碱水稻研究现状、问题与建议[J]. 中国稻米, 2019, 25(1): 1-6.
- [3] 王志春,李取生,李秀军,等. 松嫩平原盐碱化土地治理与农

业持续发展对策[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 166-168.

- [4] 赵春芳,张善磊,赵庆勇,等. 基于 CSSL 的水稻芽期耐盐性 QTL 定位[J]. 华北农学报, 2017, 32(5): 106-111.
- [5] 武琦,张萃雯,李双双,等. 水稻芽期耐盐性和耐碱性 QTL 分析[J]. 黑龙江农业科学, 2021(2): 6-12.
- [6] 冯钟慧,刘晓龙,姜昌杰,等. 吉林省梗稻种质萌发期耐碱性和耐盐性综合评价[J]. 土壤与作物, 2016, 5(2): 120-127.
- [7] SOSA L, LLANES A, REINOSO H, et al. Osmotic and specific ion effects on the germination of *Prosopis strombulifera* [J]. Annals of Botany, 2005, 96(2): 261-267.
- [8] 吕丙盛. 水稻(*Oryza sativa* L.) 应对盐碱胁迫的生理及分子机制研究[D]. 长春: 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 2014.
- [9] 李霞,曹昆,阎丽娜,等. 盐碱胁迫对不同水稻材料苗期生长特性的影响[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 254-256.
- [10] 赵海新,徐正进,黄晓群,等. 寒地水稻芽期耐碱鉴定指标分析与筛选[J]. 种子, 2011, 30(10): 1-7, 11.
- [11] 赵红,徐芬芬,熊安琪,等. 不同种类盐胁迫对水稻种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 分子植物育种, 2021, 19(17): 5842-5847.
- [12] 姚栋萍,吴俊,胡忠孝,等. 水稻耐盐碱的生理机制及育种策略[J]. 杂交水稻, 2019, 34(4): 1-7.
- [13] 祁栋灵,韩龙植,张三元. 水稻耐盐/碱性鉴定评价方法[J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 226-230.
- [14] 梁正伟,杨福,王志春,等. 盐碱胁迫对水稻主要生育性状的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 43-46.
- [15] 张瑞珍. 盐碱胁迫对水稻生理及产量的影响[D]. 长春: 吉林农业大学, 2003.
- [16] 孙彤,杜震宇,张瑞珍,等. 松嫩平原盐碱土盐碱胁迫对水稻分蘖及产量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(6): 597-605.
- [17] 步金宝. 盐碱胁迫下寒地梗稻产质量形成机理的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [18] 杨福,梁正伟,王志春. 苏打盐碱胁迫对水稻品种长白 9 号穗部性状及产量构成的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(S2): 59-61.
- [19] 李红宇,潘世驹,钱永德,等. 混合盐碱胁迫对寒地水稻产量和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2015, 46(12): 2100-2105.
- [20] 朱明霞,高显颖,邵玺文,等. 不同浓度盐碱胁迫对水稻生长发育及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(6): 12-16.
- [21] SERRANO R. Salt tolerance in plants and microorganisms: Toxicity targets and defense responses [J]. International Review of Cytology, 1996, 165: 1-52.
- [22] YOKOI S J, BRESSAN R, HASEGAWA P M. Salt stress tolerance of plants[R]. JIRCAS Working Report, 2002: 25-33.

[23] 齐春艳,梁正伟,杨福,等. 水稻耐盐碱突变体 ACR78 在苏打盐碱胁迫下的生理响应[J]. 华北农学报, 2009(1): 20-25.

[24] 李自超,张新春,张丽,等. 转 *mtl D* 基因早稻的耐盐性研究[J]. 中国农业大学学报, 2004(6): 38-43.

[25] 汪宗立,刘晓忠,王志霞. 水稻耐盐性的生理研究: I. 盐逆境下水稻品种间水分关系和渗透调节的差异[J]. 江苏农业学报, 1986(3): 1-11.

[26] 邵玺文,张瑞珍,童淑媛,等. 松嫩平原盐碱土对水稻叶绿素含量的影响[J]. 中国水稻科学, 2005(6): 570-572.

[27] 单莉莉,赵海新,张淑华,等. 寒地水稻耐盐碱材料的初步分类与筛选[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(24): 11461-11463.

[28] 马波,刘传增,胡继芳,等. 寒地粳稻耐盐碱种质资源筛选[J]. 黑龙江农业科学, 2011(1): 6-8.

[29] FERNANDO L H. The performance of salt resistant paddy, Pokkali in Ceylon[J]. Trop Agric, 1949, 105: 124-126.

[30] 宋广树,朱秀侠,孙蕾,等. 水稻品种长白 9 号的耐盐碱机理分析[J]. 东北农业科学, 2016, 41(2): 5-8.

[31] 祁祖白,李宝健,杨文广,等. 水稻耐盐性遗传初步研究[J]. 广东农业科学, 1991(1): 18-21.

[32] 郭望模,应存山,李金珠,等. 水稻耐盐品种在新垦海涂上的适应性评价[J]. 作物品种资源, 1993(2): 19-20.

[33] 陈受宜,朱立煌,洪建,等. 水稻抗盐突变体的分子生物学鉴定[J]. 植物学报(英文版), 1991(8): 569-573, 649.

[34] 龚继明,何平,钱前. 水稻耐盐性的 QTL 定位[J]. 科学通报, 1998, 43(17): 1847-1850.

[35] 顾兴友,梅曼彤,严小龙. 水稻耐盐性数量性状位点的初步检测[J]. 中国水稻科, 2000, 4(2): 65-70.

[36] 汪斌,兰涛,吴为人. 盐胁迫下水稻苗期  $\text{Na}^+$  含量的 QTL 定位[J]. 中国水稻科学, 2007, 21(6): 585-590.

[37] 林鸿宣,柳原城司,庄杰云. 应用分子标记检测水稻耐盐性的 QTL 定位[J]. 中国水稻科学, 1998, 12(2): 72-75.

[38] 王志欣. 东北粳稻耐盐碱性种质筛选及相关性状的 QTL 定位[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.

# Research Progress on Response of Rice to Saline-Alkali Stress and Physiological Mechanism of Saline-alkali Tolerance in Cold Region

SUN Yu<sup>1,2</sup>, WANG Qi<sup>1,2</sup>, SONG Qiu-lai<sup>1,2</sup>, ZENG Xian-nan<sup>1,2</sup>, FENG Yan-jiang<sup>2,3</sup>, LI Zhu-gang<sup>1,2</sup>, LIU Kai<sup>2,4</sup>, LAI Yong-cai<sup>2,4</sup>

(1. Institute of Crop Cultivation and Tillage, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150023, China; 2. Northeast Branch of National Center of Technology Innovation for Saline-Alkali Tolerant Rice, Harbin 150086, China; 3. Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Jiamusi 154026, China; 4. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** Rice is an important grain crop in our country, and it is also the first choice for improving saline-alkali soil. It is the premise and important guarantee to clarify the mechanism of rice saline-alkali tolerance for improving the ability of rice saline-alkali tolerance. This paper summarized the response of rice to saline-alkali soil. In order to improve the ability of saline-alkali tolerance of rice, it is the premise and important guarantee to clarify the mechanism of saline-alkali tolerance of rice. In this paper, the response of rice to saline-alkali stress in cold region was summarized, and the physiological mechanism of saline-alkali tolerance in rice was summarized, the changes of proline accumulation, soluble sugar content, relative conductivity membrane, membrane lipid peroxidation and chlorophyll content in rice under saline-alkali stress were studied. In this paper, we put forward to explore the germplasm resources of saline-alkali tolerant rice in cold region, and apply the conventional breeding techniques and molecular breeding techniques to the breeding of saline-alkali tolerant rice in cold region.

**Keywords:** cold region; rice; saline-alkali tolerance; physiological mechanism

欢迎订阅