

引进春小麦种质耐盐性的鉴定评价

马雅琴^{1,2} 翁跃进^{1,*}

(¹ 中国农业科学院作物品种资源研究所,北京 100081; ² 宁夏大学,宁夏银川 750021)

摘要:对从美国引进的 28 份春小麦种质经过实验室耐盐性鉴定,筛选出 13 份芽期相对盐害率在 20% 以下、苗期盐害指数在 40% 以下的耐盐性较强的材料,进一步在 0.37% 以上的盐渍化土壤上进行全生育期的耐盐性鉴定,对株高、穗长、穗数、穗粒数、千粒重等生产要素进行统计分析 & 逐步剔除多元回归分析,结果表明,产量性状的耐盐指数与出苗率、保苗率、株高、穗长、穗数、穗粒数、千粒重等要素的耐盐指数呈正相关,且达显著或极显著水平。SW10 和 SW12 两个材料在全盐量为 0.35% ~ 0.54% 的盐渍化土壤上的田间大区生产示范试验中,不仅表现出较高的耐盐性,而且具有良好的生产潜力,有一定的推广应用价值。

关键词:春小麦品种;耐盐性;鉴定评价

中图分类号:S512

Evaluation for Salt Tolerance in Spring Wheat Cultivars Introduced from Abroad

MA Ya-Qin^{1,2}, WENG Yue-Jin^{1,*}

(¹ Institute of Crop Germplasm Resources, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; ² Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract: 28 spring wheat cultivars introduced from America were identified for salt-tolerance at the stage of germination and seedling. 13 of them for salt tolerance were with less 20% of relative salt harm rate at first stage and 40% of salt harmful index at seedling stage and were screened primarily in the field with more than 0.37% salinity. Some agronomic traits such as emergence frequency, seedling survive rate, tillering frequency, plant height, spike length, number of spikes, grains per spike and TGW were analyzed before and after harvest. The results by backward elimination showed that there was significant positive correlations between the index of salt-tolerance of yield and that of emergence frequency, seedling survive rate, plant height, spike length, number of spikes, grains per spike and TGW, respectively. Comprehensive analysis indicated that the two cultivars SW10 and SW12 appeared in higher salt-tolerance, better agronomic characters and application and extension value.

Key words: Spring wheat cultivars; Salt tolerance; Evaluation

作物耐盐性(Salt tolerance)是指作物在盐胁迫环境中通过一些生理途径降低或抵消盐分的伤害,维持基本生长的能力。不同的作物具有不同的耐盐性,同一作物的不同品种间存在耐盐性的差异^[1-3]。小麦耐盐性是多基因控制的数量遗传性状,受环境的影响很大,耐盐的小麦品种往往较盐敏感的小麦品种表现出植株偏高,小穗数、穗粒数较多,籽粒较饱满等特性,在盐渍土壤上仍表现出较高的产量和经济效益^[2,3]。小麦耐盐性鉴定(Evaluation for salt tolerance)是小麦种质资源鉴定评价、耐盐品种选育

以及耐盐机理研究的基础性研究,通过耐盐性鉴定可以筛选出供小麦耐盐育种的种质资源或直接用于小麦生产的新品种。

为了丰富我国小麦耐盐品种的遗传多样性,选育耐盐性强、丰产性能好的小麦品种,本实验利用农业部行业标准对从国外引进的春小麦材料进行鉴定评价,筛选出适合我国盐渍地地区种植的小麦耐盐品种,同时为我国小麦耐盐鉴定、耐盐育种和耐盐机理等研究提供理论依据。

基金项目:国家引进国际先进农业科学技术计划(948)项目(981006)资助。

作者简介:马雅琴(1965-),女,宁夏吴忠市人,中国农业科学院在读博士研究生。*通讯作者:翁跃进。Tel: 010-62186654 E-mail: wengyuejin@hotmail.com

Received(收稿日期):2003-10-08, Accepted(接受日期):2004-02-26.

1 材料和方法

1.1 材料

28 份春小麦由中国农科院品资所抗逆室引自美国。其原产于美国、印度、阿富汗、土耳其和伊朗等国,对照品种为宁夏、内蒙古等地以及周边地区的小麦主栽品种宁春 4 号和世界范围小麦耐盐性对照品种 Kharchia(表 1)。

表 1 参试小麦品种(系)来源

Table 1 Origin of salt-tolerant cultivars of wheat

编号 No.	品种或编号 Cultivars code	原产地 Origin region	编号 No.	品种或编号 Cultivars code	原产地 Origin region
SW2	PI 94341	USA	SW17	PI 174702	France
SW3	PI 90279	China	SW18	PI 176265	India
SW4	PI 117734	Australia	SW19	PI 176273	India
SW5	PI 119371	Turkey	SW20	PI 177913	Turkey
SW6	PI 133462	Egypt	SW21	PI 177971	Turkey
SW7	PI 134660	Afghanistan	SW22	PI 177994	Turkey
SW8	PI 134877	Portugal	SW23	PI 178012	Turkey
SW9	PI 134879	Portugal	SW24	PI 178160	Turkey
SW10	PI 137733	Iran	SW25	PI 178704	USA
SW11	PI 137743	Iran	SW26	PI 180638	USA
SW12	PI 140187	Iran	SW29	PI 322280	USA
SW13	PI 142517	Iran	SW30	Yecola RaJo	Turkey
SW14	PI 168469	India	SW31	Anza	Spain
SW15	PI 172539	Turkey	SW32	Kharchia	India
SW16	PI 172549	Turkey	CK	宁春 4 号	China

1.2 方法

1.2.1 芽期耐盐性鉴定 按照农业部行业标准 NY/PZT001-2002《小麦耐盐性鉴定评价技术规范》^[3]进行。实验设 1 个对照和 1 个处理,重复 3 次,每次重复用种 100 粒。将准备好的种子均匀放在直径为 9 cm 的塑料培养皿中的滤纸上,处理组每个培养皿中加入 350 mmol/L 化学纯 NaCl (2%) 溶液 5 mL,在培养箱内 20 恒温发芽 14 d。对照组每个培养皿中加入去离子水 5 mL,培养箱内 20 恒温发芽 7 d。调查处理组和对照组的发芽情况,根据下列公式计算相对盐害率,并分级。

相对盐害率(%) =

$$\frac{(CK1 + CK2 + CK3) / 3 \times 100 - (T1 + T2 + T3) / 3 \times 100}{(CK1 + CK2 + CK3) / 3 \times 100} \times 100\%$$

1.2.2 苗期耐盐性鉴定 根据农业部 NY/PZT001-2002《小麦耐盐性鉴定评价技术规范》的标准方法,实验设 1 个处理,2 次重复,每次重复 100 株苗。在光照培养箱内,将生长至 1 叶期的 100 株麦苗移植到带孔的泡沫板上,将泡沫板浮漂在内装

Hogland 营养液的 0.5 m × 0.4 m × 0.3 m 塑料培养盒中,待麦苗长到 2 叶 1 心时,开始盐胁迫处理,不断调整培养液,使其电导率始终维持在 (30 ± 1) dS/m (约为 300 mmol/L NaCl) 的胁迫强度下。20 恒温,10 h 白天 14 h 夜晚条件下水培 20 d 后,调查幼苗生长情况。根据生长状况将苗情分为 6 类(0, 1, 2, 3, 4 和 5), 0 类生长正常,无受害症状;1 类生长基本正常,有 3~4 片绿叶;2 类生长基本正常,有 3 片绿叶,叶片变黄或叶尖青枯;3 类生长受抑制,有 2 片绿叶;4 类严重受害,仅有 1 片绿叶或仅心叶存活;5 类整个植株枯死或接近死亡。按下列公式计算盐害指数,并确定各材料的耐盐等级(表 2)。

盐害指数(%) =

$$\frac{(1 \text{ 类苗数} \times 1 + 2 \text{ 类苗数} \times 2 + 3 \text{ 类苗数} \times 3 + 4 \text{ 类苗数} \times 4 + 5 \text{ 类苗数} \times 5)}{5 \text{ 级} \times 100} \times 100\%$$

表 2 小麦芽期和苗期耐盐性分级标准

Table 2 Grade standard of salt tolerance on germination stage and seedling stage in wheat

级别 Grade	耐盐性 Salt tolerance	芽期相对盐害率 Relative salt harm rate(%)	苗期盐害指数 Salt harm index(%)
1	高耐 High salt tolerance	0 - 20.0	0 - 20.0
2	耐盐 Salt tolerance	20.1 - 40.0	20.1 - 40.0
3	中耐 Middle tolerance	40.1 - 60.0	40.1 - 60.0
4	敏感 Sensitivity	60.1 - 80.0	60.1 - 80.0
5	高感 High sensitivity	80.1 - 100	80.1 - 100

1.2.3 全生育期耐盐性鉴定 根据实验室芽期、苗期鉴定结果,从中筛选出耐盐性表现好的材料,进一步在盐渍化土壤上进行全生育期的耐盐性鉴定。试验在宁夏贺兰山农牧场实施,1 个处理,土壤全盐量为 0.37% 左右;1 个对照,土壤全盐量为 0.18% 左右,重复 3 次,参试材料随机排列,小区行长 2 m,行距 0.15 m,小区面积 0.9 m²,每行播种 80 粒种子,每个材料种植 3 行 1 个小区。全生育期调查出苗率、保苗率、分蘖率,收获后对株高、穗长、穗数、穗粒数、千粒重等主要产量相关指标进行考种,计算耐盐指数。

$$\text{耐盐指数}(\%) = \frac{\text{处理性状表现值}}{\text{对照性状表现值}} \times 100\%$$

1.2.4 耐盐品系的大区生产示范 对全生育期耐盐鉴定过程中表现好的两个材料 SW10、SW12 进行大区生产示范试验。在宁夏平罗县城关镇的盐渍化土地上,设 8 个试验大区,每个试验大区 0.08 hm²,每个大区又分成 3 个试验小区,小区面积

0.0267 hm²,共24个小区,随机播种SW10、SW12和宁春4号,播种量为337.5 kg/hm²,按照宁夏当地常规小麦栽培技术进行田间管理,收获前取样,对其产量要素考种;收获时按24个小区单收、单打,田间实地测产,统计分析试验结果。

2 结果与分析

2.1 芽期耐盐鉴定结果

芽期是小麦生长发育的开始,小麦芽期对盐胁迫的忍耐程度反映的是在盐胁迫条件下种子吸水膨胀、萌动生根的综合能力^[4,5]。根据每个材料在正常条件和盐胁迫条件下的发芽率,计算相对盐害率并分级记录(表3),从表3中的各材料的相对盐害率和分级结果可以看出,不同材料在350 mmol/L盐胁迫条件下的发芽率不同。参试的28个材料中,SW10、SW12、SW16、SW18、SW30、SW31和SW32等7份材料相对盐害率都低于20%,根据农业部NY/PZT001-2002《小麦耐盐性鉴定评价技术规范》^[3]进行判别,耐盐级别为1级,属高耐盐材料的占参试材料的25%;另有21个材料在芽期的相对盐害率都小于40%,耐盐级别均为2级,为耐盐材料,占材料总数的75%。

2.2 苗期耐盐鉴定结果

表3中苗期盐害指数和分级情况表明,28份引进的材料中,没有高耐盐材料;只有SW6、SW7、SW10、SW12、SW25、SW26、SW30和SW32等少数材料其盐害指数低于40%,根据农业部NY/PZT001-2002《小麦耐盐性鉴定评价技术规范》进行判别,其耐盐级别为2级;多数材料的耐盐级别为3级,属于中等耐盐材料;没有发现盐敏感的4级或5级材料。

鉴定结果表明,小麦在不同的发育阶段其耐盐能力有所不同,在芽期表现耐盐性高的材料,在苗期则不一定表现出高耐盐性。如SW16、SW18和SW31芽期相对盐害率为1级,高度耐盐,而苗期盐害指数却为3级,中度耐盐。说明小麦芽期耐盐性和苗期耐盐性之间没有必然联系,其根本原因是其耐盐机理不同,芽期耐盐性体现的是种子吸水膨胀的能力,主要机理是生物机体抵抗渗透胁迫;而苗期耐盐多为拒Na⁺机制^[6-8]。

盐胁迫条件下种子发芽率高表明其吸水膨胀和萌动生根的综合能力强。较强的芽期耐盐性是盐渍地区小麦品种必须优先具备的特性,是保证小麦出苗的基础。我国大多数麦区小麦出苗后正是土壤返

盐的时期,土壤含盐量达到最大值,而小麦苗期又是小麦一生耐盐性最薄弱的阶段,此时的盐胁迫对小麦生长有明显的影 响。因此,在生产实际中,苗期的耐盐性显得更加重要,苗期耐盐性是保证苗全、苗齐的基础。

表3 参试小麦材料芽期、苗期的耐盐性鉴定结果

Table 3 Identification of salt tolerance at the germination and seedling stage for wheat accessions

编号 No.	芽期 Germination stage		苗期 Seedling stage	
	相对盐害率 Relative salt-harmed rate (%)	分级 Grade	盐害指数 Salt-harmed index	分级 Grade
SW3	20.2	2	56	3
SW4	23.8	2	48	3
SW5	26.3	2	42	3
SW6	38.2	2	38	2
SW7	20.8	2	40	2
SW8	32.4	2	46	3
SW9	35.6	2	58	3
SW10	19.6	1	22	2
SW11	36.9	2	54	3
SW12	14.8	1	26	2
SW13	27.7	2	58	3
SW14	30.2	2	60	3
SW15	36.7	2	54	3
SW16	16.8	1	54	3
SW17	28.4	2	52	3
SW18	18.3	1	56	3
SW19	24.6	2	58	3
SW20	21.3	2	48	3
SW21	28.6	2	52	3
SW22	38.9	2	52	3
SW23	38.9	2	48	3
SW24	29.6	2	46	3
SW25	38.5	2	36	2
SW26	27.4	2	38	2
SW29	29.8	2	42	3
SW30	38.2	2	38	2
SW31	10.8	1	58	3
SW32	15.7	1	28	2
宁春4号	28.3	2	52	3

2.3 田间盐胁迫下的性状表现

2.3.1 小区耐盐鉴定筛选结果 对实验室耐盐性鉴定中表现好的13个材料,进行田间全生育期耐盐性鉴定实验,在苗期和成熟后对一些相关指标进行调查考种,统计分析(表4)。表4中的数据参试材料在0.37%盐胁迫条件下其出苗率、保苗率以及分蘖率比对照不同程度地下降。受盐胁迫影响程度最小的是出苗率,参试的13个材料的耐盐指数表现不同,变幅在67.3%~96.1%之间,除了SW9

和 SW25 接近对照的 77.1 % 以外,其他 11 个材料均高于对照,其中 SW10、SW12、SW18、SW30 和 SW31 等材料的耐盐指数均在 90 以上;保苗率受盐胁迫影响较大,在 0.37 % 盐渍地上 13 个材料的耐盐指数变幅在 60 % ~ 88.3 % 之间,SW6、SW10、SW12、SW30 和

SW31 等 7 个材料均高于宁春 4 号的 67.2 %;调查的 3 个性状中分蘖率受盐胁迫影响程度最大,13 个材料间的耐盐指数变幅在 36.7 % ~ 98.5 % 之间,并且均没有超过对照,耐盐指数接近对照的材料是 SW20、SW30、SW25、SW10 和 SW12。

表 4 参试材料在盐胁迫下的表现
Table 4 Response of experimental materials under salt-stress

材料 Material	出苗率 Emergence rate (%)			保苗率 Seedling survive rate (%)			分蘖率 Tillering rate (%)			株高 Plant height (cm)			穗长 Spike length (cm)		
	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST
	SW4	79.2	88.2	89.7	53.5	79.9	67.0	26.8	54.0	49.6	52.6	74.2	70.9	6.1	8.8
SW6	58.3	86.6	67.3	63.3	86.9	72.8	12.6	34.3	36.7	35.0	51.2	68.4	7.7	9.2	83.5
SW7	72.9	90.5	80.6	54.1	82.3	65.7	11.8	19.3	61.1	44.1	66.3	66.5	6.7	10.5	63.7
SW9	68.9	90.5	76.1	45.2	75.2	60.1	9.1	22.4	40.6	44.1	60.9	72.4	6.1	10.8	56.6
SW10	88.7	92.3	96.1	80.2	90.8	88.3	9.2	11.5	80.0	62.8	72.7	86.4	8.8	11.2	78.6
SW12	89.6	94.2	95.1	83.3	95.2	87.5	10.9	13.6	80.1	70.9	72.8	85.6	9.7	12.0	81.0
SW13	81.3	92.2	88.2	55.0	77.2	71.3	31.8	70.1	45.4	37.5	58.9	63.7	5.0	8.7	57.2
SW18	82.6	90.7	91.1	48.7	87.3	55.8	33.2	68.6	48.4	41.5	64.6	64.2	8.4	11.1	75.3
SW19	78.9	89.0	88.6	51.7	84.0	61.6	7.3	9.7	75.3	40.4	67.2	60.1	10.4	12.5	83.0
SW20	76.8	87.5	87.7	48.4	75.8	63.8	8.0	9.5	84.2	32.4	53.6	60.4	5.6	10.5	52.9
SW25	65.2	88.7	73.5	52.3	77.6	67.4	8.6	10.7	80.4	69.6	91.5	76.1	5.7	9.5	59.9
SW30	85.3	90.7	94.0	67.7	89.2	75.9	10.4	12.6	82.5	37.5	69.4	54.0	8.2	10.4	78.7
SW31	84.9	91.2	93.1	72.4	85.7	84.5	23.7	50.3	47.1	44.0	68.8	63.9	9.0	10.3	87.6
宁春 4 号	68.8	89.2	77.1	62.2	92.5	67.2	12.9	13.1	98.5	43.0	63.6	67.6	6.2	13.1	47.4
平均 Mean	77.2	90.2	86.6	59.9	83.6	70.9	15.7	29.7	62.4	47.1	67.1	68.7	7.5	10.4	71.4

材料 Material	穗数 Number of spikes (10 ⁴ /hm ²)			穗粒数(粒) Grain per spike			千粒重 1 000-grain weight (g)			产量 Yield (g/0.9 m ²)		
	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST	T	CK	耐盐指数 IST
	SW4	36.0	56.5	63.7	9.1	13.9	65.5	30.7	39.9	76.9	109.1	288.6
SW6	28.0	47.2	59.3	7.6	10.8	70.3	35.4	41.5	85.3	114.0	344.9	33.1
SW7	48.1	82.3	58.5	6.5	10.8	60.2	34.7	40.8	85.0	112.4	338.7	33.2
SW9	32.8	44.8	73.1	6.0	9.5	63.2	36.7	39.7	92.4	172.9	355.3	48.7
SW10	69.9	85.3	81.9	11.0	14.5	75.9	40.5	44.5	91.0	266.7	484.0	55.1
SW12	66.4	84.2	78.9	11.5	14.9	77.2	42.8	47.0	91.2	255.1	471.3	54.1
SW13	27.4	56.5	48.5	5.8	11.9	48.6	28.7	37.2	77.2	99.7	332.7	29.9
SW18	35.6	59.9	59.5	6.3	12.3	51.2	33.5	42.5	78.8	100.7	394.3	25.5
SW19	28.3	58.1	48.7	6.9	10.7	64.4	34.2	40.5	84.5	103.7	385.3	26.9
SW20	18.2	55.1	33.1	4.3	11.6	39.7	31.9	36.1	88.4	105.3	380.0	27.7
SW25	17.6	46.2	38.1	9.0	15.6	57.4	39.4	44.2	89.2	123.9	395.7	31.3
SW30	26.6	54.5	48.8	6.1	9.5	64.2	34.2	36.6	93.5	152.7	377.2	40.5
SW31	42.6	69.9	61.0	7.4	10.2	72.5	33.7	38.6	87.3	146.0	371.5	39.3
宁春 4 号	17.6	45.2	38.9	9.5	14.4	66.2	40.5	48.1	84.2	165.7	461.0	35.9
平均 Mean	36.7	51.6	57.9	7.5	12.0	62.3	35.1	40.7	86.2	143.3	387.4	32.1

Note: IST = index of salt tolerance.

就分析项目来看,尽管不同材料间的耐盐指数存在较大的差异,室内鉴定结果与田间表现具一定的相关性。实验室芽期耐盐性鉴定中表现好的材料

如 SW4、SW10、SW12、SW18、SW20、SW30 和 SW32 等,在 0.37 % 盐渍地上其出苗率的耐盐指数也较高,分别为 89.7 %、96.1 %、95.1 %、91.1 %、90.7 %

和 91.2%, 均高出对照的 77.1%, 表明它们对盐胁迫有一定的抵御能力, 而且与实验室的芽期鉴定结果基本一致。第一水灌后 20 d 调查保苗情况, 室内苗期耐盐性鉴定盐害指数小于 40% 的材料如 SW6、SW10、SW12、SW30、SW31 等在田间的保苗率上也表现出良好的势头。几个材料保苗率的耐盐指数分别为 72.8%、88.3%、87.5%、75.9% 和 84.5%, 均比对照的 70.6% 高, 与实验室的苗期鉴定结果比较相似。表明实验室的鉴定结果对田间生产具有一定的指导意义。

收获后对各个材料取样分析, 调查株高、穗长、穗数、穗粒数和千粒重几个重要的产量要素。从表 4 的统计结果可以看出, 参试材料的株高、穗长、穗数、穗粒数、千粒重以及产量等要素不同程度地受到盐胁迫的影响, 盐胁迫对各要素的影响差异较大, 影响程度最大的是穗数, 在 0.37% 的盐渍地上 13 个参试材料的耐盐指数只有对照的 57.9%; 受盐胁迫影响最轻的是千粒重, 13 个参试材料的平均千粒重耐盐指数为 86.2%。盐胁迫对产量构成因素影响程度大小的排列顺序依次为穗数 (57.9%) > 穗粒数 (62.3%) > 株高 (68.7%) > 穗长 (71.4%) > 千粒重 (86.2%)。由于盐胁迫影响了产量相关的诸多因素, 因此最终产量性状的耐盐指数仅为 32.1%, 近 70% 的生产潜力由于盐胁迫而被抑制。表 4 的统计数据表明, 盐胁迫对各个产量要素的影响程度存在较大的差异。为此对各产量要素的耐盐指数和产量的耐盐指数进行了相关分析和多元回归分析 (表 5)。

表 5 各产量要素的耐盐指数 (T/CK) 与产量的耐盐指数 (T/CK) 的相关性分析
Table 5 Correlation analysis on index of salt tolerance in every yield factor in yield

各产量要素的耐盐指数 Index of salt tolerance	代号 Symbol	相关系数 Coefficient correlation	回归方程 Equation regress	t 测验 t test (Prob > F)
出苗率 Emergence rate	X ₁	0.29	$Y = 0.31 X_1 + 10.64$	0.3152
穗长 Spike length	X ₂	0.22	$Y = 0.16 X_2 - 9.58$	0.4413
分蘖率 Tillering rate	X ₃	0.12	$Y = 0.06 X_3 + 33.34$	0.6844
株高 Plant height	X ₄	0.70	$Y = 0.73 X_4 - 13.30$	0.0051 **
保苗率 Seedling survive rate	X ₅	0.69	$Y = 0.66 X_5 - 9.58$	0.0058 **
穗数 Number of spikes	X ₆	0.78	$Y = 0.5 X_6 + 8.73$	0.0011 **
穗粒数 Grain per spike	X ₇	0.72	$Y = 0.66 X_7 - 4.07$	0.0036 **
千粒重 1 000-grain weight	X ₈	0.59	$Y = 1.05 X_8 - 53.15$	0.0257 *

从表 5 的分析结果可以看出, 所调查的 8 个参数, 出苗率、穗长、分蘖率、株高、保苗率、穗数、穗粒数

和千粒重的耐盐指数与产量的耐盐指数之间都存在着一定的正相关关系, 其相关系数分别为 0.29、0.12、0.22、0.69、0.70、0.78、0.72 和 0.59。对它们之间的相关性进行 t 测验发现, 保苗率、株高、穗数、穗粒数等的耐盐指数与产量的耐盐指数之间的相关性都达到了极显著水平; 千粒重的耐盐指数与产量的耐盐指数之间的相关性达到了显著水平。

由于各产量因子对产量的影响程度不同, 各因子之间还存在互作。因此, 对 8 个参数的耐盐指数与产量耐盐指数的相关关系进行了逐步剔除多元回归分析, 经过两次有效剔除非显著因子的回归分析。发现产量的耐盐指数与各产量要素的耐盐指数之间存在一定的函数关系 (表 6)。

根据表 6 的结果, 得知产量的耐盐指数与各产量要素的耐盐指数的多元回归方程为 $Y = 0.187 X_1 + 0.359 X_2 + 0.205 X_5 + 0.361 X_6 + 0.325 X_7 + 0.587 X_8 - 59.667$ 。

该方程表明在盐胁迫条件下产量耐盐指数主要受出苗率 X₁、穗长 X₂、保苗率 X₅、穗数 X₆、穗粒数 X₇ 和千粒重 X₈ 6 个因子的耐盐指数影响, 其相关性遵从上述的函数关系。可用于综合考察各参试材料的耐盐性。

小麦品种间在耐盐性方面存在较大差异^[15]。表 4 数据表明, 各参试材料间在出苗率、穗长、保苗率、穗数、穗粒数和千粒重的耐盐指数上存在很大的差异。其中 SW10 和 SW12 两个材料在盐胁迫条件下表现比较稳定, 各个指标的耐盐指数均高于对照, 最终产量耐盐指数分别为 55.1% 和 54.1%, 较对照的 35.9% 高出近 20%, 且其田间农艺性状表现良好。

表 6 多元回归分析结果
Table 6 Result of backward elimination analysis

变量 Variable	参数估计 Parameter estimate	标准误 Error	平方和 Sum of squares	F 值 F value	t 测验 t test (Prob > F)
INTERCEP	-59.667	10.49	124.53	32.38	0.0007 **
X ₁	0.187	0.08	20.85	5.42	0.0528 *
X ₂	0.359	0.06	151.61	39.42	0.0004 **
X ₅	0.205	0.09	21.09	5.48	0.0517 *
X ₆	0.361	0.05	181.27	47.13	0.0002 **
X ₇	0.325	0.10	40.72	10.59	0.0140 **
X ₈	0.587	0.11	104.83	27.26	0.0012 **

2.3.2 大区生产示范试验结果 由于小麦全生育期土壤含盐量处于动态变化中, 根据 24 个试验小区土壤含盐量的测定结果, 将其划分成 4 个含盐量不同

的区域。将 3 个参试材料在 4 个不同区域中出现的次数、产量要素和实际测产的结果列于表 7。

从表 7 的统计结果看出,随着土壤含盐量的不断增加,参试材料的株高受到了不同程度的影响,表明在营养生长期,材料的耐盐性存在着多样性,在 2~4 级的盐区,3 个材料中 SW12 的株高降低的程度最小,降低了 5.8 cm;其次是 SW10,降低了 5.86 cm;宁春 4 号降低的幅度最大,降低了 7.7 cm;SW10 和 SW12 在 4 级盐区,株高仍然保持在 54.17 cm 和 56.53 cm,为以后的营养生长提供了一定的保障,而宁春 4 号在 4 级盐区株高仅为 38.60 cm。

从产量构成 3 要素来看,统计结果和田间全生育期的耐盐性鉴定结果一致,3 个材料的穗数、穗粒数和千粒重均不同程度地受到了盐胁迫的影响,受影响程度最小的是千粒重,表明盐胁迫对小麦的灌浆过程影响不大;其次是穗粒数,特别是对照的穗粒数,受盐胁迫影响最大,在 2~4 级盐区内,从 19 粒降到了 13

粒,SW12 的穗粒数从 22 粒降到了 20 粒,而 SW10 的穗粒数基本没有发生变化。产量 3 要素中受盐胁迫影响最大的是每公顷的穗数,3 个材料中,受影响最大的仍然是对照品种,SW10 和 SW12 受影响相对小一些。从最终的产量表现看,在 2 级盐区(0.25~0.34)内,SW10 和 SW12 较对照材料有较高的利用价值;在 3 级盐区(0.35~0.44)的范围内,对照受盐胁迫影响产量下降的幅度较大,而 SW10 和 SW12 仍然保持较高的生产势头;在 4 级盐区,对照的生产力已经下降到了 1 500 kg/hm² 以下,SW10 和 SW12 的生产力仍在 2 000 kg/hm² 左右。田间实际测产结果显示,SW10 和 SW12 两个材料每 666.7 m² 的平均产量分别为 273.4 kg 和 287.1 kg,分别高出对照品种宁春 4 号 99.7 kg 和 113.4 kg。田间大区生产示范结果表明,SW10 和 SW12 具有较高的耐盐性,在盐渍化土地上具有较高的生产潜力,在全盐量 0.15~0.54 的盐渍化土壤上具有一定的推广利用价值。

表 7 参试材料在 4 个不同区域出现频次、产量要素和产量结果

Table 7 The result of frequency and yield of WS10, WS12 and CK in different saline

区域 Region	土壤全盐量 Salinity (%)	材料 Material	频次 Frequency	株高 Plant height (cm)	穗数 Number of spikes (10 ⁴ /hm ²)	穗粒数(粒) Grain per spike	千粒重 1 000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm ²)	对对比 Contrast to CK (%)
1 Class 1	0.15 - 0.24	CK	-	-	-	-	-	-	-
		SW10	1	61.00	583.5	27	35.5	4 440.0	
		SW12	1	68.70	673.5	23	33.3	3 296.6	
2 Class 2	0.25 - 0.34	CK	4	46.43	413.0	19	35.3	2 436.6	100.0
		SW10	4	60.03	562.5	24	35.5	3 219.6	132.1
		SW12	3	62.30	630.0	22	32.0	3 550.8	145.7
3 Class 3	0.35 - 0.44	CK	3	41.47	334.1	15	33.2	1 655.0	100.0
		SW10	2	58.60	510.0	24	33.1	3 007.1	181.7
		SW12	2	60.37	540.5	22	33.3	2 755.7	166.5
4 Class 4	0.45 - 0.54	CK	1	38.60	270.0	13	31.3	1 449.0	100.0
		SW10	1	54.17	420.31	24	32.7	1 994.7	137.7
		SW12	2	56.53	509.6	20	33.2	1 973.8	136.2

3 结论

通过对 28 个小麦引进材料在实验室进行芽期、苗期耐盐性鉴定以及田间的全生育期耐盐性鉴定,结果表明,芽期相对盐害率小的材料,如 SW10、SW12、SW16、SW18、SW30、Yecola RoJo 和 Anza,在盐渍土壤上表现出较高的出苗率。苗期盐害指数较小的材料,如 SW10、SW12、SW25、SW26、SW30 和 Kharchia 在盐渍土壤上相应表现出比较高的保苗率。说明实验室的鉴定和田间鉴定有一定的一致性,实验室的耐盐性鉴定

对田间生产具有一定的指导意义。

对各产量要素进行考种和统计分析,各产量要素受盐胁迫影响程度不同,各产量要素的耐盐指数和产量耐盐指数之间存在正相关关系,且一些产量要素的耐盐指数和产量的耐盐指数之间的相关关系达到了显著或极显著的水平。受盐胁迫影响程度最大的是穗数,最小的是千粒重。产量的耐盐指数(Y)与出苗率(X₁)、穗长(X₂)、保苗率(X₃)、穗数(X₄)、穗粒数(X₅)以及千粒重(X₆)等性状的耐盐指数存在函数关系 $Y = 0.187X_1 + 0.359X_2 + 0.205X_3 + 0.361X_4 +$

$0.325 X_7 + 0.587 X_8 - 59.667$ 。

从田间小区耐盐性鉴定和大区生产示范结果来看,各材料之间的耐盐性存在较大的差异,其中 SW10 和 SW12 的各个产量要素的耐盐指数均高于对照宁春4号,2个材料每 666.7 m² 的平均产量分别为 273.4 kg 和 287.1 kg,分别高出对照品种 99.7 kg 和 113.4 kg。表明2个材料的耐盐性高,在盐渍化土地上具有较高的生产潜力,在全盐量 0.15~0.54 的盐渍化土壤上具有一定的推广利用价值。SW30 和 SW31 的耐盐性高于宁春4号,农艺性状欠佳,可以作为种质资源用于小麦耐盐育种。

References

- [1] Zhu Z-H(朱志华). Effect of salt-stress on wheat growth in different developing stage. *Journal of Crop Genetic Resource*, 1998, (3): 31 - 33 (in Chinese)
- [2] Chen D-M(陈德明), Yu R-P(俞仁培). Salt-resistance and ionic characteristics of three wheat cultivars under salt-stress. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 1998, 35(1): 88 - 94
- [3] Weng Y-J(翁跃进), Ma Y-Q(马雅琴), Yang D-G(杨德光). Salt-tolerance Cultivars of Crop and Their Cultural Technology (小麦耐盐性鉴定评价技术规范). Beijing: China Agriculture Press, 2002 (in Chinese)
- [4] Jiang W-S(蒋武生), Lu C-Q(芦翠乔), Wu D(吴丁). Physiological effect of salt-stress on wheat seedling stage. *Journal of Henan Agricultural Science* (河南农业科学), 1989, 10: 1 - 3 (in Chinese)
- [5] Zhao S-F(赵锁芳), Dou Y-L(窦延玲). A review of identification indicators for wheat salt tolerance. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-Occidentalis* (西北农业大学学报), 1998, 26(6): 80 - 85
- [6] Epstein E. In better crops for food. *Ciba Foundation Symposium*, 1983, 97: 61 - 82
- [7] Wang B-S(王宝山), Zhao K-F(赵可夫), Zou Q(邹琦). Advances in mechanism of crop salt tolerance and strategies for raising crop salt tolerance. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1997, 14: 25 - 30
- [8] Yang H-B(杨洪斌), Qiu N-W(邱念伟), Chen M(陈敏). Advances in mechanism of wheat salt-tolerance and breeding of salt-tolerance cultivars. *Journal of Shandong Normal University* (山东师范大学学报), 2001, 16(1): 79 - 82
- [9] Yuan H-T(袁海涛), Fu X-Y(傅秀云), Hao L-X(郝鲁湘). Relationship between mostly agriculture-character and yield in salt-tolerance wheat cultivars. *Agronomy Abroad—Wheat, Barley, Triticale* (国外农学——麦类作物), 1996, 5: 26 - 28 (in Chinese)