

宁夏春小麦品种产量及品质 性状的抗旱性评价

陶媛¹, 张倩¹, 何亚玲², 孙倩¹, 迟永伟¹, 白海波³

(1. 宁夏永宁县农业技术推广中心, 宁夏 永宁 750100; 2. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750002;

3. 宁夏农林科学院农业生物技术研究中心, 宁夏 银川 750002)

摘要:为明确干旱胁迫对宁夏春麦产量及品质的影响, 筛选优质、耐早春小麦品种, 以宁夏灌区的 20 份春小麦主栽品种(系)为试验材料, 采用双因素裂区试验, 以灌水量为主区, 不同小麦品种为副区, 比较分析了不同处理下小麦产量及品质的差异。结果表明: 干旱胁迫下, 小麦的穗粒数、有效穗数以及产量显著减少, 其平均值分别减少了 10.19%、11.01% 和 39.13%, 但宁春 39 号、宁春 50 号、宁 2038 等品种的穗粒数与宁春 54 号、永 08-1 等品种的有效穗数并未减少, 小麦千粒重、可孕小穗及平均穗长变化不显著。干旱胁迫下, 小麦籽粒的容重、蛋白质含量与沉降值整体有所增加, 其平均值分别增加了 0.76%、14.17%、11.44%, 但硬度、湿面筋含量、吸水量及最大拉伸阻力因基因型不同而有明显差异, 且最大拉伸阻力变化幅度最大, 变幅在 -17.72%~46.55% 之间, 显著增加的品种占比居多, 分别是宁春 4 号、39 号、41 号、51 号、54 号、56 号、57 号、58 号、60 号、61 号、永良 15 号、永 08-1 及永 3463 等 13 个品种。通过隶属函数法得出抗旱综合指标值排名靠前的品种有宁春 54 号、宁春 56 号、宁春 39 号与宁春 50 号等品种, 且在干旱胁迫下宁春 54 号、宁春 52 号与永良 15 号均具有较好的产量与品质表现, 该群体小麦平均产量为 4 031 kg·hm⁻², 品质指标除稳定时间外均达到国家小麦强筋二级水平; 综合抗旱评价与聚类分析结果表明宁春 54 号在干旱条件下具有较好的综合表现。

关键词:春小麦; 品种; 产量; 品质; 抗旱性评价; 宁夏

中图分类号:S513; S32 **文献标志码:**A

Drought resistance evaluation of yield and quality traits of spring wheat varieties in Ningxia

TAO Yuan¹, ZHANG Qian¹, HE Ya ling², SUN Qian¹, CHI Yong wei¹, BAI Hai bo³

(1. Ningxia Yongning County Agricultural Technology Extension Service Center, Yongning, Ningxia 750100, China;

2. Agriculture college of Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750002, China; 3. Agricultural Bio-technology

Research Center, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan, Ningxia 750002, China)

Abstract: To understand the effects of drought stress on yield and quality of spring wheat in Ningxia, 20 spring wheat varieties (lines) with good quality and drought tolerance were selected, a two-factor split plot experiment was conducted to compare the differences in yield and quality of wheat under different irrigation treatments. The results showed that the grain number per ear, number of effective panicles and yield of wheat decreased significantly by 10.19%, 11.01% and 39.13% respectively under drought stress, but the number of grains per ear of Ningchun 39, Ningchun 50, Ning 2038 and the number of effective panicles of Ningchun 54, Yong 08-1 did not decrease, and the change of 1000-grain weight, fertile spikelet and average spike length was not significant. The bulk density, protein content and sedimentation value were increased by 0.76%, 14.17% and 11.44% respectively under drought stress, however, the hardness, wet gluten content, water absorption and maximum tensile resistance were significantly affected by different genotype. In addition, the maximum tensile resistance had the largest varia-

tion range from -17.72% to 46.55% . Most of the varieties increased significantly, including Ningchun 4, Ningchun 39, Ningchun 41, Ningchun51, Ningchun54, Ningchun56, Ningchun57, Ningchun 58, Ningchun 60, Ningchun 61, Yongliang 15, Yong 08-1 and Yong 3463. According to the subordinate function method, Ningchun 54, Ningchun 56, Ningchun 39 and Ningchun 50 were the top drought-resistant varieties. Ningchun 54, Ningchun 52 and Yongliang 15 had better yield and quality under drought stress, the yield of this population was $4\ 031\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, and the quality indexes reached the second level of national strong gluten level except the stable time. It is inferred that Ningchun 54 may have a better comprehensive performance in arid regions based on the results of drought resistance evaluation and cluster analysis.

Keywords: spring wheat; varieties; yield; quality; evaluation of drought resistance; Ningxia

小麦是我国重要的粮食作物之一,为人们提供约 21% 的食物热量和 20% 的蛋白质^[1],是唯一含有面筋的粮食作物。由于我国水资源贫乏且降雨时空分布不均,小麦生育期间不同时段及强度的干旱胁迫是制约小麦生产的主要障碍因子^[2-3],因此筛选优质抗旱小麦品种资源对提高粮食产量具有重要意义。党根友等^[4]以灌区 6 个春麦品种为研究对象,研究了不同灌水次数对春小麦各品种产量形成、水分利用效率的影响,发现不同品种抗旱指数、收获指数、产量及其构成对灌水次数有不同的响应。闫金龙等^[5]以小麦重组自交系群体为材料,对不同水分条件下小麦生理性状与产量及抗旱节水性作了研究,结果表明旱作雨养条件下各生理性状值均低于灌溉条件。小麦品质是基因型和环境因素共同作用的结果,虽然品种的遗传因素是决定小麦籽粒品质的基础,但环境条件对小麦品质性状的表达起着显著的调控效应^[6-7]。晁漫宁等^[3]研究表明,干旱胁迫对优质强筋小麦西农 979 的蛋白组分及其含量均有显著影响,其湿面筋和干面筋含量在干旱胁迫下显著提高^[7]。许振柱等^[8]认为严重水分亏缺会降低籽粒容重、面筋含量、沉降值、面团形成时间、稳定时间和评价值,但一定程度的土壤水分亏缺反而促其升高。

随着全球气候的变暖,中国北方气候暖干化明显,宁夏地区降水量不足且继续呈下降趋势,灌区用水限量日趋紧张,干旱的发生范围和频率呈上升趋势,对春小麦产量和品质的影响加重^[9-10]。而宁夏春小麦在我国西北春麦区的生产和育种中发挥着重要作用。且筛选耐旱、优质的宁夏春麦品种对整个西北小麦生产也起着至关重要的作用。本试验以 20 份宁夏主要春小麦品种(系)为试验材料,研究宁夏自然气候条件下土壤干旱对春小麦产量性状和品质性状的影响,以及不同品种各性状指标对干旱胁迫的响应程度,为筛选耐旱、优质春小麦品种提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2021 年 3—7 月在宁夏永宁县农作物种子繁育所试验基地进行。该试验点 (38.192°N , 106.162°E) 地处温带大陆性干旱气候区,海拔 1 075 m,播前 0~10 cm 土壤质量含水量为 24.1%,全年降水情况见图 1。试点前茬作物为白菜。试验区土壤为沙壤土,0~10 cm 土壤速效磷含量为 $12.34\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量为 $90.00\ \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全氮含量为 $1.68\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质含量为 $14.84\ \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 供试材料

供试品种为宁夏引黄灌区大面积种植的春小麦品种及新育成品系 20 个,其中审定品种 18 个(宁春 4 号、永良 15 号、宁春 39 号、宁春 41 号、宁春 48 号、宁春 50 号、宁春 51 号、宁春 52 号、宁春 53 号、宁春 54 号、宁春 55 号、宁春 56 号、宁春 57 号、宁春 58 号、宁春 60 号、宁春 62 号、宁 2038 和宁 3015)由宁夏农作物研究所品资室提供;新品系 2 个(永 08-1 和永 3463)由永宁县农作物种子繁育所提供。

1.3 试验设计

试验采用双因素裂区设计,灌水量为主区,品种为副区,主区设 2 个水平,即正常灌水(W_1)和干旱胁迫处理(W_2),正常水分处理是小麦生育期间进行 3 次灌水不避雨,其中灌水时间分别在 5 月 2 日、

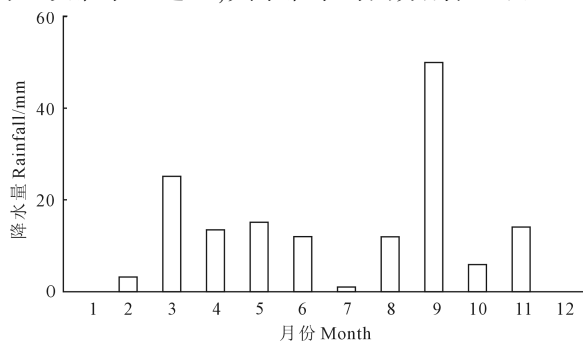


图 1 永宁县 2021 年每月降水量

Fig.1 Yongning County 2021 monthly rainfall

5月21日和6月11日,灌水量分别为4 800、4 200 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和4 200 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$;干旱胁迫处理是在小麦播种至收获期间不灌水不避雨。品种为副区,播种期与收获期分别是2月27日和7月1日。每个处理3次重复,共计40个小区,行长2.0 m,行距0.15 m,每小区6行,小区有效面积为1.935 m^2 。种植密度为675万粒 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。基肥施磷酸二铵262.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,尿素112.5 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.4 测定项目与方法

收获时在各小区取20个单株进行室内考种,测定千粒重、平均穗长、可孕小穗及穗粒数;蜡熟期在小区定位0.6667 m^2 区域内的有效单穗数换算为公顷有效穗数;收获期对小区全部麦穗进行收获脱粒称重测定小区产量;容重测量采用容重仪法;硬度测定采用硬度指数法(GB/T21304-2007)^[11];蛋白质测定使用半微量凯氏法(NY/T 3-1982)^[12];湿面筋测定采用小麦粉湿面筋质量测定法(LS/T 6102-1995)^[13];小麦粉沉降值测定采用Hagberg-Perten法(GB/T 10361-2008)^[14];面团稳定时间和吸水量测试采用粉质仪法(GB/T 14614-2019)^[15];面团延伸度测试采用拉伸仪法(GB/T 14615-2019)^[16]。

1.5 品种(系)抗旱性的评价

抗旱系数(drought-tolerance coefficient, *DTC*)即旱地测量值与灌溉地测量值的比值。基于各品种不同指标的抗旱系数,运用加权隶属函数法对不同品种小麦的抗旱性进行综合评价,并根据不同品种的综合评价(D值)对供试品种进行抗旱性排序,同时对不同品种测试指标进行聚类,利用D值排序和聚类结果对各品种进行评价。加权隶属函数法计算公式如下:

$$DTC = \frac{\text{旱地测量值}}{\text{水地测量值}} \quad (1)$$

$$W_i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (2)$$

$$U(X_i) = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (i=1,2,3,\dots,i) \quad (3)$$

$$F(X_i) = a_{1i}X_{1i} + a_{2i}X_{2i} + \dots + a_{ni}X_{ni} \quad (i=1,2,3,\dots,i) \quad (4)$$

$$D = \sum_{i=1}^n [U(X_i) \times W_i] \quad (i=1,2,3,\dots,i) \quad (5)$$

式中,*B*为抗旱系数; W_i 表示第*i*个综合指标在所用综合指标中的重要程度即权重, P_i 代表经过主成分分析所得各处理第*i*个综合指标的贡献率(contributive ratio, %); $U(X_i)$ 表示 X_i 的隶属函数值, X_i 为第*i*个综合指标, X_{\min} 和 X_{\max} 分别表示第*i*个指标的

最小值和最大值; $F(X_i)$ 为第*i*个综合指标值, a_{ni} 为各单一指标的特征值所对应的特征向量, X_{ni} 为各单一指标的标准化处理值;*D*值为各小麦品种由综合指标所得的抗旱性指标值。

1.6 数据分析

用Excel 2007进行数据处理,用DPS 7.5软件进行统计分析,用Origin 2019软件制作聚类图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对宁夏春小麦产量及品质的影响

方差分析结果表明(表1),产量、穗粒数、有效穗数、容重、硬度、蛋白质含量、沉降值、吸水量、湿面筋含量与最大拉伸阻力等性状,在不同水分处理间差异显著,说明灌水对这些性状有显著影响。不同品种的平均穗长、可孕小穗、穗粒数、有效穗数、千粒重、容重、硬度、吸水量、产量与湿面筋含量存在显著性差异,表明参试品种的基因型在这些性状上有显著差异。在所有性状指标中,产量、穗粒数、有效穗数、容重、硬度、湿面筋含量与吸水量等指标在不同水分处理间与基因型间均存在显著差异。

2.2 不同水分处理对产量性状的影响

产量相关性状在不同水分处理下与不同品种间均存在差异(表2)。灌水条件下,各品种穗粒数在26.20~45.00之间,均值36.53 g;有效穗数在5.18 $\times 10^6$ ~7.08 $\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,均值6.18 $\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$;千粒重在39.15~50.01 g之间,均值44.68 g;产量在7.49 $\times 10^3$ ~1.16 $\times 10^4 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,均值8.42 $\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。干旱处理下,各品种穗粒数在27.53~36.73之间,均值32.90 g;有效穗数在4.84 $\times 10^6$ ~6.28 $\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,均值5.49 $\times 10^6 \cdot \text{hm}^{-2}$;千粒重在39.59~50.53 g之间,均值44.56 g;产量在4.22 $\times 10^3$ ~5.91 $\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间,均值5.08 $\times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。整体上,干旱胁迫显著降低了穗粒数、有效穗数和产量,但对千粒重没有较大影响,不同性状在品种间变化较大。与灌水处理相比,干旱胁迫下,穗粒数显著减少的品种占30%,分别是宁春4号、永良15号、宁春41号、宁春48号、宁春51号与宁春61号,未见减少的品种占15%,分别是宁春39号、宁春50号和宁2038;有效穗数显著减少的品种占35%,分别是宁春48号、宁春50号、宁春53号、宁春57号、宁2038、宁3015和永3463,未见减少的品种占10%,分别是宁春54号和永08-1;千粒重除宁春48号显著减少外,其余品种均未发生显著变化;在干旱胁迫下,各品种产量均显著减少,降幅为25.9%~52.1%,其中降幅最小的是宁3015。

表 1 宁夏春小麦产量与品质相关性状的方差分析

Table 1 Analysis of variance on yield and quality related traits of spring wheat in Ningxia

性状 Characters	土壤水分处理 Soil moisture		基因型 Genotype	
	F 值 F value	P 值 P value	F 值 F value	P 值 P value
小区产量 Plot yield	391.423	0.0001	2.117	0.0110
平均穗长 Average ear length	1.095	0.3085	1.000	0.5000
可孕小穗 Fertile spikelet	0.092	0.7648	4.394	0.0011
穗粒数 Grain number per spike	29.849	0.0001	3.520	0.0001
有效穗数 Effective panicles	50.203	0.0001	3.296	0.0001
千粒重 1000-grain weight	1.007	0.3186	4.392	0.0001
容重 Volume weight	21.811	0.0002	6.635	0.0001
硬度 Hardness	28.006	0.0001	7.530	0.0001
蛋白质含量 Content of protein	37.003	0.0001	0.846	0.6400
湿面筋含量 Wet gluten content	6.663	0.0183	2.743	0.0167
沉降值 Sedimentation value	18.960	0.0003	2.080	0.0595
稳定时间 Settling time	0.496	0.4900	1.526	0.1825
吸水量 Water absorption	8.690	0.0083	5.410	0.0003
最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance	6.657	0.0183	1.371	0.2489
拉伸面积 Tensile area	1.916	0.0827	1.916	0.0827

2.3 不同水分处理对品质性状的影响

品质指标在不同水分处理和品种间均存在差异(表 3)。灌水条件下,各品种容重在 812.67~844.33 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,均值 829.98 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;硬度指数在 26.30~32.53 之间,均值 29.51;蛋白质含量在 12.03%~14.67% 之间,均值 13.21%;湿面筋含量在 26.30%~32.53% 之间,均值 29.51%;沉降值在 331.00~572.00 s 之间,均值 431.07 s;吸水量在 57.10~66.13 $\text{mL} \cdot 100 \text{g}^{-1}$,均值 60.35 $\text{mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$;最大拉伸阻力在 183.00~312.33 EU 之间,均值 234.50 EU。干旱条件下,各品种容重在 823.33~847.67 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间,均值 835.52 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;硬度指数在 58.43~64.93 之间,均值 62.07;蛋白质含量在 13.80%~14.67% 之间,均值 14.17%;湿面筋含量在 27.97%~32.80% 之间,均值 30.38%;沉降值在 417.33~526.00 s 之间,均值 480.37 s;吸水量在 57.80~65.63 $\text{mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$,均值 61.62 $\text{mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$;最大拉伸阻力在 214.67~340.00 EU 之间,均值 261.50 EU。与灌水相比,干旱条件下,容重、蛋白质含量与沉降值整体有所增加,但硬度、湿面筋含量、吸水量及最大拉伸阻力等性状变化因基因型不同存在明显差异,其中最大拉伸阻力变幅最大,变化品种最多,显著增加的品种占 65%,有宁春 4 号、永良 15 号、宁春 39 号、宁春 41 号、宁春 51 号、宁春 54 号、宁春 56 号、宁春 57 号、宁春 58 号、宁春 60 号、宁春 61 号、

永 08-1 和永 3463,显著减少的品种占 25%,有宁春 50 号、宁春 52 号、宁春 53 号、宁春 55 号和宁 3015。

2.4 产量性状和品质性状的主成分分析

利用抗旱系数,对 20 个品种(系)的 13 项产量和品质性状进行主成分分析(表 4),前 5 个综合指标的特征值分别为 1.71、1.52、1.36、1.26、1.09;贡献率分别为 22.52%、17.84%、14.26%、12.23%、9.18%,累计贡献率为 76.03%,可将原来 13 个单项指标转化为 5 个新的相互独立的综合指标,决定第一个综合指标的是产量、千粒重、有效穗数;决定第二个综合指标的是可孕小穗数、硬度指数、蛋白质含量;决定第三个综合指标的是湿面筋含量、稳定时间;决定第四个综合指标的是沉降值;决定第五个综合指标的是吸水量、拉伸阻力、穗长。

2.5 隶属函数分析和综合指标值计算

通过主成分分析,采用隶属函数法对 20 个小麦品种的耐旱性能进行综合评估。各品种的隶属值及综合排名如表 5 所示,从综合隶属平均值进行排序可知,综合耐旱性相对最高的 5 个品种有宁春 54 号、宁春 56 号、宁春 39 号、宁春 50 号和宁春 51 号,最低的 5 个品种有永良 15 号、宁春 55 号、宁春 58 号、宁春 48 号和宁春 52 号。通过 D 值排序说明宁春 54 号、宁春 56 号、宁春 39 号等 3 个品种的耐旱性较强,宁春 52 号的耐旱性最差。

表 2 不同土壤水分处理对千粒重、穗粒数、有效穗数和产量的影响
Table 2 Impacts of different soil moisture treatments on 1000-grain weight, grain number per spike, effective panicles and yield

品种(系) Variety (line)	千粒重 1000-grain weight				穗粒数 Grain number per spike				有效穗数 Effective panicles				产量 Yield			
	W ₁ /g	W ₂ /g	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC	W ₁	W ₂	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC	W ₁ /(10 ⁶ · hm ⁻²)	W ₂ /(10 ⁶ · hm ⁻²)	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC	W ₁ /(kg· hm ⁻²)	W ₂ /(kg· hm ⁻²)	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC
宁春 4 号 Ningchun 4	44.69 ^{bcd}	45.39 ^{ab}	1.57	1.02	34.27 ^{abcd}	27.53 ^b	-19.67*	0.80	6.46 ^{ab}	5.74	-11.14	0.89	7933.35 ^{ab}	4222.05 ^c	-46.78*	0.53
永良 15 号 Yongliang 15	39.15 ^h	40.35 ^b	3.07	1.03	45.00 ^a	30.93 ^{ab}	-31.27**	0.69	6.48 ^{ab}	5.90	-8.96	0.91	8288.70 ^{ab}	5088.75 ^{abc}	-38.61*	0.61
宁春 39 号 Ningchun 39	41.53 ^{gh}	46.07 ^{ab}	10.93	1.11	26.20 ^d	31.17 ^{ab}	1.59	1.02	6.20 ^{ab}	6.12	-1.28	0.99	7800.00 ^b	5222.10 ^{abc}	-33.05*	0.67
宁春 41 号 Ningchun 41	44.22 ^{cdef}	44.63 ^{ab}	0.93	1.01	42.00 ^{abc}	33.20 ^{ab}	-20.95**	0.79	5.68 ^{ab}	5.18	-8.82	0.91	7488.75 ^b	4466.70 ^{bc}	-40.35**	0.60
宁春 48 号 Ningchun 48	45.7 ^{abc}	39.63 ^b	-13.28*	0.87	35.67 ^{abcd}	30.20 ^{ab}	-15.34*	0.72	6.88 ^{ab}	5.78	-16.00*	0.84	7911.30 ^{ab}	4688.70 ^{abc}	-40.73*	0.59
宁春 50 号 Ningchun 50	43.25 ^e	44.05 ^{ab}	1.85	1.02	31.07 ^{bcd}	31.60 ^{ab}	1.71	1.02	7.08 ^a	5.74	-18.92**	0.81	7978.05 ^{ab}	4933.35 ^{abc}	-38.16*	0.62
宁春 51 号 Ningchun 51	39.79 ^{gh}	39.59 ^b	-0.50	0.99	40.13 ^{abc}	34.20 ^{ab}	-14.78*	0.85	6.00 ^{ab}	5.36	-10.68	0.89	7755.30 ^b	4911.30 ^{abc}	-36.67**	0.64
宁春 52 号 Ningchun 52	42.25 ^f	40.35 ^b	-4.50	0.96	35.07 ^{abcd}	30.87 ^{ab}	-11.98*	0.77	6.70 ^{ab}	6.00	-10.45	0.90	8511.45 ^{ab}	5066.70 ^{abc}	-40.47**	0.59
宁春 53 号 Ningchun 53	43.07 ^{gh}	46.45 ^{ab}	7.85	1.08	34.73 ^{abcd}	34.80 ^a	-3.52	0.96	6.74 ^{ab}	5.00	-25.82**	0.74	8311.35 ^{ab}	5000.10 ^{abc}	-39.84**	0.60
宁春 54 号 Ningchun 54	41.76 ^{gh}	41.57 ^b	-0.45	1.00	38.73 ^{abc}	32.87 ^{ab}	-5.20	0.95	6.00 ^{ab}	6.28	0.22	1.00	8778.00 ^{ab}	5288.70 ^{abc}	-39.75**	0.60
宁春 55 号 Ningchun 55	48.00 ^{abcd}	45.47 ^{ab}	-5.27	0.95	37.53 ^{abcd}	33.13 ^{ab}	-11.72	0.86	5.24 ^b	5.04	-3.81	0.96	9311.40 ^{ab}	4666.65 ^{abc}	-49.88*	0.50
宁春 56 号 Ningchun 56	42.98 ^f	46.50 ^{ab}	8.19	1.08	35.53 ^{abcd}	35.13 ^a	-1.13	0.99	6.20 ^{ab}	5.42	-12.58	0.87	7711.35 ^b	5200.05 ^{abc}	-32.57**	0.67
宁春 57 号 Ningchun 57	43.85 ^{defg}	47.51 ^{ab}	8.35	1.08	33.33 ^{abcd}	31.00 ^{ab}	-6.99	0.93	6.26 ^{ab}	4.86	-22.36**	0.78	7688.70 ^b	5111.40 ^{abc}	-33.52*	0.67
宁春 58 号 Ningchun 58	48.41 ^{abc}	47.01 ^{ab}	-2.89	0.97	37.13 ^{abcd}	33.67 ^{ab}	-9.32	0.91	5.48 ^{ab}	5.16	-5.83	0.94	8933.40 ^{ab}	4888.65 ^{abc}	-45.28**	0.54
宁春 60 号 Ningchun 60	47.48 ^{abcde}	45.23 ^{ab}	-4.74	0.95	37.20 ^{abcd}	35.60 ^a	-4.30	0.96	5.64 ^{ab}	5.52	-2.13	0.98	8778.00 ^{ab}	354.09 ^{abc}	-39.49**	0.61
宁春 61 号 Ningchun 61	47.47 ^{abcde}	45.23 ^{ab}	-4.72	0.95	43.13 ^{ab}	34.27 ^{ab}	-20.54**	0.79	6.70 ^{ab}	5.90	-11.95	0.88	11644.50 ^a	371.87 ^{ab}	-52.10**	0.48
宁 2038 Ning 2038	50.01 ^a	50.53 ^a	1.04	1.01	30.27 ^{cd}	32.80 ^{ab}	0.30	1.00	6.60 ^{ab}	5.14	-22.11**	0.78	8311.35 ^{ab}	360.00 ^{abc}	-35.03**	0.65
宁 3015 Ning 3015	43.17 ^{ef}	45.09 ^{ab}	4.45	1.04	35.93 ^{abcd}	35.33 ^a	-1.67	0.98	5.88 ^{ab}	4.84	-17.68*	0.82	7978.05 ^{ab}	394.09 ^a	-25.90*	0.74
永 08-1 Yong 08-1	48.15 ^{abcd}	45.49 ^{ab}	-5.52	0.94	40.60 ^{abc}	36.73 ^a	-9.53	0.90	5.18 ^b	5.72	4.32	1.04	8688.75 ^{ab}	334.80 ^{abc}	-42.20*	0.58
永 3463 Yong 3463	48.58 ^{ab}	45.11 ^{ab}	-7.14	0.93	37.00 ^{abcd}	32.87 ^{ab}	-11.16	0.89	6.14 ^{ab}	5.06	-17.59*	0.82	8600.10 ^{ab}	379.25 ^{ab}	-33.85*	0.66
平均值 Average	44.68	44.56	-0.27	1.00	36.53	32.90	-10.19	0.89	6.18	5.49	-11.01	0.88	8420.10	338.89	-39.23**	0.61

注:同列不同小写字母表示品种间差异达到显著水平($P<0.05$),“*”和“**”分别表示相同品种在不同水分处理间差异达到极显著水平($P<0.01$)和显著水平($P<0.05$),下同。

Note: Lowercase letters in the same column show significant differences among varieties ($P<0.05$), * * represents the differences of the same variety under different water treatments is very significant ($P<0.01$), * represents the differences is significant ($P<0.05$). The same below.

表 3 不同土壤水分处理对春麦品质性状的影响
Table 3 Impacts of different soil moisture treatments on quality characters of spring wheat

品种(系) Variety (line)	容重 Volume weight			硬度指数 Hardness index			蛋白质含量 Protein content			湿面筋含量 Wet gluten content						
	W_1 $/(g \cdot L^{-1})$	W_2 $/(g \cdot L^{-1})$	$(W_2 - W_1) / W_1 / \%$	W_1	W_2	$(W_2 - W_1) / W_1 / \%$	W_1	W_2	$(W_2 - W_1) / W_1 / \%$	W_1	W_2	$(W_2 - W_1) / W_1 / \%$				
宁春 4 号 Ningchun 4	821.00fgh	823.67h	0.32	1.00	31.57bc	61.40fgh	0.99	1.01	12.43gh	14.23cdef	14.48**	1.14	31.57bc	29.67i	-6.02**	0.94
永良 15 号 Yongliang 15	837.67abcd	847.67a	1.19*	1.01	32.53a	60.80hi	-0.65	0.99	14.10ab	14.30bcdef	1.42	1.01	32.53a	31.87b	-2.05**	0.98
宁春 39 号 Ningchun 39	824.00efgh	836.67defg	1.54**	1.02	28.50g	61.03ghi	-0.43	1.00	12.47gh	14.13defgh	13.37**	1.13	28.50g	29.70j	4.21**	1.04
宁春 41 号 Ningchun 41	833.00abcde	836.33efg	0.40	1.00	28.07gh	62.53de	-3.20**	0.97	12.13h	14.03fgh	15.66**	1.16	28.07gh	28.73j	2.38	1.02
宁春 48 号 Ningchun 48	843.67ab	842.33bc	-0.16	1.00	30.33de	61.50fgh	0.82	1.01	14.67a	13.83gh	-5.68**	0.94	30.33de	30.80ef	1.54	1.02
宁春 50 号 Ningchun 50	812.67h	823.33i	1.31**	1.01	29.63ef	62.23ef	3.06**	1.03	13.83bcd	14.10efgh	1.93	1.02	29.63ef	30.23gh	2.02*	1.02
宁春 51 号 Ningchun 51	829.33defg	835.33ig	0.72	1.01	27.50h	61.73efg	2.38**	1.02	13.53bcde	14.17defg	4.68**	1.05	27.50h	29.47i	7.15**	1.07
宁春 52 号 Ningchun 52	832.67bcde	837.00defg	0.52	1.01	26.30i	64.43ab	-1.48*	0.99	13.47bcde	13.83gh	2.72	1.03	26.30i	27.97k	6.34**	1.06
宁春 53 号 Ningchun 53	819.33gh	839.00bcdef	2.40**	1.02	28.20gh	60.87ghi	-1.19*	0.99	12.70fgh	13.87gh	9.19**	1.09	28.20gh	30.53fg	8.27**	1.08
宁春 54 号 Ningchun 54	839.00abcd	842.00bc	0.36	1.00	30.10de	64.80a	3.68**	1.04	12.97efg	14.23cdef	9.77**	1.10	30.10de	31.23cde	3.77**	1.04
宁春 55 号 Ningchun 55	844.33a	841.00bcde	-0.39	1.00	30.70cd	63.30cd	0.64	1.01	13.33cdef	14.67a	10.00**	1.10	30.70cd	32.80a	6.84	1.07
宁春 56 号 Ningchun 56	819.67fgh	827.67h	0.98*	1.01	28.93fg	59.53j	-1.45**	0.99	12.90efg	14.47abcd	12.14**	1.12	28.93fg	31.37bcd	8.41**	1.08
宁春 57 号 Ningchun 57	823.67efgh	835.33ig	1.42**	1.01	28.47g	61.57fgh	2.10**	1.02	12.60gh	14.43abcde	14.55**	1.15	28.47g	31.57bc	10.89**	1.11
宁春 58 号 Ningchun 58	835.67abcd	843.33b	0.92	1.01	30.20de	63.87bc	-3.67**	0.96	13.03efg	14.63ab	12.27**	1.12	30.20de	29.83hi	-1.21	0.99
宁春 60 号 Ningchun 60	836.00abcd	838.00cdefg	0.24	1.00	29.57ef	64.93a	4.25**	1.04	12.93efg	14.13defgh	9.28**	1.09	29.57ef	32.63a	10.37**	1.10
宁春 61 号 Ningchun 61	836.00abcd	833.67g	1.54**	1.02	32.20ab	58.43k	1.62**	1.02	13.30def	13.80h	3.76	1.04	32.20ab	31.07cde	-3.52**	0.96
宁 2038 Ning 2038	816.33h	825.67h	1.14*	1.01	29.90de	60.40ij	0.67	1.01	13.00efg	13.83gh	6.41**	1.06	29.90de	29.37i	-1.78	0.98
宁 3015 Ning 3015	823.33efgh	833.33g	1.21*	1.01	30.57d	60.40ij	-0.33	1.00	13.33cdef	14.07fgh	5.50**	1.06	30.57d	29.37i	-3.93**	0.96
永 08-1 Yong 08-1	841.33abc	841.33bcd	0.00	1.00	28.50g	63.57bc	0.58	1.01	13.50bcde	14.57abc	7.90**	1.08	28.50g	30.93def	8.54**	1.09
永 3463 Yong 3463	831.00cdef	827.67h	-0.40	1.00	28.50g	64.10abc	1.58*	1.02	13.97bc	14.17defg	1.43	1.01	28.50g	28.53j	0.12	1.00
平均值 Average	829.98	835.52	0.76	1.01	29.51	62.07	0.45	1.00	13.21	14.17	7.27**	1.07	29.51	30.38	2.95*	1.03

续表 3

品种(系) Variety (line)	沉降值 Sedimentation value				吸水量 Water absorption				最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance			
	W ₁ /s	W ₂ /s	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC	W ₁ /(mL· 100g ⁻¹)	W ₂ /(mL· 100g ⁻¹)	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC	W ₁ /EU	W ₂ /EU	(W ₂ -W ₁) /W ₁ %	抗旱系数 DTC
宁春 4 号 Ningchun 4	355.00l	426.33lm	20.09**	1.20	59.63defgh	61.03e	2.35**	1.02	266.67b	313.33b	17.50**	1.17
永良 15 号 Yongliang 15	388.33k	445.00kl	14.59**	1.15	60.67cde	64.67ab	6.59**	1.07	245.00c	340.00a	38.76**	1.39
宁春 39 号 Ningchun 39	412.67ij	482.33efg	16.88**	1.17	57.10j	60.27efg	5.55**	1.06	207.67fg	304.33bc	46.55**	1.47
宁春 41 号 Ningchun 41	439.67efgh	461.00hij	4.85*	1.05	60.23def	60.67ef	0.72	1.01	205.33g	258.33de	25.81**	1.26
宁春 48 号 Ningchun 48	572.67a	499.33cdef	-12.81**	0.87	59.47defghi	58.47h	-1.68	0.98	247.67c	242.00def	-2.29	0.98
宁春 50 号 Ningchun 50	415.00ij	417.33m	0.56	1.01	60.90cd	59.93fg	-1.59*	0.98	249.67c	224.67fgh	-10.01**	0.90
宁春 51 号 Ningchun 51	387.00k	501.67bcde	29.63**	1.30	58.43ghij	59.53g	1.88*	1.02	220.67def	262.00d	18.73**	1.19
宁春 52 号 Ningchun 52	431.00ghi	459.00ij	6.50**	1.06	62.03c	62.93d	1.45*	1.01	309.67a	284.00c	-8.29**	0.92
宁春 53 号 Ningchun 53	420.33hi	534.00a	27.04**	1.27	59.83defg	57.80h	-3.4**	0.97	227.00de	215.67h	-4.99*	0.95
宁春 54 号 Ningchun 54	331.00m	480.67fgh	45.22**	1.45	60.60cde	62.77d	3.58**	1.04	229.67d	251.67de	9.58**	1.10
宁春 55 号 Ningchun 55	476.00bc	515.00abc	8.19**	1.08	63.90b	64.67ab	1.2*	1.01	257.33bc	244.67def	-4.92**	0.95
宁春 56 号 Ningchun 56	390.00k	498.00cdef	27.69**	1.28	58.00hij	58.47h	0.8	1.01	203.67g	228.00fgh	11.95**	1.12
宁春 57 号 Ningchun 57	432.33ighi	487.00def	12.64**	1.13	60.60cde	63.53cd	4.84**	1.05	228.67d	250.67de	9.62**	1.10
宁春 58 号 Ningchun 58	471.33cd	502.67bcd	6.65**	1.07	60.50cdef	62.63d	3.53**	1.04	250.33c	311.33b	24.37**	1.24
宁春 60 号 Ningchun 60	452.67def	520.67ab	15.02**	1.15	58.83ghij	60.33efg	2.55**	1.03	183.00h	323.00ab	76.50**	1.77
宁春 61 号 Ningchun 61	395.00jk	437.67kl	10.80*	1.11	57.83ij	58.33h	0.86	1.01	203.67g	221.33gh	8.67**	1.09
宁 2038 Ning 2038	456.33cde	526.00a	15.27*	1.15	57.90hij	63.03d	8.87**	1.09	207.33fg	214.67h	3.54	1.04
宁 3015 Ning 3015	456.67cde	449.00ijk	-1.68	0.98	59.07efghi	63.23d	7.05**	1.07	312.33a	257.00de	-17.72**	0.82
永 08-1 Yong 08-1	496.67b	499.33cdef	0.54	1.01	66.13a	65.63a	-0.76	0.99	220.33def	240.67efg	9.23**	1.09
永 3463 Yong 3463	441.67efg	465.33ghi	5.36*	1.05	65.40ab	64.47bc	-1.43*	0.99	214.33efg	242.67def	13.22**	1.13
平均值 Average	431.07	480.37	11.44**	1.11	60.35	61.62	2.10	1.02	234.50	261.50	11.51**	1.12

表 4 产量指标和品质指标的综合指标系数、特征值和贡献率

项目 Item	CI_1	CI_2	CI_3	CI_4	CI_5
产量 Yield	0.53	-0.16	0.16	0.07	0.03
千粒重 1000-grain weight	0.48	0.05	0.03	0.27	0.05
有效穗数 Effective panicles	0.43	0.05	0.04	-0.01	-0.22
穗粒数 Grain number per spike	-0.32	0.33	-0.23	0.24	0.02
穗长 Ear length	0.30	0.32	0.14	-0.28	0.39
可孕小穗 Fertile spikelet	0.12	0.46	-0.18	0.00	0.41
硬度 Hardness	-0.10	0.45	-0.08	0.11	-0.02
蛋白质含量 Content of protein	-0.08	0.38	0.34	-0.31	-0.07
湿面筋含量 Wet gluten content	-0.18	0.03	0.61	-0.12	0.20
稳定时间 Settling time	-0.07	0.08	0.53	0.19	-0.20
沉降值 Sedimentation value	0.05	0.13	0.07	0.68	0.21
吸水率 Water absorption	0.21	0.34	-0.22	-0.27	-0.50
最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance	0.01	-0.25	-0.18	-0.29	0.50
特征值 Eigenvalues	1.71	1.52	1.36	1.26	1.09
贡献率/% Contribution rate	22.52	17.84	14.26	12.23	9.18
累计贡献率/% Cumulative contribution rate	22.52	40.36	54.62	66.85	76.03

2.6 不同品种干旱条件下产量及品质的聚类分析

各品种在干旱条件下产量和品质的主要性状数据聚类分析显示,在欧氏距离 10.0 处可将供试材料聚类为 5 大类(图 2),对各类群小麦的产量和品质参数进行统计分析(表 6)。由图 2 看出,第 I 类品种产量综合指标相对最低,形态品质居中,营养与加工品质较低,包含宁春 4 号、宁春 39 号、宁春 41 号、宁春 50 号与宁春 51 号;第 II 类品种产量综合指标较高,形态品质相对最好,营养品质居中,加工品质相对最好,包括永良 15 号、宁春 52 号与宁春 54 号;第 III 类品种产量综合指标相对最高,形态与营养品质相对最低,加工品质居中,包括永 3463、宁 3015 与宁 2038;第 IV 类产量综合指标居中,形态品质较低,营养品质较高,加工品质相对最低,包括宁春 48 号、宁春 53 号、宁春 56 号与宁春 61 号;第 V 类品种产量综合指标较低,形态品质较高,营养品质相对最好,加工品质较好,包含宁春 55 号、宁春 57 号、宁春 58 号、宁春 60 号与永 08-1。由表 6 看出,不同类群小麦在产量与品质指标中均存在显著差异,各类群小麦在干旱条件下其容重、硬度、沉降值均达到国家强筋标准;蛋白质含量除第 IV 类为 13.99%外,其余 4 类均超过 14%;湿面筋含量超过 30%的有第 II、IV、V 等 3 类,其余 2 类均超过 29%;面团稳定时间与最大拉伸阻力均在中筋水平值以内。

表 5 不同小麦品种干旱胁迫下的综合指标值 $F(X_i)$ 、隶属函数值 $U(X_i)$ 、D 值及综合评价Table 5 Comprehensive index value $F(X_i)$, subordinate function value $U(X_i)$, D value and comprehensive evaluation of different wheat varieties under drought stress

品种(系) Variety (line)	$F(X_1)$	$F(X_2)$	$F(X_3)$	$F(X_4)$	$F(X_5)$	$U(X_1)$	$U(X_2)$	$U(X_3)$	$U(X_4)$	$U(X_5)$	D 值 D value	综合评价 Comprehensive valuation
宁春 4 号 Ningchun 4	-0.03	0.55	-1.01	0.73	0.07	0.55	0.72	0.18	0.67	0.52	0.53	11
永良 15 号 Yongliang 15	1.19	-1.95	-1.05	0.18	-0.98	0.93	0.00	0.17	0.50	0.25	0.42	15
宁春 39 号 Ningchun 39	1.23	1.05	-0.25	-0.33	0.30	0.94	0.87	0.39	0.33	0.57	0.68	3
宁春 41 号 Ningchun 41	0.00	-1.04	1.99	-0.42	-0.73	0.56	0.26	1.00	0.30	0.32	0.50	12
宁春 48 号 Ningchun 48	-1.00	-1.25	-0.37	-0.48	0.06	0.25	0.20	0.36	0.28	0.51	0.30	18
宁春 50 号 Ningchun 50	-0.47	0.83	1.01	1.62	0.44	0.41	0.80	0.73	0.96	0.61	0.67	4
宁春 51 号 Ningchun 51	0.37	0.60	-0.30	0.50	1.25	0.67	0.74	0.37	0.60	0.81	0.64	5
宁春 52 号 Ningchun 52	-1.79	-1.77	-0.12	-0.76	-0.88	0.00	0.05	0.42	0.19	0.28	0.16	19
宁春 53 号 Ningchun 53	-0.38	0.37	0.71	0.22	2.01	0.44	0.67	0.65	0.51	1.00	0.61	7
宁春 54 号 Ningchun 54	0.77	1.34	-0.11	1.75	-0.26	0.80	0.95	0.43	1.00	0.43	0.75	1
宁春 55 号 Ningchun 55	-1.39	-0.18	1.10	-0.44	-1.36	0.12	0.51	0.76	0.30	0.16	0.37	16
宁春 56 号 Ningchun 56	0.78	0.40	1.05	0.55	1.03	0.80	0.68	0.74	0.61	0.76	0.73	2
宁春 57 号 Ningchun 57	0.39	1.13	0.75	-0.91	0.55	0.68	0.89	0.66	0.15	0.64	0.63	6
宁春 58 号 Ningchun 58	-0.21	-1.23	-0.34	-1.24	-1.08	0.49	0.21	0.36	0.04	0.23	0.30	17
宁春 60 号 Ningchun 60	-0.41	0.08	-0.32	-1.36	1.18	0.43	0.59	0.37	0.00	0.80	0.43	14
宁春 61 号 Ningchun 61	-0.79	0.44	-1.67	0.73	0.39	0.31	0.69	0.00	0.67	0.60	0.43	13
宁 2038 Ningzuo 2038	0.62	1.51	-1.16	-0.60	-0.48	0.75	1.00	0.14	0.24	0.38	0.57	9
宁 3015 Ningzuo 3015	1.43	-0.12	-0.02	0.28	-2.00	1.00	0.53	0.45	0.53	0.00	0.59	8
永 08-1 Yong 08-1	-0.33	-0.65	-0.70	-0.51	-0.67	0.45	0.38	0.65	0.27	0.33	0.43	14
永 3463 Yong 3463	0.03	-0.11	-0.60	0.50	1.15	0.57	0.53	0.29	0.60	0.79	0.54	10

3 讨论

干旱会影响小麦干物质的积累和分配^[17],干物质的积累最终影响到产量构成因素,全生育期持续干旱下穗长、穗数、穗粒数和千粒重都会显著降低^[19],本研究的结果与此相似。本研究结果表明,全生育期无灌水使大部分春麦参试品种的穗粒数、有效穗数显著减少,所有品种的产量全部显著减少,但也有一些品种的穗粒数或有效穗数受干旱胁迫的影响不明显,如宁春 50 号、宁春 39 号与宁 2038 的穗粒数在无灌水模式下较正常灌水分别增加 1.71%、1.59%和 0.38%,永 08-1 与宁春 54 号的有效穗数在无灌水模式下分别增加 4.32%与 0.22%,目前对于少数春麦品种在全生育期干旱胁迫下其某些产量形成因素保持不变甚至增加的原因机理未见报道。与正常灌水相比,无灌水模式对宁夏春麦的千粒重、可孕小穗及平均穗长没有产生显

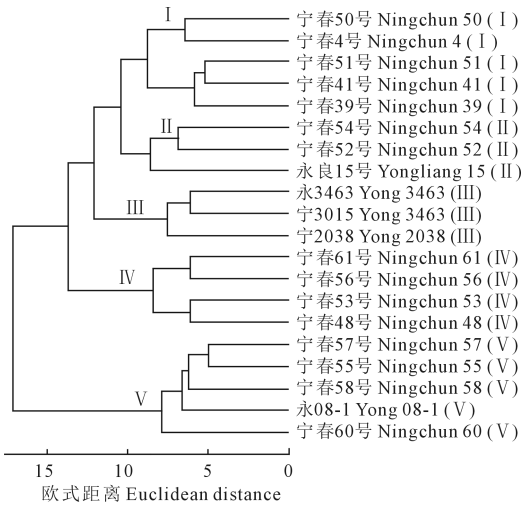


图 2 基于产量、物理特性、营养和加工品质等性状数据的聚类分析图

Fig.2 Cluster analysis based on yield, physical, nutrition and processing quality traits data

表 6 不同类群产量与品质参数平均值比较

Table 6 Average of yield and quality parameters of different groups

性状 Character	参数 Parameter	类群 Group				
		I	II	III	IV	V
产量指标 Yield index	小区产量 Plot yield/kg	0.71b	0.78ab	0.85a	0.77ab	0.75b
	有效穗数 Effective panicles/($10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	37.53ab	40.40a	33.43b	36.83ab	35.10ab
	穗粒数 Grain number per spike	31.54a	31.56a	33.67a	33.60a	34.03a
物理特性 Physical properties	千粒重 1000-grain weight	43.95ab	40.76b	46.91a	44.46a	46.14a
	容重 Volume weight/($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	831.07c	842.22a	828.89c	835.67b	839.80a
	硬度 Hardness	61.77b	63.33a	61.63b	60.10c	63.47a
营养品质 Nutritional quality	蛋白质含量 Content of protein/%	14.13b	14.12b	14.02b	13.99b	14.49a
	湿面筋含量 Wet gluten content/%	29.56d	30.34c	29.09e	30.93b	31.24a
加工品质 Processing quality	沉降值 Sedimentation value/s	457.73d	461.55d	480.11c	492.25b	504.83a
	稳定时间 Settling time/min	5.19b	4.73c	5.54a	3.98d	4.09d
	吸水量 Water absorption/($\text{mL} \cdot 100\text{g}^{-1}$)	60.29b	63.43a	63.58a	59.04c	63.36a
	最大拉伸阻力 Maximum tensile resistance(EU)	272.53b	291.89a	238.11c	226.83d	274.07b

注:同行不同小写字母表示相同参数下不同类群间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters in the same line show significant differences among groups under the same parameter ($P < 0.05$)。

著影响,这与前人研究有一定出入,黄正金等^[19]认为抽穗期干旱胁迫后导致小麦生理代谢失衡,抗氧化酶活性降低,MDA 含量增加,显著影响粒重和穗粒数的形成。本试验中千粒重、可孕小穗受干旱胁迫影响不显著,多因基因型不同而产生显著差异,说明挖掘具备产量潜力的品种个体是农业生产对抗干旱的一个可行途径。

基因型、环境及其互作是影响小麦品质性状的重要因素^[20-22],二者对小麦不同品质性状影响的程度不同^[23-24]。宁夏春麦品质受干旱胁迫的影响因性状不同存在明显差异。干旱胁迫会整体增加容重、蛋白质含量与沉降值,但是对硬度、湿面筋含量、吸水量及最大拉伸阻力的影响则与基因型有很

大关系。在湿面筋含量显著变化的 14 个品种中,9 份显著增加、4 份显著降低,其中永良 15 号虽然显著降低,但其湿面筋含量在干旱胁迫下仍居第三。这表明不同品种的小麦品质性状在环境间的变异程度存在差异,同一品种的不同品质指标受环境条件的影响也不一样^[25]。Amiri 等^[28]人认为干旱胁迫可以增加谷蛋白高分子含量,进而明显提高面团性能和面包制作质量。本研究发现在春麦面粉加工品质中,全生育期无灌水处理下各项指标显著增加的品种占比居多,其中最大拉伸阻力在干旱胁迫下变幅最大,变化品种最多,显著增加品种占参试品种的 65%,最大增幅为 76.5%,平均每份品种增加 23.88%,显著减少品种占 25%,最大降幅为 17.72%,

平均每个品种下降 9.19%, 依次是沉降值和吸水量, 而稳定时间受干旱胁迫的影响不显著。延伸度及其他加工品质的不同表现, 表明干旱胁迫对不同品种小麦粉的不同流变学特征影响不同, 反映了不同品种对干旱胁迫的适应性存在着较大差异^[27]。

采用隶属函数法计算小麦抗旱综合值可对品种抗旱性进行排序, 而聚类分析可对作物品种资源的差异进行分类, 且参加聚类的性状越多越能综合反映品种的客观实际^[28]。试验通过隶属函数法得出宁春 54 号、宁春 56 号的抗旱综合指标值最高, 分别为 0.75 和 0.73; 在聚类分析结果中资源价值整体最好的第 II 类群宁春 54 号、宁春 52 号与永良 15 号, 其产量综合指标较高, 外观、营养与加工品质整体较好。综合两项分析结果可推测宁春 54 号在较为干旱的农耕区域可能会有较好的综合表现。张维军等^[29]用产量指标对宁夏春麦资源作了抗旱性的遗传多样性分析, 指出宁春系列品种间的遗传差异较小。本研究发现各类群材料在干旱胁迫下面团稳定时间普遍较低, 但容重、硬度、沉降值均达到一级水平, 可能是因为亲本类群比较统一, 且亲本资源具有较好的品质表达基因。有研究表明, 麦谷蛋白中的高、低分子量麦谷蛋白亚基(5+10/17+18、*GluA3f/b/g*)对面团形成时间和稳定时间有显著的正向效应^[30-31], 因此可考虑向重点品种导入优质亚基对宁夏春麦品种资源进行有效改良。

4 结 论

干旱胁迫会显著降低宁夏春麦产量、穗粒数及有效穗数, 但是对千粒重、可孕小穗及平均穗长没有显著影响; 干旱胁迫下宁夏春麦容重、蛋白质含量与沉降值均达到强筋一级水平, 但是硬度、湿面筋含量、吸水量及最大拉伸阻力的变化因基因型不同而有显著差异, 且最大拉伸阻力变幅最大, 变化品种最多, 显著增加的品种占比大; 通过隶属函数法得出抗旱综合指标值排名靠前的品种有宁春 54 号、宁春 56 号、宁春 39 号与宁春 50 号等品种, 聚类分析中第 II 类群宁春 54 号、宁春 52 号与永良 15 号在干旱胁迫下整体具有较好的产量与品质表现; 综合分析表明宁春 54 号在干旱区域可能会有较好的综合表现。

参 考 文 献:

[1] 张庆江, 张立言, 毕桓武. 普通小麦碳氮物质积累分配特征及与籽粒蛋白质的关系[J]. 华北农学报, 1996, 11(3): 57-62.
ZHANG Q J, ZHANG L Y, BI H W. Accumulation and distribution of carbohydrate and nitrogen and their relationships to grain protein content in wheat[J]. Acta agriculturae boreali-sinica, 1996, 11(3): 57-62.

[2] 冀天会, 张灿军, 谢惠民, 等. 小麦品种抗旱性鉴定产量指标的比较研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(1): 103-106.
JI T H, ZHANG C J, XIE H M, et al. A comparative study on yield index of wheat varieties drought resistance[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2006, 22(1): 103-106.

[3] 晁漫宁, 史新月, 张健龙, 等. 灌浆期持续干旱对小麦光合、抗氧化酶活性、籽粒产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(4): 494-502.
CHAO M N, SHI X Y, ZHANG J L, et al. Effects of persistent drought at grain filling stage on flag leaf photosynthesis, antioxidant enzyme activity, grain yield and quality of wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2020, 40(4): 494-502.

[4] 党根友, 魏亦勤, 李红霞, 等. 灌水对不同春小麦品种产量形成及水分利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(3): 530-538.
DANG G Y, WEI Y Q, LI H X, et al. Effects of irrigation on grain yield formation and water use efficiency of different spring wheat cultivars[J]. Journal of Triticeae Crops, 2013, 33(3): 530-538.

[5] 闫金龙, 张俊灵, 张东旭, 等. 不同水分下小麦生理性状与产量及抗旱节水性[J]. 分子植物育种, 2019, 17(17): 5775-5782.
YAN J L, ZHANG J L, ZHANG D X, et al. Yield, drought resistance and water saving with physiological traits under different water regimes in wheat[J]. Molecular plant breeding, 2019, 17(17): 5775-5782.

[6] 王晨阳, 马元喜, 周苏政. 土壤干旱胁迫对冬小麦衰老影响的研究[J]. 河南农业大学学报, 1996, 30(4): 309-313.
WANG C Y, MA Y X, ZHOU S M. Study on effects of soil drought stress on winter wheat senescence[J]. Journal of Henan Agriculture University, 1996, 30(4): 309-313.

[7] 兰涛, 姜东, 谢祝捷, 等. 花后土壤干旱和渍水对不同专用小麦籽粒品质的影响[J]. 水土保持学报, 2004, 18(1): 193-196.
LAN T, JIANG D, XIE Z J, et al. Effects of post-anthesis drought and waterlogging on grain quality traits in different specialty wheat varieties[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(1): 193-196.

[8] 许振柱, 于振文, 张永丽. 强筋小麦高产优质高效灌溉方案的研究[J]. 山东农业科学, 2002, (1): 20-22.
XU Z Z, YU Z W, ZHANG Y L. Study on irrigation scheme for winter wheat with high yield and good quality[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2002, (1): 20-22.

[9] 马新明, 王小纯, 王志强. 氮素形态对不同专用型小麦生育后期光合特性及穗部性状的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2587-2593.
MA X M, WANG X C, WANG Z Q. Effects of N-form on photosynthetic characteristics in late growth stages and spikes of wheat cultivars with specialized end-uses[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(12): 2587-2593.

[10] 马东辉, 赵长星, 王月福, 等. 施氮量和花后土壤含水量对小麦旗叶光合特性和产量的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4896-4901.
MA D H, ZHAO C X, WANG Y F, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate and post anthesis soil water content on photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of wheat[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 4896-4901.

[11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 小麦硬度测定硬度指数法: GB/T 21304-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of wheat hardness-hardness index method: GB/T 21304-2007[S]. Beijing:

- Standards Press of China, 2007.
- [12] 中华人民共和国农业部. 谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏法); GB 2905-1982[S]., 1982.
Ministry of Agriculture of the PRC. Method for determination of crude protein in cereals and beans seeds(Semi-micro kjeldahl method); GB 2905-1982[S]., 1982.
- [13] 中华人民共和国国家粮食储备局. 小麦粉湿面筋质量测定方法-面筋指数法; SB/T 10248-10249-95[S]., 1995.
National Grain Reserve Administration of the People's Republic of China. Method for the determination of wet gluten quality in wheat flour-gluten index; SB/T 10248-10249-95[S]., 1995.
- [14] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 小麦黑麦及其面粉和杜伦麦及其粗粒粉降落数值的测定 Hagberg-Perten 法; GB/T 1036-202X[S]., 2008.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Wheat rye and respective flours, durum wheat and durum wheat semolina-determination of the falling number according to Hagberg-Perten; GB/T 1036-202X [S]., 2008.
- [15] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 粮油检验小麦粉面团流变学特性测试粉质仪法; GB/T 14614-2019[S].北京: 中国标准出版社, 2019.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-doughs rheological properties determination of wheat flour-farino-graph test; GB/T 14614-2019 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [16] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 粮油检验小麦粉面团流变学特性测试拉伸仪法; GB/T 14615-2019[S].北京: 中国标准出版社.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Inspection of grain and oils-doughs rheological properties determination of wheat flour-extensograph test; GB/T 14615-2019[S]. Beijing: Standards Press of China, 2019.
- [17] 王琛, 王连喜, 马国飞, 等. 宁夏灌区春小麦形态结构及干物质分配对不同时期干旱胁迫的响应[J]. 生态学杂志, 2019, 38(7): 2049-2056.
WANG C, WANG L X, MA G F, et al. Responses of morphological structure and dry matter allocation of spring wheat to drought stress at different developmental stages in the irrigation district of Ningxia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2019, 38(7): 2049-2056.
- [18] 李彦彬, 朱亚南, 李道西, 等. 阶段干旱及复水对小麦生长发育、光合和产量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(8): 76-82.
LI Y B, ZHU Y N, LI D X, et al. Effects of alternating drought and watering on growth, photosynthesis and yield of winter wheat[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(8): 76-82.
- [19] 黄正金, 丁锦峰, 李春燕, 等. 抽穗期干旱胁迫对小麦产量及生理特性的影响[J]. 中国科技论文, 2017, 12(18): 2141-2145.
HUANG Z J, DING J F, LI C Y, et al. Effects of drought stress at heading stage on grain yield and physiological characteristics of wheat [J]. China Sciencepaper, 2017, 12(18): 2141-2145.
- [20] SOUZA E J, MARTIN J M, GUTTIERI M J, et al. Influence of genotype environment and nitrogen management on spring wheat quality [J]. Crop Science, 2004, 44(2): 425-432.
- [21] FÁVIO B, PATRICK L F, CHARLES G, et al. Genetic loci related to kernel quality difference between a soft and hard wheat cultivar [J]. Crop Science, 2005, 45(5): 1685-1695.
- [22] JOHN D, BERZONSKY W A. Evaluation of spring wheat quality traits and genotypes for production of Cantonese Asian noodles [J]. Crop Science, 2003, 43(4): 1313-1319.
- [23] 赵虹, 王西成, 李铁庄, 等. 河南省小麦品种的品质性状分析[J]. 华北农学报, 2000, 15(3): 126-131.
ZHAO H, WANG X C, LI T Z, et al. The determination and analysis of wheat quality in Henan [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2000, 15(3): 126-131.
- [24] 杨学举, 周进宝, 王永红. 优质小麦品质性状的环境变异研究[J]. 麦类作物学报, 2000, 20(3): 21-24.
YANG X J, ZHOU J B, WAN Y H. Study on variation of quality characters of high-quality wheat grown in different environment [J]. Journal of Triticeae Crops, 2000, 20(3): 21-24.
- [25] 乔玉强, 马传喜, 黄正来, 等. 小麦品质性状的基因型和环境及其互作效应分析[J]. 核农学报, 2008, 22(5): 706-711, 692.
QIAO Y Q, MA C X, HUANG Z L, et al. The effects of genotype, environment and their interaction on wheat quality [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2008, 22(5): 706-711, 692.
- [26] AMIRI R Z, SASANI S, JALALI-HONARMAND S, et al. Genetic diversity of bread wheat genotypes in Iran for some nutritional value and baking quality traits [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants; an International Journal of Functional Plant Biology, 2018, 24(1): 147-157.
- [27] 王晨阳, 冀天会, 郭天财, 等. 干旱胁迫对春小麦淀粉糊化特性的影响[J]. 河南农业科学, 2008, (8): 32-37.
WANG C Y, JI T H, GUO T C, et al. Effects of drought stress on starch pasting characteristics of different spring wheat cultivars [J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2008, (8): 32-37.
- [28] 李晓丽, 姜兰芳, 马小飞, 等. 基于主成分分析的强筋小麦加工品质综合评价[J]. 麦类作物学报, 2022, 42(12): 1473-1483.
LI X L, JIANG L F, MA X F, et al. Comprehensive processing quality evaluation of strong gluten wheat based on principal component analysis [J]. Journal of Triticeae Crops, 2022, 42(12): 1473-1483.
- [29] 张维军, 袁汉民, 王小亮, 等. 宁夏春小麦抗旱性的遗传多样性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 95-103.
ZHANG W J, YUAN H M, WANG X L, et al. Genetic diversity of spring wheat germplasm resources based on drought resistance in Ningxia [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(6): 95-103.
- [30] HE Z H, LIU L, XIA X C, et al. Composition of HMW and LMW glutenin subunits and their effect on dough properties, pan bread, and noodle quality of Chinese bread wheats [J]. Cereal Chemistry, 2005, 82(4): 348.
- [31] 姬虎太, 王敏, 曹勇, 等. 晋麦 92 号低分子麦谷蛋白亚基 Glu-A3 基因鉴定[J]. 陕西农业科学, 2020, 66(5): 59-61.
JI H T, WANG M, CAO Y, et al. Identification of low molecular glutenin subunit Glu-A3 gene in Jinmai 92 [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2020, 66(5): 59-61.