

# 人工海水胁迫下小麦种质资源的耐盐性筛选与鉴定

吴纪中<sup>1</sup>, 刘妍妍<sup>2</sup>, 王冲<sup>2</sup>, 沈振国<sup>2</sup>, 蔡士宾<sup>1</sup>, 张巧凤<sup>1</sup>, 夏妍<sup>2</sup>, 王桂萍<sup>2</sup>, 陈亚华<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>江苏省农业科学院粮食作物研究所/江苏省农业种质资源保护与利用平台, 南京 210014; <sup>2</sup>南京农业大学生命科学学院, 南京 210095)

**摘要:** 利用人工配制海水筛选耐盐性较好的小麦品种, 为沿海滩涂地区的小麦耐盐育种提供重要信息。本研究利用人工海水处理的方法, 对 363 份小麦种质资源进行了芽期耐盐性初步鉴定, 筛选出芽期耐盐性为 1 级的小麦种质 28 份。进一步对芽期耐盐性较好的 48 份小麦种质进行了苗期耐盐性鉴定, 并对其耐盐指标进行隶属值模糊评价分析, 从中鉴定出了 2 个苗期耐盐性较强的小麦种质, 分别为淮麦 31 和红壳洋麦。依据来源的不同, 发现小麦种质资源的芽期耐盐性大小依次为地方品种 > 育成品种 > 国外引进品种。小麦芽期与苗期的耐盐性相关分析表明, 二者相关性极低 ( $r = -0.0051$ )。

**关键词:** 小麦; 耐盐; 筛选; 鉴定; 人工海水

## Screening and Identification of Wheat Germplasm for Salt Tolerance Using Artificial Sea Water

WU Ji-zhong<sup>1</sup>, LIU Yan-yan<sup>2</sup>, WANG Chong<sup>2</sup>, SHEN Zhen-guo<sup>2</sup>, CAI Shi-bin<sup>1</sup>,  
ZHANG Qiao-feng<sup>1</sup>, XIA Yan<sup>2</sup>, WANG Gui-ping<sup>2</sup>, CHEN Ya-hua<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/The Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Nanjing 210014; <sup>2</sup>College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

**Abstract:** Salinity is a major limitation to crop production in coastal region. Breeding for salinity tolerance could be an effective way of improving yield and yield stability on saline-alkaline soils. However, these require a good understanding of the inheritance of this trait and occupy massive amounts of elite genetics resources tolerant to salt-stress. To provide elite germplasm for new varieties tolerant to salinity in wheat breeding, 363 accessions were evaluated for salt tolerance at the germination stage using artificial sea water. Among accessions tested, 28 wheat cultivars with salt tolerance grade 1 were identified. To obtain further salt-tolerant accession at the seedling stage, 48 wheat accessions were selected from the salt tolerance resources (grade 1 or grade 2) at the germination stage to evaluate salt-tolerant at the seedling stage. Two wheat accessions with high salt-tolerant were screened by using the methods of fuzzy membership function. They were Huaimai 31 and Hongkeyangmai, respectively. Based on the original of the wheat germplasm, the capacity of salinity tolerance was different: local varieties > improved varieties > introduced varieties. Correlation analysis of wheat salt tolerance at the germination stage and the seedling stage showed that there was no consistent correlation ( $r = -0.0051$ ).

**Key words:** wheat; salt tolerance; screening; identification; artificial sea water

土壤盐渍化是世界上影响作物产量的主要非生物胁迫因子之一, 据报道全世界共有盐渍化土地面积约占 4 亿多  $\text{hm}^2$ , 仅我国就有 7000 多万  $\text{hm}^2$  (不包括次生盐渍化土壤面积)<sup>[1]</sup>, 分布在西北、华北及沿

收稿日期: 2013-12-10 修回日期: 2013-12-29 网络出版日期: 2014-08-07

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20140807.1021.009.html>

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAD01B02-12); 科技基础性工作专项(2007FY110500-06); 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(12)2024)

第一作者研究方向为小麦品种资源。E-mail: wujz@jaas.ac.cn; 刘妍妍为共同第一作者

通信作者: 陈亚华, 研究方向为植物逆境生理。E-mail: yahuachen@njau.edu.cn

海等粮食主产区,对于农业生产构成了严重威胁<sup>[2]</sup>。植物遭受盐害时表现黄萎、叶片变小、生长受到抑制,盐害较严重时会造成农作物大面积减产,甚至颗粒无收<sup>[3]</sup>。相对于传统的工程技术改良,利用盐渍化培育与利用优良耐盐品种,是从根本上解决盐渍化土壤问题的最有效手段之一<sup>[4]</sup>。

目前国内外对植物耐盐的研究有很多,但多数是以单盐(如 NaCl<sup>[5-9]</sup>)或双盐(如 NaCl 和 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub><sup>[10-11]</sup>)模拟盐胁迫,直接海水处理的研究很少。我国海岸线漫长,滩涂面积 217.04 万 hm<sup>2</sup>,雨热同季,光照充足,有丰富的地下水源,具有较大的生产潜力,滩涂土地资源的开发利用对促进沿海经济的发展和稳定有极其重大的意义<sup>[12]</sup>。而盐渍土壤对植物生长的影响是以复盐的形式,单盐研究往往与实际之间有一定的距离<sup>[13]</sup>。针对这些问题,探索海水对植物生长影响的机制将更好地为沿海滩涂农作物生长提供理论依据。

小麦(*Triticum aestivum* L.)是我国的重要粮食作物,小麦生产和国民经济的发展息息相关。因而,国内外在小麦耐盐性鉴定方法、耐盐种质的筛选和耐盐性遗传机制等方面已开展了较为深入的研究<sup>[14-17]</sup>,其中有关耐盐小麦种质的筛选鉴定报道较多,鉴定指标也多集中在发芽率、苗期生长情况<sup>[14-18]</sup>和胚芽鞘生长情况<sup>[19]</sup>等,但这些研究多局限于单盐 NaCl 胁迫的条件下进行的,而有关利用海水胁迫研究小麦耐盐性以及筛选能够耐滨海盐土胁迫的小麦种质资源方面的研究报道很少。因此,发掘出适合沿海滩涂种植的小麦种质资源,进而培育出耐盐的小麦新品种就具有十分重要的意义。本研究利用人工海水处理的方法对来源不同的 363 份小麦种质资源进行芽期与苗期耐盐性鉴定,以期发掘出适合沿海滩涂实际生产的强耐盐小麦种质,为耐盐小麦的遗传育种与生产利用提供重要的物质基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

选用江苏省农业科学院粮食作物研究所收集的 363 份小麦种质材料,其中 175 份为地方品种,96 份为国内育成品种,92 份为国外引进品种。

### 1.2 小麦芽期耐盐性鉴定方法

**1.2.1 小麦发芽率的筛选鉴定** 根据表 1 中人工海水配方配置人工海水,按照体积稀释为 65%。用 65% 人工海水处理小麦种子(经过对 16 个品种的发芽率鉴定试验,确定 65% 海水处理时品种间

发芽率差异最为显著)。在培养皿中放两层滤纸,分别加入去离子水(对照)和 65% 人工海水 8 mL,每个处理 50 粒种子,3 个重复。置于光照培养箱中发芽(25℃ 恒温,光照 16 h)。每天及时补充盐溶液,7 d 后调查对照与处理的发芽率,并计算盐害率。

表 1 人工海水配方

Table 1 Artificial seawater formula

| 名称       | 分子式                | 浓度(g/L)       |
|----------|--------------------|---------------|
| Compound | Molecular formula  | Concentration |
| 氯化钠      | NaCl               | 26.726        |
| 氯化镁      | MgCl <sub>2</sub>  | 2.26          |
| 硫酸镁      | MgSO <sub>4</sub>  | 3.248         |
| 氯化钙      | CaCl <sub>2</sub>  | 1.153         |
| 碳酸氢钠     | NaHCO <sub>3</sub> | 0.198         |
| 氯化钾      | KCl                | 0.721         |

**1.2.2 盐胁迫处理对芽长的影响** 根据表 1 中人工海水配方配置人工海水,按照体积稀释为 40%。用 40% 人工海水处理小麦种子(经过对 16 个品种的发芽率鉴定试验,确定 40% 海水处理时品种间相对芽长差异最为显著),在培养皿中放两层滤纸,分别加入去离子水(对照)和 40% 人工海水 8 mL,置于光照培养箱中发芽(25℃ 恒温,光照 16 h)。每个处理 50 粒种子,3 个重复。每天及时补充盐溶液,于 5d 后测量各组芽长,统计各品种相对芽长并计算盐害率。

$$\text{相对芽长}(\%) = \text{处理芽长} / \text{对照芽长} \times 100$$

**1.2.3 小麦芽期耐盐性综合鉴定方法** 利用模糊综合评价法对小麦芽期的 2 个耐盐性指标发芽率和芽长进行分析,以对参试材料的耐盐性进行综合评价。

$$\text{其计算公式为: } X_i = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

$$\text{芽期盐害指数} = (65\% \text{ 海水发芽率盐害率隶属值} + 40\% \text{ 海水相对芽长盐害率隶属值}) / 2$$

式中: $X_i$ 表示某品种中*i*指标的耐盐隶属函数值, $X$ 为此品种*i*指标的测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 分别表示所有品种中该指标的最大和最小测定值。先求出芽期 2 个耐盐指标盐害率的隶属值,把每一指标的隶属值累加求平均值后,可得出芽期盐害指数,并根据小麦芽期耐盐性分级标准(表 2)对各小麦品种进行分级,盐害指数值越小则表明其耐盐性越强,耐盐等级评价也越高。

表 2 小麦耐盐性分级标准

Table 2 Grade standard of salt tolerance

| 级别    | 耐盐性            | 盐害指数(%)         |
|-------|----------------|-----------------|
| Grade | Salt tolerance | Salt harm index |
| 1     | 高耐             | 0 ~ 20.00       |
| 2     | 耐盐             | 20.01 ~ 40.00   |
| 3     | 中耐             | 40.01 ~ 60.00   |
| 4     | 敏感             | 60.01 ~ 80.00   |
| 5     | 高感             | 80.01 ~ 100.00  |

1.3 小麦苗期耐盐性鉴定方法

选出经芽期鉴定耐盐性评价较好的小麦品种,种子消毒处理后置于培养皿中用去离子水在 25℃光照培养箱中萌动发芽,4 d 后挑选生长一致的幼苗置于悬浮在周转箱(容量约 3 L)上的打孔聚苯乙烯板上,以 1/2 Hoagland 营养液在 21℃光照培养箱中培养,生长至 2 叶 1 心时测量植株初始株高和根长,其中处理组于营养液中加入相当于 40% 海水的盐,在处理的 14 d 后测量对照组与处理组株高、根长、地上部干重和地下部干重,计算株高增长量和根长增长量,并计算出 4 个性状的相对值及盐害率。相对性状值 = 盐胁迫处理下性状值/对照条件下性状值。同时利用模糊综合评价法对小麦苗期的 4 个耐盐指标的盐害率进行分析,以对参试材料的苗期耐盐性进行综合评价,方法同芽期。

1.4 数据处理

利用 SPSS(Ver. 17)进行统计分析,计算各个性状的均值、标准差和隶属函数综合值,并进行方差分析。

表 4 芽期表现高耐盐的品种(系)

Table 4 Varieties with high salt-tolerance at germination stage

| 种质名称           | 来源     | 芽期盐害指数(%)       | 种质名称            | 来源     | 芽期盐害指数(%)       |
|----------------|--------|-----------------|-----------------|--------|-----------------|
| Varieties name | Origin | Salt harm index | Varieties name  | Origin | Salt harm index |
| 油麦(细粒麦)        | 广东海丰   | 2.63            | 淮麦 31           | 江苏     | 15.41           |
| 苏科麦 1 号        | 江苏     | 4.70            | 红小麦             | 江苏无锡   | 15.61           |
| Kennedy        | 澳大利亚   | 8.83            | Drysdale        | 澳大利亚   | 15.90           |
| Westonia       | 澳大利亚   | 10.80           | 铨刀方             | 江苏无锡   | 16.77           |
| 红麦             | 江苏无锡   | 11.82           | 烟辐 188          | 山东     | 17.18           |
| 长箕白壳           | 江苏吴江   | 13.06           | 白光头             | 江苏溧阳   | 17.57           |
| 徐麦 31          | 江苏     | 13.13           | SYN 604         | 澳大利亚   | 17.81           |
| Gladius        | 澳大利亚   | 13.23           | 紫秆子             | 江苏江都   | 17.89           |
| 火烧百日麦          | 江苏吴江   | 13.49           | Rees            | 澳大利亚   | 17.93           |
| 南京洋麦           | 江苏无锡   | 13.71           | 半截芒             | 江苏丰县   | 18.30           |
| 红壳茧子头          | 上海金山   | 14.08           | 马鞭麦             | 江苏常熟   | 19.38           |
| 中式本小麦          | 江苏金坛   | 14.84           | 淮安 15 - 19 - 13 | 江苏宜兴   | 19.39           |
| Espada         | 澳大利亚   | 15.00           | 洋小麦             | 江苏高淳   | 19.59           |
| 红壳洋麦           | 江苏常熟   | 15.28           | Sunstate        | 澳大利亚   | 19.85           |

2 结果与分析

2.1 小麦芽期耐盐性鉴定

对 363 份小麦种质芽期耐盐性鉴定发现,在 65% 人工海水胁迫下参试材料间的发芽率差异明显,其平均值为 53.05% (± 26.71%),变幅介于 0 ~ 98.06% 之间;40% 人工海水胁迫下相对芽长也有类似的趋势,其平均值为 26.80% (± 9.94%),变幅为 2.67% ~ 47.94%。两个耐盐指标的隶属值平均值均接近 50%,适合用于小麦芽期耐盐性的综合评价。

在 363 份参试材料中共筛选出了 28 份高耐盐小麦种质,约占参试材料的 7.71% (表 3)。在 28 份

表 3 小麦品种芽期耐盐鉴定

Table 3 Wheat varieties identified with sea water tolerance at the germination stage

| 耐盐等级     | 芽期品种数                          | 百分比(%)     |
|----------|--------------------------------|------------|
| Grade    | Varieties at germination stage | Percentage |
| 1        | 28                             | 7.71       |
| 2        | 128                            | 35.26      |
| 3        | 122                            | 33.61      |
| 4        | 49                             | 13.50      |
| 5        | 36                             | 9.92       |
| 合计 Total | 363                            | 100        |

高耐盐材料中,其中国内品种 20 份,地方品种 16 份,改良品种(系)4 份,国外引进品种 8 份;在上述 20 份来源于国内材料中,有 17 份来自江苏,另外 3 份分别来自上海、广东和山东(表 4)。由此可见,这

些品种(系)均来源于沿海省份。另外,还鉴定出芽期盐害指数介于 20.01%~40% 的耐盐种质 128 份,盐害指数介于 40.01~60% 的中度耐盐种质 122 份,盐害指数介于 60.01%~80% 的盐害敏感种质 49 份,以及盐害指数介于 80.01%~100% 的高度敏感种质 36 份。在总计 363 份参试材料中,本研究筛选出了较多的高耐盐或耐盐种质,这可能与试验材料主要来源于江苏、上海等沿海省(市)的地方品种以及国外引进品种多为抗旱耐逆品种有关。

对来源不同的参试材料的平均盐害指数进行分析发现,不同来源的小麦种质在人工海水胁迫下萌发特性所受的抑制程度明显不同。其中,地方品种的综合耐盐性最好,其芽期盐害指数平均值最低,为 38.36%,明显低于育成品种的 50.69% 和国外引进品种的 56.77%。由此可见,依据参试材料的来源进行划分,可以发现小麦芽期耐盐性的大小依次为地方品种>育成品种>国外引进品种(表 5)。

表 5 不同来源小麦品种芽期盐害指数鉴定结果分析  
Table 5 Relative salt injury rate of different type of wheat germplasm at germinating stage (%)

| 来源     | 平均值     | 标准差   | 变异幅度            | 变异系数  |
|--------|---------|-------|-----------------|-------|
| Origin | Average | SD    | Variation range | CV    |
| 地方品种   | 38.36   | 17.65 | 2.63~95.31      | 46.00 |
| 育成品种   | 50.69   | 18.68 | 4.70~96.06      | 36.84 |
| 国外引进品种 | 56.77   | 23.90 | 8.83~100.00     | 42.10 |

## 2.2 小麦苗期耐盐性鉴定

根据参试材料芽期耐盐性鉴定的结果,选择 48 份芽期耐盐性表现较好的材料(其中芽期 1 级高耐 24 份,2 级耐盐 20 份)进行了苗期耐盐性鉴定。在 40% 人工海水胁迫下,48 份参试材料的株高增长量、根长增长量、地上部干重和地下部干重 4 个指标的相对值均差异明显( $P<0.01$ );4 个指标的综合盐害隶属平均值也呈现极显著差异( $P<0.01$ )。

依据苗期盐害指数对 48 份参试材料的耐盐性等级进行了划分,发现耐盐种质 2 份,中度耐盐种质 18 份,盐害敏感种质 25 份,盐害高度敏感种质 3 份,而缺乏高度耐盐的种质(表 6)。对小麦芽期和苗期的耐盐指数进行分析,得到其相关系数为  $r=-0.0051$ ,说明小麦芽期和苗期的耐盐相关性较小。进一步比较分析参试材料芽期与苗期耐盐性的鉴定结果,发现两份小麦种质红壳洋麦和淮麦 31 在芽期、苗期均表现出较为突出的耐盐性,即表现出芽期高耐盐和苗期耐盐的特征。其中红壳洋麦为地方

品种、淮麦 31 为育成品种,二者均来源于江苏省。

## 3 讨论

### 3.1 耐盐鉴定指标的确定与分析

农作物不同生育阶段的耐盐性鉴定评价可采用自然田间鉴定、温室盆栽和水培鉴定、发芽期耐盐鉴定等方法<sup>[20]</sup>。自然田间鉴定能够容纳大量种质资源,但在田间盐碱地上筛选耐盐品种面临着土壤物理化学特性的空间差异以及季节性问题。温室盆栽和水培鉴定可用于作物全生育期的耐盐性鉴定,但鉴定材料的数量有限,周期较长。发芽期耐盐性鉴定可在较短时间内对大量品种进行鉴定,具有可操作性强、周期短、效率高的特点,可用于大批量小麦品种耐盐性初步评价,有助于小麦耐盐品种的选育。

根据小麦每份材料在正常条件和人工海水胁迫条件下的生长情况,计算相对盐害率并分级作为衡量一个品种芽期耐盐性高低的标准,可以排除环境的影响,较为客观地评价小麦耐盐性。利用模糊综合评价法可以使各评价指标均处于 0~1 的区间内,使指标之间的权重达到平衡,便于确定参试材料的等级。本方法利用模糊综合评价法对小麦芽期的 2 个指标和苗期的 4 个指标进行分析,以对参试材料的耐盐性进行综合评价。

### 3.2 小麦芽期与苗期耐盐性的筛选与分析

盐胁迫对小麦发芽率、芽长和根长均有一定的抑制作用,在不同浓度海水处理后均表现出显著性差异。但由于根具有负向光性<sup>[21-22]</sup>,在光照培养箱中的不同部位根长变化较大,无法有效地反映盐胁迫对根长的抑制作用,而盐处理后的发芽率以及相对芽长则可以较好地反映小麦芽期的耐盐性。本研究利用模糊综合评价法对参试材料的 2 个芽期耐盐性指标进行统计分析与评价,兼顾了盐害胁迫时小麦种子的萌发能力和萌发后芽的伸长能力,克服了以往芽期耐盐性研究中指标单一的缺点。共鉴定出芽期耐盐性为 1 级的品种有 28 个,除 Drysdale、Rees 等 8 份引自澳大利亚的抗旱耐盐小麦品种外,其余均为我国沿海省份的小麦地方品种和育成品种。这些品种都是经过长期的自然或人为选择,可以较好地适应当地环境,具有良好的遗传背景和较高的耐盐性,可为我国耐盐小麦新品种的培育提供丰富的材料基础。对芽期耐盐性表现较好的 48 个小麦品种进行了苗期鉴定,筛选出芽期和苗期均表现较好的小麦品种 2 个,分别为淮麦 31 和红壳洋麦。其中,红壳洋麦为源于江苏常熟的小麦地方品种,淮麦



表 6 48 个小麦品种苗期鉴定结果

Table 6 48 wheat varieties identified with sea water tolerance at the seedling stage

| 品种名称<br>Varieties | 来源<br>Origin | 相对株高<br>增长量(%)<br>Relative shoot<br>growth | 相对根长<br>增长量(%)<br>Relative root<br>growth | 相对地上<br>部干重(%)<br>Relative dry<br>weight of<br>overground part | 相对地下<br>部干重(%)<br>Relative dry<br>weight of<br>underground<br>part | 苗期盐<br>害指数(%)<br>Salt harm<br>index at<br>seedling stage | 苗期耐盐等级<br>Grade at<br>seedling stage | 芽期盐<br>害指数(%)<br>Salt harm index<br>at germination<br>stage | 芽期耐盐<br>等级<br>Grade at<br>germination<br>stage |
|-------------------|--------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 淮麦 31             | 江苏           | 34.43                                      | 52.35                                     | 44.31                                                          | 57.83                                                              | 32.14                                                    | 2                                    | 15.41                                                       | 1                                              |
| 徐麦 31             | 江苏           | 19.19                                      | 18.66                                     | 44.68                                                          | 56.75                                                              | 60.91                                                    | 4                                    | 13.13                                                       | 1                                              |
| 苏科麦 1 号           | 江苏           | 30.91                                      | 45.26                                     | 39.01                                                          | 50.34                                                              | 46.70                                                    | 3                                    | 4.70                                                        | 1                                              |
| 烟辐 188            | 山东           | 19.83                                      | 14.68                                     | 52.97                                                          | 62.61                                                              | 52.07                                                    | 3                                    | 17.18                                                       | 1                                              |
| Drysdale          | 澳大利亚         | 19.92                                      | 5.54                                      | 42.43                                                          | 50.52                                                              | 71.86                                                    | 4                                    | 15.90                                                       | 1                                              |
| Kennedy           | 澳大利亚         | 23.32                                      | 13.33                                     | 41.66                                                          | 53.85                                                              | 64.57                                                    | 4                                    | 8.83                                                        | 1                                              |
| Uruguay           | 澳大利亚         | 30.26                                      | 7.88                                      | 41.00                                                          | 56.51                                                              | 61.46                                                    | 4                                    | 21.93                                                       | 2                                              |
| Gladius           | 澳大利亚         | 17.21                                      | 32.17                                     | 46.40                                                          | 51.33                                                              | 56.40                                                    | 3                                    | 13.23                                                       | 1                                              |
| Westonia          | 澳大利亚         | 23.79                                      | 38.68                                     | 34.38                                                          | 29.75                                                              | 68.97                                                    | 4                                    | 10.80                                                       | 1                                              |
| Sunstate          | 澳大利亚         | 27.56                                      | 41.63                                     | 31.85                                                          | 32.46                                                              | 65.76                                                    | 4                                    | 19.85                                                       | 1                                              |
| 冀紫 439            | 河北选育         | 17.55                                      | 35.65                                     | 31.90                                                          | 28.60                                                              | 78.10                                                    | 4                                    | 21.15                                                       | 2                                              |
| 火烧百日麦             | 江苏吴江         | 26.93                                      | 43.40                                     | 34.23                                                          | 35.17                                                              | 61.92                                                    | 4                                    | 13.49                                                       | 1                                              |
| 绿面麦               | 江苏吴江         | 27.42                                      | 22.16                                     | 34.29                                                          | 34.99                                                              | 72.30                                                    | 4                                    | 25.70                                                       | 2                                              |
| 白茧子               | 江苏吴江         | 29.79                                      | 55.05                                     | 40.19                                                          | 47.55                                                              | 42.75                                                    | 3                                    | 24.89                                                       | 2                                              |
| 光头麦               | 江苏吴江         | 25.43                                      | 40.00                                     | 37.24                                                          | 47.17                                                              | 56.61                                                    | 3                                    | 22.81                                                       | 2                                              |
| 长莠白壳              | 江苏吴江         | 32.16                                      | 8.72                                      | 26.24                                                          | 26.09                                                              | 86.96                                                    | 5                                    | 13.06                                                       | 1                                              |
| 早五天               | 江苏吴县         | 49.93                                      | 5.58                                      | 34.09                                                          | 52.98                                                              | 55.64                                                    | 3                                    | 21.78                                                       | 2                                              |
| 茧子头               | 江苏昆山         | 37.79                                      | 7.56                                      | 43.15                                                          | 50.05                                                              | 56.75                                                    | 3                                    | 23.03                                                       | 2                                              |
| 菜子黄               | 江苏太仓         | 27.17                                      | 16.73                                     | 47.13                                                          | 73.04                                                              | 46.25                                                    | 3                                    | 20.90                                                       | 2                                              |
| 红壳洋麦              | 江苏常熟         | 33.30                                      | 10.56                                     | 49.18                                                          | 82.15                                                              | 38.70                                                    | 2                                    | 15.28                                                       | 1                                              |
| 马鞭麦               | 江苏常熟         | 27.22                                      | 10.91                                     | 39.41                                                          | 52.67                                                              | 65.45                                                    | 4                                    | 19.38                                                       | 1                                              |
| 淮麦                | 江苏无锡         | 22.19                                      | 9.67                                      | 36.03                                                          | 54.24                                                              | 72.37                                                    | 4                                    | 23.63                                                       | 2                                              |
| 铰刀方               | 江苏无锡         | 23.57                                      | 18.67                                     | 28.59                                                          | 37.58                                                              | 81.17                                                    | 5                                    | 16.77                                                       | 1                                              |
| 红麦                | 江苏无锡         | 21.76                                      | 13.68                                     | 34.64                                                          | 49.76                                                              | 73.97                                                    | 4                                    | 11.82                                                       | 1                                              |
| 红小麦               | 江苏无锡         | 35.66                                      | 13.83                                     | 42.31                                                          | 52.30                                                              | 54.98                                                    | 3                                    | 15.61                                                       | 1                                              |
| 南京洋麦              | 江苏无锡         | 33.01                                      | 13.75                                     | 37.11                                                          | 59.13                                                              | 58.87                                                    | 3                                    | 13.71                                                       | 1                                              |
| 白外麦               | 江苏无锡         | 29.00                                      | 13.09                                     | 42.95                                                          | 65.75                                                              | 53.85                                                    | 3                                    | 24.47                                                       | 2                                              |
| 菜子黄               | 江苏江阴         | 26.37                                      | 23.03                                     | 40.91                                                          | 59.99                                                              | 55.31                                                    | 3                                    | 20.62                                                       | 2                                              |
| 白壳六柱头             | 江苏江阴         | 25.43                                      | 35.35                                     | 41.79                                                          | 57.81                                                              | 49.95                                                    | 3                                    | 23.01                                                       | 2                                              |
| 白皮杜麦              | 江苏宜兴         | 26.38                                      | 12.26                                     | 41.73                                                          | 58.85                                                              | 60.48                                                    | 4                                    | 27.83                                                       | 2                                              |
| 洋小麦               | 江苏高淳         | 22.35                                      | 17.19                                     | 39.74                                                          | 61.31                                                              | 61.83                                                    | 4                                    | 19.59                                                       | 1                                              |
| 中式本小麦             | 江苏金坛         | 29.57                                      | 8.87                                      | 39.17                                                          | 54.79                                                              | 63.96                                                    | 4                                    | 14.84                                                       | 1                                              |
| 大黄皮               | 江苏武进         | 28.72                                      | 17.44                                     | 36.55                                                          | 48.57                                                              | 65.51                                                    | 4                                    | 20.95                                                       | 2                                              |
| 和尚头               | 江苏丹阳         | 29.88                                      | 11.14                                     | 42.31                                                          | 47.54                                                              | 62.87                                                    | 4                                    | 24.70                                                       | 2                                              |
| 白皮小麦              | 江苏靖江         | 18.62                                      | 21.93                                     | 40.81                                                          | 52.95                                                              | 65.01                                                    | 4                                    | 25.07                                                       | 2                                              |
| 紫秆子               | 江苏江都         | 22.29                                      | 13.49                                     | 37.86                                                          | 51.61                                                              | 69.83                                                    | 4                                    | 17.89                                                       | 1                                              |
| 半截芒               | 江苏丰县         | 24.01                                      | 18.08                                     | 34.05                                                          | 47.44                                                              | 71.63                                                    | 4                                    | 18.30                                                       | 1                                              |
| 小玉花               | 江苏泗阳         | 29.56                                      | 13.64                                     | 46.19                                                          | 59.90                                                              | 52.72                                                    | 3                                    | 25.95                                                       | 2                                              |
| 下蜀小麦              | 江苏南京         | 25.02                                      | 12.40                                     | 31.42                                                          | 49.43                                                              | 75.30                                                    | 4                                    | 21.97                                                       | 2                                              |
| 13-303            |              |                                            |                                           |                                                                |                                                                    |                                                          |                                      |                                                             |                                                |
| 淮安                | 江苏宜兴         | 18.01                                      | 14.77                                     | 38.60                                                          | 60.10                                                              | 67.97                                                    | 4                                    | 19.39                                                       | 1                                              |
| 15-19-13          |              |                                            |                                           |                                                                |                                                                    |                                                          |                                      |                                                             |                                                |
| 红壳茧子头             | 上海金山         | 17.17                                      | 19.57                                     | 30.21                                                          | 33.15                                                              | 86.06                                                    | 5                                    | 14.08                                                       | 1                                              |
| 淮麦                | 浙江杭州         | 23.71                                      | 32.86                                     | 44.48                                                          | 50.66                                                              | 53.20                                                    | 3                                    | 25.09                                                       | 2                                              |
| 油麦                | 广东海丰         | 34.21                                      | 18.87                                     | 45.33                                                          | 51.97                                                              | 50.86                                                    | 3                                    | 2.63                                                        | 1                                              |
| (细粒麦)             |              |                                            |                                           |                                                                |                                                                    |                                                          |                                      |                                                             |                                                |
| 光头麦               | 广西全州         | 30.72                                      | 15.12                                     | 37.57                                                          | 47.93                                                              | 64.49                                                    | 4                                    | 27.88                                                       | 2                                              |
| 蜈蚣麦               | 广西阳朔         | 34.98                                      | 14.51                                     | 45.48                                                          | 50.44                                                              | 53.02                                                    | 3                                    | 22.46                                                       | 2                                              |
| 白花麦               | 贵州息烽         | 25.91                                      | 17.01                                     | 43.82                                                          | 60.12                                                              | 55.92                                                    | 3                                    | 27.42                                                       | 2                                              |
| 光头麦               | 贵州黔西         | 20.95                                      | 14.20                                     | 32.42                                                          | 42.55                                                              | 79.63                                                    | 4                                    | 22.47                                                       | 2                                              |
| 鲁麦 2 号            | 山东           | 18.18                                      | 22.22                                     | 36.21                                                          | 41.02                                                              | 74.82                                                    | 4                                    | 21.67                                                       | 2                                              |

31 是江苏徐淮地区淮阴农业科学研究所从淮麦 20/邯鄹 4564 组合后代中选育出的优良小麦新品种。小麦品种淮麦 20 的耐盐性较差,在本研究中其芽期与苗期耐盐性等级分别为 5 级和 4 级,推测淮麦 31 的耐盐性可能源于高产、稳产、抗逆性强的小麦品种邯鄹 4564。

### 3.3 小麦芽期与苗期耐盐性鉴定的现实意义

本研究筛选出在芽期表现出高耐盐种质(1 级)28 份,耐盐种质(2 级)128 份;但未能鉴定出在苗期表现高耐盐的种质,仅鉴定出苗期表现耐盐的种质(2 级)2 份。这一结果表明小麦苗期对盐害的敏感性不同于芽期。小麦芽期与苗期盐害指数的相关性分析也发现二者的相关性极低( $r = -0.0051$ ),王萌萌等<sup>[14]</sup>、马雅琴等<sup>[15]</sup>等也报道了类似现象。本研究小麦芽期与苗期耐盐性鉴定结果的不一致可能与参试材料以及芽期、苗期耐盐机理不同有关。

小麦品种的发芽率能有效地指示其芽期耐盐能力,发芽率对于小麦芽期耐盐性评价较为可靠<sup>[23]</sup>,相对盐害率能在一定程度上反映品种的耐盐能力<sup>[24]</sup>。芽期耐盐性是保证盐渍地区小麦种子出苗的基础,因而对于大量小麦种质资源的初步耐盐品种的筛选,芽期的耐盐性鉴定是必不可少的,而这也是较为简单易行、快速有效的方法。此外,苗期是小麦生长过程中对盐害最为敏感的阶段,因此这一时期筛选到的耐盐种质也相对较少,由于在我国北方麦区播种季节土壤盐分处于地下较深层,对小麦种子吸水发芽影响相对较小,而出苗后多数麦区正是土壤返盐的时期,对小麦苗期生长有明显的影响。因此,小麦苗期耐盐性是保证苗全、苗齐的基础,对小麦生产实践更具现实意义。

除此之外,若要对小麦种质资源进行更为全面耐盐性评价,还有待于在盐碱地上进行全生育期的耐盐性鉴定。对于耐盐种质的精准耐盐鉴定评价,还应该结合生理生化指标的比较和耐盐分子标记加以辅助,从而提高耐盐鉴定的准确性和效率,最终筛选到能够高效利用于耐盐品种培育的小麦资源。

### 参考文献

[1] Bot A J, Nachtergaele F O, Young A. Land resource potential and

constraints at regional and country levels[M]. Rome:FAO,200:10-15

- [2] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005,12(6):28-30
- [3] 赵可夫,李法曾,张福锁. 中国盐生植物[M],北京:科学出版社,1999:121-132
- [4] Pitman M C, Läuchli A. Global impact of salinity and agricultural ecosystems [J]. Salinity: environment-plants-molecules Dordrecht:Kluwer,2002:3-20
- [5] Genc Y, Oldach K, Verbyla A P, et al. Sodium exclusion QTL associated with improved seedling growth in bread wheat under salinity stress[J]. Theor,2010,121(5):877-894
- [6] Xu Y F, An D G, Liu D C, et al. Mapping QTLs with epistatic effects and QTL  $\times$  treatment interactions for salt tolerance at seedling stage of wheat [J]. Euphytica,2012,186(1):233-245
- [7] Munns R, James R A, Läuchli A. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals[J]. J Exp Bot,2006,57(5):1025-1043
- [8] El-Hendawy S E, Hu Y, Yakout G M, et al. Evaluating salt tolerance of wheat genotypes using multiple parameters[J]. Eur J Agron,2005,22(3):243-253
- [9] Munns R, James R A, Xu B, et al. Wheat grain yield on saline soils is improved by an ancestral  $\text{Na}^+$  transporter gene[J]. Nat Biotechnol,2012,30(4):360-364
- [10] 高建明,夏卜贤,袁庆华,等. 高粱种质材料幼苗期耐盐碱性评价[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1303-1310
- [11] 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(8):252-256
- [12] 严长清,孙伟,陆效平,等. 江苏省沿海滩涂土地利用与生态保护研究[J]. 生态科学,2007,26(3):263-268
- [13] 唐奇志,刘兆普,陈铭达,等. 海水处理对向日葵幼苗生长及叶片一些生理特性的影响[J]. 植物学通报,2004,21(6):667-672
- [14] 王萌萌,姜奇彦,胡正,等. 小麦品种资源耐盐性鉴定[J]. 植物遗传资源学报,2012,13(2):189-194
- [15] 马雅琴,翁跃进. 引进春小麦种质耐盐性的鉴定评价[J]. 作物学报,2005,31(1):58-64
- [16] 刘旭,史娟,张学勇,等. 小麦耐盐种质的筛选鉴定和耐盐基因的标记[J]. 植物学报,2001,43(9):948-954
- [17] 张巧凤,陈宗金,吴纪中,等. 小麦种质芽期和苗期的耐盐性鉴定评价[J]. 植物遗传资源学报,2013,14(4):620-626
- [18] 王艳艳. 小麦地方品种耐盐鉴定及耐盐相关基因的分析[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2007
- [19] 王芳,段迪,段培,等. 不同耐盐性小麦胚芽鞘伸长对 NaCl 胁迫的响应[J]. 作物学报,2007,33(12):2053-2058
- [20] 孙璐,周宇飞,汪澈,等. 高粱品种萌发期耐盐性筛选与鉴定[J]. 中国农业科学,2012,45(9):1714-1722
- [21] Okada K, Shimura Y. Mutational analysis of root gravitropism and phototropism of Arabidopsis thaliana seedlings[J]. Funct Plant Boil,1992,19(4):439-448
- [22] 陈娟,王忠,孔好,等. 植物根负向光性反应[J]. 植物生理学通讯,2009(3):24
- [23] 王军,李筠,王龙,等. 不同基因型小麦品种(系)耐盐性筛选[J]. 江苏农业科学,2009(3):77-79
- [24] 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性分析[J]. 植物遗传资源学报,2003,4(3):245-251