



孟英,徐英哲,唐傲,等.松嫩平原水稻芽期耐盐碱鉴定与分级评估[J].黑龙江农业科学,2022(8):1-9.

# 松嫩平原水稻芽期耐盐碱鉴定与分级评估

孟英<sup>1,2,3,4</sup>,徐英哲<sup>1</sup>,唐傲<sup>1,2</sup>,刘猷红<sup>1,2</sup>,董文军<sup>1,2</sup>,王立志<sup>1,2</sup>,刘凯<sup>2,5</sup>,来永才<sup>2,5</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.国家耐盐碱水稻技术创新中心,海南 三亚 572020; 4.黑龙江省作物分子设计与种质创新重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150023; 5.黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**为了建立精准的水稻芽期耐盐碱评价体系,本研究采用  $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3$  摩尔比为 1:9:9:1 的盐碱混合液模拟松嫩平原盐碱地混合盐溶液,采用梯度试验筛选混合盐碱液胁迫浓度范围,确定水稻品种芽期耐盐碱鉴定的最佳浓度。并用确定浓度的盐碱混合液对 243 份水稻材料进行芽期耐盐碱鉴定。结果表明,盐碱混合液浓度  $125\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  是鉴定的最佳浓度。243 份水稻材料在该浓度下鉴定获得耐盐碱性极强的品种 72 份,耐盐碱性强的品种 77 份,耐盐碱性中等的品种 57 份,耐盐碱性弱的品种 27 份,耐盐碱性极弱的品种 10 份。

**关键词:**松嫩平原;水稻;芽期;耐盐碱;发芽率

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



目前,人们对食物、饲料以及纤维等物品的需求在逐年递增,而可供使用的土地面积越来越少<sup>[1-2]</sup>。因此,盐碱地作为我国重要的后备耕地战略资源,被越来越多的人所关注,对盐碱地的开发与利用是未来农业发展中最具潜力的方向之一。2022 年中央一号文件提出要求“分类改造盐碱地,推动由主要治理盐碱地适应作物向选育耐盐碱植物适应盐碱地转变”。我国盐碱土面积约为  $9.9\times 10^6\text{ hm}^2$ <sup>[3]</sup>,占世界盐碱土面积的十分之一,盐碱地面积位列世界第三<sup>[4]</sup>。我国盐碱地主要分布在东北、华北、西北以及滨海地区<sup>[3,5]</sup>。松嫩平原是我国重要的粮食产地,具有较大的粮食生产挖掘潜力,但盐碱地面积却在逐年增加,盐碱地类型是苏打型盐碱地。

盐碱胁迫是抑制农作物生长发育以及产量的主要非生物胁迫因素<sup>[6]</sup>。土壤盐化和碱化对植物

的生长、发育、繁殖以及分布等生理生态特征有一定影响,危害程度大小依次是盐碱胁迫、碱胁迫、盐胁迫<sup>[7]</sup>。碱胁迫不仅包括渗透胁迫和离子毒害,较高的 pH 还会造成土壤中营养元素的固化,导致植物体内营养失衡<sup>[8]</sup>。在盐/碱胁迫下水稻植株常表现出一系列盐/碱伤害症状,如叶片卷曲、失水干枯、无分蘖发生、植株死亡、产量下降等<sup>[9]</sup>。水稻品种间存在着明显的耐盐/碱性基因型差异,不同品种对盐/碱成分的敏感程度不同,同一品种在不同生长发育时期所表现的耐盐/碱性也有差异<sup>[10]</sup>。

种植水稻是松嫩平原盐碱土改良利用的最有效途径之一。水稻是一种中度盐敏感作物,在盐碱地种植会表现出一定的受害症状<sup>[11-12]</sup>。盐碱胁迫影响着水稻从萌发到收获的所有生长发育阶段<sup>[13-15]</sup>。孙兴荣等<sup>[16]</sup>研究表明盐碱胁迫寒地粳稻萌发期芽长、根长、芽干重、根干重等指标都会受到影响。方先文等<sup>[17]</sup>对水稻苗期受盐胁迫后的存活率、相对苗高、相对根长、相对苗质量和相对根质量指标都会受到抑制。许多研究表明,盐碱胁迫下,水稻生长的株高、分蘖、产量和稻米品质均有下降的趋势<sup>[13-18]</sup>。盐碱胁迫会导致水稻种子在土壤中的发芽延迟<sup>[19]</sup>,而种子发芽时期往往是对盐碱胁迫十分敏感的阶段,也是决定种子存活的关键生长阶段<sup>[20]</sup>。因此,盐胁迫下种子的发芽特性可以很好地反映种子的耐盐性<sup>[21]</sup>。

本试验通过模拟松嫩平原苏打盐碱土的组成

收稿日期:2022-05-10

**基金项目:**黑龙江省科技计划省院科技合作项目(YS20B12);国家自然科学基金(31701503);黑龙江省农业科学院“农业科技创新跨越工程”专项(HNK2019CX02, HNK2019CX12);黑龙江省省属科研院所科研业务费(CZKYF2021-2-C005, CZKYF2021-2-A002);海南省重大科技计划项目(ZDKJ 202001);黑龙江省省属科研院所科研业务费重点项目(CZKYF 2021-2-B019);黑龙江省农业科学院杰出青年基金项目(2021JCQN003)。

**第一作者:**孟英(1970—),女,博士,研究员,从事水稻耐盐碱研究。E-mail:18645146186@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。

成分,利用已知耐盐碱程度不同的水稻品种筛选混合盐碱液的最适浓度,采用最适浓度混合盐碱液对 243 份水稻品种进行耐盐碱性鉴定,旨在使筛选获得的耐盐碱品种更接近实际生产情况,增加品种筛选的实用性。

1 材料与amp;方法

1.1 材料

第一批试验材料为 3 个品种,分别为长白 9 号、龙粳 4 号和稻花香。

第二批试验材料为 5 个品种,分别为长白 9 号、龙粳 32、松粳 9 号、龙稻 4 号和稻花香。

第三和第四批试验材料为 12 个品种,分别为长白 9 号、龙粳 31、龙粳 21、吉粳 816、龙粳 32、龙稻 4 号、龙稻 18、松粳 22、松粳 9 号、绥粳 18、松粳 28 和稻花香。

第五批试验材料为 243 个品种,试验材料和编号详见表 1。

表 1 水稻芽期耐盐碱鉴定品种编号

序号	名称	序号	名称	序号	名称	序号	名称	序号	名称	序号	名称
D1	北粳 3 号	D42	松粳 7 号	D83	绥粳 11	D124	龙粳 32	D165	盛誉 1 号	D206	鸿稻 19
D2	超长粒香	D43	松粘 1 号	D84	绥 17	D125	龙粳 42	D166	天农 8 号	D207	绥粳 12
D3	星福 1 号	D44	绥粳 13	D85	富士光	D126	龙庆稻 6 号	D167	鸿丰稻 8 号	D208	松 845
D4	中科稻 32	D45	香粘王	D86	九稻 51	D127	牡丹江 28	D168	垦稻 16	D209	云浪香
D5	中科 613	D46	长白 13	D87	龙稻 8 号	D128	三江 6 号	D169	垦稻 19	D210	盐丰 47
D6	绿珠 2 号	D47	龙稻 24	D88	龙盾 104	D129	垦稻 17	D170	垦鉴稻 6 号	D211	延 304
D7	松粳 201	D48	龙粳 40	D89	龙粳 14	D130	垦稻 51	D171	垦糯 2 号	D212	通育 269
D8	北粳 2 号	D49	松粳 12	D90	龙庆稻 6 号	D131	芦苇稻	D172	新科 32	D213	通系 945
D9	松粳 34	D50	松粳 16	D91	牡丹江 32	D132	超北 2 号	D173	上育 397	D214	通系 933
D10	松香 1 号	D51	松粳 18	D92	莎莎妮	D133	东农 416	D174	吉粳 815	D215	通梗 294
D11	沃科收 1 号	D52	松粳 48	D93	松粳 10 号	D134	关东 58	D175	垦稻 11	D216	通禾 99
D12	兴国 1 号	D53	泰香王	D94	松粳 17	D135	合江 20	D176	龙粳 24	D217	通禾 887
D13	中科 804	D54	长香糯	D95	松粳 6 号	D136	金禾 1 号	D177	龙粳 25	D218	通禾 885
D14	绥稻 4 号	D55	中龙粳 15	D96	松粳 8 号	D137	垦稻 20	D178	龙粳 26	D219	通禾 838
D15	东富 125	D56	大林 1 号	D97	唯农 301	D138	垦稻 21	D179	龙粳 36	D220	通禾 833
D16	东农 425	D57	东农 419	D98	香稻	D139	垦稻 8 号	D180	龙粳 39	D221	通禾 816
D17	富稻 1 号	D58	吉粳 117	D99	早稻花香	D140	龙盾 107	D181	龙粳 43	D222	吉粳 88
D18	哈粳稻 9 号	D59	龙稻 28	D100	中龙粳 3 号	D141	龙粳 3407	D182	龙粳 46	D223	吉粳 809
D19	哈龙育 1 号	D60	通育 308	D101	北稻 16	D142	苗稻 2 号	D183	龙粳 47	D224	吉粳 528
D20	哈农育 1 号	D61	龙稻 7 号	D102	稻香梗 1 号	D143	牡粘 4 号	D184	龙粳 59	D225	吉粳 302
D21	龙香稻 2 号	D62	牡丹江 27	D103	龙稻 10 号	D144	盛禾 5 号	D185	龙粳 63	D226	沈稻 6 号
D22	松粳 2 号	D63	牡丹江 31	D104	龙稻 11	D145	绥粳 15	D186	龙粳 65	D227	吉粳 526
D23	吉育稻 7 号	D64	松粳 29	D105	龙稻 15	D146	绥粳 4 号	D187	育农梗 2 号	D228	吉粳 515
D24	松粘 7 号	D65	沃粘 1 号	D106	通科 27	D147	绥粳 9 号	D188	合江 15	D229	吉粳 511
D25	长白 15	D66	金禾 5 号	D107	龙稻 21	D148	中科稻 33	D189	合江 19	D230	鸿源 17
D26	稻花香	D67	吉源香 1 号	D108	牡丹江 29	D149	中龙粳 1 号	D190	合江 21	D231	沈农 9903
D27	东富 101	D68	中科发 5 号	D109	齐粳 10	D150	中龙粳 2 号	D191	垦稻 9 号	D232	沈农 9816
D28	东富 105	D69	五优稻 1 号	D110	绥粳 14	D151	龙粳 51	D192	龙稻 111	D233	沈农 265
D29	东富 117	D70	东农 415	D111	绥粳 27	D152	垦糯 1 号	D193	龙盾 106	D234	沈农 15256
D30	哈粳稻 2 号	D71	龙稻 22	D112	三江 2 号	D153	龙粳 30	D194	龙华 15	D235	沈农 9741
D31	哈粳稻 8 号	D72	松粳 19	D113	牡育稻 35	D154	铁粳 1 号	D195	龙粳 67	D236	沈稻 503
D32	垦稻 15	D73	松粳 57	D114	牡育稻 49	D155	龙庆稻 3 号	D196	龙粳 8 号	D237	沈稻 27
D33	龙稻 14	D74	松粳 60	D115	莲香稻	D156	龙洋 11	D197	普选 10 号	D238	辽梗 5 号
D34	龙稻 16	D75	松科梗 110	D116	龙稻 3 号	D157	绥粳 10 号	D198	双丰 31	D239	辽梗 401
D35	龙稻 9 号	D76	稻乐香	D117	牡响 1 号	D158	复合 2 号	D199	龙粳 66	D240	锦稻 109
D36	松粳 11	D77	方优 4 号	D118	绥粳 7 号	D159	垦稻 13	D200	苗稻 28	D241	盐梗 218
D37	松粳 1 号	D78	垦稻 10	D119	垦稻 12	D160	垦稻 18	D201	三江 1 号	D242	铁梗 11
D38	金禾 1 号	D79	龙粳 41	D120	垦稻 95	D161	龙粳 27	D202	龙粳 2 号	D243	松辽 5 号
D39	松粳 59	D80	龙庆稻 30	D121	龙粳 18	D162	龙粳 48	D203	龙粳 13		
D40	松梗 3 号	D81	松 12	D122	松粳 13	D163	龙粳香 1 号	D204	天盈 4 号		
D41	松梗 5 号	D82	中龙香梗 1 号	D123	哈粳稻 6 号	D164	龙庆稻 5 号	D205	建原 171		

1.2 方法

1.2.1 试验设计 2021 年在黑龙江省农业科学院耕作栽培实验室进行试验。在松嫩平原肇源基地取土测样,根据测定结果模拟松嫩平原盐碱土中离子浓度(表 2),配制盐碱混合液摩尔比  $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:9:9:1$ 。

表 2 松嫩平原肇源基地土样测定结果

离子	浓度
$\text{Na}^+ / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	1628.53
$\text{K}^+ / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	5.02
$\text{Ca}^{2+} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	7.94
$\text{Mg}^{2+} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	10.52
$\text{CO}_3^{2-} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	84.03
$\text{HCO}_3^- / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	778.65
$\text{Cl}^- / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	87.44
$\text{SO}_4^{2-} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	735.52
pH	9.15
$\text{EC} / (\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1})$	2.15

第一批试验的 3 个品种以盐碱混合液的浓度分别为 100,200 和 300  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  作为胁迫组,蒸馏水处理的材料作为对照组进行初筛。每份材料挑选 50 粒饱满的种子,置于垫有滤纸的口径为 9 cm 的培养皿中,每个处理 4 次重复。用 3% 的次氯酸钠溶液消毒 20~30 min,然后用自来水冲洗 3 次。放入 30 ℃ 培养箱中进行发芽试验,每 24 h 更换 1 次处理液。

第二批试验根据初筛结果,进行缩小浓度范围试验,试验品种选择 5 个。盐碱混合液的浓度设置为 50,100 和 150  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

第三批试验根据第二批初筛的结果,进一步精确筛选浓度,确定筛选浓度的普遍性和代表性,试验品种选择 12 个。盐碱混合液的浓度设置为 110,120,130 和 140  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

第四批和第五批试验根据第三批试验的结果,盐碱混合液浓度设置为 125  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

表 4 100,200 和 300  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  盐碱混合液对水稻发芽率和盐碱害率的影响

品种	发芽率%				相对盐碱害率/%		
	CK	100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	300 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	100 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$	300 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$
长白 9 号	98	92	0	0	6.12	1.00	1.00
龙稻 4 号	86	60	0	0	30.23	1.00	1.00
稻花香	88	42	0	0	52.27	1.00	1.00

1.2.2 测定项目及方法 发芽率的计算:水稻种子发芽 10 d 后从培养箱中取出,计算发芽率。

水稻种子发芽标准参考 GB 5520—85:幼根达种子长,幼芽至少达粒长的二分之一。具体发芽率计算公式如下:

水稻种子发芽率(%)=
$$\frac{\text{发芽种子数}}{\text{全部种子数}} \times 100$$

相对盐碱害率测定和品种芽期耐盐碱鉴定:相对盐碱害率和水稻品种芽期耐盐碱级别分类,参考 DB23/T 3222—2022。盐碱害率计算公式如下,具体芽期耐盐碱分级标准详见表 3。

相对盐碱害率(%)=
$$\frac{\text{对照种子发芽率}-\text{试验处理种子发芽率}}{\text{对照种子发芽率}} \times 100$$

表 3 水稻芽期耐盐碱分级标准

级别	相对盐碱害率/%	耐盐碱性
1	0.0~20.0	极强
3	20.0~40.0	强
5	40.0~60.0	中
7	60.0~80.0	弱
9	80.0~100.0	极弱

1.2.3 数据分析 采用 Excel 2019 对数据进行整理分析。

2 结果与分析

2.1 水稻芽期盐碱胁迫浓度的初筛

2.1.1 100~300  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  混合盐碱液对水稻发芽率和相对盐碱害率的影响 由表 4 可以看出,与 CK 相比在 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的胁迫条件下,3 个品种发芽率均受到不同程度的抑制,品种的耐盐碱性不同受到的抑制程度也不同。长白 9 号相对盐碱害率只有 6.12%,龙稻 4 号相对盐碱害率是 30.23%,稻花香相对盐碱害率是 52.27%。在 200 和 300  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,受抑制程度过重,使得 3 个品种发芽率均为 0,说明在混合盐碱溶液 200  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  及以上浓度,水稻种子无法发芽。应选用 100  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  左右混合溶液进行试验。

2.1.2 50~150 mmol·L<sup>-1</sup> 盐碱混合液对水稻发芽率和相对盐碱害率的影响 由表 5 可以看出,在 50 mmol·L<sup>-1</sup> 时,5 个品种的发 芽率均较高,与 CK 相比相对盐碱害率均在 10% 以下,说明混合液浓度在 50 mmol·L<sup>-1</sup> 及以下,处理的抑制浓度过小,无法全面评估水稻品种芽期的耐盐碱性。150 mmol·L<sup>-1</sup> 时,所有品种发芽情况受到严重抑制,也不利于对水稻种子进行分级。在混合液浓度 50~100 mmol·L<sup>-1</sup> 时,5 个品种的发 芽率和相对盐碱害率均表现出下降趋势,相对盐碱害率为 0%~52%,水稻种子发芽情况受抑制分布范围较小,不利于对水稻种子进行分级。在混合液浓度 100~150 mmol·L<sup>-1</sup> 时,5 个品种的相对盐碱害率为

6.1%~97%,所以,确定浓度 100~150 mmol·L<sup>-1</sup> 之间,可以继续 进行芽期鉴定最适浓度的筛选。  
2.1.3 110~140 mmol·L<sup>-1</sup> 盐碱混合液对水稻发芽率和相对盐碱害率的影响 由表 6 可以看出,4 个浓度盐碱胁迫处理发芽率均较 CK 表现下降,下降程度随着浓度的加大而逐渐加重。各品种在 110~140 mmol·L<sup>-1</sup> 盐碱混合液胁迫处理下相对盐碱害率依次为 7.30%~74.40%、12.00%~83.70%、30.00%~85.40% 和 40.00%~87.90%;由此说明混合液浓度为 120~130 mmol·L<sup>-1</sup> 时,相对碱害率分布均匀,适宜对水稻种子芽期耐盐碱性进行筛选,可以在这个范围继续进一步确定筛选最佳浓度。

表 5 50,100 和 150 mmol·L<sup>-1</sup> 盐碱混合液对水稻发芽率和相对盐碱害率的影响

品种	发芽率/%				相对盐碱害率/%		
	CK	50 mmol·L <sup>-1</sup>	100 mmol·L <sup>-1</sup>	150 mmol·L <sup>-1</sup>	50 mmol·L <sup>-1</sup>	100 mmol·L <sup>-1</sup>	150 mmol·L <sup>-1</sup>
长白 9 号	98	98	92	34	0	6.10	65.00
松粳 9 号	96	88	70	26	8.30	27.00	72.00
龙粳 32	100	98	86	8	2.00	14.00	92.00
龙稻 4 号	86	86	60	10	0	30.00	88.00
稻花香	88	88	42	2	0	52.00	97.00

表 6 110,120,130 和 140 mmol·L<sup>-1</sup> 盐碱混合液对水稻发芽率和相对盐碱害率的影响

品种	发芽率/%					相对盐碱害率/%			
	CK	110 mmol·L <sup>-1</sup>	120 mmol·L <sup>-1</sup>	130 mmol·L <sup>-1</sup>	140 mmol·L <sup>-1</sup>	110 mmol·L <sup>-1</sup>	120 mmol·L <sup>-1</sup>	130 mmol·L <sup>-1</sup>	140 mmol·L <sup>-1</sup>
长白 9 号	100	84	76	58	36	16.00	24.00	42.00	64.00
稻花香	94	24	20	14	2	74.40	83.70	85.10	87.90
龙粳 31	100	88	88	70	60	12.00	12.00	30.00	40.00
龙粳 21	92	52	60	26	16	43.50	34.80	71.70	82.60
吉粳 816	96	52	30	14	12	45.80	68.80	85.40	87.50
龙粳 32	98	80	42	46	12	18.30	57.10	53.10	67.80
龙稻 4 号	96	88	72	46	56	8.30	25.00	52.10	41.70
龙稻 18	96	89	82	56	40	7.30	14.60	41.70	58.30
松粳 22	94	60	50	36	16	36.10	46.80	61.70	83.00
松粳 9 号	80	44	40	16	14	45.00	50.00	80.00	82.50
绥粳 18	90	86	78	52	28	11.40	13.30	42.20	68.90
松粳 28	98	72	58	30	28	26.50	40.80	69.30	71.40

2.1.4 水稻芽期盐碱胁迫浓度 125 mmol·L<sup>-1</sup> 时的耐盐碱性 由表 7 可以看出,龙粳 31 芽期相对盐碱害率为 18%,耐盐碱性为极强,耐盐碱级别为 1 级。绥粳 18、长白 9 号、龙稻 18 和松粳 22 耐盐碱性强,耐盐碱级别为 3 级。龙稻 4 号、龙粳

21、龙粳 32 和松粳 28 耐盐碱性中等,耐盐碱级别为 5 级;松粳 9 号和吉粳 816 耐盐碱性弱,耐盐碱级别为 7 级;稻花香是试验品种中耐盐碱性极弱的,相对盐碱害率达到 84%,耐盐碱级别为 9 级。试验结果表明盐碱混合液摩尔比 NaCl:Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:9:9:1$ 浓度为  $125\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,水稻品种相对盐碱害率、耐盐碱性和级别分布较为均匀,可以作为鉴定水稻芽期耐盐碱性和分级评估的最适浓度。

2.2 水稻品种芽期耐盐性鉴定和等级评估

收集生产中常用的水稻品种资源 243 份,应用盐碱混合液摩尔比  $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:9:9:1$ ,浓度  $125\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  进行水稻品种芽期耐盐碱性和耐盐碱级别评估鉴定(表 8),获得耐盐碱性极强的品种 72 份,耐盐碱性强的品种 77 份,耐盐碱性中的品种 57 份,耐盐碱性弱的品种 27 份,耐盐碱性极弱的品种 10 份。

表 7  $125\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  盐碱混合液胁迫下水稻品种耐盐碱性和评估分级

序号	品种	相对盐碱害率/%	芽期耐盐碱性	芽期耐盐碱级别
1	龙粳 31	18	极强	1
2	绥粳 18	27	强	3
3	长白 9 号	32	强	3
4	龙稻 18	34	强	3
5	松粳 22	38	强	3
6	龙稻 4 号	42	中	5
7	龙粳 21	44	中	5
8	龙粳 32	55	中	5
9	松粳 28	59	中	5
10	松粳 9 号	66	弱	7
11	吉粳 816	69	弱	7
12	稻花香	84	极弱	9

表 8 水稻品种耐盐碱性和评估分级

品种编号	品种名称	相对盐碱害率/%	耐盐碱性	耐盐碱级别	品种编号	品种名称	相对盐碱害率/%	耐盐碱性	耐盐碱级别
D1	北粳 3 号	0.218	强	3	D123	哈粳稻 6 号	0.122	极强	1
D2	超长粒香	0.944	极弱	9	D124	龙粳 32	0.322	强	3
D3	星福 1 号	0.667	弱	7	D125	龙粳 42	0.759	弱	7
D4	中科稻 32	0.690	弱	7	D126	龙庆稻 6 号	0.267	强	3
D5	中科 613	0.782	弱	7	D127	牡丹江 28	0.478	中	5
D6	绿珠 2 号	0.967	极弱	9	D128	三江 6 号	0.402	中	5
D7	松粳 201	0.414	中	5	D129	垦稻 17	0.494	中	5
D8	北粳 2 号	0.500	中	5	D130	垦稻 51	0.333	强	3
D9	松粳 34	0.506	中	5	D131	芦苇稻	0.333	强	3
D10	松香 1 号	0.583	中	5	D132	超北 2 号	0.111	极强	1
D11	沃科收 1 号	0.689	弱	7	D133	东农 416	0.067	极强	1
D12	兴国 1 号	0.517	中	5	D134	关东 58	0.211	强	3
D13	中科 804	0.456	中	5	D135	合江 20	0.244	强	3
D14	绥稻 4 号	0.598	中	5	D136	金禾 1 号	0.256	强	3
D15	东富 125	0.218	强	3	D137	垦稻 20	0.512	中	5
D16	东农 425	0.529	中	5	D138	垦稻 21	0.067	极强	1
D17	富稻 1 号	0.133	极强	1	D139	垦稻 8 号	0.089	极强	1
D18	哈粳稻 9 号	0.444	中	5	D140	龙盾 107	0.379	强	3
D19	哈龙育 1 号	0.844	极弱	9	D141	龙粳 3407	0.078	极强	1
D20	哈农育 1 号	0.920	极弱	9	D142	苗稻 2 号	0.211	强	3
D21	龙香稻 2 号	0.589	中	5	D143	牡粘 4 号	0.357	强	3
D22	松粳 2 号	0.172	极强	1	D144	盛禾 5 号	0.060	极强	1
D23	吉育稻 7 号	0.067	极强	1	D145	绥粳 15	0.700	弱	7
D24	松粘 7 号	0.100	极强	1	D146	绥粳 4 号	0.238	强	3
D25	长白 15	0.299	强	3	D147	绥粳 9 号	0.540	中	5
D26	稻花香	0.529	中	5	D148	中科稻 33	0.789	弱	7
D27	东富 101	0.621	弱	7	D149	中龙粳 1 号	0.344	强	3
D28	东富 105	0.778	弱	7	D150	中龙粳 2 号	0.567	中	5

表 8(续)

品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别	品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别
D29	东富 117	0.633	弱	7	D151	龙粳 51	0.389	强	3
D30	哈粳稻 2 号	0.678	弱	7	D152	垦糯 1 号	0.310	强	3
D31	哈粳稻 8 号	0.511	中	5	D153	龙粳 30	0.701	弱	7
D32	垦稻 15	0.767	弱	7	D154	铁粳 1 号	0.011	极强	1
D33	龙稻 14	0.133	极强	1	D155	龙庆稻 3 号	0.138	极强	1
D34	龙稻 16	0.724	弱	7	D156	龙洋 11	0.233	强	3
D35	龙稻 9 号	0.513	中	5	D157	绥粳 10 号	0.133	极强	1
D36	松粳 11	0.122	极强	1	D158	复合 2 号	0.115	极强	1
D37	松粳 1 号	0.022	极强	1	D159	垦稻 13 号	0.540	中	5
D38	金禾 1 号	0.333	强	3	D160	垦稻 18 号	0.522	中	5
D39	松粳 59	0.033	极强	1	D161	龙粳 27	0.161	极强	1
D40	松粳 3 号	0.389	强	3	D162	龙粳 48	0.222	强	3
D41	松粳 5 号	0.122	极强	1	D163	龙粳香 1 号	0.400	强	3
D42	松粳 7 号	0.046	极强	1	D164	龙庆稻 5 号	0.000	极强	1
D43	松粘 1 号	0.822	极弱	9	D165	盛誉 1 号	0.111	极强	1
D44	绥粳 13	0.133	极强	1	D166	天农 8 号	0.126	极强	1
D45	香粘王	0.207	强	3	D167	鸿丰稻 8 号	0.078	极强	1
D46	长白 13	0.544	中	5	D168	垦稻 16	0.115	极强	1
D47	龙稻 24	0.489	中	5	D169	垦稻 19	0.356	强	3
D48	龙粳 40	0.278	强	3	D170	垦鉴稻 6 号	0.000	极强	1
D49	松粳 12	0.211	强	3	D171	垦糯 2 号	0.299	强	3
D50	松粳 16	0.567	中	5	D172	新科 32	0.111	极强	1
D51	松粳 18	0.156	极强	1	D173	上育 397	0.345	强	3
D52	松粳 48	0.414	中	5	D174	吉粳 815	0.778	弱	7
D53	泰香王	0.900	极弱	9	D175	垦稻 11	0.069	极强	1
D54	长香糯	0.195	极强	1	D176	龙粳 24	0.092	极强	1
D55	中龙粳 15	0.689	弱	7	D177	龙粳 25	0.833	极弱	9
D56	大林 1 号	0.200	极强	1	D178	龙粳 26	0.089	极强	1
D57	东农 419	0.444	中	5	D179	龙粳 36	0.289	强	3
D58	吉粳 117	0.478	中	5	D180	龙粳 39	0.144	极强	1
D59	龙稻 28	0.911	极弱	9	D181	龙粳 43	0.143	极强	1
D60	通育 308	0.244	强	3	D182	龙粳 46	0.344	强	3
D61	龙稻 7 号	0.522	中	5	D183	龙粳 47	0.400	强	3
D62	牡丹江 27	0.195	极强	1	D184	龙粳 59	0.471	中	5
D63	牡丹江 31	0.133	极强	1	D185	龙粳 63	0.012	极强	1
D64	松粳 29	0.400	强	3	D186	龙粳 65	0.517	中	5
D65	沃粘 1 号	0.533	中	5	D187	育农粳 2 号	0.046	极强	1
D66	金禾 5 号	0.517	中	5	D188	合江 15	0.033	极强	1
D67	吉源香 1 号	0.567	中	5	D189	合江 19	0.034	极强	1
D68	中科发 5 号	0.478	中	5	D190	合江 21	0.044	极强	1
D69	五优稻 1 号	0.344	强	3	D191	垦稻 9 号	0.056	极强	1
D70	东农 415	0.264	强	3	D192	龙稻 111	0.244	强	3
D71	龙稻 22	0.744	弱	7	D193	龙盾 106	0.133	极强	1

表 8(续)

品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别	品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别
D72	松粳 19	0.022	极强	1	D194	龙华 15	0.278	强	3
D73	松粳 57	0.024	极强	1	D195	龙粳 67	0.046	极强	1
D74	松粳 60	0.483	中	5	D196	龙粳 8 号	0.172	极强	1
D75	松科粳 110	0.511	中	5	D197	普选 10 号	0.056	极强	1
D76	稻乐香	0.267	强	3	D198	双丰 31 号	0.278	强	3
D77	方优 4 号	0.278	强	3	D199	龙粳 66	0.494	中	5
D78	垦稻 10 号	0.756	弱	7	D200	苗稻 28	0.267	强	3
D79	龙粳 41	0.411	中	5	D201	三江 1 号	0.083	极强	1
D80	龙庆稻 30	0.299	强	3	D202	龙粳 2 号	0.300	强	3
D81	松 12	0.111	极强	1	D203	龙粳 13	0.078	极强	1
D82	中龙香粳 1 号	0.131	极强	1	D204	天盈 4 号	0.432	中	5
D83	绥粳 11	0.244	强	3	D205	建原 171	0.333	强	3
D84	绥 17	0.552	中	5	D206	鸿稻 19	0.172	极强	1
D85	富士光	0.578	中	5	D207	绥粳 12	0.089	极强	1
D86	九稻 51	0.233	强	3	D208	松 845	0.000	极强	1
D87	龙稻 8 号	0.311	强	3	D209	云浪香	0.444	中	5
D88	龙盾 104	0.222	强	3	D210	盐丰 47	0.425	中	5
D89	龙粳 14	0.800	弱	7	D211	延 304	0.437	中	5
D90	龙庆稻 6 号	0.489	中	5	D212	通育 269	0.210	强	3
D91	牡丹江 32	0.022	极强	1	D213	通系 945	0.333	强	3
D92	莎莎妮	0.522	中	5	D214	通系 933	0.322	强	3
D93	松粳 10 号	0.611	弱	7	D215	通粳 294	0.322	强	3
D94	松粳 17	0.278	强	3	D216	通禾 99	0.444	中	5
D95	松粳 6 号	0.299	强	3	D217	通禾 887	0.207	强	3
D96	松粳 8 号	0.344	强	3	D218	通禾 885	0.178	极强	1
D97	唯农 301	0.133	极强	1	D219	通禾 838	0.267	强	3
D98	香稻	0.078	极强	1	D220	通禾 833	0.200	极强	1
D99	早稻花香	0.024	极强	1	D221	通禾 816	0.500	中	5
D100	中龙粳 3 号	0.851	极弱	9	D222	吉粳 88	0.367	强	3
D101	北稻 16	0.267	强	3	D223	吉粳 809	0.494	中	5
D102	稻香粳 1 号	0.289	强	3	D224	吉粳 528	0.489	中	5
D103	龙稻 10 号	0.578	中	5	D225	吉粳 302	0.400	强	3
D104	龙稻 11	0.233	强	3	D226	沈稻 6 号	0.056	极强	1
D105	龙稻 15	0.611	弱	7	D227	吉粳 526	0.611	弱	7
D106	通科 27	0.556	中	5	D228	吉粳 515	0.389	强	3
D107	龙稻 21	0.700	弱	7	D229	吉粳 511	0.233	强	3
D108	牡丹江 29	0.078	极强	1	D230	鸿源 17	0.444	中	5
D109	齐粳 10 号	0.189	极强	1	D231	沈农 9903	0.444	中	5
D110	绥粳 14	0.478	中	5	D232	沈农 9816	0.322	强	3
D111	绥粳 27	0.230	强	3	D233	沈农 265	0.200	强	3
D112	三江 2 号	0.478	中	5	D234	沈农 15256	0.111	极强	1
D113	牡育稻 35	0.222	强	3	D235	沈农 9741	0.211	强	3
D114	牡育稻 49	0.456	中	5	D236	沈稻 503	0.278	强	3

表 8(续)

品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别	品种 编号	品种 名称	相对盐碱 害率/%	耐盐 碱性	耐盐碱 级别
D115	莲香稻	0.262	强	3	D237	沈稻 27	0.711	弱	7
D116	龙稻 3 号	0.633	弱	7	D238	辽梗 5 号	0.611	弱	7
D117	牡响 1 号	0.241	强	3	D239	辽梗 401	0.022	极强	1
D118	绥梗 7 号	0.778	弱	7	D240	锦稻 109	0.122	极强	1
D119	垦稻 12	0.840	极弱	9	D241	盐梗 218	0.381	强	3
D120	垦稻 95	0.322	强	3	D242	铁梗 11	0.300	强	3
D121	龙梗 18	0.111	极强	1	D243	松辽 5 号	0.200	强	3
D122	松梗 13	0.322	强	3					

3 讨论

水稻种子萌发受多种因素影响,盐碱胁迫是重要影响因素之一<sup>[22]</sup>。相关研究表明,当可溶性盐浓度超过 3 g·kg<sup>-1</sup>时,水稻种子发芽情况就会受到抑制<sup>[23]</sup>。水稻种子在发芽期受到盐碱胁迫,会导致种子发芽指数和发芽势降低、发芽率下降<sup>[24]</sup>。祁栋灵等<sup>[25]</sup>发现在碱胁迫下不同水稻品种发芽率及其相对碱害率有较大差异。

水稻发芽期耐盐碱鉴定与评价,因胁迫溶液组成与浓度不同,得到的评价指标会有所差异<sup>[18]</sup>。孙兴荣等<sup>[16]</sup>研究松嫩平原水稻发芽期的盐碱胁迫,采用 NaCO<sub>3</sub> 和 NaHCO<sub>3</sub> 混合液质量比为 1:3 对 70 份北方粳稻材料进行鉴定,获得 14 份耐盐碱性极强的品种。金梦野等<sup>[18]</sup>将两种中性盐(NaCl、Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>) 和两种碱性盐 (NaHCO<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>) 按照不同比例 NaCl:Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>:NaHCO<sub>3</sub>:Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> 分别为 1:1:0:0,1:2:1:0,1:9:1:0,1:1:1:1,9:1:1:9 混合,试验结果表明,与单施中性盐比较,中性盐与碱性盐混合胁迫作用对水稻种子萌发的抑制作用更明显,且在中性盐与碱性盐混合溶液浓度达 200 mmol·L<sup>-1</sup> 时,种子发芽率接近 0。本研究根据松嫩平原盐碱土壤样品的 8 大离子测定结果,高度模拟其盐碱组成成分,采用盐碱混合液摩尔比 NaCl:Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>:NaHCO<sub>3</sub>:Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>=1:9:9:1 浓度 125 mmol·L<sup>-1</sup> 进行发芽试验。进一步证明盐碱胁迫抑制水稻种子发芽,受抑制程度随着盐碱浓度和盐碱种类的增加而增大,不同水稻品种发芽对盐碱胁迫的耐受性存在较大的差异。试验获得耐盐碱性不同的水稻品种,此鉴定结果可以为生产应用提供理论支撑。

4 结论

本研究采用模拟松嫩平原盐碱土壤条件,通过逐步优化法筛选出最适于鉴定水稻芽期耐盐碱性鉴定的浓度。盐碱混合液摩尔比 NaCl:Na<sub>2</sub> SO<sub>4</sub>:NaHCO<sub>3</sub>:Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub>=1:9:9:1 浓度 125 mmol·L<sup>-1</sup> 是进行水稻品种芽期耐盐碱性和耐盐碱级别评估鉴定的最适浓度。对北方粳稻 243 份材料进行鉴定,获得耐盐碱性极强的品种 72 份,耐盐碱性强的品种 77 份,耐盐碱性中等的品种 57 份,耐盐碱性弱的品种 27 份,耐盐碱性极弱的品种 10 份。

参考文献:

[1] QADIR M,QUILLÉROU E,NANGIA V,et al. Economics of salt-induced land degradation and restoration[J]. Natural Resources Forum,2014,4(38):282-295.

[2] HUANG Z,YU L,ZENG C,et al. Soil water storage deficit of alfalfa (*Medicago sativa*) grasslands along ages in arid area(China)[J]. Field Crops Research,2018,221:1-6.

[3] 朱建峰,崔振荣,吴春红,等. 我国盐碱地绿化研究进展与展望[J]. 世界林业研究,2018,31(4):70-75.

[4] FLOWERS T J. Improving crop salt tolerance[J]. Journal of Experimental Botany,2004,55(396):307-319.

[5] LIU L,WANG B. Protection of halophytes and their uses for cultivation of saline-alkali soil in China[J]. Biology, 2021,10(5):353.

[6] 孙现军,姜奇彦,胡正,等. 水稻资源全生育期耐盐性鉴定筛选[J]. 作物学报,2019,45(11):1656-1663.

[7] GONG B,WANG X F,WEI M,et al. Overexpression of S-adenosylmethionine synthetase 1 enhances tomato callus tolerance to alkali stress through polyamine and hydrogen peroxide cross-linked networks[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture,2016,124(2):377-391.

[8] ZHU J K. Abiotic stress signaling and responses in plants [J]. Cell,2016,167(2):313-324.

[9] XU Y L,YU S W. Energy consumption in plant adapting to salinity adverse habitat[J]. Acta Phytophysiological Sinica,



- 1990,26(6):54-55.
- [10] 郭望模,傅亚萍,孙宗修,等. 盐胁迫下不同水稻种质形态指标与耐盐性的相关分析[J]. 植物资源遗传学报,2003,4(3):245-251.
- [11] CHEN D,LI Y,FANG T,et al. Specific roles of tocopherols and tocotrienols in seed longevity and germination tolerance to abiotic stress in transgenic rice [J]. Plant Science,2016,244:31-39.
- [12] 李红梅,金素荣. 盐碱对水稻生产的危害及防治措施[J]. 垦殖与稻作,2003(5):35-36.
- [13] HAKIM M A,JURAIMI A S,BEGUM M,et al. Effect of salt stress on germination and early seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) [J]. African Journal Biotechnology,2010,9(13):1911-1918.
- [14] KHAN M A,ABDULLAH Z J E,BOTANY E. Salinity-sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oryza sativa*) under dense soil conditions[J]. Environmental and Experimental Botany,2003,49(2):145-157.
- [15] SHABBIR G,NAZIR H,BHATTI M K,et al. Salt tolerance potential of some selected fine rice cultivars[J]. Journal of Biological Sciences,2001,1(12):47-63.
- [16] 孙兴荣,卞景阳,刘琳帅,等. 碱胁迫对寒地粳稻芽期生长的影响及评价[J]. 黑龙江农业科学,2021(8):16-22.
- [17] 方先文,张所兵,张云辉,等. 水稻高代创新品系苗期耐盐性鉴定[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):130-132.
- [18] 金梦野,李小花,李昉泽,等. 盐碱复合胁迫对水稻种子发芽的影响[J]. 中国生态农业学报,2020,28(4):566-574.
- [19] LIN J X,LI Z L,WANG Y N,et al. Effects of various mixed salt-alkaline stress conditions on seed germination and early seedling growth of *Leymus chinensis* from Songnen grassland of China[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,2014,42(1):154-159.
- [20] LIU H L,ZHANG D Y,YANG X J,et al. Seed dispersal and germination traits of 70 plant species inhabiting the Gurbantunggut Desert in Northwest China[J]. The Scientific World Journal,2014,2014:346-405.
- [21] 郝雪峰,高惠仙,燕平梅,等. 盐胁迫对大豆种子萌发及生理的影响[J]. 湖北农业科学,2013,52(6):1263-1266.
- [22] AL-KHATEEB S A. Effect of salinity and temperature on germination,growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk [J]. Bioresource Technology,2006,97(2):292-298.
- [23] 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(4):1-7.
- [24] UPADHYAY R K,PANDA S K. Salt tolerance of two aquatic macrophytes,*Pistia stratiotes* and *Salvinia molesta* [J]. Biologia Plantarum,2005,49(1):157-159.
- [25] 祁栋灵,张三元,曹桂兰,等. 水稻发芽期和幼苗前期耐碱性的鉴定方法研究[J]. 植物遗传资源学报,2006,7(1):74-80.

## Identification and Grading Evaluation of Saline-Alkali Tolerance of Rice at Gernination Stage in Songnen Plain

MENG Ying<sup>1,2,3,4</sup>, XU Ying-zhe<sup>1</sup>, TANG Ao<sup>1,2</sup>, LIU You-hong<sup>1,2</sup>, DONG Wen-jun<sup>1,2</sup>, WANG Li-zhi<sup>1,2</sup>, LIU Kai<sup>2,5</sup>, LAI Yong-cai<sup>2,5</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. National Center of Technology Innovation for Saline-Alkali Tolerant Rice, Sanya 572020, China; 4. Heilongjiang Provincial Key Laboratory of Crop Molecular Design and Germplasm Innovation, Harbin 150023, China; 5. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** In order to establish a precise evaluation system for saline-alkali tolerance of rice at germination stage, the molar ratio of  $\text{NaCl}:\text{Na}_2\text{SO}_4:\text{NaHCO}_3:\text{Na}_2\text{CO}_3=1:9:9:1$  was used to simulate the mixed salt solution in the saline alkali land of Songnen Plain. And used the gradient test to screen the stress concentration range of the mixed salt and alkali solution, so as to determine the best concentration for the identification of saline-alkali tolerance of rice at the germination stage. 243 rice materials were identified for saline-alkali tolerance at germination stage with a certain concentration of salt and alkali mixture. The results showed that the optimum concentration was  $125\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  of salt alkali mixture. Under this concentration, 72 varieties with extremely strong saline-alkali tolerance and 77 varieties with strong saline-alkali tolerance were obtained from 243 varieties; There were 57 varieties with medium saline-alkali tolerance, 27 varieties with weak saline-alkali tolerance and 10 varieties with extremely weak saline-alkali tolerance.

**Keywords:** Songnen Plain; rice; germination stage; saline-alkali tolerance; germination rate