

宁夏春小麦抗旱性的遗传多样性分析

张维军, 袁汉民, 王小亮, 亢玲, 何进尚, 陈东升

(宁夏农林科学院, 宁夏 银川 750002)

摘要: 以宁夏春小麦育成品种、地方品种以及引进种质等共 91 份春小麦为材料, 在干旱胁迫(雨养)和正常灌溉两种水分处理下, 调查了 11 个农艺性状及其耐旱指数, 计算其遗传多样性指数并进行聚类分析。结果表明: 不孕小穗数的变异系数最高, 干旱胁迫与正常灌溉条件下分别为 63.5% 和 51.5%, 穗叶距次之, 干旱胁迫和正常灌溉条件下分别为 36.9% 和 36.3%; 产量的耐旱指数与株高、穗下节长、穗叶距的耐旱指数呈极显著负相关; 不同性状的多样性指数差异较大, 变化范围从 0.99 到 2.48, 平均为 1.73, 其中, 不实小穗数的多样性指数最高, 为 2.48。根据表型性状将参试材料分为 5 个类群, 其中第 IV 类群材料表现为对水分条件不敏感, 适于在干旱条件下种植。总体来看, 宁夏春小麦种质的遗传基础较狭窄, 育种家应广泛搜集利用国内外小麦种质及小麦近缘物种, 以拓宽现有种质资源的遗传基础, 为选育突破性小麦品种奠定基础。

关键词: 春小麦; 抗旱性; 农艺性状; 遗传多样性

中图分类号: S512.1+2 **文献标志码:** A

Genetic diversity of spring wheat germplasm resources based on drought resistance in Ningxia

ZHANG Wei-jun, YUAN Han-min, WANG Xiao-liang, KANG Ling, HE Jin-shang, CHEN Dong-sheng
(Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: In order to provide a theoretical basis for wheat breeding against drought, 11 agronomic traits of 91 spring wheat germplasm resources, including wheat varieties cultivars, landraces and introduced varieties, were used to analyze their genetic diversity, the drought index and the clustering study. Results showed that sterile spikelet per spike had the largest coefficients of variance (CV) of 63.5% and 51.5% under the conditions of drought stress and normal irrigation, followed by length from flag leaf pulvinus to spike base with CV of 36.9% and 36.3%, respectively. Correlation analysis of drought tolerance index (DTI) showed that DTI of the yield had significant negative correlations with the plant height, peduncle length and length from flag leaf pulvinus to spike base, respectively. Genetic diversity index (H') of DTI among different traits had a large range from 0.99 to 2.48, with an average value of 1.73. The false spikelet number had the largest H' of 2.48. Based on the phenotypic traits, all accessions could be clustered into five groups. Varieties from the fourth group were not sensitive to irrigation and may be suitable for cultivation in dryland. Overall, the genetic basis of Ningxia spring wheat is relatively limited. Therefore, breeders should widely collect and use germplasm resources and proximal species of wheat, broadening the genetic basis in order to lay the foundation for breeding of break-through cultivars.

Keywords: spring wheat; drought resistance; agronomic trait; genetic diversity

种质资源是培育作物新品种的物质基础, 其遗传多样性研究是引进、保护和利用种质资源及基因

挖掘的重要基础, 对指导亲本选配和拓宽作物的遗传背景有重要意义。但由于现代育种导致作物遗传

多样性降低,使得作物改良的遗传基础变得愈来愈狭窄^[1]。因此,国内外对小麦的遗传多样性进行了大量的研究。Roussel 等^[2]对 559 个 1800—2000 年间育成的法国面包小麦品种进行了遗传多样性分析;Ribeiro - Carvallho 等^[3]对不同环境条件下种植的葡萄牙小麦进行了遗传多样性研究;王兰芬等^[4]对 371 份欧洲小麦品种和 363 份东亚小麦品种进行遗传关系与多样性差异分析。景蕊莲等^[5]在灌水和雨养条件下以抗旱系数和耐旱指数作为评价抗旱性的指标,对小麦抗旱种质资源的遗传多样性进行了分析,发现有些材料全生育期抗旱,有些材料仅在某一个或几个生育期抗旱;有的材料抗旱高产。郭嘉义等^[6]应用 RAPD 技术对 20 世纪 40~90 年代宁夏灌区种植的春小麦品种遗传多样性进行了分析,从分子生物学角度揭示了宁夏主要春小麦品种间遗传多样性特点,指出宁春系列品种间的遗传差异较小,遗传基础狭窄;李艳丽^[7]等选用 55 对 SSR 引物对来自美国的 67 份小麦品种和我国黄淮麦区大面积推广的 17 个品种进行了遗传多样性分析,表明美国品种的遗传多样性较高,且与我国黄淮麦区小麦品种的遗传差异较大;郝晨阳等^[8]对我国西北春麦区的 56 份小麦育成品种应用扩增片段长度多态性 (Amplified fragment length polymorphics, 简称 AFLP) 分子标记技术进行了遗传多样性分析,发现宁夏春小麦品种主要是阿勃、欧柔及北美、CIMMYT 材料的后代,虽然血缘比较复杂,但品种间仍然表现出极大的相似性。郝晨阳等^[28]对我国育成品种(系)的 1 680 份初选核心种质进行遗传多样性分析和评价,发现育成品种遗传多样性指数以 20 世纪 50 年代的最高,以后越来越低。

宁夏引黄灌区是中国重要的商品粮基地,是宁夏春小麦主产区,产量约占全区小麦总产量的 60%~70%^[9]。但自 1981 年“宁春 4 号”审定以来春小麦单产徘徊不前,难以实现突破性的飞跃,究其原因可能与种质资源的遗传多样性水平较低和品种遗传基础狭窄有关^[10]。干旱是宁夏小麦生产主要的非生物胁迫因素,而培育抗旱节水高产小麦新品种是提高单产、保障国家粮食安全和可持续生产的有效途径^[4]。但是,宁夏在小麦种质资源尤其是春小麦种质资源抗旱农艺性状及遗传多样性方面的研究尚未见报道。因此,本研究对宁夏审定春小麦品种、部分地方品种和引进种质资源共 91 份材料进行基于表型性状耐旱指数的遗传多样性分析,旨在了解该区小麦种质资源的主要抗旱农艺性状表现及遗传多

样性,以期小麦种质资源的高效利用和有针对性地利用抗旱亲本选配杂交组合提供种质资源信息。

1 材料与方法

1.1 材料及试验设计

参试材料 91 份,包括 52 份宁夏审定品种及高代品系、18 份地方品种和 21 份引进种质(表 1)。材料全部由宁夏农林科学院农作物研究所小麦品种资源研究室提供。

试验在宁夏农林科学院农作物研究所试验基地(106°14'E, 38°14'N)进行。该地区常年平均降水量 150~200 mm,小麦生育期降水量 70 mm 左右,蒸发量 1 700~1 900 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 3 200 $^{\circ}\text{C}$ 左右,年日照时数为 3 000~3 100 h。本实验年度春小麦生育期降水量为 78.3 mm(2014 年 3—7 月上旬降水量分别为 0、30.8、0.8、46.7 mm 和 0 mm)。土壤为灌淤土,供试土壤 0~20 cm 土层的基础养分状况为:有机质 15.00 g·kg⁻¹,全氮 1.07 g·kg⁻¹,全磷 1.00 g·kg⁻¹,速效氮 76 mg·kg⁻¹,速效磷 20.1 mg·kg⁻¹,速效钾 130 mg·kg⁻¹,pH 7.3。播前耙耱整地,同时施入尿素[$\omega(\text{N}) = 46\%$]225.0 kg·hm⁻²,磷酸二胺[$\omega(\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5) \geq 64\%$]150.0 kg·hm⁻²。

试验于 2014 年 2 月 28 日播种,2014 年 7 月 13 日收获。人工造墒播种。小区行长 1.5 m,3 行区,每行均匀点播 113 粒种子(375 万粒·hm⁻²)。重复 1 次。田间水分管理分干旱胁迫(即雨养, Drought stress, DS)和正常灌溉(Well watered, WW)两种处理,处理间人工挖沟约 1 m 深,埋入双层塑料薄膜防止水分侧渗。干旱胁迫指播种后全生育期靠自然降水,正常灌溉即在起身期、孕穗期和灌浆期各灌溉 1 次,每次灌水量为 750 m³·hm⁻²。

1.2 小麦性状测量

小麦灌浆后期田间测量株高,成熟收获前各小区随机取 10 株带回室内考种,项目有单株穗数、穗长、穗下节长、穗叶距(指旗叶叶枕到穗基部的长度,旗叶叶枕低于穗基部的记作正值,高于穗基部的记作负值)、总小穗数、有效小穗数(即单穗有效小穗数)、不孕小穗数、穗粒数、穗粒重、10 株粒重(即 10 株的总粒重,综合反映单株产量情况)、千粒重。收获脱粒并风干后测量小区产量。

利用参试材料干旱胁迫与正常灌溉条件下性状表型值的比值(DS/WW)作为该性状的耐旱指数(Drought tolerance index, DTI)^[11],依此评价材料的抗旱性。

表1 参试小麦材料名称及其来源

Table 1 Names and origins of wheat accessions

编号 No.	品种名称 Name	地理来源 Origin	编号 No.	品种名称 Name	地理来源 Origin
1	白秃子 Baituzi	地方品种 Landrace	47	宁春34号 Ningchun No.34	审定品种 Regist variety
2	红秃子 Hongtuzi	地方品种 Landrace	48	宁春35号 Ningchun No.35	审定品种 Regist variety
3	小和尚头 Xiaoheshangtou	地方品种 Landrace	49	宁春36号 Ningchun No.36	审定品种 Regist variety
4	火麦 Huomai	地方品种 Landrace	50	宁春37号 Ningchun No.37	审定品种 Regist variety
5	毛火麦 Maohuomai	地方品种 Landrace	51	宁春38号 Ningchun No.38	审定品种 Regist variety
6	山麦 Shanmai	地方品种 Landrace	52	宁春39号 Ningchun No.39	审定品种 Regist variety
7	大青芒 Daqingmang	地方品种 Landrace	53	宁春40号 Ningchun No.40	审定品种 Regist variety
8	五爪龙 Wuzhaolong	地方品种 Landrace	54	宁春41号 Ningchun No.41	审定品种 Regist variety
9	红齐麦 Hongqimai	地方品种 Landrace	55	宁春42号 Ningchun No.42	审定品种 Regist variety
10	劲麦1号 Jinmai No.1	地方品种 Landrace	56	宁春43号 Ningchun No.43	审定品种 Regist variety
11	阿玉1号 Ayu No.1	地方品种 Landrace	57	宁春44号 Ningchun No.44	审定品种 Regist variety
12	争天1号 Zhengtian No.1	地方品种 Landrace	58	宁春45号 Ningchun No.45	审定品种 Regist variety
13	宏图 Hongtu	地方品种 Landrace	59	宁春46号 Ningchun No.46	审定品种 Regist variety
14	斗地1号 Dou di No.1	地方品种 Landrace	60	宁春47号 Ningchun No.47	审定品种 Regist variety
15	Cajem-70	引进种质 Import variety	61	宁春48号 Ningchun No.48	审定品种 Regist variety
16	宁春1号 Ningchun No.1	审定品种 Regist variety	62	宁春49号 Ningchun No.49	审定品种 Regist variety
17	宁春2号 Ningchun No.2	审定品种 Regist variety	63	宁春50号 Ningchun No.50	审定品种 Regist variety
18	宁春3号 Ningchun No.3	审定品种 Regist variety	64	宁春51号 Ningchun No.51	审定品种 Regist variety
19	宁春4号 Ningchun No.4	审定品种 Regist variety	65	宁春52号 Ningchun No.52	审定品种 Regist variety
20	宁春5号 Ningchun No.5	审定品种 Regist variety	66	春节1号 Chunjie No.1	地方品种 Landrace
21	宁春6号 Ningchun No.6	审定品种 Regist variety	67	春节2号 Chunjie No.2	地方品种 Landrace
22	宁春7号 Ningchun No.7	审定品种 Regist variety	68	春节3号 Chunjie No.3	地方品种 Landrace
23	宁春8号 Ningchun No.8	审定品种 Regist variety	69	春节6号 Chunjie No.6	地方品种 Landrace
24	宁春9号 Ningchun No.9	审定品种 Regist variety	70	m2525	自育品系 Bred strains
25	宁春10号 Ningchun No.10	审定品种 Regist variety	71	m2598	自育品系 Bred strains
26	宁春11号 Ningchun No.11	审定品种 Regist variety	72	Chuanmai 18	引进种质 Import variety
27	宁春12号 Ningchun No.12	审定品种 Regist variety	73	Jinghong No.1	引进种质 Import variety
28	宁春13号 Ningchun No.13	审定品种 Regist variety	74	Jinghong No.2	引进种质 Import variety
29	宁春14号 Ningchun No.14	审定品种 Regist variety	75	Bastian	引进种质 Import variety
30	宁春15号 Ningchun No.15	审定品种 Regist variety	76	CV"Drysdale"CSIRO2005	引进种质 Import variety
31	宁春16号 Ningchun No.16	审定品种 Regist variety	77	E. G. A GREGORY	引进种质 Import variety
32	宁春17号 Ningchun No.17	审定品种 Regist variety	78	Granato	引进种质 Import variety
33	宁春18号 Ningchun No.18	审定品种 Regist variety	79	Magnif41 ert 1	引进种质 Import variety
34	宁春19号 Ningchun No.19	审定品种 Regist variety	80	Castel Porziano	引进种质 Import variety
35	宁春20号 Ningchun No.20	审定品种 Regist variety	81	Durox	引进种质 Import variety
36	宁春21号 Ningchun No.21	审定品种 Regist variety	82	Icaro	引进种质 Import variety
37	宁春22号 Ningchun No.22	审定品种 Regist variety	83	Halberd	引进种质 Import variety
38	宁春23号 Ningchun No.23	审定品种 Regist variety	84	Bouffarick	引进种质 Import variety
39	宁春24号 Ningchun No.24	审定品种 Regist variety	85	Kharchia 65	引进种质 Import variety
40	宁春26号 Ningchun No.26	审定品种 Regist variety	86	Transfer	引进种质 Import variety
41	宁春27号 Ningchun No.27	审定品种 Regist variety	87	Pitic 62	引进种质 Import variety
42	宁春29号 Ningchun No.28	审定品种 Regist variety	88	CEP 8058	引进种质 Import variety
43	宁春30号 Ningchun No.29	审定品种 Regist variety	89	Cleopatra	引进种质 Import variety
44	宁春31号 Ningchun No.30	审定品种 Regist variety	90	Synth. Deriv.29589	引进种质 Import variety
45	宁春32号 Ningchun No.31	审定品种 Regist variety	91	Seri M82	引进种质 Import variety
46	宁春33号 Ningchun No.32	审定品种 Regist variety			

1.3 数据处理

用 Excel 2007 软件计算平均值(\bar{x})、标准差(s)、变异系数(CV)、变幅、极大值、极小值和多样性指数。根据平均值、标准差将材料分为 10 级,从第 1 级 $X_i < \bar{x} - 2s$ 到第 10 级 $X_i \geq \bar{x} + 2s$,每 $1/2s$ 为 1 级,每一级的相对频率(P_i)用于计算遗传多样性指数 H' (Shannon - Weiner index),计算公式如下:

$$H' = - \sum P_i \times \ln P_i^{[12]}$$

其中, P_i 为某一性状第 i 级别内材料份数占总份数的百分比; X_i 为第 i 级中的数据; \ln 为自然对数。利用 SPSS V20 软件分析计算供试材料之间的遗传距离,采用欧氏距离法对供试材料进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同水分处理下供试材料的表型性状

在干旱胁迫和正常灌溉两种水分条件下,供试材料的性状差异较大(表 2)。两种水分条件下,不孕小穗数的变异系数均最高,雨养条件下为 63.5%,正常灌溉条件下为 51.5%,干旱胁迫条件较正常灌溉条件高出 23.3%;其次是穗叶距,干旱胁

迫条件和正常灌溉条件下分别为 36.9% 和 36.3%,差异不显著。有效小穗数变异系数最低的是有效小穗数,干旱胁迫条件和正常灌溉条件下分别为 12.9% 和 11.4%,干旱胁迫条件较正常灌溉条件高出 13.2%。从表 2 可以看出,参试材料在干旱胁迫条件下的株高、有效小穗数、不孕小穗数、穗下节长、穗叶距变异系数大于其在正常灌溉条件下的变异系数;而单株穗数、穗长、穗粒数、穗粒重、千粒重、产量的变异系数小于其在灌溉条件下的变异系数。

2.2 耐旱指数分析

2.2.1 不同性状间耐旱指数分析 性状耐旱指数 (DTI) 分析表明(表 3),穗粒重的耐旱指数平均值最高,为 1.12,不孕小穗数次之,为 1.05;株高耐旱指数平均值最低,其次是单株穗数和穗下节长,说明干旱胁迫可使株高显著降低,且穗下节长变短是影响株高的主要原因之一;同时,干旱胁迫影响了小麦的分蘖和成穗能力,最终影响产量形成。 DTI 变异系数最高的是不孕小穗数,为 66.74%,最低的是有效小穗数,为 9.18%。

表 2 91 份材料主要农艺性状表现

Table 2 Analysis on the agronomic traits of 91 wheat varieties tested

农艺性状 Trait	雨养条件 Drought stress				灌溉条件 Well watered			
	均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 CV/%	均值 Average	最大值 Max.	最小值 Min.	变异系数 CV/%
株高 Plant height/cm	81.2	115.0	43.0	19.9	90.8	128.0	65.0	16.8
单株穗数 Effective tillers	2.7	4.2	1.5	21.8	3.2	6.1	1.5	25.6
有效小穗数 Effective spikelets	16.3	20.7	10.2	12.9	16.8	20.6	11.6	11.4
不孕小穗数 Sterile spikelets	1.7	5.5	0.1	63.5	1.9	4.3	0.2	51.5
穗长 Spike length/cm	10.2	14.3	5.5	15.3	10.1	14.3	5.6	16.0
穗下节长 Length of spike neck/cm	32.0	48.0	15.4	18.4	33.8	48.7	16.0	18.0
穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance/cm	13.6	31.0	3.0	36.9	14.2	28.0	3.9	36.3
穗粒数 Kemels per spike	34.1	50.4	19.3	19.9	33.4	47.8	16.2	20.3
穗粒重 Grain weight per spike/g	1.2	2.3	0.7	24.9	1.1	2.2	0.5	27.6
千粒重 1000-grain weight/g	37.9	54.0	24.5	14.6	38.9	53.8	27.1	16.1
产量 Yield/(kg·hm ⁻²)	3154.7	4710.1	1355.8	23.8	3351.1	6319.5	1550.1	29.3

表 3 参试材料主要农艺性状耐旱指数 (DTI) 方差分析及多样性指数

Table 3 Analyses on agronomic traits of DTI and diversity indexes of wheat cultivars tested

性状 Trait	株高 Plant height	单株穗数 Effective tillers	有效小穗数 Effective spikelets	不孕小穗数 No. of sterile spikelets	穗长 Spike length	穗下节长 Length of spike neck	穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance	穗粒数 Kernels per spike	穗粒重 Grain weight per spike	千粒重 1000-grain weight	产量 Yield
均值 Average	0.89	0.91	0.97	1.05	1.01	0.96	1.02	1.03	1.12	0.98	0.98
最大值 Max.	1.09	2.10	1.25	4.25	1.49	1.49	2.85	1.43	2.29	1.26	1.85
最小值 Min.	0.55	0.44	0.79	0.04	0.68	0.74	0.52	0.58	0.60	0.74	0.49
变异系数 CV/%	10.83	28.84	9.18	66.74	10.83	15.18	39.65	15.32	25.46	11.35	22.36
多样性指数 H'	1.16	2.33	0.99	2.48	1.26	1.38	2.41	1.69	2.12	1.21	2.05

根据性状耐旱指数的平均值和标准差将供试材料分为 10 个等级,分析结果表明,群体各性状耐旱指数的多样性指数相差较大,变化范围从 0.99 到 2.48,平均值为 1.73;不孕小穗数的多样性指数最高,达 2.48,多样性指数最低的为有效小穗数,为 0.99(表 3)。

2.2.2 不同性状间耐旱指数的相关性分析 相关性分析结果(表 4)表明,株高与穗下节长的耐旱指数呈极显著正相关,相关系数 0.359;穗下节长的耐旱指数与穗叶距的耐旱指数之间呈极显著正相关,

相关系数达 0.715,表明穗下节的长度主要取决于穗叶距,两者密切相关。有效小穗数的耐旱指数与不孕小穗数的耐旱指数呈极显著负相关,相关系数为 -0.319。产量的耐旱指数与株高、穗下节长、穗叶距的耐旱指数呈极显著负相关,与穗长的耐旱指数呈显著负相关。对全部性状耐旱指数的相关分析结果表明,在干旱胁迫条件下,植株稳产性主要受株高、穗下节长、穗叶距及穗长的影响。除此之外,其他性状对最终产量有不同程度的影响。

表 4 农艺性状耐旱指数的相关性

Table 4 Correlation coefficients of drought tolerance indexes among agronomic traits

性状 Trait	株高 Plant height	单株穗数 Effective tillers	有效小穗 Effective spikelets	不孕小穗 Sterile spikelets	穗长 Spike length	穗下节长 Length of spike neck	穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance	穗粒数 Kernels per spike	穗粒重 Grain weight per spike	千粒重 1000-grain weight
单株穗数 Effective tillers	0.007									
有效小穗 Effective spikelets	0.144	-0.045								
不孕小穗 Sterile spikelets	-0.190	-0.038	-0.319**							
穗长 Spike length	0.054	0.044	0.151	-0.276**						
穗下节长 Length of spike neck	0.359**	0.001	0.166	-0.275**	0.057					
穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance	0.251*	0.098	0.142	-0.315**	-0.006	0.715**				
穗粒数 Kernels per spike	-0.188	-0.118	0.233*	-0.279**	0.074	0.044	0.177			
穗粒重 Grain weight per spike	-0.060	-0.122	0.155	-0.079	-0.182	-0.112	0.096	0.388**		
千粒重 1000-grain weight	0.133	-0.092	-0.208*	-0.015	-0.068	0.053	0.057	-0.040	0.238*	
产量 Yield	-0.272**	0.088	-0.095	0.141	-0.220*	-0.301**	-0.324**	0.051	0.054	-0.190

注: * 和 ** 分别表示 5% 和 1% 显著水平。

Note: * and ** indicate significance at 5% and 1% probability level, respectively.

2.2.3 遗传多样性分析 将审定品种、地方品种和引进种质的 Shannon - Weiner 指数列于表 5。可以看出,参试小麦种质各性状的遗传多样性指数变化在 0.85 ~ 2.49 之间,平均值为 1.49。所考察的 11 个性状中,多样性指数有所差异,以审定品种穗叶距的多样性指数最高,为 2.49,有效小穗数的多样性指数最低,为 0.85。从研究中可看出审定品种的多样性指数平均值最高,为 1.61,其次是引进种质,为 1.52,而地方品种的多样性指数最低,仅为 1.33。从性状的变异系数来看,地方品种的平均变异系数最大,尤其是产量的变异系数,达到 41.45%。

2.3 抗旱种质的聚类分析

对 91 份小麦种质材料的 11 个性状的耐旱指数进行聚类,以欧式距离 11.5 为阈值将材料分为 5 个

类群(图 1),各类群的特征见表 6。

类群 I 包含 38 份材料,其中审定材料 17 份,地方品种材料 9 份,引进种质材料 12 份。这类材料株高最低,平均仅为 78.84 cm,而穗下节长和穗叶距处于中间水平,分别为 32.01 cm 和 13.68 cm。其它各项指标,如穗长、有效小穗数、穗粒数、穗粒重、千粒重、产量均处于中间水平。

第 II 类仅有 3 份材料,分别是地方品种红秃子、引进种质 chuanmai 18 和 Durox。该类材料平均株高最高,达到 94.0 cm,变异系数也最大,如 Durox 株高 115 cm,而 chuanmai 18 株高仅 66 cm;穗长和穗粒重均最小,主要特征是穗小、粒小。总体来看,这类材料在改善小麦农艺性状方面利用价值不高。

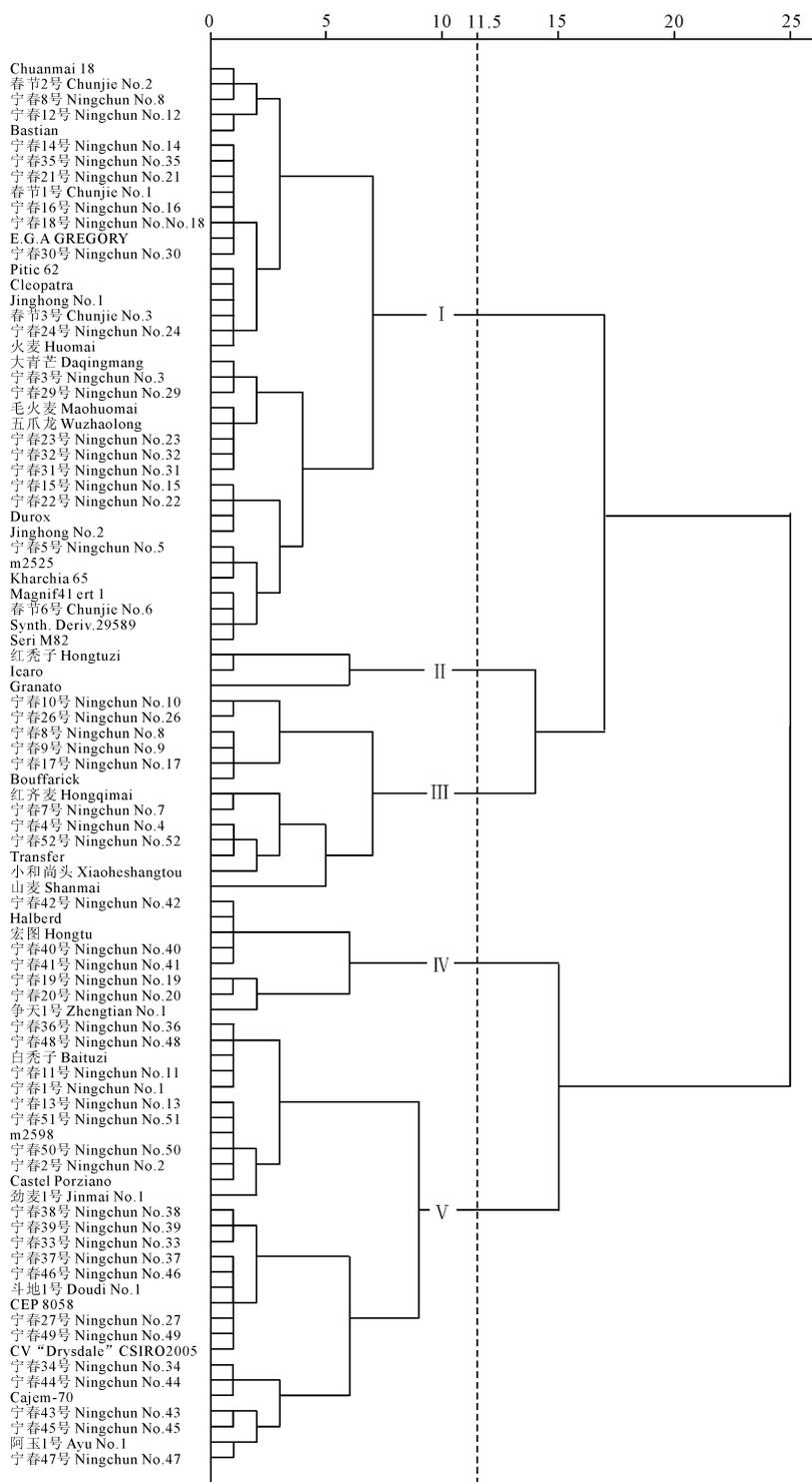


图 1 基于 11 个农艺性状的小麦种质资源聚类

Fig. 1 Clustering analysis based on 11 traits of wheat germplasm of varieties

第 III 类包括 13 份材料,其中审定品种 8 份,地方品种 3 份,引进种质 2 份。这类材料单株穗数最高,说明这些材料在干旱胁迫下具有较强的分蘖成穗能力,但其变异系数也高,达到 28.69%,在利用时应加以选择。穗下节长、有效小穗数、穗粒数、千粒重及产量均最低,说明这类材料抗旱能力较弱,在

抗旱育种亲本选配时应慎用。

第 IV 类有 8 份材料,其中审定品种 5 份,地方品种 2 份,引进种质 1 份。这类材料穗下节长和穗叶距最短,株高、穗长、单株穗数处于中间水平,但在水分胁迫条件下表现出较高的产量水平,其穗粒数、穗粒重、千粒重均最高,表现出较强的抗旱能力,在

抗旱育种中应重点加以利用。

第 V 类有 29 份材料,其中审定品种 20 份,地方品种 4 份,引进种质 5 份。这些材料单株穗数最低,

说明在干旱环境下其分蘖能力较弱;但其穗长和有效小穗数最高,穗粒数、千粒重也较高,从而使其产量较高,也是比较好的抗旱材料。

表 5 参试小麦种质抗旱性鉴定指标的变异系数和多样性指数

Table 5 Coefficients of variations and diversity indexes of drought resistance for wheat germplasms in the test

性状 Trait	变异系数 Variant coefficient/%			多样性指数 Diversity index		
	审定品种 Register variety	地方品种 Landrace	引进种质 Import variety	审定品种 Register variety	地方品种 Landrace	引进种质 Register variety
株高 Plant height	11.04	10.20	11.34	1.15	0.90	1.26
单株穗数 Effective tillers	24.67	16.14	40.07	2.19	1.36	2.07
有效小穗数 Effective spikelets	7.83	11.38	10.08	0.85	0.99	1.09
不孕小穗数 Sterile spikelets	62.70	69.86	58.21	2.50	1.84	1.62
穗长 Spike length	9.69	14.40	9.87	1.00	1.19	1.24
穗下节长 Length of spike neck	15.69	13.87	14.71	1.49	1.07	1.37
穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance	40.16	39.75	24.51	2.49	1.40	2.18
穗粒数 Kernels per spike	17.21	13.85	11.92	1.94	1.03	1.38
穗粒重 Grain weight per spike	21.55	28.31	28.47	2.02	1.89	2.01
千粒重 1000-grain weight	11.01	10.94	12.14	1.20	0.98	1.20
产量 Yield	10.32	41.45	10.20	0.92	1.95	1.28
平均 Average	21.08	24.56	21.05	1.61	1.33	1.52

表 6 小麦种质资源各类群形态性状特征

Table 6 Averages and standard deviations of morphological properties in different clusters

性状 Trait		种质群 Germplasm				
		I	II	III	IV	V
株高 Plant height	均值 Average	78.84	94.00	83.15	83.13	81.55
	CV/%	21.66	26.85	23.02	15.89	16.35
单株穗数 Effective tillers	均值 Average	2.78	2.80	2.86	2.69	2.66
	CV/%	21.05	22.30	28.69	13.84	21.66
有效小穗数 Effectivespikelets	均值 Average	15.87	16.07	15.75	16.65	16.89
	CV/%	12.16	9.34	11.52	17.45	12.90
不孕小穗数 Sterile spikelets	均值 Average	1.78	1.13	2.14	1.35	1.65
	CV/%	64.25	88.38	53.37	72.69	64.08
穗长 Spike length	均值 Average	9.97	9.00	9.89	10.15	10.85
	CV/%	16.29	10.94	12.94	19.84	12.81
穗下节长 Length of spike neck	均值 Average	32.01	33.57	30.98	34.21	31.61
	CV/%	20.35	32.16	18.20	15.29	15.50
穗叶距 Inheritance of ear-leaf distance	均值 Average	13.68	16.13	12.10	16.76	12.97
	CV/%	33.07	65.84	42.23	31.10	36.77
穗粒数 Kernels per spike	均值 Average	34.02	30.75	29.59	36.96	35.67
	CV/%	14.73	48.99	24.81	19.28	19.33
穗粒重 Grain weight per spike	均值 Average	1.24	0.95	0.97	1.38	1.32
	CV/%	22.75	24.07	20.74	24.00	22.93
千粒重 1000-grains weight	均值 Average	37.33	37.02	34.10	41.30	39.37
	CV/%	14.38	8.36	11.61	15.73	13.76
产量 Yeild	均值 Average	2848.10	2498.24	2403.21	4140.86	3689.13
	CV/%	13.66	30.96	27.32	25.03	9.04

3 讨论

3.1 宁夏小麦种质耐旱性评价

比较作物在干旱胁迫与灌溉环境中的性状表现是评价抗旱性的重要方法^[13]。根据干旱胁迫和正常灌溉条件下的表型性状计算耐旱指数,可以量化评价材料的抗旱性,而产量性状是鉴定小麦抗旱性的最主要指标。景蕊莲等^[5]研究表明,对水分不敏感的材料耐旱指数接近 1,耐旱性差的材料耐旱指数显著小于 1,而耐旱指数大于 1 的材料可能具有较好的抗旱能力。产量性状的耐旱指数表明,本研究第 I 类材料的耐旱指数为 0.96,说明这类材料对水分条件比较敏感,干旱胁迫抑制植株生长,导致产量较低;第 II 类和第 V 材料平均耐旱指数都接近 1,说明这些材料对水分不敏感,生长发育弹性较大;第 III、IV 类材料的耐旱指数大于 1,说明该类材料更适宜在旱地条件下种植。本研究为人工造墒播种,萌芽期和幼苗期甚至分蘖期都没有明显的干旱胁迫,因此,抗旱材料分蘖能力得以充分发挥,表现为单株穗数较多。耐旱指数反映的是材料在水、旱两种环境条件下的相对表现,却掩盖了性状在不同环境下的绝对表现,因此,在考查性状耐旱指数的同时,还必须考虑性状的实测值,以全面了解其特性。例如宁春 17 号产量的耐旱指数仅为 0.49,但其在干旱胁迫和正常灌溉两种环境下的产量分别为 $2\ 387.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 和 $4\ 880.2\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,这种类型的材料虽然对水分环境比较敏感,但是在灌溉条件下的产量水平较高,说明其在良好灌溉条件下具有显著的增产潜力,可以在育种工作中合理利用。

3.2 宁夏小麦抗旱种质资源遗传多样性

丰富的遗传多样性是新品种选育的物质基础。从 20 世纪 60 年代以来,宁夏小麦品种经历了 5 次品种更新换代,大幅提高了小麦单产水平。但同时,由于种质资源遗传多样性水平较低和品种遗传基础单一,近 30 年来宁夏春小麦品种单产徘徊不前,难以实现突破性提高。加拿大、法国、澳大利亚等小麦主产国,其育成小麦品种的遗传多样性都比较高,但仍低于地方品种^[14-18],这可能与育种过程中高强度的人工选择有关^[19]。另一方面,可能也反映出不同地域品种在遗传组成上的明显差异^[4,20,21]。因此,就品种改良和遗传多样性的拓展而言,应在育种工作中有目的地广泛选用地地方品种和引进品种资源,尤其是国外资源。马艳明等^[22]分析了 100 份黄淮麦区的小麦品质性状得出的遗传多样性指数为 1.86,甘肃、青海地区为 1.89^[23],陕西省为 1.98^[24],

河北省小麦品种遗传多样性指数为 1.98^[25]。本研究对宁夏近 60 年来审定的小麦品种和部分地方品种及引进种质的 11 个农艺性状进行了调查,并根据品种性状间的相似性(欧氏距离)进行了聚类,结果发现在欧氏距离 11.5 处,91 份品种可聚为 5 类,其中第 I 和第 V 大类聚集了 91 个品种的 73.6%,这反映出宁夏小麦品种的遗传基础较为狭窄。另外,从品种性状的遗传多样性指数也可看出,尽管育成品种的遗传多样性高于地方品种,但品种平均多样性指数相对较低(1.61),说明宁夏耐旱种质资源丰富度还处于较低水平;宁春系列品种间的遗传差异较小、遗传基础狭窄,这可能是近 20 年来宁夏小麦育种徘徊不前的重要原因之一。

目前,宁夏春小麦仍以宁春 4 号为主栽品种,至今未有突破性品种问世。究其原因,是自宁春 4 号选育成功以来,宁夏所审定的小麦品种绝大多数与宁春 4 号同属于一个遗传类群^[26]。研究表明,品种的变化趋势往往反映了不同时期的育种目标。宁夏育成品种的遗传多样性指数高于地方品种,这与新品种培育过程中广泛使用引进种质作亲本直接相关,也与宁夏地域狭小、气候类型多样性低造成地方品种遗传多样性低有关。研究不同区域小麦种质资源的遗传特点和遗传差异,根据本区育种目标有针对性地不同区域引进所需种质,是改良本区域小麦品种和拓宽种质资源遗传基础的有效途径;而探明影响种质资源遗传多样性的因素,有利于制定相应的育种策略,并拓宽现有种质资源的遗传基础^[27]。本研究表明宁夏小麦种质资源的遗传基础狭窄,这就要求育种工作者要更广泛地搜集国内外小麦品种(地方品种)及野生近缘种等,开展种质资源遗传评价与利用研究,通过杂交等手段,把一些优良目标性状转移到并与宁夏育成小麦品种中农艺性状或品质性状表现突出的宁春 4 号、宁春 46 号、宁春 50 号等育成品种中,拓宽遗传基础,为选育抗旱丰产小麦新品种奠定坚实基础。

参考文献:

- [1] Walsh J. Genetic vulnerability down on the farm[J]. Science, 1981, 214: 161-164.
- [2] Roussel, Kenig, Beckert M, et al. Molecular diversity in French bread wheat accessions related to temporal trends and breeding programmes [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2004, 108(5): 920-930.
- [3] Ribeiro - Carvalho C, Guedes - Pinto H, Igrejas G, et al. High levels of genetic diversity throughout the range of the Portuguese wheat landrace Barbela [J]. Annals of Botany, 2004, 94(5): 699-705.
- [4] 王兰芬,郝晨阳,董玉琛,等. 欧洲与东亚小麦品种遗传多样性

- 的比较分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(12): 2667-2678.
- [5] 景蕊莲, 吕小平. 小麦抗旱种质资源的遗传多样性[J]. 西北植物学报, 2003, 23(3): 410-416.
- [6] 郭嘉义, 许兴, 赵晓明. 宁夏主要春小麦品种间遗传多样性的 RAPD 检测[J]. 宁夏农林科技, 2001, (2): 4-7.
- [7] 李艳丽, 孙树贵, 武军, 等. 部分美国及我国小麦品种的遗传多样性分析[J]. 麦类作物学报, 2012, 32(6): 1066-1071.
- [8] 郝晨阳, 王兰芬, 董玉琛, 等. 我国西北春麦区小麦育成品种遗传多样性的 AFLP 分析[C]//中国作物学会. 全国作物遗传育种学术研讨会论文集. 北京, 2003: 364-371.
- [9] 袁汉民, 李新, 范金萍, 等. 宁夏小麦遗传育种的回顾与展望[J]. 宁夏农林科技, 2001, (6): 31-34.
- [10] 袁汉民, 张富国, 范金萍, 等. 宁夏引黄灌区冬麦北移与种植业结构调整[J]. 宁夏农林科技, 2001, (3): 41-43.
- [11] Sari-Gorla M, Krajewski P, Di Fonzo N, et al. Genetic analysis of drought tolerance in maize by molecular markers II. Plant height and flowering[J]. Theor Appl Genet, 1999, 99(1): 289-295.
- [12] 董玉琛, 曹永生, 张学勇, 等. 中国普通小麦初选核心种质的产生[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(1): 1-8.
- [13] Xu J L, Lafitte H R, Gao Y M, et al. QTLs for drought escape and to lerance identified in a set of random introgression lines of rice[J]. Theor Appl Genet, 2005, 111(8): 1642-1650.
- [14] Figliuolo G, Mazzeo M, Greco I. Temporal variation of diversity in Italian durum wheat germplasm[J]. Genet Resour Crop Evol, 2007, 54(3): 615-62.
- [15] Fu Y B, Peterson G W, Richards K W, et al. Allelic reduction and genetic shift in the Canadian hard red spring wheat germplasm released from 1845 to 2004[J]. Theor Appl Genet, 2005, 110(8): 1505-1516.
- [16] Hao C, Wang L, Zhang X, et al. Genetic diversity in Chinese modern wheat varieties revealed by microsatellite markers[J]. Sci China Life Sci, 2006, 49(3): 218-226.
- [17] Parker G, Fox P, Langridge P, et al. Genetic diversity with in Australian wheat breeding programs based on molecular and pedigree data[J]. Euphytica, 2002, 124(3): 293-306.
- [18] Roussel V, Koenig J, Beckert M, et al. Molecular diversity in French bread wheat accessions related to temporal trends and breeding programmes[J]. Theor Appl Genet, 2004, 108(5): 920-930.
- [19] Christiansen M J, Andersen S B, Ortiz R. Diversity changes in an intensively bred wheat germplasm during the 20th Century[J]. Molecular Breeding: New Strategies in Plant Improvement, 2002, 9(1): 1-11.
- [20] 刘三才, 郑殿升, 胡琳, 等. 新引进意大利小麦品种农艺和品质性状的评价[J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(1): 43-46.
- [21] 董玉琛, 郝晨阳, 王兰芬, 等. 358 个欧洲小麦品种的农艺性状鉴定与评价[J]. 植物遗传资源学报, 2006, 7(2): 129-135.
- [22] 马艳明, 范玉顶, 李斯深, 等. 黄淮海区小麦品种(系)品质性状多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(2): 133-138.
- [23] 沈裕琥, 王海庆, 杨天育, 等. 甘、青两省春小麦遗传多样性演变[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4): 731-740.
- [24] 陈雪燕, 王亚娟, 雒景吾, 等. 陕西省小麦地方品种主要性状的遗传多样性研究[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 456-460.
- [25] 李志波, 王睿辉, 张茶, 等. 河北省小麦品种基于农艺性状的遗传多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2009, 10(3): 436-442.
- [26] 袁汉民, 裴志新, 陈东升, 等. 小麦种质资源宁春 4 号的研究和利用[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(1): 160-165.
- [27] 金善宝. 中国小麦学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996.
- [28] 郝晨阳, 王兰芬, 张学勇, 等. 我国育成小麦品种的遗传多样性演变[J]. 中国科学(C辑)生命科学, 2005, 35(5): 408-415.
- [29] 景蕊莲. 作物抗旱节水研究进展[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(1): 1-5.
- [30] 李鲜花, 刘永华, 刘辉, 等. 我国黄淮冬麦区小麦品种与美国冬小麦品种的遗传多样性比较[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(6): 751-757.

(上接第 77 页)

- [6] 梁馨文, 任瑞丽, 张丽清. 马铃薯地膜覆盖技术的应用与推广方式探讨[J]. 现代农业科技, 2009(23): 143-144.
- [7] 李凤民, 王静, 赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效旱地农业的发展[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 259-264.
- [8] 陈明昌, 吴惠琼. 宣威市玉米少(免)耕“窝塘式”抗旱集雨节水栽培集成技术[J]. 云南农业科技, 2013(6): 38-39.
- [9] 杜社妮, 白岗栓. 黄土丘陵区仁用杏园不宜间作沙打旺[J]. 园艺学报, 2007, 34(5): 1135-1140.
- [10] 周绍松, 周敏, 李永梅, 等. 大麦/蚕豆间作对土壤含水量的影响研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2008, 93(4): 532-535.
- [11] 孟平, 张劲松. 梨麦间作系统水分效应与土地利用效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 167-171.
- [12] 姜净卫, 董宝娣, 司福艳, 等. 地膜覆盖对杂交谷子光合特性、产量及水分利用效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 154-158, 194.
- [13] 张淑芳, 柴守玺, 蔺艳春, 等. 冬小麦地膜覆盖的水分效应[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(2): 45-52.
- [14] Liao W, Bi H, Zhao Y, et al. Distribution of soil moisture in malus pumila and glycine max intercropping system and its impact on the soybean growth[J]. Science of Soil & Water Conservation, 2014, 12(1): 24-28.
- [15] 付克勤, 孙俊, 齐旭峰. 干旱区坡地马铃薯-地膜玉米间作栽培技术要点[J]. 农业科技与信息, 2009, (15): 24-25.
- [16] Garre S, Vanderborcht J, Guenther T. Sensitivity and resolution of ert for soil moisture monitoring in contour hedgerow intercropping systems[J]. H51a, 2011, 11(4): 1-14.
- [17] 叶优良, 李隆, 孙建好. 小麦/玉米间作和氮肥对水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(4): 176-182.
- [18] Du S, Bai G, Yu J. Soil properties and apricot growth under intercropping and mulching with erect milk vetch in the loess hilly-gully region[J]. Plant & Soil, 2015, 390(1-2): 431-442.