

桑萌育, 杨莉, 李珍妮, 等. 干旱处理对不同抗旱类别小麦品质及种子活力性状的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(5):84-91.
SANG M Y, YANG L, LI Z N, et al. Effects of drought treatment on quality and seed vigor traits of wheat with different drought resistant categories[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(5):84-91.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.05.10

干旱处理对不同抗旱类别小麦品质及种子活力性状的影响

桑萌育¹, 杨莉^{2,3}, 李珍妮¹, 王春平¹, 赵德辉¹

(1. 河南科技大学农学院, 河南 洛阳 471000; 2. 洛阳农林科学院, 河南 洛阳 471023;

3. 河南省抗旱节水小麦育种工程技术研究中心, 河南 洛阳 471023)

摘要:通过探讨干旱胁迫对不同抗旱类别小麦品质及种子活力性状的影响, 可为小麦品质和种子活力改良提供指导。研究选用37个小麦品种和高代品系, 设置干旱处理和正常灌水2种生长条件, 采用近红外分析仪测定收获籽粒的蛋白质、湿面筋和淀粉含量; 同时进行发芽试验, 测定发芽势与发芽率、芽长与根长、芽鲜质量与根鲜质量、芽干质量与根干质量。结果表明, 正常灌水下收获籽粒的淀粉含量显著高于干旱处理; 蛋白质和湿面筋含量、发芽势、发芽率和芽长在干旱处理下显著高于正常灌水; 根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量、根干质量对干旱处理响应不显著。对于不同抗旱级别小麦, 干旱处理下中等抗旱型品种蛋白质含量和湿面筋含量显著高于正常灌水, 淀粉含量显著低于正常灌水; 抗旱型品种和干旱敏感型品种的各项性状在2种条件下差异不显著, 但抗旱型品种的根长在2种条件下都显著高于中等抗旱型和干旱敏感型品种。综上, 抗旱型品种在干旱条件下具有较好的生长势和品质稳定性, 通过干旱胁迫处理, 可以显著提高小麦籽粒的蛋白质含量、湿面筋含量和种子发芽率等性状; 且不同抗旱类别小麦在品质及种子活力性状方面对干旱胁迫的响应存在差异。

关键词:普通小麦; 干旱胁迫; 品质性状; 种子活力

中图分类号: S512.1 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2025)05-0084-08

Effects of Drought Treatment on Quality and Seed Vigor Traits of Wheat with Different Drought Resistant Categories

SANG Mengyu¹, YANG Li^{2,3}, LI Zhenni¹, WANG Chunping¹, ZHAO Dehui¹

(1. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471000, China;

2. Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang 471023, China; 3. Henan Engineering

Research Center for Drought-resistant and Water-saving Wheat Breeding, Luoyang 471023, China)

Abstract: To delve into the effects of drought stress on quality and seed vigor traits of wheat with different drought resistant types, and to provide guidance for improvement of wheat quality and seed vigor, in this study, 17 approved varieties and advanced breeding lines were selected. Two growth conditions were established: drought treatment and normal irrigation. The protein, wet gluten, and starch content of harvested grains were measured using a near-infrared analyzer (DA 7250, Perten). Simultaneously, germination tests were conducted to determine germination potential and germination rate, shoot and root length, shoot and root fresh weight, and shoot and root dry weight. The results indicated that the starch content of grains harvested under normal irrigation was significantly higher than that under the drought treatment. In contrast, protein and wet gluten content, germination potential, germination rate, and shoot length were significantly higher under the drought treatment

收稿日期: 2025-02-08

基金项目: 国家自然科学基金(32401917); 洛阳市核心技术攻关类公益专项(2302034A); 河南科技大学青年骨干教师培养项目(13450014); 河南科技大学本科教学质量工程项目(2024BK137); 河南科技大学博士科研启动基金(13480100); 洛阳农林科学院科技创新基金

作者简介: 桑萌育, 在读硕士, 研究方向: 小麦品质相关性状, E-mail: zhongguohnsmy@163.com

通信作者: 杨莉, 助理研究员, 博士, 主要从事小麦抗旱基因挖掘和分子辅助育种研究, E-mail: yanglily1120@126.com

赵德辉, 讲师, 博士, 主要从事小麦产量和品质性状相关基因挖掘研究, E-mail: zhaodehuizdh@163.com

compared to normal irrigation. Root length, shoot fresh weight, root fresh weight, shoot dry weight, and root dry weight did not show significant responses to the drought treatment. For wheat varieties with different drought resistance levels, the protein and wet gluten content of moderately drought-resistant varieties were significantly higher under the drought treatment than under normal irrigation, while starch content was significantly lower. All of the traits of drought-resistant and drought-sensitive varieties did not show significant differences under the two conditions. However, the root length of drought-resistant varieties was significantly greater than that of moderately drought-resistant and drought-sensitive varieties under both conditions, indicating that drought-resistant varieties exhibited better growth potential and quality stability under drought conditions. In summary, the drought stress treatment significantly improved the traits such as grain protein content, wet gluten content, and seed germination rate in wheat. Furthermore, the response to drought stress exhibited significant variation among wheat varieties of different drought resistant categories in terms of both quality and seed vigor traits.

Keywords: common wheat(*Triticum aestivum* L.); drought stress; quality traits; seed vigor

小麦是我国最重要的粮食作物之一^[1-3]。随着我国社会经济的发展和人民生活水平的提升,对小麦的需求从追求产量逐渐转向追求品质^[3-4]。我国优质小麦的占比仍然较少^[3],不足以满足人们的需求,提高小麦品质是小麦生产发展的必然趋势^[5-6]。

小麦品质受多种因素影响,除遗传因素外,环境因素中水分条件对小麦品质有着巨大的影响^[7-10]。我国小麦主要种植在水资源匮乏的北方旱区,小麦主产区干旱频频发生,严重影响了优质小麦的生产^[11-14]。杜中赫^[15]通过水、旱对照试验表明,小麦粗蛋白干基、面筋湿基等品质性状在不同水旱条件下均存在极显著差异。杨锴^[16]通过干旱和正常水肥田间试验表明,干旱处理下冬小麦千粒质量显著下降,湿面筋含量显著提高。多项研究表明^[15-17],干旱处理对小麦品质性状确有所影响。因此,研究小麦抗旱机理、探究小麦自身抗旱性与品质性状相关性^[18],筛选耐旱优质小麦品种是应对干旱胁迫的有效途径之一。小麦生长周期长,易受到多种逆境环境影响。本研究进行棚内材料干旱处理,棚外材料充分灌溉,严格控制棚内材料所需水分,能够更好地反映干旱对小麦品质

性状的影响,避免了其他因素的混杂效应。

种子活力是种子质量的重要指标^[19]。高活力的种子具有幼苗存活率高、抗逆性强和耐久储存等特性,对植株后续的生长发育具有重要影响^[20-21]。水是植物种子萌发的先决条件,干旱胁迫对种子活力有显著的负面影响^[22-23]。不同小麦品种对干旱胁迫的敏感性差异明显,抗旱性较强的品种可以通过调节渗透势和积累保护性物质来减轻干旱的负面影响,而抗旱性较弱的品种种子活力受损更加严重^[24]。因此,研究干旱处理对小麦品质及活力性状的影响对我国经济发展与粮食安全以及旱作区小麦生产具有重大意义^[25]。

本研究以近年选育和审定的37个小麦品种和高代品系作为试验材料,采用干旱胁迫和正常对照,探究干旱胁迫对小麦品质及其种子活力的影响,旨在为小麦品质和种子活力改良提供一定理论参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

37份小麦材料及抗旱级别分类情况如表1所示。

表1 37份小麦材料及抗旱级别分类情况

Tab.1 Classification of 37 wheat materials and their drought resistance levels

编号	Number	品种(系) Variety(line)	级别	Grade	编号	Number	品种(系) Variety(line)	级别	Grade
1		15387	S		10	13004-17-1-2(洛早7号/许科718)	MR		
2		15083-3	S		11	14080-11-14(周麦22/烟农836)	MR		
3		13053-65-4-1(郑麦7698/烟农836)	S		12	13049-79-2-3(周麦26/烟农836)	MR		
4		淮麦33	S		13	洛早19	MR		
5		13053-55-4-3(郑麦7698/烟农836)	S		14	周麦27	MR		
6		14080-31-1-2(周麦22/烟农836)	S		15	15081-14	MR		
7		良星99	S		16	13053-65-4	MR		
8		13049-79	S		17	15036-25	MR		
9		安农0711	MR		18	洛早6号	MR		

续表 1 37 份小麦材料及抗旱级别分类

Tab.1(Continued) Classification of 37 wheat materials and their drought resistance levels

编号	Number	品种(系) Variety(line)	级别	Grade	编号	Number	品种(系) Variety(line)	级别	Grade
19		华成 3366	MR		29	13053-24-2-3(郑麦 7698/烟农 836)		R	
20		中麦 175	MR		30	13004-16-1-1(洛早 7 号/许科 718)		R	
21		中麦 895	MR		31	鹤麦 907		R	
22		鹤麦 207	MR		32	1251HPGS-220-4		R	
23		新麦 36	MR		33	洛麦 26		R	
24		鹤麦 1707	MR		34	丰德存麦 1 号		R	
25		百农 207	MR		35	1343HPGSF2BG		R	
26		鹤麦 206	MR		36	鹤麦 18		R	
27		洛早 22	MR		37	洛早 7 号		R	
28		丰德存麦 21	R						

注:S、MR和R分别表示抗旱性弱、中和强。

Note: S, MR, and R indicated weakly, moderately, and strongly drought resistance, respectively.

表 1 中包括国审品种 14 份:百农 207、丰德存麦 1 号、丰德存麦 21、华成 3366、淮麦 33、良星 99、洛早 22、洛早 6 号、洛早 7 号、洛麦 26、新麦 36、中麦 175、中麦 895 和周麦 27;省审品种 3 份:安农 0711、鹤麦 1707 和洛早 19;育种高代品系 20 份。

1.2 试验设计

2021—2022 年度在洛阳农林科学院旱棚内进行试验。采用随机区组设计,每个品种种植 3 行,行长 3 m,行距 0.25 m,3 次重复。试验设置干旱胁迫和充分灌溉 2 种处理。干旱胁迫处理的小麦整个生育期在旱棚内进行种植,无任何浇水;充分灌溉处理在旱棚外进行,分别在越冬期、拔节期和灌浆期进行定量灌溉,每次灌溉量为 1 000 m³/hm²。旱棚仅在雨天打开,棚内棚外其他生长条件均一致。37 份小麦材料于 2021 年 10 月 14 日播种,2022 年 6 月 1 日收获。在旱棚内的干旱胁迫处理要确保小麦正常出苗。其他的田间管理措施按照国家区域试验的抗旱性鉴定标准进行。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 种子品质性状 人工收割 20 个成熟期穗子并手工脱粒。采用 SC-G 自动考种仪及千粒质量仪系统分析测定千粒质量,使用近红外分析仪(DA 7250, Perten)测定籽粒的蛋白质、湿面筋和淀粉含量。

1.3.2 种子活力性状 每个材料取 25 粒饱满籽粒进行纸卷发芽^[18],发芽过程中每天补充适量的水分,直至第 8 天发芽试验结束,于第 4 天和第 8 天统计正常幼苗数,计算发芽势和发芽率^[19-20]。

发芽势 = 第 4 天出芽种子数 / 供试种子数 ×

$$100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率} = \frac{\text{第 8 天出芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\% \quad (2)$$

同时第 8 天取 10 株长势一致的幼苗,测定根长(R)和芽长(S)。用精度为 1/1 000 的电子天平准确称量芽鲜质量、根鲜质量,后放入烘箱中 105 ℃ 杀青 30 min,再转至 80 ℃ 烘至恒质量,再用精度为 1/1 000 的电子天平准确称量根干质量、芽干质量。

1.3.3 抗旱指数 参照文献[24]计算抗旱指数。

$$DRI = \frac{TGW_{S,T}^2}{TGW_{S,W}} \times \frac{TGW_{CK,W}}{TGW_{CK,T}^2} \quad (3)$$

式中, $TGW_{S,T}$ 和 $TGW_{S,W}$ 分别为待测材料在干旱处理和正常灌水处理下的千粒质量; $TGW_{CK,T}$ 和 $TGW_{CK,W}$ 分别为对照品种(晋麦 47)在干旱处理和正常灌水处理下的千粒质量。

1.4 统计分析

利用 SAS 软件(Statistical Analysis System)进行统计分析。通过 PROC MEANS 和 PROC CORR 程序进行基础统计量和相关性分析。通过 PROC GLM 程序进行方差分析,基因型作为固定效应,处理、处理内的重复以及基因型与处理的交互效应作为随机效应。

2 结果与分析

2.1 小麦品质及种子活力性状基本统计量分析

由方差分析结果可知(表 2),除淀粉含量、芽长与根干质量的品种(系)与处理互作效应,根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量和根干质量处理效

应未达到显著水平外,其余品质及活力性状均显著受到品种(系)、处理和品种(系)×处理交互效应的影响。此外,所有性状的品种(系)效应均显

著高于处理效应和品种(系)×处理的交互效应。表明这些性状主要受基因型的控制,且不同品种在应对环境胁迫时表现出显著差异($P<0.05$)。

表2 37份材料品质及种子活力性状的方差分析
Tab.2 The variance analysis of the quality and vigor traits of 37 materials

参数 Parameter		自由度 df	蛋白质含量 Protein content	湿面筋含量 Wet gluten content	淀粉含量 Starch content	发芽势 Germination potential	发芽率 Germination rate	芽长 Shoot length	根长 Root length	芽鲜质量 Shoot fresh weight	根鲜质量 Root fresh weight	芽干质量 Shoot dry weight	根干质量 Root dry weight
品种(系) Variety(line)		36	133.69***	702.87***	38.04***	1 346.69***	997.26***	8.39*	6.87***	0.04***	0.18**	0.000 6***	0.000 4*
处理 Treatment		1	34.57***	215.96***	7.71***	6 593.37***	4 428.10***	36.58**	0.36	0.015	0.08	0.000 0	0.000 4
品种(系)×处理 Variety(line)× Treatment		52	27.51***	108.47*	7.84	502.27*	477.01**	6.62	2.89*	0.02*	0.12*	0.000 3*	0.000 3
重复 Replication		4	50.65***	161.71***	36.69***	3 486.59***	2 692.09***	19.39**	6.88**	0.08**	0.42**	0.000 6*	0.000 8**
误差 Error		136	37.87	244.70	22.97	300.21	249.18	4.80	1.65	0.01	0.08	0.000 2	0.000 2

注:*,**和***分别表示在0.05、0.01、0.001水平差异显著。

Note: *, ** and *** indicated significance at the 0.05, 0.01 and 0.001 level.

基本统计量分析结果如表3所示,所有参数的变异范围均较大。具体而言,品种(系)间的蛋白质含量变异范围为11.76%~14.73%,湿面筋含量的变异范围为26.19%~33.47%,淀粉含量的变异范围为74.60%~76.59%,根长的变异范围为9.77~15.79 cm,芽长的变异范围为17.78~22.49 cm,发芽势的变异范围为32.80%~97.33%,发芽率的变

异范围为43.20%~100.00%,芽鲜质量的变异范围为0.82~1.18 g/株,根鲜质量的变异范围为0.83~1.67 g/株,芽干质量的变异范围为0.09~0.13 g/株,根干质量的变异范围为0.05~0.09 g/株。结果表明,不同品种在品质性状和种子活力性状上存在显著的变异,基因型差异是导致这些性状变异的主要因素。

表3 37份材料品质及种子活力性状的平均值、标准差及变异范围
Tab.3 The mean, standard deviation, and variation range of quality and vigor traits of 37 materials

参数 Parameter	蛋白质含量/% Protein content	湿面筋含量/% Wet gluten content	淀粉含量/% Starch content	发芽势/% Germination potential	发芽率/% Germination rate	芽长/cm Shoot length	根长/cm Root length	芽鲜质量/(g/株) Shoot fresh weight	根鲜质量/(g/株) Root fresh weight	芽干质量/(g/株) Shoot dry weight	根干质量/(g/株) Root dry weight
平均值 Mean	13.01	29.06	75.89	67.69	73.73	20.60	11.78	1.00	1.24	0.11	0.07
标准差 SD	1.15	2.57	0.71	24.37	21.81	2.48	1.69	0.14	0.33	0.02	0.02
变异范围 Total	10.42~16.93	22.00~36.85	73.89~77.87	12.00~100.00	24.00~100.00	11.63~25.79	5.30~19.27	0.31~1.29	0.04~1.92	0.02~1.15	0.00~0.11
Range 品种(系)间 Among variety (line)	11.76~14.73	26.19~33.47	74.60~76.59	32.80~97.33	43.20~100.00	17.78~22.49	9.77~15.79	0.82~1.18	0.83~1.67	0.09~0.13	0.05~0.09
处理 Treatment	12.63~13.40	28.11~30.04	75.71~76.07	16.00~100.00	28.00~100.00	11.63~25.75	5.30~11.71	0.31~1.28	0.04~1.92	0.02~0.15	0.00~0.11

2.2 小麦品质和种子活力相关性状的关联性分析

小麦品质和活力性状相关性状的关联性分析如表4所示,蛋白质含量与湿面筋含量呈极显著正相关($r=0.96, P<0.001$),与淀粉含量呈极显著负相关($r=-0.74, P<0.001$);发芽势与发芽率呈

极显著正相关($r=0.98, P<0.001$);根长与芽鲜质量和芽干质量呈极显著正相关($r=0.61\sim0.63, P<0.001$);芽鲜质量与根鲜质量、芽干质量和根干质量均呈极显著正相关($r=0.61\sim0.92, P<0.001$);根鲜质量与根干质量呈极显著正相关($r=$

0.89, $P < 0.001$); 芽干质量和根干质量呈极显著正相关($r=0.55, P < 0.001$)。

表 4 小麦品质和种子活力相关性状的相关性分析

Tab.4 The correlation analysis between quality traits and seed vigor traits of wheat

指标 Index	蛋白质 Protein	湿面筋 Wet gluten	淀粉 Starch	发芽势 Germination potential	发芽率 Germina- tion rate	芽长 Shoot length	根长 Root length	芽鲜质量 Shoot fresh weight	根鲜质量 Root fresh weight	芽干质量 Shoot dry weight	根干质量 Root dry weight
抗旱指数 Drought resistance index	0.07	0.01	0.12	-0.06	-0.09	0.26	-0.25	0.21	0.31	0.19	0.25
蛋白质 Protein		0.96***	-0.74***	-0.29	-0.25	-0.19	-0.08	-0.04	-0.03	-0.04	-0.15
湿面筋 Wet gluten			-0.84***	-0.22	-0.18	-0.17	-0.05	0.01	-0.03	-0.01	-0.13
淀粉 Starch				0.12	0.08	-0.02	-0.04	0.00	0.06	0.03	0.11
发芽势 Germination potential					0.98***	0.37*	0.42**	0.27	0.20	0.31	0.33*
发芽率 Germination rate						0.37*	0.43**	0.25	0.16	0.28	0.29
芽长 Shoot length							0.03	0.21	0.47**	0.21	0.52***
根长 Root length								0.61***	0.28	0.63***	0.31
芽鲜质量 Shoot fresh weight									0.64***	0.92***	0.61***
根鲜质量 Root fresh weight										0.57***	0.89***
芽干质量 Shoot dry weight											0.55***

注: *、**和***分别表示在 0.05、0.01、0.001 水平显著相关。

Note: *, ** and *** indicated significant correlation at the 0.05, 0.01 and 0.001 level.

2.3 干旱处理对小麦品质及种子活力性状的影响

对比干旱处理对品质及活力性状的影响结果显示(表 5), 正常水分处理下, 淀粉含量显著高于干旱胁迫处理($P < 0.05$); 蛋白质和湿面筋含量、发芽势、发芽率和芽长在干旱胁迫条件下则显著高于正常水分处理($P < 0.05$); 而根长、芽鲜质量、

根鲜质量、芽干质量、根干质量对干旱处理的响应不显著。表明在不同水分条件下, 淀粉含量、蛋白质含量、湿面筋含量、芽长、发芽势和发芽率表现出较大的变异, 干旱胁迫对它们的影响具有一定的独立性。

表 5 干旱处理对 37 份材料品质及种子活力性状的影响

Tab.5 The effects of drought on quality and vigor traits of 37 materials

处理 Treatment	蛋白质含 量/% Protein content	湿面筋含 量/% Wet glu- ten content	淀粉含 量/% Starch content	发芽势/% Germina- tion poten- tial	发芽率/ % Germina- tion rate	芽长/ cm Shoot length	根长/ cm Root length	芽鲜质量/ (g/株) Shoot fresh weight	根鲜质量/ (g/株) Root fresh weight	芽干质量/ (g/株) Shoot dry weight	根干质量/ (g/株) Root dry weight
干旱 Drought	13.40a	30.04a	75.71b	72.50a	77.84a	21.02a	11.71a	0.99a	1.22a	0.113a	0.070a
正常水分 Normal water	12.63b	28.11b	76.07a	62.72b	69.47b	20.18b	11.85a	1.01a	1.26a	0.114a	0.074a

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicated significant differences among different treatments($P < 0.05$).

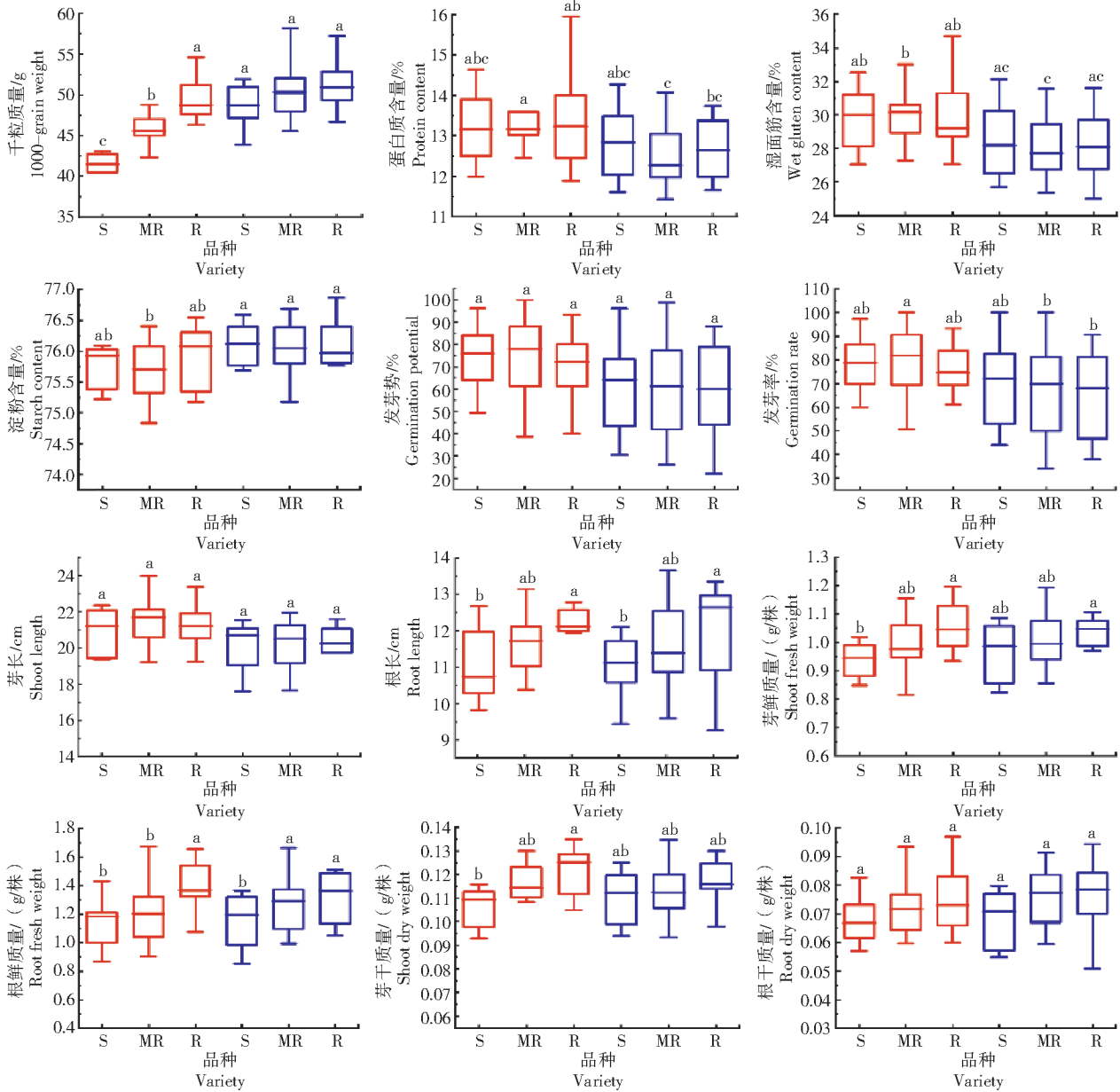
2.4 干旱胁迫下不同抗旱类别的小麦品质和种子活力性状变化

本研究的 37 份小麦种质抗旱性分为弱、中等、强 3 类, 分别有 8、19、10 份^[25](表 1)。比较干旱胁迫下小麦品种(系)的品质及种子活力性状表明(图 1), 在正常条件下, 千粒质量在不同抗旱级别

下无差异; 在干旱胁迫条件下, 抗旱性强的品种显著高于抗旱性弱和中等品种($P < 0.05$), 且千粒质量相对于正常条件下无显著降低。抗旱性中等品种的蛋白质含量和湿面筋含量在干旱条件下显著高于正常条件下($P < 0.05$), 淀粉含量显著低于正常条件下($P < 0.05$); 抗旱性弱和强品种的蛋白

质、湿面筋和淀粉含量在2种条件下无显著差异。抗旱性中等品种的发芽率在干旱条件下显著高于正常条件下($P<0.05$),发芽势、芽长、根长、根鲜质量、芽鲜质量、芽干质量和根干质量在不同条件

下无显著差异。但抗旱性强品种的根长在2种条件下都显著高于抗旱性中等和弱品种($P<0.05$)。结果表明,抗旱性强品种在种子生长势方面具有一定的优势。



红色指干旱处理,蓝色指正常灌溉;不同小写字母表示组间差异显著($P<0.05$)

Red represented the drought treatment, while blue represented normal irrigation. Whereas groups labeled with different lowercase letters were significant differences($P<0.05$)

图1 不同抗旱类别小麦品种(系)的品质及活力性状变化

Fig.1 The changes in quality and vigor traits of wheat varieties (lines) with different drought-resistant categories

3 结论与讨论

深入研究干旱对小麦品质的影响,筛选和推广抗旱优质小麦对国家粮食安全与民生具有重大

意义。近年来,在研究干旱处理如何影响小麦品质方面,前人通过分析小麦在不同水分条件下的品质性状变化,来研究干旱胁迫对小麦品质的影响^[5-6,8-9,14-15]。前人许多研究虽探讨了不同程度的

干旱对小麦品质的影响,但将小麦品质与种子活力结合分析较少。本研究对不同材料进行胁迫处理,分析其对小麦品质及活力性状的影响,结果表明,除淀粉含量、芽长与根干质量品种(系)与处理之间的互作效应;根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量、根干质量处理效应未达到显著水平外,其余品质性状及活力均显著受到品种(系)、处理和品种(系)与处理交互效应的影响,这表明基因型是控制这些性状的主要因素。

已有研究表明^[9],籽粒的蛋白质、淀粉和湿面筋含量可以作为小麦品质好坏的指标,干旱胁迫会影响小麦的产量和品质,说明小麦籽粒的蛋白质、淀粉和湿面筋等品质性状也能作为小麦抗旱性鉴定指标。本研究中,干旱胁迫条件下籽粒蛋白质含量等品质性状与小麦的抗旱性有关,进一步表明部分品质性状可作为鉴定小麦抗旱性的指标。已有研究表明^[13-14,18],小麦抗旱性强弱直接影响小麦蛋白质和淀粉等的合成与积累,其中,抗旱性强的品种的千粒质量比籽粒蛋白受干旱胁迫的影响更大,对于抗旱性弱的品种恰恰相反。本研究中,对于抗旱性弱的品种,其千粒质量更容易受干旱胁迫影响;对于抗旱性强的品种,其更容易受干旱胁迫影响的是籽粒蛋白质,结果差异可能是由试验材料的遗传背景差异所导致。

种子活力是植物生长的基础,直接影响作物的发芽率和生长速度。李安等^[26]研究表明,使用 PEG 模拟干旱进行玉米种子处理时,PEG 浓度越高,玉米的发芽率越低。袁驰等^[27]研究发现,水稻种子的发芽率、发芽势、相对发芽率、根长、芽长、总鲜质量、根鲜质量、芽鲜质量均与盐浓度呈负相关。高活力种子在适宜的环境条件下能够迅速发芽,增强苗期的竞争力,提高产量。活力强的种子能够更好地适应不同的土壤和气候条件,确保作物在不利环境中生长。前人研究表明^[18,28-30],种子活力高低是鉴定小麦品质好坏的重要指标。本研究中,强抗旱小麦品种在胁迫条件下能够较好地维持种子的活力,其中强抗旱品种在千粒质量、根长、芽鲜质量、根鲜质量、芽干质量上显著高于弱抗旱品种,且越抗旱品种,其千粒质量、根长、芽鲜质量、根鲜质量和芽干质量值越高,弱抗旱品种在所有性状显示出较强的胁迫敏感性,这与前人研究结果一致^[27-28]。本研究中,干旱胁迫下收获籽粒的发芽势、发芽率和芽长显著高于正常灌溉,可能是由于在干旱胁迫

处理下籽粒积累了更多胚胎发育晚期丰富蛋白,进一步提高了种子活力和抗逆性。

综上所述,强抗旱小麦在干旱胁迫下能保持较高的种子品质和活力,通过干旱胁迫处理,可以显著提高小麦籽粒的蛋白质含量、湿面筋含量和种子发芽率等性状;且不同抗旱类别小麦在品质及种子活力性状上对干旱胁迫响应存在差异。

参考文献:

- [1] 张浩彬. 小麦干旱记忆相关 miRNA 的鉴定及其生物学功能分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2022.
ZHANG H B. Identification of drought memory-related miRNAs and their biological function analysis in wheat[D]. Yangling:Northwest A & F University,2022.
- [2] 孟雨. 干旱胁迫对小麦生长的影响及品种抗旱性鉴定方法研究[D]. 郑州:河南农业大学,2022.
MENG Y. Effects of drought stress on wheat growth and identification methods of drought resistance of varieties[D]. Zhengzhou:Henan Agricultural University,2022.
- [3] 洪宇,孙辉,常柳,等. 2020 年我国小麦品质分析[J]. 粮油食品科技,2022,30(1):87-92.
HONG Y, SUN H, CHANG L, et al. Analysis on the wheat quality in China in 2020[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods,2022,30(1):87-92.
- [4] 曹新有,程敦公,刘爱峰,等. 高产优质兼顾的强筋小麦品种选育方法与实践[J]. 麦类作物学报,2020,40(9):1064-1069.
CAO X Y, CHENG D G, LIU A F, et al. Methods and practice in synergistic improvement of yield and quality in strong gluten wheat breeding[J]. Journal of Triticeae Crops,2020,40(9):1064-1069.
- [5] 倪芊芊,陈翔,许辉,等. 温度胁迫对小麦籽粒品质影响研究进展[J]. 江汉大学学报(自然科学版),2022,50(5):56-62.
NI Q Q, CHEN X, XU H, et al. Research progress on effects of temperature stress on wheat grain quality[J]. Journal of Jianghan University(Natural Science Edition),2022,50(5):56-62.
- [6] 勾慧娟. 影响优质小麦品质和产量的主要因素[J]. 农家科技(下旬刊),2018(9):86.
GOU H J. The main factors affecting the quality and yield of high-quality wheat[J]. Rural Science and Technology (Late Monthly Issue),2018(9):86.
- [7] 杨洪强,顾晶晶,田文仲,等. 不同灌水处理对小麦产量和籽粒品质的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):74-78.
YANG H Q, GU J J, TIAN W Z, et al. Effects of different irrigation treatments on wheat yield and grain quality[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2022,50(19):74-78.
- [8] 陈韬. 灌浆期干旱对小麦产量和品质的影响[J]. 农业科技通讯,2021(3):48-50.
CHEN T. Effect of drought at grain filling stage on wheat yield and quality[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology,2021(3):48-50.
- [9] 宋维富,杨雪峰,赵丽娟,等. 灌浆期干旱对小麦籽粒品质影响研究进展[J]. 安徽农业科学,2020,48(4):18-19.
SONG W F, YANG X F, ZHAO L J, et al. Review on effects

- of drought at grain filling stage on grain quality of wheat[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(4): 18-19.
- [10] ZHANG L, CHU Q Q, JIANG Y L, et al. Impacts of climate change on drought risk of winter wheat in the North China Plain [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(10): 2601-2612.
- [11] 张振旺, 吴金芝, 黄明, 等. 干旱胁迫对不同抗旱性冬小麦灌浆期下午旗叶光合特性和籽粒产量的影响[J]. 华北农学报, 2022, 37(2): 67-77.
ZHANG Z W, WU J Z, HUANG M, et al. Effects of drought stress on the photosynthetic characteristics in flag leaf in the afternoon during the grain filling stage and grain yield of winter wheat with different drought resistance[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2022, 37(2): 67-77.
- [12] 张存杰, 王胜, 宋艳玲, 等. 我国北方地区冬小麦干旱灾害风险评估[J]. 干旱气象, 2014, 32(6): 883-893.
ZHANG C J, WANG S, SONG Y L, et al. Research of drought risk assessment for winter wheat in northern China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(6): 883-893.
- [13] 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.
- [14] 宋妮, 黄修桥, 孙景生, 等. 水分胁迫对盆栽冬小麦产量和部分品质性状的影响[J]. 麦类作物学报, 2009, 29(3): 476-479.
SONG N, HUANG X Q, SUN J S, et al. Effect of water stress on yield and quality of potted winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(3): 476-479.
- [15] 杜中赫. ICARDA引进小麦种质的抗旱性鉴定及干旱对小麦品质的影响研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
DU Z H. Study on the drought resistance evaluation of wheat germplasm introduced by ICARDA and the impact of drought on wheat quality[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018.
- [16] 杨锴. 低氮和干旱对冬小麦产量和品质性状的影响[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2023.
YANG K. Effects of low nitrogen and drought on yield and quality characters of winter wheat[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2023.
- [17] 张礼宁, 于子雯, 郭金良, 等. 灌浆期干旱胁迫对小麦西农106部分生理指标、产量及品质的影响[J]. 西北农业学报, 2024, 33(8): 1415-1423.
ZHANG L N, YU Z W, GUO J L, et al. Effects of drought stress on some physiological indexes, yield and quality of wheat variety xinong 106 at grain filling stage[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2024, 33(8): 1415-1423.
- [18] 郭程, 曾占奎, 韩志鹏, 等. 小麦种子活力相关性状研究进展[J]. 中国种业, 2021(8): 30-33.
GUO C, ZENG Z K, HAN Z P, et al. Research progress on seed vigor related traits of wheat[J]. China Seed Industry, 2021(8): 30-33.
- [19] 胡晋. 种子检验学[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 181-182.
HU J. Seed testing science[M]. Beijing: Science Press, 2015: 181-182.
- [20] 陈蕾太. 逆境条件下小麦种子活力与主要相关酶活性及其基因表达的关系[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
CHEN L T. Relation of wheat seed vigor and main related enzyme activities and gene expression under stress conditions [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2016.
- [21] 张自阳, 王智煜, 刘明久, 等. 干旱胁迫对不同年代小麦品种种子萌发特征的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(3): 23-28.
ZHANG Z Y, WANG Z Y, LIU M J, et al. Effect of drought stress on seed germination characteristics of different generations of winter wheat varieties[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2018, 47(3): 23-28.
- [22] COUCHOUD M, DER C, GIRODET S, et al. Drought stress stimulates endocytosis and modifies membrane lipid order of rhizodermal cells of *Medicago truncatula* in a genotype-dependent manner[J]. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 221.
- [23] 李伟, 闫文利, 刘旭, 等. 干旱胁迫对4份小麦品种种子萌发及幼苗形态的影响[J]. 农业科技通讯, 2018(7): 119-122.
LI W, YAN W L, LIU X, et al. Effects of drought stress on seed germination and seedling morphology of four wheat varieties[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2018(7): 119-122.
- [24] 白云飞. 小麦抗旱种质的鉴别及分子标记的开发[D]. 保定: 河北农业大学, 2019.
BAI Y F. Evaluation of drought-resistant germplasm and development of molecular markers in wheat[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2019.
- [25] 杨莉, 桑萌芽, 丁志强, 等. 干旱胁迫对小麦籽粒相关性状的影响[J]. 山西农业科学, 2023, 51(6): 620-627.
YANG L, SANG M Y, DING Z Q, et al. Effect of drought stress on grain related traits in common wheat[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2023, 51(6): 620-627.
- [26] 李安, 舒建虹, 刘晓霞, 等. PEG不同处理对玉米萌发的影响[J]. 耕作与栽培, 2022, 42(2): 55-59.
LI A, SHU J H, LIU X X, et al. Effects of different PEG treatments on maize germination[J]. Tillage and Cultivation, 2022, 42(2): 55-59.
- [27] 袁弛, 梁永霞, 刘静, 等. 复盐胁迫对不同水稻品种种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子, 2018, 37(6): 78-81.
YUAN C, LIANG Y X, LIU J, et al. Effect of compound saline stress on seed germination and seedling growth of different rice varieties[J]. Seed, 2018, 37(6): 78-81.
- [28] 尹梦奇. 伸长胚根计数用于小麦油菜种子活力测定的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
YIN M Q. Study on determination of seed vigor of wheat and rape by elongation radicle counting[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [29] 刘国振. 小麦、玉米种子活力测定新方法: 复合逆境法(CSVT) [J]. 种子世界, 1990(1): 30-31.
LIU G Z. A new method for determining seed vigor of wheat and maize: CSVT[J]. Seed World, 1990(1): 30-31.
- [30] SAHA R, HANNAN A, NESSA A, et al. Selection of drought tolerant wheat genotypes by osmotic stress imposed at germination and early seedling stage[J]. SAARC Journal of Agriculture, 2017, 15(2): 177-192.