网络出版日期:2017-08-18

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170818.0938.018.html>

商洛主栽小麦品种苗期的耐盐性评价

张 军¹, 刘 英¹, 杨生鹏¹, 吴秀宁¹, 王新军¹, 陈新宏²

(1. 商洛学院, 陕西商洛 726000; 2. 西北农林科技大学 农学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要 通过对盐胁迫后商洛地区主栽小麦品种多项生理指标的研究, 鉴定其耐盐性。以小麦幼苗为材料, 对其在不同盐胁迫浓度下苗高、最大根长、根鲜质量、根干质量、根冠比、叶长、叶片相对含水量(RWC)、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)质量摩尔浓度、相对电导率、叶绿素质量分数、可溶性蛋白质质量分数、脯氨酸质量分数等生理指标进行测定。以各单项指标的耐盐系数作为衡量耐盐性的指标, 利用主成分分析、聚类分析对其耐盐性进行综合评价。结果表明: 将 15 个单项指标综合为 4 个相互独立的综合指标, 通过聚类分析将 7 个品种分为 3 类。其中, 中度胁迫下‘小偃 22’‘小偃 15’‘晋麦 47’‘周麦 23’属高度耐盐型; ‘商麦 5226’和‘商麦 9722’属中度耐盐型; ‘商麦 1619’属于不耐盐型; 严重胁迫下除‘小偃 22’聚类到中度耐盐性外, 其余品种和轻度胁迫下聚类结果一致。研究结果可为商洛及周边地区品种科学布局提供参考。

关键词 小麦; 苗期; 耐盐性; 综合评价

中图分类号 S512.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2017)08-1148-08

土壤盐渍化是限制作物高产的主要因素之一。据统计, 中国的盐碱地占耕地面积的 1/5^[1]。随着人类活动的加剧, 盐渍化正在进一步恶化。盐渍土延迟作物出苗, 降低发芽率, 使作物生长和产量受到严重影响^[2]。盐渍土开发利用有多种途径, 其中筛选耐盐性强的品种是行之有效的措施^[3]。

小麦是世界范围内的重要粮食作物, 世界上超过 35% 的地区以小麦作为主要食物^[4]。因此, 开展小麦耐盐性生理研究已引起科技工作者的广泛重视。张巧凤等^[5]以相对根长和苗高作为分级指数, 从供试材料中筛选出 10 份耐盐性强的品种。乔佩等^[6]对 4 种小麦进行盐胁迫, 结果显示盐胁迫后 SOD 等保护酶活性、MDA 质量摩尔浓度和可溶性蛋白质量分数呈上升趋势。这为后续研究提供了较好的借鉴和参考。商洛地处秦岭南麓, 素有“八山一水一分田”之称, 立地条件复杂, 生态类型多样^[7]。小麦是商洛山区的主要粮食作物之一, 但受地理位置的限制, 小麦增产一直没有较大突破。加之受“扩薯压麦”政策的导向,

小麦种植面积呈下降趋势。苗期是小麦由异养到自养的生长过度时期, 是小麦一生对盐渍最敏感的时期^[8]。有关商洛地区主栽小麦品种耐盐性研究鲜有报道。为此, 本研究以商洛地区主栽小麦品种为材料, 测定苗期盐胁迫 SOD 活性等 8 个生理指标和最大根长等 7 个生长指标, 采用主成分分析法进行耐盐性评价, 以期为商洛小麦品种区域化布局、稳定小麦产量提供技术支撑, 并探讨苗期小麦耐盐性评价指标, 为后续耐盐品种选用(育)提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与培养

试验于 2016 年在商洛学院生物学院实验室进行。选用商洛地区近几年主栽小麦品种‘商麦 9722’‘周麦 23’‘商麦 1619’‘晋麦 47’‘商麦 5226’‘小偃 22’和‘小偃 15’为材料。种子均由商洛学院秦岭植物良种繁育中心提供。

人工挑选籽粒饱满的小麦种子, 采用质量分数为 0.1% 的 HgCl₂ 处理 7 min, 蒸馏水冲洗 4 次

收稿日期: 2017-02-26 修回日期: 2017-04-12

基金项目: 陕西省教育厅产业化培育项目(15JF016); 商洛学院科学与技术研究基金项目(16SKY-FWDF001)。

第一作者: 张 军, 男, 讲师, 从事小麦抗逆生理研究。E-mail: bjzhangjun@126.com

通信作者: 王新军, 男, 教授, 主要从事小麦抗逆生理研究。E-mail: 614648056@qq.com

后置于含适宜水分的培养皿中,放入 25 ℃ 恒温培养箱中黑暗条件下萌发 1 d。挑选长势一致的露白种子植入铺有纱布的水培篮中。Hogland 营养液培养至两叶一心时进行盐胁迫处理。设置 0 (CK)、0.3 mol/L (MS) 和 0.6 mol/L (SS) 3 个盐胁迫水平。其中盐溶液由 Hogland 营养液溶解 NaCl 而成,对照为 Hogland 营养液溶液。胁迫 3 d 后取样测定。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 生长指标 随机选取整齐一致的小麦幼苗,蒸馏水快速冲洗,用吸水纸吸干。测定苗高、最大根长、根鲜质量、根干质量、根冠比、叶长、叶片相对含水量^[9]等指标。具体方法为将根系和地上部分分离。用直尺测定苗高、最大根长和第一叶长度;用分析天平测量根鲜质量、地上部鲜质量和第一叶鲜质量;105 ℃ 杀青 10 min, 80 ℃ 烘干至恒质量,分析天平测定根干质量和地上部干质量。每指标重复 3 次。

1.2.2 生理生化指标 取第 1 片叶,测定 SOD 活性、POD 活性、CAT 活性、MDA 质量摩尔浓度、相对电导率、叶绿素质量分数、可溶性蛋白质质量分数、脯氨酸质量分数。方法参照文献^[9]。每个指标重复 3 次。

1.3 耐盐性评价

参考庄巧生等^[10]的方法计算相对抗盐系数:

相对抗盐系数 = 盐胁迫下性状测定值 / 对照性状测定值 × 100% (1)

采用王军等^[11]的方法计算各综合指标的隶属函数值:

$$u(X_j) = (X_j - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中, X_j 表示第 j 个综合指标, $X_{\min}$ 和 $X_{\max}$ 表示第 j 个综合指标的最小值和最大值。各综合指标的权重计算公式^[12]:

$$W_j = p_j \sum_{j=1}^n p_j \quad j=1, \dots, n \quad (3)$$

式中, W 表示第 j 个综合指标在所有综合指标中的权重, p_j 为每个供试品种第 j 个综合指标的贡献率。

各小麦品种综合耐盐能力^[12-13]:

$$D = \sum_{j=1}^n [u(X_j) \times w_j] \quad j=1, \dots, n \quad (4)$$

式中, D 为各供试品种在盐胁迫后用综合评价指标所得的耐盐性综合评价值。

1.4 统计分析

采用 Excel 2003 进行数据处理, SAS 8.1 进

行主成分分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 各单项指标相对耐盐系数及其简单相关分析

根据公式(1)计算各单项指标的相对抗盐系数。由表 1 可得, 中度胁迫 (MS) 和严重胁迫 (SS) 后, 小麦苗高、最大根长、根鲜质量、根干质量、叶片相对含水量、叶长、SOD 活性、CAT 活性和叶绿素质量分数有不同程度地下降; 根冠比、MDA 质量摩尔浓度、相对电导率和脯氨酸质量分数有不同程度地增加, 而 POD 活性和可溶性蛋白在品种间变化幅度不尽一致。若用单一指标评价供试小麦的耐盐性, 会得到不同甚至相反的结果。另外, 从相关系数矩阵(表 2 和表 3)来看, 指标间存在着不同程度的相关性, 从而使得提供的信息发生重叠, 因此, 不能用这些指标直接评价品种的抗盐性。

2.2 主成分分析

对 15 个单项指标的相对耐盐系数进行主成分分析(表 4)。中度胁迫下前 4 个综合指标的贡献率依次为 0.500、0.164、0.139 和 0.105, 累积贡献率达 90.75%, 重度胁迫下前 4 个综合指标的贡献率依次为 0.456、0.261、0.163 和 0.072, 累积贡献率达 95.25%, 其余可忽略不计。这样就把 15 个有着不同相关性的单项指标转化为 4 个新的且相互独立的综合指标。分别定义为第 1 至第 4 主成分 ($CI_1 \sim CI_4$)。其中, 中度胁迫对应的特征向量为:

$$\text{第 1 主成分: } CI_1 = 0.071X_1 + 0.152X_2 + 0.253X_3 - 0.244X_4 + 0.092X_5 - 0.186X_6 + 0.237X_7 + 0.323X_8 + 0.293X_9 + 0.342X_{10} - 0.300X_{11} - 0.262X_{12} + 0.335X_{13} + 0.276X_{14} + 0.307X_{15}$$

$$\text{第 2 主成分: } CI_2 = 0.534X_1 + 0.512X_2 + 0.185X_3 - 0.156X_4 - 0.442X_5 + 0.200X_6 - 0.138X_7 + 0.077X_8 - 0.073X_9 - 0.051X_{10} + 0.200X_{11} - 0.194X_{12} - 0.148X_{13} - 0.143X_{14} + 0.072X_{15}$$

$$\text{第 3 主成分: } CI_3 = 0.179X_1 - 0.119X_2 - 0.262X_3 + 0.363X_4 + 0.350X_5 + 0.384X_6 + 0.088X_7 + 0.262X_8 - 0.275X_9 + 0.216X_{10} - 0.035X_{11} - 0.369X_{12} - 0.070X_{13} - 0.250X_{14} + 0.281X_{15}$$

$$\text{第 4 主成分: } CI_4 = 0.233X_1 - 0.281X_2 -$$

表 1 各单项指标的相对耐盐系数

Table 1 Relative salt tolerance coefficient of single index

处理 Treatment	品种 Cultivar	根系性状 Root trait		根冠比 (X ₅) Root shoot ratio	叶片性状 Leaf trait		保护酶 Protective enzymes			质膜受损程度 Plasma membrane damage		渗透调节物质 Osmoregulation substance			
		苗高(X ₁) Seedling height	最大根长(X ₂) Max root length		根鲜质量(X ₃) Root fresh mass	根干质量(X ₄) Root dry mass	相对含水量(X ₆) RWC	叶长(X ₇) Leaf length	SOD活性(X ₈) SOD activity	POD活性(X ₉) POD activity	CAT活性(X ₁₀) CAT activity	丙二醛浓度(X ₁₁) MDA	相对电导率(X ₁₂) REC	可溶性蛋白质(X ₁₃) Soluble protein mass fraction	脯氨酸质量分数(X ₁₅) Proline mass fraction
MS	1	71.54	66.76	62.15	95.67	144.64	41.32	67.80	99.52	78.48	634.23	115.06	69.58	75.76	185.99
	2	60.36	59.63	67.21	93.16	356.16	65.02	88.89	111.79	94.17	144.38	103.17	84.98	97.93	206.01
	3	55.42	62.43	65.14	90.98	189.48	53.99	44.12	96.92	75.39	400.19	154.62	69.55	74.41	142.56
	4	64.81	73.95	85.57	84.52	193.11	96.26	52.79	81.82	102.59	88.37	245.57	103.75	77.77	96.38
	5	59.04	63.53	56.75	93.75	170.11	90.12	53.95	80.65	98.04	82.49	297.46	105.14	67.37	187.37
	6	63.49	69.14	79.93	85.68	177.62	80.23	61.42	95.65	177.75	92.76	138.51	101.82	142.68	215.27
	7	67.91	78.80	72.66	87.61	164.77	91.71	73.79	88.46	116.25	91.24	147.04	103.06	77.78	69.21
SS	1	45.07	54.19	43.63	89.52	245.83	29.71	23.08	79.57	64.75	621.58	205.41	56.58	71.33	173.24
	2	52.52	55.73	54.95	83.75	437.21	73.84	47.41	56.52	116.49	84.72	252.48	162.03	99.68	175.72
	3	44.43	52.49	40.58	79.51	230.54	64.53	47.14	8.82	92.57	25.92	928.19	320.97	66.83	112.39
	4	56.32	69.54	79.34	75.63	429.75	75.94	26.86	30.51	102.42	35.34	257.67	172.21	57.66	73.18
	5	50.64	54.71	37.71	90.27	235.16	68.72	46.42	38.71	95.93	63.54	494.77	197.89	67.43	170.73
	6	46.48	53.35	60.08	79.65	253.82	64.83	49.65	59.09	208.96	80.93	150.46	139.71	101.69	201.15
	7	52.79	57.67	53.93	79.46	290.72	75.52	55.03	40.03	117.23	92.77	204.16	163.23	61.08	87.58

注:品种 1-7 分别代表‘商麦 9722’、‘周麦 23’、‘商麦 1619’、‘晋麦 47’、‘商麦 5226’、‘小偃 22’和‘小偃 15’。表 5 同。

Note: Cultivar 1 to 7 are ‘Shangmai 9722’, ‘Zhoumai 23’, ‘Shangmai 1619’, ‘Jinmai 47’, ‘Shangmai 5226’, ‘Xiaoyan 22’ and ‘Xiaoyan 15’, respectively. The same as table 5.

表 2 中度胁迫下各单项指标的相关系数矩阵

Table 2 Correlation matrix of every single index under moderate stress

指标 Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
X ₂	0.611*	1.000												
X ₃	0.228	0.611*	1.000											
X ₄	-0.044	-0.678**	-0.925**	1.000										
X ₅	-0.378	-0.517*	0.005	0.151	1.000									
X ₆	0.246	0.011	-0.165	0.339	0.179	1.000								
X ₇	-0.129	0.343	0.284	-0.428	0.358	-0.308	1.000							
X ₈	0.345	0.36	0.418	-0.376	0.237	-0.308	0.534*	1.000						
X ₉	0.101	0.2	0.501*	-0.518*	-0.025	-0.863**	0.377	0.589*	1.000					
X ₁₀	0.172	0.314	0.562*	-0.499*	0.495	-0.26	0.726**	0.908**	0.584*	1.000				
X ₁₁	0.27	-0.25	-0.500*	0.613*	-0.446	0.412	-0.867**	-0.695**	-0.516*	-0.853**	1.000			
X ₁₂	-0.493	-0.376	-0.317	0.233	-0.146	0.072	-0.325	-0.948**	-0.369	-0.777**	0.489	1.000		
X ₁₃	0.075	0.154	0.657**	-0.561*	0.42	-0.548*	0.542*	0.702**	0.851**	0.845**	-0.710**	-0.488	1.000	
X ₁₄	0.002	0.011	0.637*	-0.534*	0.209	-0.657**	0.158	0.517*	0.883**	0.576*	-0.457	-0.334	0.889**	1.000
X ₁₅	0.448	0.259	0.344	-0.236	0.25	-0.317	0.415	0.966**	0.634*	0.857**	-0.548*	-0.923**	0.728**	0.574*

注: * 和 ** 分别为 0.05 和 0.01 水平下显著相关。表 3 同。

Note: * and ** mean significant correlation at 0.05 level and 0.01 level, respectively. The same as table 3.

表 3 严重胁迫下各单项指标的相关系数矩阵

Table 3 Correlation matrix of every single index under serious stress

指标 Index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄
X ₂	0.809**	1.000												
X ₃	0.659**	0.836**	1.000											
X ₄	-0.345	-0.530*	-0.734**	1.000										
X ₅	0.780**	0.698**	0.732**	-0.408	1.000									
X ₆	0.301	0.261	-0.095	0.602*	0.125	1.000								
X ₇	-0.125	-0.572*	-0.371	-0.052	-0.294	-0.504*	1.000							
X ₈	0.342	-0.036	0.314	-0.006	0.348	-0.096	0.396	1.000						
X ₉	-0.095	-0.169	0.337	-0.361	-0.047	-0.608*	0.429	0.714**	1.000					
X ₁₀	0.146	-0.290	-0.044	0.241	0.051	0.185	0.526*	0.783**	0.443	1.000				
X ₁₁	-0.641**	-0.405	-0.664**	0.299	-0.522*	-0.058	-0.157	-0.855**	-0.603*	-0.675*	1.000			
X ₁₂	-0.538*	-0.317	-0.542*	0.045	-0.430	-0.283	-0.035	-0.856**	-0.533*	-0.734**	0.956**	1.000		
X ₁₃	-0.126	-0.162	0.355	-0.269	-0.029	-0.464	0.300	0.732**	0.975**	0.508*	-0.636*	-0.617*	1.000	
X ₁₄	0.151	-0.133	0.354	-0.265	0.355	-0.348	0.469	0.871**	0.773**	0.742**	-0.746**	-0.685**	0.794**	1.000
X ₁₅	0.343	0.195	0.443	0.082	0.249	0.273	-0.031	0.818**	0.583*	0.702**	-0.870**	-0.966**	0.690**	0.626*

表 4 综合指标的系数及贡献率

Table 4 Correlation of comprehensive indexes and their contribution

处理 Treatment	综合指标 Comprehensive index	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	贡献率 P
MS	CI ₁	0.071	0.152	0.253	-0.244	0.092	-0.186	0.237	0.323	0.293	0.342	-0.300	-0.262	0.335	0.276	0.307	0.500
	CI ₂	0.534	0.512	0.185	-0.156	-0.442	0.200	-0.138	0.077	-0.073	-0.051	0.200	-0.194	-0.148	-0.143	0.072	0.164
	CI ₃	0.179	-0.119	-0.262	0.363	0.350	0.384	0.088	0.262	-0.275	0.216	-0.035	-0.369	-0.070	-0.250	0.281	0.139
	CI ₄	0.233	-0.281	-0.230	0.331	-0.158	-0.303	-0.410	0.103	0.312	-0.106	0.334	-0.142	0.093	0.298	0.265	0.105
SS	CI ₁	0.186	0.099	0.240	-0.121	0.183	-0.041	0.087	0.350	0.284	0.264	-0.371	-0.353	0.296	0.331	0.329	0.456
	CI ₂	0.369	0.474	0.332	-0.174	0.353	0.212	-0.354	-0.123	-0.237	-0.212	-0.079	-0.055	-0.224	-0.168	-0.006	0.261
	CI ₃	0.067	-0.085	-0.237	0.537	-0.045	0.566	-0.103	0.110	-0.247	0.303	-0.067	-0.219	-0.163	-0.077	0.248	0.163
	CI ₄	0.388	-0.056	-0.172	-0.091	0.283	-0.081	0.586	0.107	-0.240	0.236	-0.050	0.097	-0.357	0.145	-0.304	0.072

$$0.230X_3 + 0.331X_4 - 0.158X_5 - 0.303X_6 - 0.410X_7 + 0.103X_8 + 0.312X_9 - 0.106X_{10} + 0.334X_{11} - 0.142X_{12} + 0.093X_{13} + 0.298X_{14} + 0.265X_{15}$$

由上述 4 个主成分表达式可知,在第 1 主成分表达式中,第 8、10、13 项系数较大,分别代表 SOD 活性、CAT 活性、叶绿素质量分数;其次为第 9、14、15 项,依次代表 POD 活性、可溶性蛋白质质量分数、脯氨酸质量分数,可大致概括为保护酶活性、叶绿素质量分数和渗透调节物质;在第 2 主成分表达式中,第 1、2 项系数较大,分别代表苗高和最大根长,可确定为苗高和最大根长;在第 3 主成分表达式中,第 4、5、6 项系数较大,分别代表根干质量、根冠比和叶片相对含水量,可大致概括为根系生长指标和叶片相对含水量;在第 4 主成分表达式中,第 4、11 项系数较大,分别代表根干质量和 MDA 质量摩尔浓度,可确定为根干质量和 MDA 质量摩尔浓度。

上述分析表明,保护酶(SOD、POD、CAT)活性、叶绿素质量分数、渗透调节物质(可溶性蛋白、脯氨酸)质量分数、生长指标(苗高、最大根长、根冠比)、叶片相对含水量、MDA 质量摩尔浓度均可作为小麦苗期耐盐性鉴定的指标。

2.3 综合分析

2.3.1 隶属函数分析 依据公式(2)求得 4 个综合指标的隶属函数值(表 5)。对于同一综合指标 CI_1 而言,中度胁迫和严重胁迫下均是‘小偃 22’

的 u_1 值最大,均为 1.000,表明‘小偃 22’下在 CI_1 这一综合指标上的耐盐性最强;均是‘商麦 1619’的 u_1 值最小,为 0.000,表明‘商麦 1619’在 CI_1 这一综合指标上的耐盐性最差。

2.3.2 权重的确定 基于各综合指标贡献率(表 4),用公式(3)可求出各自权重。经计算,中度胁迫下 4 个综合指标的权重依次为 0.550、0.180、0.153 和 0.116,严重胁迫下 4 个综合指标的权重依次为 0.479、0.274、0.171 和 0.076(表 5)。

2.3.3 综合评价 用公式(4)计算各供试品种的综合耐盐能力的强弱,根据各品种的 D 值(表 5),对耐盐性强弱进行排序。中度胁迫下‘小偃 22’的 D 值最大(0.743),其次为‘小偃 15’(0.632),表明二者在 0.3 mol/L 盐浓度下其耐盐性最强;严重胁迫下‘周麦 23’的 D 值最大(0.680),其次为‘晋麦 47’(0.667),表明两者在 0.6 mol/L 盐浓度下其耐盐性最强;中度胁迫和严重胁迫下均是‘商麦 1619’的 D 值最小(0.054 和 0.112),表明其耐盐性最差。采用最大距离法对 D 值进行聚类分析,中度胁迫下可将 7 个供试品种分为 3 类:‘小偃 22’‘小偃 15’‘晋麦 47’和‘周麦 23’为一类,属高度耐盐型;‘商麦 5226’和‘商麦 9722’为一类,属中度耐盐型;‘商麦 1619’属于不耐盐型;严重胁迫下也可分为 3 类:‘周麦 23’‘晋麦 47’和‘小偃 15’为一类,属高度耐盐型,‘小偃 22’‘商麦 5226’和‘商麦 9722’属于中度耐盐型;‘商麦 1619’属于不耐盐型。

表 5 供试品种的综合指标值、权重、 $u(X_j)$ 、 D 值及相对排名

Table 5 Value of each cultivar's comprehensive index, index weight, $u(X_j)$, value D and ranking

处理 Treatment	品种 Cultivar	CI_1	CI_2	CI_3	CI_4	$u(X_1)$	$u(X_2)$	$u(X_3)$	$u(X_4)$	D	综合评价 Comprehensive valuation
MS	1	-2.772	1.697	0.644	1.754	0.105	1.000	0.642	1.000	0.452	中度耐盐 Medium salt-tolerance
	2	1.337	-2.213	2.090	-0.197	0.639	0.000	1.000	0.384	0.550	高度耐盐 High salt-tolerance
	3	-3.579	-1.465	-1.943	-0.874	0.000	0.191	0.000	0.170	0.054	不耐盐 No salt-tolerance
	4	0.899	1.421	-0.331	-1.148	0.582	0.929	0.400	0.084	0.559	高度耐盐 High salt-tolerance
	5	-1.572	-0.475	0.811	0.435	0.261	0.445	0.683	0.584	0.396	中度耐盐 Medium salt-tolerance
	6	4.112	-0.487	-1.730	1.444	1.000	0.441	0.053	0.902	0.743	高度耐盐 High salt-tolerance
	7	1.574	1.522	0.459	-1.414	0.670	0.955	0.596	0.000	0.632	高度耐盐 High salt-tolerance
	权重 Index weight					0.550	0.180	0.153	0.116		
SS	1	-1.945	-0.088	1.944	-1.302	0.303	0.354	1.000	0.000	0.413	中度耐盐 Medium salt-tolerance
	2	1.925	0.073	0.517	1.230	0.809	0.379	0.660	1.000	0.680	高度耐盐 High salt-tolerance
	3	-4.259	-0.938	-2.249	0.399	0.000	0.223	0.000	0.672	0.112	不耐盐 No salt-tolerance
	4	0.812	4.081	-0.970	-0.555	0.664	1.000	0.305	0.295	0.667	高度耐盐 High salt-tolerance
	5	-1.243	-0.551	1.720	0.244	0.395	0.283	0.947	0.610	0.475	中度耐盐 Medium salt-tolerance
	6	3.383	-2.375	-1.259	-1.181	1.000	0.000	0.236	0.048	0.523	中度耐盐 Medium salt-tolerance
	7	1.329	-0.202	0.297	1.166	0.731	0.337	0.607	0.974	0.620	高度耐盐 High salt-tolerance
	权重 Index weight					0.479	0.274	0.171	0.076		

3 讨论

抗逆性是作物在逆境环境中生长、繁殖或生存能力,作物抗逆性鉴定就是按照作物的抗逆能力进行筛选、评价和归类的过程,通过抗逆性鉴定可筛选出优异的种质资源^[14]。本研究选取小麦一生对盐渍逆境最敏感的苗期进行耐盐性评价,筛选出‘小偃 22’等 4 个耐盐性强的小麦品种。不仅验证前人已经报道的耐盐小麦品种‘小偃 22’^[8]和‘晋麦 47’^[15],而且鉴定出‘小偃 15’和‘周麦 23’这 2 个耐盐小麦品种。研究结果可为商洛及周边地区品种科学布局提供信息。

可靠的耐盐性指标是准确评价作物耐盐性强弱的基础^[16]。近些年国内外学者已筛选出许多与小麦耐盐性相关的指标。大致可分为 3 类:一是盐胁迫后的萌发指标,如发芽率、发芽指数和活力指数等;二是盐胁迫与形态及与产量相关的农艺性状,如株高、分蘖数、穗长及其产量构成因素;三是与抗逆性相关的生理生化指标,如保护酶活性、质膜养护程度、渗透调节物质质量分数、光合指标等。本研究中选用苗高等 15 个指标进行观测,借助主成分分析将其转化为 4 个综合指标。分析表明保护酶(SOD、POD、CAT)活性、叶绿素质量分数、渗透调节物质(可溶性蛋白、脯氨酸)质量分数、生长指标(苗高、最大根长、根冠比)、叶片相对含水量、MDA 质量摩尔浓度均可作为小麦苗期耐盐性鉴定的可靠指标。这与张巧凤等^[5]、梁超等^[17]研究结果基本一致。

作物抗逆性是多基因控制的数量性状,是品种特性、环境条件和发育时空共同作用的结果^[18]。单一指标很难准确全面地鉴定作物的抗逆性,应用多个可靠指标来综合评价作物的抗逆适应性^[12]。而多个指标间存在着不同程度地相关性,使得各指标提供的信息发生重叠,采用隶属函数法直接利用这些指标来评价作物的抗逆性会产生一定的偏差^[13]。主成分分析法能克服上述缺陷,被众多学者在耐旱性^[12-13]、耐湿性^[19]、耐冻性^[20]等评价中所采用。由于得到的 D 值是介于 $[0, 1]$ 区间上的无量纲的纯数,使得品种间抗逆性具有可比性^[20]。本研究通过聚类分析将 7 个品种分为 3 类。其中,中度胁迫下‘小偃 22’‘小偃 15’‘晋麦 47’和‘周麦 23’属高度耐盐型;‘商麦 5226’和‘商麦 9722’属中度耐盐型;‘商麦 1619’属于不耐盐型;严重胁迫下除‘小偃 22’聚类到中

度耐盐性外,其余品种和轻度胁迫下聚类结果一致。

另外,根据 D 值大小排名来看,各品种在中度胁迫下和严重胁迫下排名不尽相同,表现出对盐胁迫的响应在不同胁迫强度间存在差异。类似情况在前人研究中也有报道^[5, 21],这可能与品种本身耐盐机制的多层次性有关^[22]。这表明小麦耐盐性鉴定的浓度阈值需要结合供试材料等因素来综合确定。

参考文献 Reference:

- [1] 丁海荣,洪立洲,杨智青,等.盐碱地及其生物措施改良研究现状[J].现代农业科技,2010(6):299-300,308.
DING H R, HONG L ZH, YANG ZH Q, et al. Research statues of improving salty soil and its biological measures [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2010 (6): 299-300, 308 (in Chinese).
- [2] 华智锐,李小玲.水杨酸浸种对小麦品种‘商麦 5226’盐胁迫的缓解效应[J].西北农业学报,2015,24(9):29-35.
HUA ZH R, LI X L. Mitigative effect of seed-soaking by salicylic acid on wheat cultivar of ‘Shangmai 5226’ under salt stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(9): 29-35 (in Chinese with English abstract).
- [3] 张 军,吴秀宁,王新军.盐胁迫对小麦幼苗根系生长的影响[J].商洛学院学报,2016,30(4):52-55.
ZHANG J, WU X N, WANG X J. Effects of salt stress on root growth of wheat at its seedling stage [J]. *Journal of Shangluo University*, 2016, 30(4): 52-55 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王述民,李立会,黎 裕,等.中国粮食和农业植物遗传资源状况报告(I)[J].植物遗传资源学报,2011,12(2):167-177.
WANG SH M, LI L H, LI Y, et al. Status of plant genetic resources for food and agricultural in China (I) [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2011, 12(2): 167-177 (in Chinese with English abstract).
- [5] 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.
ZHANG Q F, CHEN Z J, WU J ZH, et al. screening for salinity tolerance at germination and seedling stages in wheat germplasm [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2013, 14(4): 620-626 (in Chinese with English abstract).
- [6] 乔 佩,卢存福,李红梅,等.盐胁迫对诱变小麦种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(6):720-727.
QIAO P, LU C F, LI H M, et al. Influence of salt on seed germination and seedling physiological characteristics of mutagenic wheat [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(6): 720-727 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李勇刚.商洛市小麦生产历史、现状及发展对策[J].陕西农

- 业科学,2012,58(6):162-163.
- LI Y G. The history, current situation and development of wheat production in Shangluo[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 58(6):162-163(in Chinese).
- [8] 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.
- WANG M M,JIANG Q Y,HU ZH,*et al.* Evaluation for salt tolerance of wheat cultivars[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(2):189-194(in Chinese with English abstract).
- [9] 中国科学院上海植物生理研究所,上海市植物生理学会.现代植物生理学实验指南[M].北京:科学出版社,1999:293-337.
- Shanghai Institute of Plant Physiology, Shanghai Plant Physiological Society, Modern Plant Physiology Experiment Guide [M]. Beijing: Science Press, 1999: 293-337 (in Chinese).
- [10] 庄巧生,杜振华.中国小麦育种进展[M].北京:中国农业出版社,1996:287-293.
- ZHUANG Q SH,DU ZH H. Wheat Breeding Progress of China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 287-293(in Chinese).
- [11] 王军,梁长东,张灿宏,等.作物耐盐碱性鉴定评价方法探讨[J].大麦与谷类科学,2010(3):35-36.
- WANG J,LIANG CH D,ZHANG C H,*et al.* Evaluation identification methods of saline resistance [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2010(3):35-36(in Chinese)
- [12] 白志英,李存东,孙红春,等.小麦代换系抗旱生理指标的主成分分析及综合评价[J].中国农业科学,2008,41(12):4264-4272.
- BAI ZH Y,LI C D,SUN H CH,*et al.* Principal component analysis and comprehensive evaluation on physiological indices of drought resistance in wheat substitution[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(12):4264-4272(in Chinese with English abstract).
- [13] 张军,鲁敏,孙树贵,等.7个冬小麦品种灌浆期抗旱性鉴定指标的综合评价[J].植物科学学报,2014,32(2):148-157.
- ZHANG J,LU M,SUN SH G,*et al.* Screening indexes for drought resistance of seven winter wheat cultivars at the grain-filling stage[J]. *Plant Science Journal*, 2014, 32(2): 148-157(in Chinese with English abstract).
- [14] 白志英,李存东,刘渊.干旱胁迫下小麦叶片脯氨酸和蛋白质质量分数变化与染色体的关系[J].植物遗传资源学报,2007,8(3):325-330.
- BAI ZH Y,LI C D,LI Y,*et al.* Relationship between chromosome and changing of leaf proline and protein content under drought stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2007, 8(3):325-330(in Chinese with English abstract).
- [15] 胡思远.小麦-滨麦异代换系芽期与苗期抗旱、耐盐性鉴定评价[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.
- HU S Y. Appraisal of drought and salt resistance of *Triticum-Leymus* substitution alien at germination and seedling stages[D]. Yangling Shaanxi: Northwest A&F University, 2015(in Chinese with English abstract).
- [16] 杨洪兵. K^+ 和 Mg^{2+} 对盐胁迫下荞麦幼苗生理特性的效应[J].西北农业学报,2015,24(5):102-106.
- YANG H B. Effects of K^+ and Mg^{2+} on physiological traits of buckwheat seedlings under salt stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(5): 102-106(in Chinese with English abstract).
- [17] 梁超,王超,杨秀风,等.德抗961小麦耐盐生理特性研究[J].西北植物学报,2006,26(10):2075-2082.
- LIANG CH,WANG CH,YANG X F,*et al.* Salt-tolerant physiological characters of wheat variety Dekang 961[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(10): 2075-2082(in Chinese with English abstract).
- [18] 路阳,金山,张娜,等.西藏11种野生牧草萌发期抗旱性研究[J].西北农业学报,2011,20(3):38-44.
- LU Y,JIN SH,ZHANG N,*et al.* Drought resistance evaluation of 11 wild grasses from Tibet during seed germination [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2011, 20(3):38-44(in Chinese with English abstract).
- [19] 王军,周美学,许如根,等.大麦耐湿性鉴定指标和评价方法研究[J].中国农业科学,2007,40(10):2145-2152.
- WANG J,ZHOU M X,XU R G,*et al.* Studies on selecting indices and evaluation methods for barley's (*Hordeum vulgare* L.) waterlogging tolerance[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2145-2152 (in Chinese with English abstract).
- [20] 王树刚,王振林,王平,等.不同小麦品种对低温胁迫的反应及抗冻性评价[J].生态学报,2011,31(4):1064-1072.
- WANG SH G,WANG ZH L,WANG P,*et al.* Evaluation of wheat freezing resistance based on the responses of the physiological indices to low temperature stress[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4):1064-1072(in Chinese with English abstract).
- [21] 刘艳丽,许海霞,刘桂珍,等.小麦耐盐性研究进展[J].中国农学通报,2008,24(11):202-207.
- LIU Y L,XU H X,XU G ZH,*et al.* Review on salt tolerance of wheat[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2008, 24(11):202-207(in Chinese with English abstract).
- [22] 孟祥浩,林琪,张玉梅,等.盐胁迫对小麦萌发的影响及耐盐指标的筛选[J].华北农学报,2014,29(4):175-180.
- MENG X H,LIN Q,ZHANG Y M,*et al.* Effect of salt stress on germination of wheat and screening of salt tolerance indices[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2014, 29(4):175-180(in Chinese with English abstract).

Comprehensive Evaluation of Salt Tolerance at Seedling Stage in Wheat Cultivars Dominated in Shangluo, Shaanxi

ZHANG Jun¹, LIU Ying¹, YANG Shengpeng¹, WU Xiuning¹,
WANG Xinjun¹ and CHEN Xinhong²

(1. Shangluo University, Shangluo Shaanxi 726000, China; 2. Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract In this study, the physiological indexes of main wheat cultivars from Shangluo, Shaanxi, were measured to determine their salt-resistance under different concentrations of NaCl solution. The comprehensive salt resistant coefficient of seedling height, max root length, root fresh mass, root dry mass, root shoot ratio, leaf relative water content (RWC), leaf length, SOD activity, POD activity, CAT activity, MDA molality, relative electric conductivity (REC), chlorophyll mass fraction, soluble protein mass fraction and proline mass fraction of seedlings were evaluated by principal components analysis and cluster analysis. The results showed that the 15 single indexes could be classified into 4 independent comprehensive components. The cluster analysis was used to divide 7 cultivars into 3 salt-resistance groups. Under moderate stress (MS), ‘Xiaoyan 22’, ‘Xiaoyan 15’, ‘Jinmai 47’ and ‘Zhoumai 23’ belonged to high salt-resistant group, ‘Shangmai 5226’ and ‘Shangmai 9722’ belonged to medium salt-resistant group, ‘Shangmai 1619’ belonged to poor salt-resistant group; under serious stress (SS), expect for ‘Xiaoyan 22’ belonged to medium salt-resistant group, the other cultivars belonged to same group than that under moderate stress. The study may provide reference for scientific arrangement of wheat cultivars in Shangluo and surrounding area.

Key words Wheat; Seedling stage; Salt tolerance; Comprehensive evaluation

Received 2017-02-26

Returned 2017-04-12

Foundation item Industrialization Cultivation Project of Shaanxi Education Department (No. 15JF016); Scientific Research Projects of Shangluo University (No. 16SKY-FWDF001).

First author ZHANG Jun, male, lecturer. Research area: wheat stress physiology. E-mail: bjzhangjun@126.com

Corresponding author WANG Xinjun, male, professor. Research area: wheat stress physiology. E-mail: 614648056@qq.com

(责任编辑:成 敏 Responsible editor: CHENG Min)