

技术与方法 Techniques and Methods

人工海水胁迫下小麦芽期和苗期的耐盐性鉴定方法

刘妍妍¹, 吴纪中², 许璋阳¹, 沈振国¹, 夏妍¹, 王桂萍¹, 陈亚华^{1,*}¹南京农业大学生命科学学院, 南京210095; ²江苏省农业科学院粮食作物研究所, 南京210014

摘要: 本文采用不同浓度人工海水分别在小麦芽期和苗期进行胁迫处理, 筛选不同时期、不同耐盐指标的适合处理浓度, 并利用模糊数学隶属函数法计算各指标的隶属值, 通过比较芽期、苗期各指标隶属值总平均值的大小来确定小麦品种耐盐性的强弱。建立了65%人工海水相对发芽率与40%人工海水相对芽长两指标相结合的小麦芽期耐盐性鉴定方法; 以及在40%人工海水处理下综合株高增长量、根长增长量、地上部干重与地下部干重4个指标相对值的小麦苗期耐盐性鉴定方法。运用这两个鉴定方法可以有效地区分16个小麦品种在人工海水胁迫下的耐盐性差异。

关键词: 小麦; 人工海水; 耐盐性; 鉴定指标

Identification Methods of Salt-Tolerance at Germination and Seedling Stage of Wheat under Artificial Sea Water Stress

LIU Yan-Yan¹, WU Ji-Zhong², XU Zhang-Yang¹, SHEN Zhen-Guo¹, XIA Yan¹, WANG Gui-Ping¹, CHEN Ya-Hua^{1,*}¹College of Life Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Institute of Food Crops, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China

Abstract: To select the salinity concentration suitable for identifying the salt tolerance of wheat at the germination and seedling stage, different concentrations of artificial sea water and salt-tolerant indexes were applied in this study. The results showed that two methods were available to evaluate wheat salt tolerance by comparing the mean value of specific evaluation indexes calculated by using the method of fuzzy membership function. One was used for measuring wheat salt-tolerance at the germination stage by calculating the mean value of the relative germination percentage under 65% sea water stress and the relative shoot length under 40% sea water stress. And the other was suitable for identifying wheat salt-tolerance at the seedling stage by using the joint mean value of the relative value of shoot growth, root growth, dry weight of overground part and dry weight of underground part under the 40% sea water stress. The salt-tolerance of 16 varieties were identified effectively at the germination and seedling stages by the two methods.

Key words: wheat (*Triticum aestivum*); artificial sea water; salt tolerance; identification index

土壤盐渍化是影响作物产量的主要非生物胁迫因子之一, 盐胁迫造成世界上至少20%的粮食减产(Jiang和Deyholos 2006)。我国现有7 000多万公顷盐渍化土地(不包括次生盐渍化土壤面积)(Bot等2000), 分布在华北、西北、东北的干旱半干旱地区以及东部滨海地区, 对农业生产构成了严重威胁(张健锋等2005)。盐渍化土壤中的很大一部分是滨海盐土, 我国海岸线漫长, 滩涂面积约217.04万公顷, 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有着极其重大的意义(张振华2000)。滨海盐土的最大特点是土壤和地下水的盐分组成与海水一致, 因而模拟海水胁迫, 探索海水对植物生长影响的机制, 可更

好地为沿海滩涂盐碱地种植农作物提供理论依据(唐奇志等2004)。

小麦是我国第二大作物, 小麦的安全生产直接关系到我国的粮食安全, 目前有关小麦耐盐性研究已有较多报道(Benderradji等2011; 刘艳丽等2008), 但这些研究多以单盐如NaCl (Nguyen等2012; Arraouadi等2012; De León等2011; Zhou等2012)或双盐如NaCl和Na₂SO₄ (刘敏轩等2012; 李

收稿 2013-09-09 修定 2014-01-03

资助 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(12)2024]、科技基础性工作专项(2007FY110500-06)和国家科技计划(2013BAD01B02-12)。

* 通讯作者(E-mail: yahuachen@njau.edu.cn; Tel: 025-84396391)。

士磊等2012)模拟盐胁迫,而对更接近沿海滩涂的海水胁迫的相关研究报道很少。小麦耐盐性鉴定是开展小麦耐盐性相关研究的前提与基础,目前小麦耐盐性鉴定方法多采用发芽率和苗期苗情观察等。小麦种子萌发与早期幼苗生长阶段是决定该作物能否在盐胁迫条件下生长成熟最为关键的时期,很多研究发现作物的芽期耐盐性与苗期耐盐性并没有显著的相关性(王萌萌等2012; 田伯红等2009)。尽管国内外已有不少文献报道了小麦芽期和苗期对盐胁迫的响应(李卓坤2010; Li等2011; Yousfi等2010; Shahzad等2012),但对在海水胁迫下小麦萌发期与早期幼苗生长特性的研究却鲜有报道。

本研究采用人工海水模拟沿海滩涂区域田间土壤盐分组成,设定不同胁迫浓度,对耐盐性不同的16个小麦品种分别进行芽期、苗期各耐盐指标的调查分析,利用模糊数学隶属函数法计算各指标的隶属值,并参照芽期、苗期各指标隶属值平均值的大小对小麦品种的芽期、苗期耐盐性进行综合评价,以期建立较为完善的人工海水胁迫条件下小麦芽期、苗期耐盐性鉴定方法与评价指标,为小麦种质的耐盐性鉴定评价及耐盐新品种的选育提供依据。

材料与方法

1 植物材料

供试品种为‘宁盐1号’、‘宁糯麦1号’、‘连0756’、‘连5152’、‘扬麦11’、‘山融3号’、‘连0809’、‘2011-170’、‘淮麦20’、‘淮麦26’、‘鲁麦18’、‘扬辐麦3号’、‘周麦24’、‘周麦18’、‘德抗961’和‘新冬26’等16个耐盐性差异明显的小麦(*Triticum aestivum* L.)品种,由江苏省农业科学院粮食作物研究所小麦品种资源研究室提供。

2 方法

2.1 人工海水胁迫处理对小麦发芽率的影响

依据Mocledon人工海水配方(Shi等2006),每升水含26.726 g NaCl、2.26 g MgCl₂、3.248 g MgSO₄、1.153 g CaCl₂、0.198 g NaHCO₃和0.721 g KCl。小麦种子经10%的次氯酸钠溶液浸泡0.5 h、去离子水洗净、吸干表面水分后,放置于铺有双层滤纸的直径为9 cm的培养皿内(种子腹沟向下,每皿50粒种子)。培养皿内分别加入8 mL浓度为0(对照)、30%、40%、50%、60%、70%、80%和

90%的人工海水溶液,每个处理3次重复。种子置于25 °C的恒温培养箱(光照强度50 μmol·m⁻²·s⁻¹,湿度75%,光照/黑暗时间12 h/12 h)中发芽,1周后调查不同处理的小麦发芽率,并计算相对发芽率。种子发芽率(%)=(正常发芽粒数/供试种子粒数)×100%。相对发芽率=处理发芽率/对照发芽率。

2.2 人工海水胁迫处理对小麦芽长和根长的影响

小麦种子消毒和发芽条件如2.1节所述,培养皿中的人工海水处理浓度分别为0(对照)、30%、40%和50%,每个处理3次重复,处理5 d后从每个培养皿取10株生长状态相对一致的幼苗,测定其芽长、根长,计算不同处理后的相对芽长和相对根长。相对芽长(%)=处理芽长/对照芽长×100%;相对根长(%)=处理根长/对照根长×100%。

2.3 人工海水胁迫处理对小麦苗期生长的影响

将经过消毒处理的小麦种子置于培养皿中,用去离子水处理发芽,4 d后挑选生长一致的幼苗移植至悬浮在周转箱(容量约3 L)上的打孔聚苯乙烯板上。用1/2Hoagland营养液在光照培养箱中培养(21 °C,光照强度50 μmol·m⁻²·s⁻¹,湿度75%,光照/黑暗时间12 h/12 h)培养,生长至两叶一心(约1周)时测量植株初始株高和根长。

苗期试验设置0(对照)、30%、40%和50%人工海水共4个处理(不同浓度人工海水分别用1/2 Hoagland营养液配置),处理过程中培养液每3 d更换1次,2周后测量株高、根长、地上部干重和地下部干重,并计算株高和根长增长量,以及各性状的相对于对照的比值和盐害率。盐害率=(对照值-处理值)/对照值×100%。

2.4 数据分析与处理

本文利用模糊综合评价法(王秀玲和程序2010; 陈德明等2002)对小麦芽期和苗期的耐盐性指标进行分析,以对小麦品种的耐盐性进行综合评价。

其计算公式为: $X_i = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \times 100\%$

式中, X_i 表示某品种中*i*指标的隶属函数值, X 为此品种*i*指标的测定值, X_{\max} 和 X_{\min} 分别表示所有品种该指标的最大和最小测定值。先求出芽期和苗期几个耐盐指标盐害率的隶属值,再分别把芽期和苗期各指标的隶属值累加求平均值,即可分别得出盐害指数。并根据小麦耐盐性分级标准(表1)分别对不同品种小麦芽期和苗期耐盐性划分等级,盐害指数值越小则表明其耐盐性越强,耐盐等

表1 小麦的耐盐性分级标准

Table 1 Grade standard of salt tolerance in wheat

级别	耐盐性	盐害指数/%
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

级评价也越高。

以上数据采用Excel和SPSS软件进行数据分析。

实验结果

1 小麦芽期的耐盐性评价

1.1 不同浓度人工海水对小麦发芽率的影响

不同的人工海水浓度对小麦种子萌发影响明显不同。由表2可以看出,随着海水浓度的增加,相对发芽率呈现显著的下降趋势,在70%以上浓度人工海水处理时表现尤为明显。如当海水浓度升至90%时,仅有5个品种萌发,其相对发芽率变化范围仅介于2.11%~6.93%间,其余多数品种的相对发芽率为0,表明人工海水胁迫对小麦种子的萌发具有明显的抑制作用。

表2显示,不同品种的萌发情况对同一浓度人工海水胁迫的反应也不同,这可能与所选小麦品种的耐盐性不尽相同有关。8种浓度人工海水处理后小麦相对发芽率的方差分析结果表明,当海水浓度大于50%时各小麦品种的相对发芽率在同一浓度处理下差异极显著($P<0.01$),而且随海水浓度的升高呈现先增大后减小的趋势(表3)。小麦品种相对发芽率的误差概率 P 值在60%和70%海水处理下数值达到最低,分别为 4.9331×10^{-5} 和 2.7123×10^{-4} ,表明此时不同小麦品种发芽率差异达到最大。进一步对小麦品种在65%海水处理条件下的相对发芽率的差异显著性进行分析,结果发现在65%海水浓度处理条件下,小麦品种间相对发芽率的差异显著性 P 值最小,为 4.0555×10^{-6} ,表明海水浓度为65%时更能有效地区分出各小麦品种在盐胁迫下萌发特性的差异。所以在随后试验中,以该浓度作为进行小麦芽期耐盐性鉴定中发芽率的调查指标。

1.2 小麦芽期根长与芽长耐盐性的鉴定

小麦芽期芽和根的生长状况决定着小麦日后的生长势强弱。本文采用30%、40%和50%人工海水在小麦萌芽期进行盐胁迫处理,计算不同浓度人工海水胁迫下的相对根长和相对芽长。结果

表2 不同浓度人工海水处理后的16个小麦品种的平均相对发芽率

Table 2 Relative germination rate of 16 wheat varieties with different concentrations of artificial sea water

品种	相对发芽率/%							
	30%人工海水	40%人工海水	50%人工海水	60%人工海水	65%人工海水	70%人工海水	80%人工海水	90%人工海水
‘宁盐1号’	94.27	82.40	72.37	66.12	62.32	43.68	15.15	4.04
‘宁糯麦1号’	94.22	89.70	81.53	39.39	22.37	18.35	8.37	2.13
‘连0809’	97.23	92.87	89.73	46.87	37.11	16.76	3.03	0
‘连5152’	92.04	84.90	75.44	63.73	52.66	22.29	0	0
‘连0756’	99.13	85.26	70.06	59.41	42.38	7.09	0	0
‘山融3号’	86.73	81.60	76.18	72.86	68.99	42.63	12.83	0
‘2011-170’	74.65	64.05	51.65	46.60	41.54	38.76	21.40	6.93
‘淮麦20’	95.70	85.74	63.72	47.50	42.98	37.63	9.40	0
‘淮麦26’	90.56	74.02	67.00	59.26	53.25	25.53	4.00	0
‘鲁麦18’	91.12	69.71	48.21	43.69	28.39	12.28	2.38	0
‘扬辐麦3号’	96.73	71.39	64.35	34.74	26.48	18.57	2.24	0
‘周麦24’	80.75	71.50	52.59	47.62	44.10	26.52	0	0
‘周麦18’	94.71	85.52	80.30	76.66	73.35	59.72	13.05	3.91
‘扬麦11’	98.40	74.57	69.58	59.25	52.26	46.02	0	0
‘新冬26’	95.91	92.71	89.91	86.41	83.67	41.87	9.65	2.11
‘德抗961’	93.69	90.12	82.45	79.69	73.09	33.59	7.65	0
平均	92.24	81.00	70.94	58.11	50.31	30.71	6.82	1.20

表3 不同浓度人工海水处理后小麦相对发芽率的单因素方差分析

Table 3 One-way ANOVA of relative germination rate of wheat with different concentrations of artificial sea water

	30%人工海水	40%人工海水	50%人工海水	60%人工海水	65%人工海水	70%人工海水	80%人工海水	90%人工海水
均方	0.0086	0.0160	0.0325	0.0469	0.0655	0.0419	0.0083	0.0009
F值	1.5097	1.6372	3.1897	8.6178	12.4980	6.5765	6.0380	6.0547
P值	0.2113	0.1691	0.0137	4.9331×10^{-5}	4.0555×10^{-6}	2.7123×10^{-4}	4.5402×10^{-4}	4.4662×10^{-4}

表明, 海水胁迫对小麦芽和根的生长均有较强的抑制作用, 且海水浓度越高抑制性越强(图1), 但其抑制效应在不同品种间存在差异。实验中发现即使是同一个培养皿中根的生长情况依然差异较大, 有的生长舒展, 有的蜷缩在一起, 因而实验结果差异较大, 数据整理分析后根长的数据表现误差较大(图1、表4~6), 这可能是由于光照条件下根的负向光性决定的。

由表6分析可知, 16个小麦品种中相对芽长在不同品种间差异较相对根长更为显著, 因而认为萌芽期相对芽长更适合用于小麦耐盐性分析。据表5和6分析可知, 小麦种子经50%海水处理后芽生长受抑制较大, 且在不同品种间的生长存在较大差异, 但由于部分品种在盐胁迫条件下生长缓慢, 芽长较短, 测量误差较大, 故不适合作为植株耐盐性筛选浓度。30%海水处理对小麦芽生长

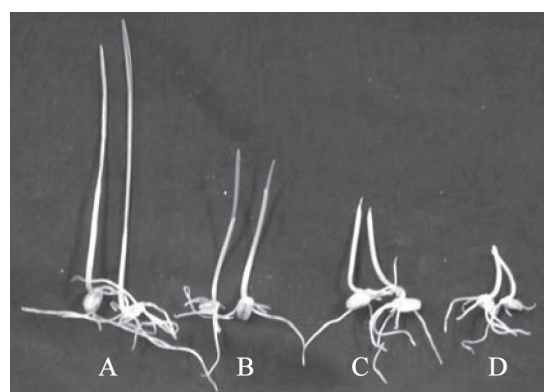


图1 不同浓度人工海水处理后小麦的芽期生长

Fig.1 The growth of wheat with different concentrations of artificial sea water at the germination stage

A: 对照; B: 30%人工海水; C: 40%人工海水; D: 50%人工海水。

抑制较弱, 不同品种间差异显著性相对较小, 不适合筛选耐盐性较强的品种。而40%海水处理对小

表4 不同浓度人工海水处理后小麦的根长及其相对根长

Table 4 Root length and relative root length of wheat with different concentrations of artificial sea water

品种	对照根长/cm	30%人工海水		40%人工海水		50%人工海水	
		根长/cm	相对根长/%	根长/cm	相对根长/%	根长/cm	相对根长/%
‘宁盐1号’	7.79±1.21 ^a	3.62±0.78 ^b	46.47	2.53±0.52 ^{bc}	32.48	1.88±0.17 ^c	24.13
‘宁糯麦1号’	6.33±1.08 ^a	3.09±0.68 ^b	48.82	2.11±0.55 ^b	33.33	1.87±0.11 ^b	29.54
‘连0809’	7.33±0.92 ^a	3.88±0.61 ^b	52.91	2.75±0.43 ^c	37.53	2.19±0.19 ^c	29.81
‘连5152’	7.31±0.41 ^a	3.53±0.69 ^b	48.30	2.15±0.35 ^c	29.44	2.03±0.08 ^c	27.77
‘连0756’	7.55±0.97 ^a	3.09±0.52 ^b	40.93	2.54±0.36 ^b	33.67	1.15±0.16 ^c	15.24
‘山融3号’	7.50±0.82 ^a	2.84±0.39 ^b	37.81	2.33±0.20 ^b	31.08	1.27±0.07 ^c	16.89
‘2011-170’	5.78±1.31 ^a	4.62±0.88 ^a	79.85	2.75±0.42 ^b	47.57	1.42±0.23 ^b	24.64
‘淮麦20’	7.03±0.68 ^a	3.61±0.69 ^b	51.31	2.55±0.34 ^b	36.25	0.88±0.28 ^c	12.51
‘淮麦26’	7.44±1.22 ^a	3.71±0.28 ^b	49.91	2.54±0.22 ^c	34.19	0.75±0.25 ^d	10.14
‘鲁麦18’	7.02±1.34 ^a	4.03±0.87 ^b	57.35	2.68±0.27 ^c	38.17	0.49±0.21 ^d	6.91
‘扬辐麦3号’	8.26±0.79 ^a	3.97±0.39 ^b	48.04	2.79±0.42 ^c	33.79	1.56±0.11 ^d	18.88
‘周麦24’	8.11±1.08 ^a	3.50±0.68 ^b	43.19	2.73±0.24 ^b	33.65	1.26±0.18 ^c	15.53
‘周麦18’	7.91±0.93 ^a	5.35±0.54 ^b	67.64	3.20±0.21 ^c	40.46	1.51±0.23 ^d	19.03
‘扬麦11’	8.39±1.37 ^a	3.35±0.72 ^b	39.90	2.53±0.37 ^b	30.13	2.31±0.28 ^b	27.49
‘新冬26’	7.65±1.47 ^a	4.55±0.47 ^b	59.54	3.49±0.52 ^c	45.62	1.79±0.16 ^d	23.41
‘德抗961’	8.12±1.12 ^a	4.98±0.64 ^b	61.32	3.43±0.37 ^c	42.21	1.76±0.12 ^d	21.62

表中数字为平均数±标准差, 不同小写字母表示同一品种数据在0.05水平下有显著性差异。下表同此。

表5 不同浓度人工海水处理后小麦的芽长及其相对芽长

Table 5 Shoot length and relative shoot length of wheat with different concentrations of artificial sea water

品种	对照芽长/cm	30%人工海水		40%人工海水		50%人工海水	
		芽长/cm	相对芽长/%	芽长/cm	相对芽长/%	芽长/cm	相对芽长/%
‘宁盐1号’	7.98±0.34 ^a	4.42±0.25 ^b	55.39	2.95±0.21 ^c	36.97	2.03±0.11 ^d	25.44
‘宁糯麦1号’	7.75±0.52 ^a	3.52±0.34 ^b	45.42	2.10±0.14 ^c	27.10	1.34±0.08 ^d	17.29
‘连0809’	7.34±0.61 ^a	3.59±0.32 ^b	48.96	2.30±0.13 ^c	31.32	1.40±0.07 ^d	19.02
‘连5152’	7.62±0.36 ^a	3.71±0.15 ^b	48.67	2.43±0.18 ^c	31.84	2.21±0.14 ^c	28.99
‘连0756’	7.02±0.63 ^a	3.11±0.16 ^b	44.28	2.21±0.14 ^c	31.45	0.85±0.16 ^d	12.11
‘山融3号’	7.96±0.42 ^a	3.66±0.20 ^b	45.94	2.03±0.09 ^c	25.49	1.33±0.08 ^d	16.76
‘2011-170’	7.74±0.56 ^a	4.75±0.25 ^b	61.42	2.70±0.09 ^c	34.84	2.12±0.13 ^d	27.40
‘淮麦20’	7.64±0.71 ^a	3.30±0.35 ^b	43.24	1.42±0.13 ^c	18.60	0.32±0.16 ^d	4.19
‘淮麦26’	8.10±0.38 ^a	3.86±0.24 ^b	47.68	1.67±0.12 ^c	20.57	0.42±0.12 ^d	5.13
‘鲁麦18’	7.61±0.69 ^a	4.08±0.17 ^b	53.63	2.11±0.14 ^c	27.71	0.22±0.08 ^d	2.83
‘扬辐麦3号’	7.29±0.58 ^a	3.51±0.27 ^b	48.11	1.74±0.12 ^c	23.85	0.51±0.13 ^d	6.93
‘周麦24’	7.01±0.54 ^a	3.93±0.32 ^b	56.01	1.99±0.16 ^c	28.45	0.50±0.12 ^d	7.20
‘周麦18’	7.74±0.58 ^a	4.08±0.18 ^b	52.65	1.72±0.16 ^c	22.22	0.68±0.09 ^d	8.79
‘扬麦11’	8.26±0.49 ^a	2.46±0.20 ^b	29.73	1.49±0.07 ^c	18.08	1.47±0.10 ^c	17.80
‘新冬26’	8.32±0.52 ^a	4.94±0.22 ^b	59.34	3.53±0.13 ^c	42.44	1.80±0.17 ^d	21.63
‘德抗961’	7.51±0.78 ^a	4.26±0.16 ^b	56.72	3.67±0.05 ^c	48.92	1.76±0.11 ^d	23.42

表6 不同人工海水浓度处理后小麦的相对芽长与相对根长的单因素方差分析

Table 6 One-way ANOVA of relative shoot and root length of wheat with different concentrations of artificial sea water

	相对芽长			相对根长		
	30%人工海水	40%人工海水	50%人工海水	30%人工海水	40%人工海水	50%人工海水
均方	0.0118	0.0144	0.0152	0.0242	0.0058	0.0098
F值	11.3803	46.8040	62.9530	3.0735	2.0980	14.7981
P值	7.7252×10 ⁻⁶	2.3682×10 ⁻¹⁰	2.3922×10 ⁻¹¹	0.0162	0.0764	1.2428×10 ⁻⁶

麦萌芽期的抑制强度及发芽率都较为适中,且在品种间存在较大差异,故选用40%海水处理测定相对芽长作为小麦耐盐性的鉴定指标。

1.3 小麦芽期综合耐盐性的鉴定

本文利用模糊综合评价法对16个小麦品种的65%海水处理后相对发芽率和40%海水处理后相对芽长这两个芽期耐盐性鉴定指标进行统计,并计算两个指标盐害率隶属值的平均值求出芽期盐害指数,可同时结合种子的萌发能力和萌发后芽的伸长能力进行综合评价,克服了以往芽期耐盐性研究中指标单一的缺点。不同品种间65%海水相对发芽率差异明显,其变幅介于22.37%~83.67%之间,40%相对芽长这一指标也有类似的趋势,两个耐盐指标的盐害率隶属值平均值分别为54.42%和61.98%,均接近50%,适合用于小麦芽期耐盐性的综合评价。根据小麦芽期耐盐性分级标准(表1),

16个品种中芽期耐盐性评价1级高耐的有2个,2级耐盐2个,3级中耐3个,4级敏感6个,5级高感3个(表7)。其中耐盐小麦品种‘新冬26’和‘德抗961’芽期耐盐评价等级均为一级高耐,这与已有的研究结果相一致,说明该技术可用于鉴定不同小麦品种的芽期耐盐性。

2 小麦苗期耐盐性评价

由图2和表8可知,不同品种之间的耐盐指数差异性极显著,显示出其耐盐性明显不同。随着海水浓度的增加,小麦品种的4个指标均呈现下降趋势。海水胁迫浓度为30%时,16个小麦品种的相对地上部和地下部干重几乎均达到了50%;而胁迫浓度到达50%时,只有5个品种的相对地上部干重达到了50%。小麦苗期经50%浓度海水处理后大部分品种生长缓慢,且根几乎不再增长。而30%海水处理不适合筛选耐盐性较强的品种,故选择40%

表7 16个小麦品种芽期耐盐能力综合评价

Table 7 Salt tolerance of 16 wheat varieties at the germination stage

品种	65%人工海水		40%人工海水		芽期盐害指数/%	芽期耐盐等级
	相对发芽率/%	发芽率盐害率隶属值/%	相对芽长/%	芽长盐害率隶属值/%		
‘宁盐1号’	62.32	34.83	36.97	38.74	36.78	2
‘宁糯麦1号’	22.37	100.00	27.10	70.75	85.37	5
‘连0809’	37.11	75.95	31.32	57.06	66.51	4
‘连5152’	52.66	50.59	31.84	55.38	52.98	3
‘连0756’	42.38	67.36	31.45	56.64	62.00	4
‘山融3号’	68.99	23.95	25.49	53.27	38.61	2
‘2011-170’	41.54	68.73	34.84	45.65	57.19	3
‘淮麦20’	42.98	66.38	18.60	98.31	82.35	5
‘淮麦26’	53.25	49.62	20.57	91.92	70.77	4
‘鲁麦18’	28.39	90.18	27.71	68.77	79.47	4
‘扬辐麦3号’	26.48	93.30	23.85	81.29	87.29	5
‘周麦24’	44.10	64.55	28.45	66.37	65.46	4
‘周麦18’	73.35	16.84	22.22	86.57	51.70	3
‘扬麦11’	52.26	51.24	18.08	100.00	75.62	4
‘新冬26’	83.67	0	42.44	21.00	10.50	1
‘德抗961’	73.09	17.26	48.92	0	8.62	1

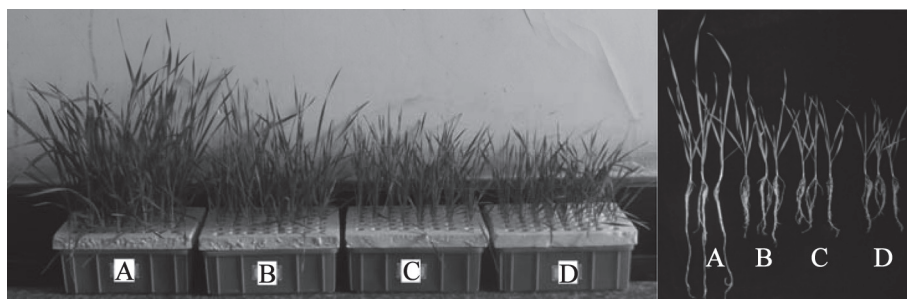


图2 不同浓度人工海水处理后小麦的苗期生长

Fig.2 The growth of wheat with different concentrations of artificial sea water at the seedling stage

A: 对照; B: 30%人工海水; C: 40%人工海水; D: 50%人工海水。

海水作为小麦苗期耐盐鉴定浓度。

计算40%海水处理后各品种株高增长量、根长增长量、地上部干重和地下部干重这四个苗期耐盐指标盐害率的隶属值,并计算其总平均值即为苗期盐害指数(表9),然后根据表2对16个小麦品种进行苗期耐盐性分级评价,结果发现‘连0756’、‘连0809’和‘连5152’三个小麦新品系均具有较强的小麦苗期耐盐性,前者为1级高度耐盐、后二者为2级耐盐。这可能与选育单位连云港市农业科学研究所试验地土壤含盐量高于正常地区而造成选育出来的高产小麦新品系本身就对盐胁迫具有一定耐性有关。此外,‘山融3号’和‘新冬26’的小麦

苗期耐盐性为2级耐盐、‘德抗961’为3级中度耐盐,这也与已知这三个品种具有较好的耐盐性相一致,说明该技术可用于鉴定不同小麦品种的苗期耐盐性。

讨 论

盐渍土(分为盐土、碱土和盐碱土)分布范围非常广泛,是世界上影响作物产量的主要非生物胁迫因子之一。我国沿海滩涂分布主要为盐土,滨海盐土的最大特点是土壤和地下水的盐分组成与海水一致。所以本文采用人工海水胁迫,可有效地模拟滨海盐土,为滨海农作物生长提供理论依据。

表8 不同浓度人工海水处理后小麦苗期4个指标的相对比值

Table 8 Relative ratio of 4 indexes of wheat with different concentrations of artificial sea water at the seedlings stage

品种	相对株高增长量/%			相对根长增长量/%			相对地上部干重/%			相对地下部干重/%		
	30%人 工海水	40%人 工海水	50%人 工海水	30%人 工海水	40%人 工海水	50%人 工海水	30%人 工海水	40%人 工海水	50%人 工海水	30%人 工海水	40%人 工海水	50%人 工海水
‘宁盐1号’	23.03	19.02	8.23	21.44	7.02	4.87	56.38	46.57	46.02	54.35	42.80	42.59
‘宁糯麦1号’	35.29	23.20	15.02	13.93	2.32	1.82	49.60	43.02	41.46	55.29	46.47	42.94
‘连0809’	23.52	17.69	17.25	19.89	4.92	2.65	64.19	57.94	51.63	72.75	60.37	55.97
‘连5152’	36.24	24.31	23.00	20.61	3.25	2.17	63.18	62.31	59.38	72.35	71.07	55.36
‘连0756’	31.28	25.45	24.96	16.74	6.83	5.73	72.72	61.75	60.35	76.81	60.26	59.33
‘山融3号’	30.80	10.32	4.29	17.26	2.85	1.96	62.92	62.74	56.35	72.35	71.58	71.14
‘2011-170’	25.75	9.34	5.27	19.39	2.12	0.45	64.76	50.46	43.32	73.25	55.58	55.30
‘淮麦20’	29.82	21.10	18.19	20.34	4.80	3.35	59.84	46.26	45.45	50.18	40.36	38.06
‘淮麦26’	28.42	25.41	17.12	19.30	8.70	1.48	65.74	47.13	45.58	58.02	39.54	38.73
‘鲁麦18’	53.52	22.39	12.45	16.93	1.42	0.90	63.60	42.68	41.23	73.75	42.60	42.29
‘扬辐麦3号’	42.75	11.21	1.21	18.11	2.23	0.87	52.71	52.30	51.38	64.92	56.86	55.01
‘周麦24’	48.02	13.37	4.88	14.72	4.17	1.27	56.67	50.90	45.53	79.10	58.04	56.23
‘周麦18’	37.34	13.65	6.83	10.26	1.33	0.80	50.03	49.61	48.40	59.72	55.66	54.28
‘扬麦11’	47.02	6.38	3.88	19.52	1.71	1.54	57.53	48.34	48.20	64.43	50.03	49.54
‘新冬26’	34.11	12.61	6.36	27.54	6.86	3.91	63.37	60.78	60.59	63.67	61.93	59.69
‘德抗961’	19.46	14.50	10.07	36.93	3.44	2.29	63.60	62.53	55.19	59.65	58.10	57.93

表9 16个小麦品种苗期耐盐性的鉴定

Table 9 Identification of salt tolerance of 16 wheat varieties at the seedlings stage

品种	相对株高增长量 盐害率隶属值/%	相对根长增长量 盐害率隶属值/%	相对地上部干重 盐害率隶属值/%	相对地下部干重 盐害率隶属值/%	苗期盐害指数/%	苗期耐盐等级
‘宁盐1号’	33.69	22.77	80.61	89.83	56.72	3
‘宁糯麦1号’	11.78	86.49	98.29	78.37	68.73	4
‘连0809’	40.66	51.18	23.93	34.99	37.69	2
‘连5152’	5.96	73.83	2.16	1.58	20.88	2
‘连0756’	0	25.34	4.93	35.33	16.40	1
‘山融3号’	79.30	79.36	0	0	39.67	2
‘2011-170’	84.48	89.21	61.23	49.93	71.21	4
‘淮麦20’	22.80	52.80	82.17	97.46	63.81	4
‘淮麦26’	0.16	0	77.83	100.00	44.50	3
‘鲁麦18’	16.01	98.71	100.00	90.46	76.29	4
‘扬辐麦3号’	74.66	87.69	52.04	45.94	65.08	4
‘周麦24’	63.32	61.39	59.01	42.27	56.50	3
‘周麦18’	61.85	100.00	65.43	49.68	69.24	4
‘扬麦11’	100.00	94.76	71.78	67.26	83.45	5
‘新冬26’	67.33	24.86	9.78	30.12	33.03	2
‘德抗961’	57.42	71.31	1.02	42.08	42.96	3

植物耐盐性涉及多种代谢途径,采用单一指标评价其耐盐程度有一定的片面性,不能真实客观地反映植物在田间实际生长情况下的耐盐性。因此,进行植物耐盐资源评价鉴定时,应综合考虑多个指标,才能更真实的反映其综合耐盐能力。

小麦芽期发芽率、芽长、根长和苗期生长状况这些指标可反映小麦品种耐盐性的强弱。所以,通过测定小麦芽期和苗期各形态指标,比较盐处理组和对照间的差异,评价不同品种耐盐胁迫的能力,可为小麦耐盐育种提供依据。本文研究分析

了16个小麦品种在不同浓度海水胁迫下的耐盐形态指标, 选择出了适合于不同鉴定指标的人工海水盐胁迫浓度, 并采用模糊数学隶属函数法对小麦耐盐性进行综合分析评价。

较强的芽期耐盐性是盐渍地区保证小麦出苗的基础。王军等(2009)认为小麦品种的发芽率能有效地显示其芽期耐盐能力, 发芽率对于小麦芽期耐盐性评价较为可靠。本文结果表明人工海水胁迫对小麦发芽率、芽长和根长均有一定的抑制作用, 且在不同浓度海水处理后表现出了显著性差异。盐胁迫对同一品种根长的抑制作用差异性较大, 这与Okada和Shimura (1992)和顾蕴洁等(2001)认为根具有负向光性的实验结果相一致。而盐处理后的发芽率和相对芽长可以较好地反映出小麦芽期耐盐水平。通过对不同浓度海水胁迫处理后各指标分析, 发现65%海水处理后的发芽率和40%海水处理后的相对芽长可以更好地反映小麦芽期耐盐水平。

小麦苗期是小麦一生中耐盐性最敏感的阶段, 通过这个时期筛选到的耐盐种质所占比例会比较小, 但是对于小麦实际生产来说, 苗期的耐盐性则非常重要。这是因为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, 所以苗期耐盐性是保证苗全、苗齐的基础, 对小麦生产实践更具有现实意义。本文采用40%海水处理下的株高增长量、根长增长量、地上部干重和地下部干重这四个指标的盐害率隶属值分析小麦品种苗期耐盐性, 可有效消除植株个体间差异, 具有较大代表性, 较全面地对小麦苗期耐盐性进行综合评价。

许多研究显示植物不同生长阶段的耐盐能力并不相同, 且没有显著相关性(刘敏轩等2012; 王萌萌等2012)。通过对小麦芽期和苗期进行耐盐评价研究发现, 小麦苗期对海水胁迫更为敏感, 且两个时期的耐盐能力没有显著相关性。因此, 若要全面鉴定小麦耐盐性, 还需在盐碱地上进行全生育期的耐盐性鉴定。此外, 对于耐盐种质的精准鉴定评价, 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应用于耐盐育种的小麦种质资源。

参考文献

- 陈德明, 俞仁培, 杨劲松(2002). 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价. 土壤学报, 39 (3): 368~374
- 顾蕴洁, 王忠, 王维学, 陈亮, 陈刚, 熊飞(2001). 水稻根的负向光性. 植物生理学通讯, 37 (5): 396~398
- 李士磊, 霍鹏, 高欢欢, 冶婷, 王亮, 李卫华(2012). 复合盐胁迫对小麦萌发的影响及耐盐阈值的筛选. 麦类作物学报, 32 (2): 260~264
- 李卓坤(2010). 小麦苗期性状QTL定位及株高杂种优势的遗传分析 [学位论文]. 泰安: 山东农业大学
- 刘敏轩, 张宗文, 吴斌, 陆平(2012). 黍稷种质资源芽、苗期耐中性混合盐胁迫评价与耐盐生理机制研究. 中国农业科学, 45 (18): 3733~3743
- 刘艳丽, 许海霞, 刘桂珍, 金艳, 陈平, 崔党群(2008). 小麦耐盐性研究进展. 中国农学通报, 24 (11): 202~207
- 唐奇志, 刘兆普, 陈铭达, 陆国兴(2004). 海水处理对向日葵幼苗生长及叶片一些生理特性的影响. 植物学通报, 21 (6): 667~672
- 田伯红, 王素英, 李雅静, 王建广, 张立新, 梁凤芹, 翟玉柱, 刘金荣(2008). 谷子地方品种发芽期和苗期对NaCl胁迫的反应和耐盐品种筛选. 作物学报, 34 (12): 2218~2222
- 王军, 李筠, 王龙, 任立凯, 刘耀鸿, 迟铭, 浦汉春(2009). 不同基因型小麦品种(系)耐盐性筛选. 江苏农业科学, 3: 77~79
- 王萌萌, 姜奇彦, 胡正, 张辉, 樊守金, 冯沂, 张海玲(2012). 小麦品种资源耐盐性鉴定. 植物遗传资源学报, 13 (2): 189~194
- 王秀玲, 程序(2010). 甜高粱耐盐材料的筛选及芽苗期耐盐性相关分析. 中国生态农业学报, 18 (6): 1239~1244
- 张建锋, 张旭东, 周金星, 刘国华, 李冬雪(2005). 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施. 水土保持研究, 12 (6): 28~30
- 张振华(2000). 沿海滩涂土地资源开发利用研究进展. 垦殖与稻作, 4: 37~38
- Arraouadi S, Badri M, Abdelly C, Huguet T, Aouani ME (2012). QTL mapping of physiological traits associated with salt tolerance in *Medicago truncatula* recombinant inbred lines. *Genomics*, 99 (2): 118~125
- Benderradji L, Brini F, Ben Amar S, Kellou K, Azaza J, Masmoudi K, Bouzerzour H, Hanin M (2011). Sodium transport in the seedlings of two bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes showing contrasting salt stress tolerance. *Aust J Crop Sci*, 5 (3): 233~241
- Bot AJ, Nachtergaele FO, Young A (2000). Land Resource Potential and Constraints at Regional and Country Levels. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1~24
- De León JLD, Escoppinichi R, Geraldo N, Castellanos T, Mujeeb-Kazi A, Röder MS (2011). Quantitative trait loci associated with salinity tolerance in field grown bread wheat. *Euphytica*, 181 (3): 371~383
- Jiang Y, Deyholos MK (2006). Comprehensive transcriptional profiling of NaCl-stressed *Arabidopsis* roots reveals novel classes of responsive genes. *BMC Plant Biol*, 6 (1): 25~44
- Li JM, Liu L, Bai YL, Zhang PJ, Finkers R, Du YC, Visser R, Heusden AW (2011). Seedling salt tolerance in tomato. *Euphytica*, 178: 403~414
- Nguyen VL, Ribot SA, Dolstra O, Niks RE, Visser RG, Linden CG (2013). Identification of quantitative trait loci for ion

- homeostasis and salt tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Mol Breed*, 31 (1): 137~152
- Okada K, Shimura Y (1992). Mutational analysis of root gravitropism and phototropism of *Arabidopsis thaliana* seedlings. *Aust J Plant Physiol*, 19 (4): 439~448
- Shahzad A, Ahmad M, Iqbal M, Ahmed I, Ali GM (2012). Evaluation of wheat landrace genotypes for salinity tolerance at vegetative stage by using morphological and molecular markers. *Genet Mol Res*, 11 (1): 679~692
- Shi M, Xu J, Zhang S, Liu B, Kong J (2006). A mediator-free screen-printed amperometric biosensor for screening of organophosphorus pesticides with flow-injection analysis (FIA) system. *Talanta*, 68 (4): 1089~1095
- Yousfi S, Serret MD, Voltas J, Araus JL (2010). Effect of salinity and water stress during the reproductive stage on growth, ion concentrations, $\Delta^{13}\text{C}$, and $\delta^{15}\text{N}$ of durum wheat and related amphiploids. *J Exp Bot*, 61 (13): 3529~3542
- Zhou G, Johnson P, Ryan PR, Delhaize E, Zhou M (2012). Quantitative trait loci for salinity tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Mol Breed*, 29 (2): 427~436