

# 山西省主推小麦品种芽期及苗期耐盐性的综合评价

刘彤彤<sup>1</sup> 李宁<sup>2</sup> 魏良迪<sup>2</sup> 杨进文<sup>2</sup> 史雨刚<sup>2</sup> 王曙光<sup>2</sup> 孙黛珍<sup>2\*</sup>

(1. 山西农业大学 食品科学与工程学院, 山西 太谷 030801;

2. 山西农业大学 农学院, 山西 太谷 030801)

**摘要** 为研究山西省不同小麦品种的耐盐性以及筛选适用于山西盐碱地种植的小麦品种,本研究以40个山西省各麦区主推的小麦品种为材料,分别在芽期和苗期对其进行盐胁迫(1.2% NaCl)处理,分析盐胁迫对小麦芽期和苗期各形态指标的影响,并利用耐盐性综合评价值(D),对供试材料的耐盐性进行评价。结果表明:除芽期根鲜重和苗期根数以外,小麦芽期和苗期的各项形态指标均受到盐胁迫的影响,但不同指标对盐胁迫的敏感度存在差异;共筛选出芽期耐盐型品种9个,占供试材料的22.5%,苗期耐盐型品种11个,占供试材料的27.5%;芽期和苗期皆为耐盐型的材料5份,分别为‘石农086’‘临糯88’‘品育8161’‘冬黑1206’‘品育8012’。本研究结果可为山西省盐碱地小麦生产用种以及耐盐性小麦的培育提供材料基础。

**关键词** 山西省; 小麦; 耐盐性; 综合评价

中图分类号 S512.1

文章编号 1007-4333(2022)02-0022-12

文献标志码 A

## Comprehensive evaluation of salt tolerance of wheat varieties in Shanxi Province during germination and seedling stage

LIU Tongtong<sup>1</sup>, LI Ning<sup>2</sup>, WEI Liangdi<sup>2</sup>, YANG Jinwen<sup>2</sup>, SHI Yugang<sup>2</sup>,  
WANG Shuguang<sup>2</sup>, Sun Daizhen<sup>2\*</sup>

(1. College of Food Science and Engineering, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. College of Agriculture, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

**Abstract** In order to study the salt tolerance of different wheat varieties in Shanxi Province and screen wheat varieties suitable for planting in saline-alkali land in Shanxi Province, 40 wheat varieties mainly promoted in different wheat regions of Shanxi Province were used as materials. These wheat varieties were treated with salt stress (1.2% NaCl) at the germination and seedling stages, respectively. The effects of salt stress on various morphological indexes of wheat were analyzed at the germination and seedling stages. The salt tolerance comprehensive evaluation value (D) was adopted to evaluate the salt tolerance of tested materials. The results showed that: Except the root fresh weight at the germination stage and the number of roots at the seedling stage, all morphological indexes at the germination stage and seedling stage of wheat were affected by salt stress, but the sensitivities of different indexes to salt stress were different. A total of nine salt-tolerant varieties at the germination stage were identified (accounting for 22.5% of the tested materials), eleven salt-tolerant varieties at the seedling stage (27.5%), and five salt-tolerant materials, ‘Shinong086’ ‘Linnuo88’ ‘Pinyu8161’ ‘Donghei1206’ ‘Pinyu8012’, were salt-tolerant at both the germination and seedling stages. This study provides material basis for the production of wheat seeds in saline-alkali land and the cultivation of salt-tolerant wheat in Shanxi Province.

**Keywords** Shanxi Province; wheat; salt tolerance; comprehensive evaluation

收稿日期: 2021-05-05

基金项目: 山西省优秀博士来晋工作奖励资金科研项目(SXYBKY2019040); 山西农业大学科技创新基金项目(2020BQ30)

第一作者: 刘彤彤, 硕士研究生, E-mail: sxndspltt@163.com

通讯作者: 孙黛珍, 教授, 主要从事小麦分子育种研究, E-mail: sdz64@126.com

小麦 (*Triticum aestivum* L.) 不仅是世界范围内种植最广泛的作物之一, 同时也是人类食物的重要来源<sup>[1]</sup>。目前, 研究人员借助品种改良等方法使小麦单产每年提高 0.9% 左右<sup>[2-3]</sup>, 但小麦单产的年均增长量需要保持在 2% 左右才能满足人口不断增长对世界粮食安全的预期需求<sup>[4]</sup>。土壤盐碱化是限制作物高产的主要因素之一, 给全球范围内的作物生产造成了重大损失<sup>[5]</sup>, 加上人类生产活动所引发的诸多不利后果使得盐碱化土地面积逐年增加, 严重制约了世界范围内的小麦生产<sup>[6]</sup>。我国的盐碱化土地面积约有 200 万  $\text{hm}^2$ , 其中山西省盐碱化土地占总面积的 1/10 以上, 主要分布在大同、临汾、运城和太原等 8 个市的 51 个县(市、区)<sup>[7]</sup>。而且, 多年的煤炭开采及挖掘造成的水土流失和地下水污染加剧了山西省的土地盐碱化程度<sup>[7]</sup>。因此, 进一步挖掘山西省小麦品种的耐盐性, 筛选并培育出适于山西地区盐碱地种植的小麦品种对于解决全省乃至全国的粮食安全问题具有重大意义。

小麦种质资源丰富, 不同基因型小麦的耐盐性之间存在着显著差异<sup>[8-9]</sup>。在前期研究中, 人们根据不同耐盐性评价指标筛选出了许多耐盐性小麦基因型。Kiani-Pouya 等<sup>[10]</sup>利用叶绿素含量作为小麦耐盐性的评价标准, 研究发现盐胁迫可以显著降低小麦产量和总叶绿素含量, 基因型‘PF70354/BOW’、‘Ghods’和‘H499.71A/JUP’可以在正常、中度和重度盐胁迫下保持较高浓度的叶绿素含量。Rahnama 等<sup>[11]</sup>研究表明, 耐盐性小麦可以在盐胁迫下维持较高水平的气孔导度, 来获得更高的分蘖能力和产量。Al-Khaishany 等<sup>[12]</sup>根据 10 个不同小麦品种在盐胁迫下的生理和农艺性状表现对耐盐小麦品种进行筛选, 并对耐盐性评价标准进行鉴定, 结果表明, 基因型‘Shebam8’为耐盐性小麦品种, 叶片中的  $\text{K}^+/\text{Na}^+$ 、叶面积和叶绿素含量可作为耐盐性的筛选标准。然而, 目前有很多研究认为, 小麦耐盐性是受不同组织间形态性状和生理因素协调作用的复杂性状, 利用单项指标评价其耐盐性具有片面性, 因此有学者提出利用耐盐系数、主成分分析(PCA)以及隶属函数等多个参数综合评估小麦品种的耐盐性是筛选耐盐性小麦的最佳方法<sup>[13-14]</sup>。陈春舟等<sup>[15]</sup>应用隶属函数、因子分析和聚类分析等方法综合评价了 16 个小麦品种苗期的耐盐性, 从中筛选出了 3 个苗期耐盐性较高的小麦品种。李媛媛等<sup>[16]</sup>利用主成分分析和聚类分析等方法从 283 份小麦材料中筛

选出 10 份耐盐碱型材料。

本研究采用主成分分析、隶属函数分析、综合评价(D)和聚类分析相结合的方法, 对近年来在山西省主推的 40 个小麦品种进行芽期及苗期耐盐性的综合评价, 根据评价结果分别筛选出在 2 个时期具有较高耐盐性的小麦品种, 旨在为培育适应山西省盐碱地种植的耐盐性小麦品种提供材料基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验材料为 40 个近年来在山西省各麦区主推的小麦品种, 其中运城地区 17 个, 临汾地区 12 个, 长治地区 8 个, 太原地区 3 个(表 1)。所有试验材料于 2019 年收集后种植于山西农业大学农学院申奉试验田, 然后于 2020 年 6 月下旬分别收获各品种种子。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 小麦芽期耐盐性鉴定

从每个品种中挑选 30 粒健康的种子用清水洗净后全部浸没在 10% 次氯酸钠溶液中消毒 10 min, 之后用去离子水反复冲洗干净, 然后均匀摆放在事先铺有 2 层滤纸的培养皿(直径为 10 cm)中, 向培养皿中加入 20 mL 去离子水(CK)或 1.2% NaCl 溶液(盐胁迫)。将所有培养皿放在人工气候箱中(RLD-450E-4, 宁波乐电仪器制造有限公司, 中国宁波), 在温度为  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$  的黑暗环境下孵育 3 d, 然后将其生长条件设定为 12 h 光照/12 h 黑暗, 光强设定为 10 000 lx。试验设 3 次重复。

在处理第 3 和 7 天以胚芽鞘长及胚根长同时达种子长度作为种子的发芽标准统计各品种的发芽数, 并计算发芽势(Germination potential, GP)和发芽率(Germination rate, GR)。计算公式如下:

$$\text{发芽势} = \frac{\text{3 d 内发芽种子粒数}}{\text{供试种子粒数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率} = \frac{\text{7 d 内发芽种子粒数}}{\text{供试种子粒数}} \times 100\% \quad (2)$$

在第 7 天测量每个品种的芽长(Bud length, SL)、主根长(Root length, RL)和根数(Root number, RN); 然后将幼苗的地上部和根部用剪刀分开, 利用滤纸反复吸干根部表面水分后分别称量芽鲜重(Bud fresh weight, BFW)及根鲜重(Root fresh weight, RFW)。

表1 供试材料的品种名称

Table 1 The name of the tested material

编号 Code	名称 Name	主推地区 Region	编号 Code	名称 Name	主推地区 Region
1	临丰3号	运城	21	良星99	临汾
2	山农29	运城	22	鲁研118	临汾
3	长6359	运城	23	山农20	临汾
4	矮秆吨麦	运城	24	良星68	临汾
5	运黑161	运城	25	冀麦22	临汾
6	临糯88	运城	26	晋麦102(旱地)	临汾
7	品育8161	运城	27	晋麦98	临汾
8	山农24	运城	28	石农086	临汾
9	太麦198	运城	29	晋麦66	临汾
10	济麦44	运城	30	长麦6135(19-20)	长治
11	品育8012	运城	31	长麦6789	长治
12	冬黑1206	运城	32	长麦3897	长治
13	运旱719	运城	33	长麦251	长治
14	晋麦95	运城	34	长麦6686	长治
15	临远8号	运城	35	长麦6197	长治
16	邯麦16	运城	36	长麦5973	长治
17	烟农1212	运城	37	长麦5079	长治
18	鑫麦296	临汾	38	晋麦62	太原
19	济麦22	临汾	39	晋太1508	太原
20	山农17	临汾	40	晋太182	太原

### 1.2.2 小麦苗期耐盐性鉴定

种子预处理方法同1.2.1。将每个品种种子摆放到发芽盘中进行发芽培养,培养7d后挑选长势一致的幼苗放于水培盒中继续进行培养,并在盒中添加2.5 L Hoagland 营养液,每隔2 d 更换1次营养液。幼苗生长至两叶一心期后,在水培盒中加入1.2% NaCl 溶液模拟盐胁迫条件,不添加处理液的Hoagland 营养液作为对照。试验设3次重复。盐处理7 d 后在每个品种挑选长势一致的5株幼苗进行如下指标的测定:

测定其苗高(Plant height, PH)、主根长、根数、根鲜重和茎叶鲜重(Shoot fresh weight, SFW);然后分别在105 °C下杀青30 min 后80 °C烘至恒重,测定根干重(Root dry weight, RDW)和茎叶干重(Shoot dry weight, SDW)。

### 1.3 数据分析

利用耐盐系数以及耐盐性综合评价D值对小麦品种的耐盐性进行评价。计算公式<sup>[17-19]</sup>如下:

$$\text{各性状的耐盐系数} = \frac{\text{盐处理下的测定值}}{\text{对照条件下的测定值}} \quad (3)$$

$$U(X_i) = U(X_i - X_{\min}) / U(X_{\max} - X_{\min}) \quad (4)$$

式中: $U$ 为各性状的隶属函数值; $X_i$ 为第*i*个品种的性状测定值; $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为参试品种某一性状的最大值和最小值。

$$W_i = P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

式中: $W_i$ 表示第*i*个公因子在所有公因子中的重要程度; $P_i$ 为各品种第*i*个性状与耐盐系数间的相关系数,表示各品种第*i*个公因子的贡献率。

$$D = \sum_{i=1}^n \frac{n}{i=1} [U(X_i) \times W_i] \quad (6)$$

式中： $D$  为各材料在盐胁迫下利用综合指标评价所得的耐盐性综合评价值。 $D$  值越大表示综合耐盐性越高。

运用 Excel 2010 和 IBM SPSS Statistics 23.0 软件进行描述性统计分析、主成分分析和聚类分析，应用 R 3.5.0 的 Corrplot 软件包进行相关性图形的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 小麦芽期及苗期各性状的描述性统计分析

盐胁迫条件下小麦芽期各性状平均值与对照相

比除根鲜重以外，其余性状均显著低于对照(表 2)。各性状在对照条件下的变异系数分布范围是 13.25%(根数)到 31.81%(根鲜重)，盐胁迫处理条件下的变异系数分布范围从 21.42%(根数)到 36.20%(发芽势)。各性状耐盐系数最小值为 0.30(发芽势)，最大值为 0.85(根数)，可见不同性状对芽期盐胁迫的敏感度存在较大差异(表 3)。此外各性状耐盐系数的变异系数均大于 20.00%，说明不同品种在同一性状的耐盐系数方面同样存在较大的品种间差异。

与对照相比，盐胁迫条件下小麦苗期各性状平

表 2 盐处理及对照条件下小麦芽期及苗期各性状的统计分析

Table 2 Data statistics of wheat traits at germination and seedling stage under salt treatment and control condition

时期 Stage	性状 Trait	统计参数 Statistical parameter	对照 CK	盐处理 Salt treatment	时期 Stage	性状 Trait	统计参数 Statistical parameter	对照 CK	盐处理 Salt treatment
芽期 Germination stage	发芽势	平均值/%	85.00 a	58.00 b	苗高	平均值/cm	23.39 a	17.30 b	
		标准差	20.00	21.00		标准差	3.30	2.08	
		变异系数/%	23.53	36.20		变异系数/%	14.09	12.02	
	发芽率	平均值/%	95.00 a	59.00 b	根长	平均值/cm	16.16 a	11.21 b	
		标准差	25.00	20.00		标准差	3.19	3.23	
		变异系数/%	26.32	33.89		变异系数/%	19.74	28.81	
	芽长	平均值/cm	10.89 a	4.14 b	根数	平均值/条	4.79 a	5.02 a	
		标准差	1.74	1.34		标准差	0.43	0.49	
		变异系数/%	15.98	32.37		变异系数/%	8.98	9.76	
	根长	平均值/cm	6.03 a	3.23 b	茎叶鲜重	平均值/mg	2.61 a	1.52 b	
		标准差	1.71	1.06		标准差	0.51	0.42	
		变异系数/%	28.36	32.81		变异系数/%	19.54	27.63	
根数	平均值/条	5.36 a	3.78 b	根鲜重	平均值/mg	0.84 a	0.51 b		
	标准差	0.71	0.81		标准差	0.13	0.11		
	变异系数/%	13.25	21.42		变异系数/%	15.48	21.56		
芽鲜重	平均值/mg	0.71 a	0.33 b	茎叶干重	平均值/mg	0.29 a	0.21 b		
	标准差	0.13	0.11		标准差	0.06	0.07		
	变异系数/%	18.31	33.33		变异系数/%	20.69	33.33		
根鲜重	平均值/mg	0.22 a	0.13 a	根干重	平均值/mg	0.09 a	0.07 b		
	标准差	0.07	0.04		标准差	0.02	0.02		
	变异系数/%	31.81	30.78		变异系数/%	22.22	28.57		

注：表中同行不同字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Note: Different letters of the same line in the table represent significant difference ( $P < 0.05$ ).

均值除根数以外其余性状的均值都显著降低(表2)。另外在对照和盐胁迫条件下,除了根数之外其他性状的变异系数皆超过10%,其中盐胁迫下茎叶干重的变异系数最大,达到33.33%。各性状耐盐系数的分布范围从0.60(茎叶鲜重)到1.05(根

数),可见苗期不同表型性状对盐胁迫的敏感程度差异较大(表3)。此外各性状耐盐系数的变异系数最小值为11.42%(根数),最大值为36.00%(根干重),说明这些苗期性状的耐盐系数也存在较大的品种间差异。

表3 小麦芽期及苗期各性状耐盐系数的统计分析

Table 3 Data statistics of salt tolerance coefficient of wheat traits at germination and seedling stage

时期 Stage	性状 Trait	统计参数 Statistical parameter	耐盐系数 Salt tolerance coefficient	时期 Stage	性状 Trait	统计参数 Statistical parameter	耐盐系数 Salt tolerance coefficient	
芽期 Germination stage	发芽势	平均值	0.30	苗期 Seedling stage	苗高	平均值	0.74	
		标准差	0.13			标准差	0.09	
		变异系数/%	43.33			变异系数/%	12.16	
	发芽率	平均值	0.60		根长	平均值	0.72	
		标准差	0.21			标准差	0.19	
		变异系数/%	35.00			变异系数/%	26.38	
	芽长	平均值	0.71		根数	平均值	1.05	
		标准差	0.15			标准差	0.12	
		变异系数/%	21.13			变异系数/%	11.42	
	根长	平均值	0.41		苗期 Seedling stage	茎叶鲜重	平均值	0.60
		标准差	0.11				标准差	0.14
		变异系数/%	26.83				变异系数/%	23.33
	根数	平均值	0.85			根鲜重	平均值	0.71
		标准差	0.25				标准差	0.25
		变异系数/%	29.41				变异系数/%	35.21
	芽鲜重	平均值	0.58			茎叶干重	平均值	0.82
		标准差	0.21				标准差	0.24
		变异系数/%	36.21				变异系数/%	29.27
根鲜重	平均值	0.59	根干重	平均值		0.75		
	标准差	0.20		标准差		0.27		
	变异系数/%	33.90		变异系数/%		36.00		

## 2.2 小麦芽期及苗期不同性状的相关性分析

对小麦芽期及苗期各表型性状的耐盐系数分别进行了相关性分析。芽期结果显示(表4),在芽长、根长、根数、芽鲜重和根鲜重这5个性状的耐盐系数之间,除根长与根数和根鲜重的相关性不显著以外,其余各性状两两之间互为显著或极显著正相关关系。此外,根鲜重、发芽势和发芽率这3个性状的耐

盐系数之间互为极显著正相关。

苗期各耐盐系数的相关性分析结果显示(表5),苗高与茎叶鲜重和茎叶干重之间呈极显著正相关,根数与根鲜重之间呈显著正相关,茎叶鲜重、根鲜重、茎叶干重和根干重这4个性状的耐盐系数之间,除根鲜重与根干重的相关性不显著以外,其余各性状两两之间互为显著或极显著正相关关系。

表 4 小麦芽期耐盐系数的相关性分析

Table 4 Correlation analysis of salt tolerance coefficient of wheat in germination stage

性状 Trait	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	芽长 Bud length	根长 Root length	根数 Root number	芽鲜重 Bud fresh weight	根鲜重 Root fresh weight
发芽势 Germination potential	1						
发芽率 Germination rate	0.95**	1					
芽长 Bud length	0.21	0.23	1				
根长 Root length	0.14	0.14	0.81**	1			
根数 Root number	0.04	0.12	0.49**	0.24	1		
芽鲜重 Bud fresh weight	0.21	0.17	0.85**	0.63**	0.47**	1	
根鲜重 Root fresh weight	0.44**	0.43**	0.30*	0.26	0.40*	0.42**	1

注：\*\* 表示在  $P < 0.01$  水平下显著，\* 表示在  $P < 0.05$  水平下显著，下同。

Note: \*\* means 0.01 significant level and \* means 0.05 significant level. The same below.

表 5 小麦苗期耐盐系数的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of salt tolerance coefficient of wheat in seedling stage

性状 Trait	苗高 Plant height	根长 Root length	根数 Root number	茎叶鲜重 Shoot fresh weight	根鲜重 Root fresh weight	茎叶干重 Shoot dry weight	根干重 Root dry weight
苗高 Plant height	1						
根长 Root length	0.12	1					
根数 Root number	0.20	-0.23	1				
茎叶鲜重 Shoot fresh weight	0.55**	0.11	-0.02	1			
根鲜重 Root fresh weight	0.23	0.02	0.35*	0.42**	1		
茎叶干重 Shoot dry weight	0.53**	0.01	-0.08	0.92**	0.35*	1	
根干重 Root dry weight	0.11	0.09	-0.14	0.66**	0.07	0.56**	1

### 2.3 小麦芽期及苗期耐盐性的综合评价

对芽期和苗期各性状的耐盐系数分别进行主成分分析,以累计贡献率大于85%为原则选择主成分。芽期和苗期分别选择了3和4个独立的主成分作为耐盐鉴定综合指标(表6)。芽期第1主成分中

起主要作用的指标是:芽长、根长和芽鲜重,第2主成分是发芽势和发芽率,第3主成分是根数和根鲜重。苗期第1主成分中起主要作用的指标是:茎叶鲜重和茎叶干重,第2主成分是根数,第3主成分是根长,第4主成分是苗高和根鲜重。

表6 小麦芽期及苗期各性状的主成分分析

Table 6 Principal component analysis of traits of wheat at germination and seedling stage

时期 Stage	项目 Item	主成分 Principal component			
		PC1	PC2	PC3	PC4
芽期 Germination stage	芽长	0.864	-0.385	-0.208	
	根长	0.721	-0.382	-0.431	
	根数	0.576	-0.260	0.658	
	芽鲜重	0.833	-0.348	-0.038	
	根鲜重	0.648	0.271	0.448	
	发芽势	0.551	0.791	-0.161	
	发芽率	0.559	0.781	-0.104	
	特征值	3.327	1.791	0.901	
	贡献率/%	47.525	25.590	12.866	
	累计贡献率/%	47.525	73.115	85.980	
苗期 Seedling stage	苗高	0.637	0.254	0.262	-0.634
	根长	0.161	-0.488	0.813	0.202
	根数	0.036	0.844	0.066	0.168
	茎叶鲜重	0.970	-0.060	-0.092	0.005
	根鲜重	0.492	0.563	0.240	0.425
	茎叶干重	0.929	-0.096	-0.111	-0.095
	根干重	0.669	-0.364	-0.339	0.358
	特征值	2.928	1.477	0.927	0.789
	贡献率/%	41.832	21.095	13.249	11.278
累计贡献率/%	41.832	62.928	76.177	87.455	

用主成分分析得到的因子得分值作为鉴定小麦芽期和苗期耐盐性的综合指标,然后计算各指标的隶属函数值和权重值,最后计算出40个小麦品种在芽期和苗期的综合评价 $D$ 值,即各品种的综合耐盐能力。从表7中看出,供试小麦材料芽期耐盐性综合评价 $D$ 值的变化范围为0.15~0.83,其中‘良星68’的芽期耐盐性最强, $D$ 值为0.83;‘长麦6686’的芽期耐盐性最弱, $D$ 值为0.15。然后对 $D$ 值采用平方欧氏距离进行系统聚类分析(图1(a)),将全部40个品种

分为3个不同耐盐类型,分别为耐盐型、中间型和盐敏感型品种。其中芽期耐盐型品种有9个(22.5%),除‘良星68’耐盐性综合表现最佳以外,‘晋太182’‘晋太1508’‘品育8012’‘长麦3897’等品种也都具有较高的耐盐能力;中间型品种有20个,占品种总数的50%,其余11个品种为芽期盐胁迫敏感型小麦品种。

供试小麦材料苗期耐盐性综合评价 $D$ 值的变化范围为0.27~0.73(表7),其中‘临糯88’的苗期耐盐性最强, $D$ 值为0.73;‘长麦251’的苗期耐盐性

最弱,  $D$  值为 0.27。聚类分析结果显示(图 1(b)), 其中苗期耐盐型品种占品种总数的 27.50%(11

个), 中间型品种占 52.50%(21 个), 敏感型品种占 20.00%(8 个)。

表 7 供试材料耐盐性的综合评价( $D$  值)

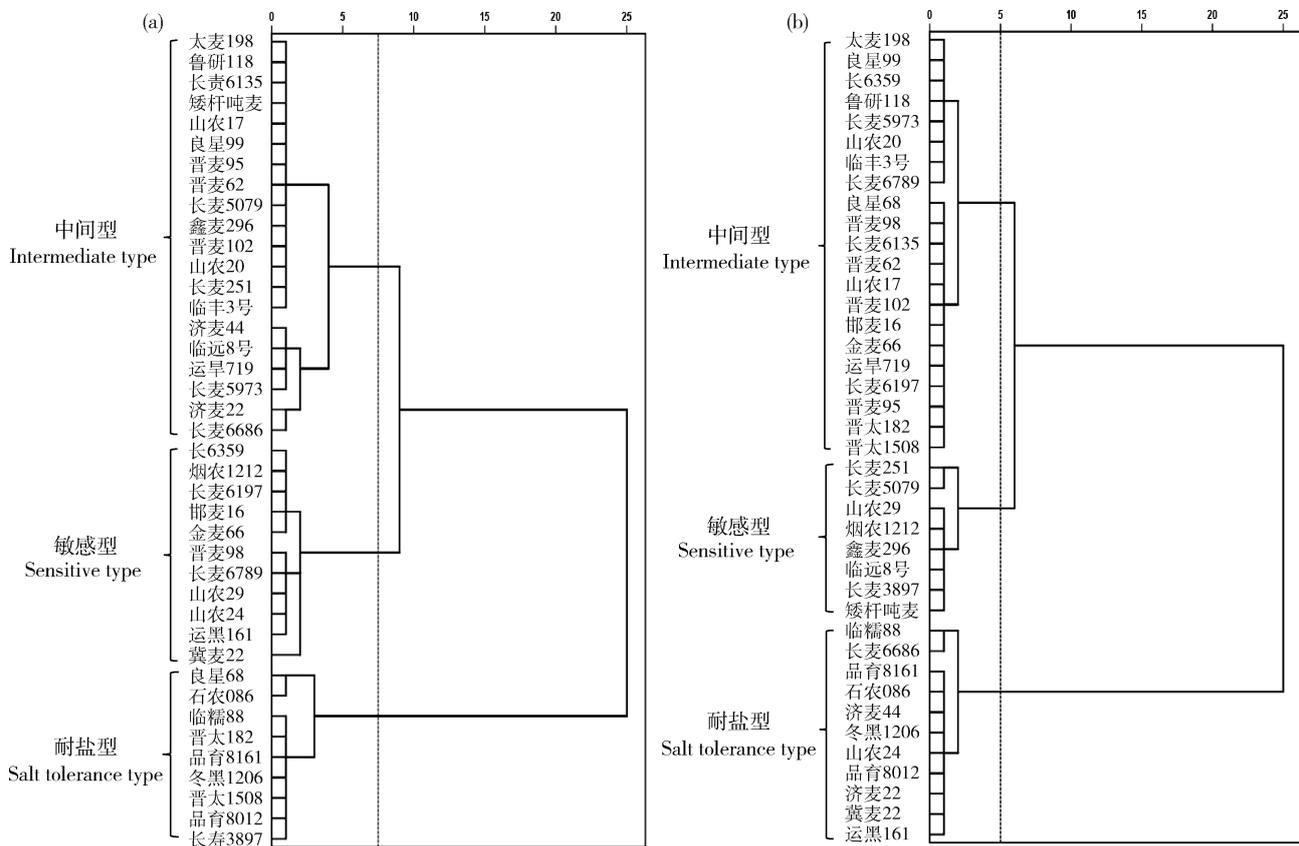
Table 7  $D$  value of the tested material

品种名称 Variety name	芽期 $D$ 值 $D$ value of germination stage	苗期 $D$ 值 $D$ value of seedling stage	品种名称 Variety name	芽期 $D$ 值 $D$ value of germination stage	苗期 $D$ 值 $D$ value of seedling stage
临丰 3 号	0.38	0.40	良星 99	0.34	0.38
山农 29	0.55	0.32	鲁研 118	0.34	0.40
长 6359	0.46	0.38	山农 20	0.38	0.40
矮杆吨麦	0.35	0.35	良星 68	0.83	0.45
运黑 161	0.56	0.65	冀麦 22	0.62	0.66
临糯 88	0.67	0.73	晋麦 102(旱地)	0.39	0.44
品育 8161	0.69	0.62	晋麦 98	0.52	0.45
山农 24	0.55	0.67	石农 086	0.79	0.62
太麦 198	0.33	0.38	晋麦 66	0.49	0.47
济麦 44	0.27	0.63	长麦 6135(19-20)	0.33	0.45
品育 8012	0.71	0.67	长麦 6789	0.53	0.41
冬黑 1206	0.73	0.63	长麦 3897	0.71	0.34
运早 719	0.23	0.48	长麦 251	0.39	0.27
晋麦 95	0.36	0.47	长麦 6686	0.15	0.69
临远 8 号	0.28	0.34	长麦 6197	0.47	0.49
邯麦 16	0.44	0.46	长麦 5973	0.25	0.40
烟农 1212	0.46	0.32	长麦 5079	0.30	0.28
鑫麦 296	0.40	0.33	晋麦 62	0.32	0.45
济麦 22	0.20	0.67	晋太 1508	0.73	0.48
山农 17	0.35	0.44	晋太 182	0.68	0.47

#### 2.4 小麦芽期与苗期耐盐性评价结果的比较

通过比较参试品种芽期和苗期不同耐盐类型的评价结果(表 8)发现, 有 5 个品种在 2 个时期都属于耐盐型品种, 分别为: ‘石农 086’、‘临糯 88’、‘品育 8161’、‘冬黑 1206’、‘品育 8012’; 有 8 个品种在 2 个时期都属于中间型品种, 分别为: ‘长麦 6135’、‘山农 17’、‘晋麦 95’、‘晋麦 62’、‘晋麦 102’、‘临丰 3 号’、‘运早 719’、‘长麦 5973’; 有 2 个品种在 2 个时期都属于敏感型品种, 分别为: ‘烟农 1212’、‘山农 29’。

同时为了验证同一品种在芽期和苗期的耐盐性方面是否存在显著相关性, 进一步拟合了芽期和苗期耐盐性综合评价值之间的关系。结果表明参试品种在这 2 个时期的耐盐性之间无显著相关性( $R^2 = 0.0752$ )(图 2)。这在不同时期的评价结果中也有所体现, 例如‘长麦 3897’, 在芽期属于耐盐型品种, 而在苗期却属于敏感型品种; ‘山农 24’、‘运黑 161’、‘冀麦 22’在小麦芽期均属于敏感型品种, 而在苗期却属于耐盐型品种。



图中横坐标为欧式距离

The abscissa in the figure represents euclidean distance

图1 小麦芽期(a)及苗期(b)的聚类分析结果

Fig. 1 Cluster analysis of wheat at germination and seedling stage

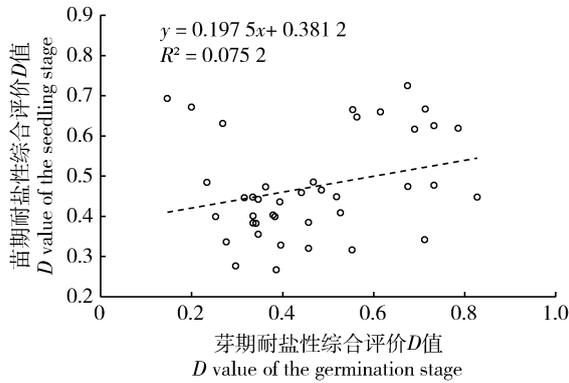
表8 芽期和苗期不同的耐盐类型

Table 8 Comparison of salt tolerance types of varieties at germination stage and seedling stage

时期 Period	耐盐型 Salt tolerance type	中间型 Intermediate type	敏感型 Sensitive type
芽期 Germination stage	良星 68、石农 086、临糯 88、晋太 182、品育 8161、冬黑 1206、晋太 1508、品育 8012、长麦 3897	太麦 198、鲁研 118、长麦 6135、矮秆吨麦、山农 17、良星 99、晋麦 95、晋麦 62、长麦 5079、鑫麦 296、晋麦 102、山农 20、长麦 251、临丰 3 号、济麦 44、临远 8 号、运早 719、长麦 5973、济麦 22、长麦 6686	长麦 6359、烟农 1212、长麦 6197、邯麦 16、晋麦 66、晋麦 98、长麦 6789、山农 29、山农 24、运黑 161、冀麦 22
苗期 Seedling stage	品育 8012、冬黑 1206、山农 24、临糯 88、济麦 44、济麦 22、品育 8161、石农 086、运黑 161、冀麦 22、长麦 6686	临丰 3 号、晋麦 102、山农 17、晋麦 62、长麦 6135、良星 68、晋麦 98、邯麦 16、晋麦 66、晋麦 95、晋太 182、晋太 1508、运早 719、长麦 6197、良星 99、太麦 198、长麦 6359、长麦 5973、山农 20、长麦 6789、鲁研 118	长麦 251、长麦 5079、山农 29、烟农 1212、鑫麦 296、临远 8 号、长麦 3897、矮秆吨麦

注：字体斜体的品种代表在 2 个时期耐盐类型相同。

Note: Varieties with italic font represent the same salt tolerance type in the two stages.



图中圆圈代表不同品种在 2 个时期的 D 值。

The circles in the figure represent the D value distribution of different varieties in the two periods.

图 2 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价 D 值的相关性分析

Fig. 2 Correlation analysis of D value in wheat germination stage and seedling stage

## 3 讨论

### 3.1 盐胁迫对小麦幼苗生长的影响

盐胁迫会显著抑制小麦的正常生长发育,而且这一影响过程会持续发生在小麦的整个生命周期当中<sup>[20]</sup>。芽期和苗期是小麦营养生长最先要经历的 2 个时期,这一阶段的发育状况,将会直接决定小麦后续发育时期的长势,甚至影响小麦最终产量的形成,这 2 个时期也是受盐胁迫影响最早的 2 个时期<sup>[21]</sup>。李媛媛等<sup>[16]</sup>在盐胁迫下分析小麦萌发期各性状的变化情况,结果表明盐胁迫下小麦萌发期的发芽率、发芽势、胚根长、胚根鲜重和胚芽鲜重均低于对照。彭智等<sup>[22]</sup>对盐胁迫条件下小麦芽期和苗期各形态指标的测定结果表明,除根数以外其余指标均低于对照,说明盐胁迫显著影响了种子萌发和幼苗的生理及生长。但不同性状的下降幅度从 10.0% 至 84.2% 不等,表明不同指标对盐胁迫敏感性存在差异。本研究结果表明,除芽期根鲜重和苗期根数以外,其余各形态指标均受到盐胁迫的显著抑制,这与前人研究结果基本相同。本研究发现,相对于根数,小麦幼苗根长及根鲜重受到盐胁迫的影响更大,可能是由于在小麦苗期进行盐胁迫前,各品种根数基本相同,而 7 d 后对照条件下小麦幼苗根数增加的幅度不明显。若采用从芽期到苗期连续盐胁迫的方法,可能会提升对照条件下幼苗根数增加的空间,进一步加大其与盐胁迫的差距。

### 3.2 小麦耐盐性的评价方法

小麦的耐盐性是受多基因控制的复杂数量性状,因此小麦在受到盐胁迫后,往往会通过自身的多种形态及生理途径的协同作用来应答盐胁迫环境,因此难以利用单一指标来全面的反映小麦的耐盐性<sup>[23]</sup>,应利用多种指标来综合评价不同材料的耐盐能力,从而合理有效地区分不同基因型间的耐盐性差异<sup>[24]</sup>。彭智等<sup>[22]</sup>通过计算 321 份小麦材料在盐胁迫下芽期及苗期各相关性状的隶属函数值、权重值和耐盐综合评价 D 值,从中筛选出芽期高耐盐材料 21 份,苗期高耐盐材料 18 份。李媛媛等<sup>[16]</sup>利用主成分分析和聚类分析等相结合的方法从 283 份小麦材料筛选出 10 份耐盐碱型材料。本研究发现,盐胁迫下小麦芽期和苗期大多数性状均受到显著的影响,并且无论是芽期还是苗期都存在性状间的显著或极显著相关性,利用单一性状的耐盐系数来反映不同小麦品种的耐盐性差异存在局限性。因此,本研究利用主成分分析、隶属函数分析和综合评价相结合的方法,对山西省主推小麦品种进行耐盐性的鉴定与评价,并进一步利用聚类分析将其分为耐盐型品种、中间型品种和敏感型品种 3 个类别。

### 3.3 小麦不同发育时期耐盐性的相关性

前人研究表明,小麦不同发育时期的耐盐性机理不尽相同,这使得同一材料在不同发育时期所表现出的耐盐性存在差异<sup>[25-26]</sup>。本研究也得到了相似的结论,例如‘长麦 3897’,在芽期属于耐盐型品种,而在苗期却被划分为敏感型品种,‘山农 24’‘运黑 161’‘冀麦 22’在小麦芽期均属于敏感型品种,而在苗期却属于耐盐型品种。同时本研究分析了芽期和苗期耐盐性综合评价值之间的相关性,结果表明参试品种在这 2 个时期的耐盐性之间无显著相关性,这也与前人的研究结果相似<sup>[27]</sup>。因此想要得到全生育期均有较高耐盐能力的小麦品种,就要对小麦多个生育期的耐盐性进行鉴定,从中筛选出多个时期均表现耐盐的小麦材料。本研究对比分析了 40 个山西省主推小麦品种在芽期和苗期的耐盐性综合评价结果,发现有 5 个品种在 2 个时期都属于耐盐型品种,分别为:‘石农 086’‘临糯 88’‘品育 8161’‘冬黑 1206’‘品育 8012’。

‘石农 086’是通过选用‘鲁麦 14’为母本、‘邯 6172’为父本经杂交选育而成,具有高产、稳产、抗逆性强和适应性广等特点<sup>[28]</sup>。该品种于 2014—2015 年度参加山西省南部中熟冬麦区水地组区域试验,

平均亩产 520.3 kg<sup>[29]</sup>。‘临糯 88’是山西农业大学小麦研究所 2018 年选育的糯性小麦品种,具有稳产、优质、支链淀粉高和糯性优良等特性<sup>[30]</sup>。‘品育 8161’是山西农业大学小麦研究所利用‘4802’为母本、‘临优 9202’为父本进行杂交,经系谱法选育而成,该品种的主要特点是高产优质、抗倒伏和抗寒性好<sup>[31]</sup>。‘冬黑 1206’是利用复合杂交选育而成的具有高产、稳产、广适性和抗旱性等特点<sup>[32]</sup>。‘品育 8012’是以‘临优 20165’为母本、‘济麦 22’为父本杂交选育成的抗白粉病的高产小麦品种<sup>[33]</sup>。这些品种可为山西省盐碱地小麦生产用种以及耐盐性小麦品种的培育提供材料基础。

## 参考文献 References

- [1] Shewry P R. Wheat[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2009, 60(6): 1537-1553
- [2] Manès Y, Gomez H F, Puhl L, Reynolds M, Braun H J, Trethowan R. Genetic yield gains of the CIMMYT international semi-arid wheat yield trials from 1994 to 2010 [J]. *Crop Science*, 2012, 52(4): 1543-1552
- [3] Crespo-Herrera L A, Crossa J, Huerta-Espino J, Vargas M, Mondal S, Velu G, Payne T S, Braun H, Singh R P. Genetic gains for grain yield in CIMMYT's semi-arid wheat yield trials grown in suboptimal environments[J]. *Crop Science*, 2018, 58(5): 1890-1898
- [4] Lopes M S, Reynolds M P, Manes Y, Singh R P, Crossa J, Braun H J. Genetic yield gains and changes in associated traits of CIMMYT spring bread wheat in a "historic" set representing 30 years of breeding [J]. *Crop Science*, 2012, 52(3): 1123-1131
- [5] Cuevas J, Daliakopoulos I N, Moral F D, Hueso J J, Tsanis I K. A review of soil-improving cropping systems for soil salinization[J]. *Agronomy*, 2019, 9(6): 295-296
- [6] Upadhyay S K, Singh D P. Effect of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria on wheat plants and soil health in a saline environment [J]. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 2015, 17 (1): 288-293
- [7] 冯辽. 山西省盐碱地改良研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2017
- Feng L. The control measures of alkali-saline land in Shanxi Province[D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2017 (in Chinese)
- [8] Gurmani A R, Mabood F. Screening and selection of synthetic hexaploid wheat germplasm for salinity tolerance based on physiological and biochemical characters [J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2014, 16(4): 681-690.
- [9] Khan M A, Yasmin S, Ansari R, Shirazi M U, Ashraf M Y. Screening for salt tolerance in wheat genotypes at an early seedling stage[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2007, 39(7): 2501-2509.
- [10] Kiani-Pouya A, Rasouli F. The potential of leaf chlorophyll content to screen bread-wheat genotypes in saline condition [J]. *Photosynthetica*, 2014, 52(2): 288-300
- [11] Rahnama A, James R A, Poustini K, Munns R. Stomatal conductance as a screen for osmotic stress tolerance in durum wheat growing in saline soil [J]. *Functional Plant Biology*, 2010, 37(3): 255-263
- [12] Al-Khaidhshany M Y, Al-Qurainy F H, Alaraidh I A, Barakat M N, Ishfaq M. Genetic variation of wheat for salt tolerance based on physiological and agronomic traits[J]. *International Journal of Agriculture and Biology*, 2018, 20(12): 2853-2861
- [13] 张巧凤, 陈宗金, 吴纪中, 蒋彦婕, 杨继书, 蔡士宾. 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 Z, Jiang Y J, Yang J S, Cai S B. 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)
- [14] Khan A, Yasmin S, Shirazi M U, Ashraf M Y. Screening for salt tolerance in wheat genotypes at an early seedling stage[J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2007, 39(7): 2501-2509
- [15] 陈春舟, 马占军, 孟亚雄, 马小乐, 王化俊, 李葆春. 小麦种质资源抗旱耐盐性评价及种质筛选[J]. 分子植物育种, 2021, 4(1): 1-28
- Chen C Z, Ma Z J, Meng Y X, Ma X L, Wang H J, Li B C. Evaluation and screening of wheat germplasm resources for drought and salt tolerance [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 4(1): 1-28 (in Chinese)
- [16] 李媛媛, 陈博, 姚立蓉, 翟雪婷, 司二静, 汪军成, 马小乐, 孟亚雄, 王化俊, 李葆春, 杨亮. 283 份小麦品种(系)萌发期耐盐碱性评价及种质筛选[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(3): 25-33
- Li Y Y, Chen B, Yao L R, Zhai X T, Si E J, Wang J C, Ma X L, Meng Y X, Wang H J, Li B C, Yang L. Evaluation of salt and alkali tolerance and germplasm screening of 283 wheat varieties (lines) during germination [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23 (3): 25-33 (in Chinese)
- [17] 吴平, 陈晓梅, 丁宁. 4 种湿生植物苗期耐盐性综合评价[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 148-150
- Wu P, Chen X M, Ding N. Comprehensive evaluation of salt tolerance of four wet plants at seedling stage [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2014, 42(9): 148-150 (in Chinese)
- [18] 彭玉梅, 石国亮, 崔辉梅. 加工番茄幼苗期耐盐生理指标筛选及耐盐性综合评价[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 61-66
- Peng Y M, Shi G L, Cui H M. Salt tolerance evaluation of

- processing tomato lines based on physiological traits at seedling stages[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2014, 32(5): 61-66 (in Chinese)
- [19] 刘雅辉, 王秀萍, 张国新, 鲁雪林, 张亚丽. 棉花苗期耐盐生理指标的筛选及综合评价[J]. 中国农学通报, 2012, 28(6): 73-78  
Liu Y H, Wang X P, Zhang G X, Lu X L, Zhang Y L. Study on selection of physiological indices for salt tolerance and comprehensive evaluation of cotton during seedling stage[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2012, 28(6): 73-78 (in Chinese)
- [20] Tao R R, Ding J F, Li C Y, Zhu X K, Guo W S, Zhu M. Evaluating and screening of agro-physiological indices for salinity stress tolerance in wheat at the seedling stage[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 646175
- [21] Parida A K, Das A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2005, 60(3): 324-349
- [22] 彭智, 李龙, 柳玉平, 刘惠民, 景蕊莲. 小麦芽期和苗期耐盐性综合评价[J]. 植物遗传资源学报, 2017, 18(4): 638-645  
Peng Z, Li L, Liu Y P, Liu H M, Jing R L. Evaluation of salinity tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) genotypes at germination and seedling stages[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2017, 18(4): 638-645 (in Chinese)
- [23] Kerepesi I, Galiba G. Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings [J]. *Crop Science*, 2000, 40(2): 482-487
- [24] 钮福祥, 华希新, 郭小丁, 邬景禹, 李洪民, 丁成伟. 甘薯品种抗旱性生理指标及其综合评价初探[J]. 作物学报, 1996, 22(4): 392-398  
Niu F X, Hua X X, Guo X D, Wu J Y, Li H M, Ding C W. Studies on several physiological indexes of the drought resistance of sweet potato and its comprehensive evaluation [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(4): 392-398 (in Chinese)
- [25] Flowers T J, Troke P F, Yeo A R. The mechanism of salt tolerance in halophytes [J]. *Annual Review of Plant Physiology*, 1977, 28(1): 89-121
- [26] 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  
Ma Y Q, Weng Y J. Evaluation for salt tolerance in spring wheat cultivars introduced from abroad[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31(1): 58-64 (in Chinese)
- [27] 王萌萌, 姜奇彦, 胡正, 张辉, 樊守金, 冯沥, 张海玲. 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 Z, Zhang H, Fan S J, Feng L, Zhang H L. Evaluation for salt tolerance of wheat cultivars [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2012, 13(2): 189-194 (in Chinese)
- [28] 杨英茹, 张冲, 高欣娜, 武金燧. 高产小麦新品种石农 086 的选育[J]. 河北农业科学, 2015, 19(2): 79-81  
Yang Y R, Zhang C, Gao X N, Wu J Y. Breeding of high yield wheat variety Shinong 086 [J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2015, 19(2): 79-81 (in Chinese)
- [29] 李瑞祥, 段芳芳, 张健, 杨清雯. 高产优质小麦品种石农 086 的特征特性及高产栽培技术要点[J]. 农业科技通讯, 2020(7): 272, 334  
Li R X, Duan F F, Zhang J, Yang Q W. Characteristics of high-yield and high-quality wheat variety Shinong 086 and key points of high-yielding cultivation techniques[J]. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2020(7): 272, 334 (in Chinese)
- [30] 张凤琴, 王向东, 逯腊虎, 肖俊红, 许玉娟. 糯小麦新品种临糯 88 的选育[J]. 山西农业科学, 2020, 48(11): 1730-1732  
Zhang F Q, Wang X D, Lu L H, Xiao J H, Xu Y J. Breeding of new waxy wheat variety Linnuo 88[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2020, 48(11): 1730-1732 (in Chinese).
- [31] 王敏, 姬虎太, 张定一, 曹勇, 马小飞, 李晓丽, 姜兰芳, 郝彩平, 赵云娟. 国审抗旱中强筋小麦新品种品育 8161 的选育[J]. 山西农业科学, 2018, 46(8): 1248-1250  
Wang M, Ji H T, Zhang D Y, Cao Y, Ma X F, Li X L, Jiang L F, Zheng C P, Zhao Y J. Breeding of new wheat variety Pinyu 8161 with strong gluten, drought resistance, national validation[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2018, 46(8): 1248-1250 (in Chinese)
- [32] 鲁晋秀, 董飞, 杨峰, 闫秋艳, 王苗, 李峰, 贾亚琴, 任永康. 旱地黑小麦新品种—冬黑 1206[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(10): 1282  
Lu J X, Dong F, Yang F, Yan Q Y, Wang M, Li F, Jia Y Q, Ren Y K. A new dryland triticale variety-Donghei 1206[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(10): 1282 (in Chinese)
- [33] 姬虎太, 马小飞, 高宇, 王敏, 曹勇, 李晓丽, 姜兰芳, 郝建宇, 张定一. 抗白粉病高产小麦新品种品育 8012 的选育及推广[J]. 山西农业科学, 2020, 48(9): 1387-1389, 1405  
Ji H T, Ma X F, Gao Y, Wang M, Cao Y, Li X L, Jiang L F, Hao J Y, Zhang D Y. Breeding and extension of new wheat variety Pinyu 8012 with resistance to powdery mildew and high yield[J]. *Journal of Shanxi Agricultural Science*, 2020, 48(9): 1387-1389, 1405 (in Chinese)

责任编辑: 董金波