

黄淮南片冬小麦品种节水丰产性鉴定研究

张学品^{1,2}, 赵 严^{1,2}, 丁志强^{1,2}, 田文仲^{1,2}, 吴少辉^{1,2}, 杨 莉^{1,2}, 顾晶晶^{1,2},
温红霞^{1,2}, 冯伟森^{1,2*}

¹洛阳市农林科学院, 河南 洛阳

²河南省抗旱节水小麦育种工程技术研究中心, 河南 洛阳

收稿日期: 2023年9月7日; 录用日期: 2023年10月6日; 发布日期: 2023年10月12日

摘 要

为了筛选出同等水分供应条件下, 水分利用效率高、稳定高输出、具有较好节水性和抗旱性的小麦新品种, 设置全生育期不灌水(W0)、拔节水(W1)、拔节水+开花水(W2) 3个灌水处理, 采用10个主要推广冬小麦品种, 研究了不同品种产量、水分利用效率及超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性的差异, 结果表明: 依据籽粒产量和水分利用效率2个因子将供试品种分为高水分利用效率组(I组)、中水分利用效率组(II组)和低水分利用效率组(III组)。随着灌水次数的增加, 参试品种的产量平均值均有不同程度的增加, 两年平均产量W0条件下, I组和II组分别比III组高22.53%、19.12%; W1条件下, I组和II组分别比III组高11.21%、6.62%。水分利用效率(两年平均)随着灌水次数的增加逐渐降低, W0条件下水分利用效率, I组和II组分别比III组高22.20%、20.76%; W1条件下, I组和II组分别比III组高17.7%、11.02%; W2条件下, I组和II组分别比III组高9.33%、9.13%。成穗数、穗粒数随灌溉次数的增加, 均有不同程度的增加, 千粒重没有一致性的规律。不同品种和处理的小麦旗叶SOD和CAT活性表现一致, 拔节期最低, 扬花期最高, 后逐渐下降; 各处理间, 随着灌水次数的增加, SOD和CAT活性表现整体下降趋势, W0较其他处理一直保持较高的水平, W1次之, W2最低。各品种间, 拔节期和灌浆期CAT活性均表现为I组 > II组 > III组, SOD活性, 不同品种三个测定时期的表现不尽相同。通过综合评价, 洛旱22、洛旱19、周麦27和淮麦33在不同水分处理水平下均表现出较高的产量和水分利用效率, 属于抗旱、节水、丰产性好的小麦品种, 洛旱22和洛旱19可以在黄淮麦区旱肥地或扩灌区推广种植, 周麦27和淮麦33在节水灌溉区推广种植。

关键词

小麦, 品种, 产量, 水分利用效率, 抗氧化酶活性

Research on the Selection of Water-Saving and High-Yielding Winter Wheat Varieties in the Southern Huanghuai Region

*通讯作者。

文章引用: 张学品, 赵严, 丁志强, 田文仲, 吴少辉, 杨莉, 顾晶晶, 温红霞, 冯伟森. 黄淮南片冬小麦品种节水丰产性鉴定研究[J]. 农业科学, 2023, 13(10): 896-909. DOI: 10.12677/hjas.2023.1310125

Xuepin Zhang^{1,2}, Yan Zhao^{1,2}, Zhiqiang Ding^{1,2}, Wenzhong Tian^{1,2}, Shaohui Wu^{1,2}, Li Yang^{1,2}, Jingjing Gu^{1,2}, Hongxia Wen^{1,2}, Weisen Feng^{1,2}

¹Luoyang Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Luoyang Henan

²Henan Engineering Research Center for Drought-Resistant and Wall-Saving Wheat Breeding, Luoyang Henan

Received: Sep. 7th, 2023; accepted: Oct. 6th, 2023; published: Oct. 12th, 2023

Abstract

To select new wheat varieties with high water use efficiency, stable and high output, good water-saving and drought resistance under the same water supply conditions, three irrigation treatments were set including no irrigation throughout the entire growth period (W0), irrigation at jointing stage (W1), and irrigation at jointing and flowering stages (W2). Ten major winter wheat varieties were used to study the differences in yield, water use efficiency, and the activities of superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT). The results showed that the tested varieties could be classified into three groups based on grain yield and water use efficiency comprising high water use efficiency group (Group I), moderate water use efficiency group (Group II), and low water use efficiency group (Group III). With the increase in irrigation frequency, the average yield of the tested varieties showed varying degrees of increase. The average yields over two years, under W0 conditions, were 22.53% higher for Group I and 19.12% higher for Group II compared to Group III; under W1 conditions, they were 11.21% higher for Group I and 6.62% higher for Group II compared to Group III. Water use efficiency (average over two years) gradually decreased with the increase in irrigation frequency. Under W0 conditions, water use efficiency was 22.20% higher for Group I and 20.76% higher for Group II compared to Group III; under W1 conditions, it was 17.7% higher for Group I and 11.02% higher for Group II compared to Group III; under W2 conditions, it was 9.33% higher for Group I and 9.13% higher for Group II compared to Group III. The number of spikes and grains per spike increased to varying degrees with the increase in irrigation frequency, while the thousand-grain weight did not show a consistent pattern. The SOD and CAT activities of wheat flag leaves of different varieties and treatments were consistent, and the lowest jointing stage was the highest at the flowering stage, and then gradually decreased; among the treatments, with the increase of irrigation times, the SoD and CAT activities showed an overall downward trend, and W0 was higher than other treatments. W1 is the second and W2 is the lowest. The CAT activity of each variety at the jointing stage, flowering stage and filling stage all showed the expression Group I > Group II > Group III, the performance of SOD activity in the three test periods of different varieties is not the same. Through comprehensive evaluation, varieties such as Luohan 22, Luohan 19, Zhoumai 27, and Huaimai 33 showed higher yields and water use efficiency at different water treatment levels. They are drought-resistant, water-saving, and high-yielding wheat varieties. Luohan 22 and Luohan 19 can be promoted for cultivation in dry and fertilized areas or expanded irrigation areas in the Huang-Huai region, while Zhoumai 27 and Huaimai 33 can be promoted for cultivation in water-saving irrigation areas.

Keywords

Wheat, Variety, Yield, Water Use Efficiency, Antioxidant Enzyme Activity

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

我国是一个水资源严重短缺的国家,人均水资源不足世界平均水平的四分之一,并且时空分布不均,水资源匮乏已成为社会、经济发展的主要限制因素之一[1] [2]。近年来,我国北方麦区遭受连续严重干旱,旱灾发生的范围和频率扩大,远不能满足小麦正常生长发育对水分的需求[3] [4]。黄淮冬小麦区是我国小麦的主产区,小麦面积和总产均占全国的40%以上[5],小麦生育期内干旱少雨,降雨量不均,生产上主要通过灌溉来满足小麦生长对水分的需求[6]。冬小麦灌溉用水约占农业用水的70%左右,因此冬小麦节水在农业节水中具有举足轻重的地位[5]。

如何利用有限的农业水资源,在减少灌溉次数、降低灌溉用水量的前提下实现小麦生产的高产高效是亟待解决的问题[7]。在目前的小麦育种工作中,在同等水分供应条件下,开发品种自身的生理和遗传节水潜力,筛选出耗水量少、水分利用效率高、稳定高输出、具有较好节水和抗旱性的小麦新品种尤为重要[8]。近年来,国内外对如何充分利用灌溉水、自然降水、土壤水以及提高水的有效利用率进行了大量研究[9] [10] [11],不同学者对在水分处理条件下、小麦产量相关的农艺性状类指标的变化规律,如穗数、穗粒数、株高等[12] [13] [14] [15]、超氧化物歧化酶活性[16] [17] [18]进行了大量的研究,但是种植抗旱节水丰产的小麦品种才是解决这一问题的关键,这类品种可以在雨养或节水条件下实现高产稳产,降低生产成本,提高经济效益。

筛选抗旱品种是节水农业的基础,也是在经济条件差、灌溉水源少、设施落后地区的有效农业节水方式。因此,对已经审定的小麦品种进行抗旱节水性筛选研究,准确把握小麦品种对水分的敏感程度,筛选出适合黄淮麦区种植的节水抗旱性好、水分利用率高、产量对水分胁迫反应迟钝的丰产品种,为干旱缺水地区种植提供品种选择,这对合理安排小麦品种布局、节约水资源和改善环境,推动我国农业持续高效发展具有重要意义。

2. 材料和方法

2.1. 试验设计

试验于2017~2019年在洛阳市农林科学院试验田进行,试验点位于地处东经112°29'13",北纬34°38'7",属温带季风气候,种植模式一年一熟,粘壤土。2017~2018年度小麦生育期总降水量339.4 mm,2018~2019年度小麦生育期总降水量201 mm。

灌水处理为全生育期不灌水(W0)、拔节水(W1)、拔节水+开花水(W2),灌水量控制在900 m³/hm²,用水表控制灌水量。供试品种10个,洛早19、洛早22、洛麦26、百农207、周麦27、郑麦136、存麦5号、安农0711、华成3366、淮麦33(见表1)。小区面积为4 m×1.5 m,随机区组排列,3次重复。人工精播耩播种,20 cm等行距种植。基本苗225万/hm²,其余管理措施同丰产田。

Table 1. List of test varieties

表1. 试验品种一览表

代号 No.	品种名称 Variety	代号 No.	品种名称 Variety
1	洛早 19	6	郑麦 136
2	洛早 22	7	存麦 5 号
3	洛麦 26	8	安农 0711
4	百农 207	9	化成 3366
5	周麦 27	10	淮麦 33

2.2. 测定内容和方法

2.2.1. 产量及构成因素

每小区定 1 m 双行样点, 每小区两个样点折算出单位面积穗数; 收获时每小区取代表性植株 20 株进行室内考种, 计算穗粒数; 成熟时分小区实收计产, 计算单位面积籽粒产量。小区收获的小麦籽粒, 用万深 SC-G 型自动种子考种分析仪测量千粒重。

2.2.2. 超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性测定

于拔节期、开花期、灌浆中期、选择生长一致的旗叶, 用液氮速冻处理后贮存于-40℃冰箱中, 用于酶活性测定。SOD 活性采用氮蓝四唑法测定, CAT 活性采用紫外吸收法[16]测定。所用试剂均购自南京建成生物工程研究所的试剂盒。

2.2.3. WUE 测定项目与方法

采用烘干法测量播种前及收获后 0~200 cm 土壤水分含量, 每 20 cm 为 1 层, 采集 0~200 cm 土样, 取约 30 g 样品 105℃烘 48 h 测定土壤含水量。按孙敏[19]等描述的方法计算水分利用效率(WUE), 根据籽粒产量(Y)和全生育期小麦耗水量(ET, mm)计算水分利用效率(WUE), $WUE = Y/ET$ 。

$$ET = WC_{200} + P + I + U - R - F$$

式中: WC 为生育期土壤耗水量(mm); P 为生育期降水量(mm); I 为灌溉量(mm); U 为地下水补给量(mm); R 为径流量(mm); F 为深层渗漏量(mm)。本试验地块地势平坦, 土层深厚, 地下水埋深 > 100 m, 因此 I、U、R、F 均可忽略不计, 值为 0。

2.2.4. 数据分析

以成熟期不同小麦品种的籽粒产量和水分利用效率为指标, 用 DPS 7.5 数据分析软件进行数据标准化转化, 根据欧氏距离的大小, 运用最长距离法, 对供试品种作聚类分析。采用 Microsoft Excel 2010 处理数据、图表, SPSS 22.0 数据分析软件进行数据统计分析和差异显著性检验。

3. 结果分析

3.1. 灌水处理下不同小麦品种产量及其构成因素和水分利用效率的方差分析

Table 2. The analysis of variance of yield and yield components of different varieties under irrigation treatments (*F* value)
表 2. 不同品种灌水处理下产量及其构成因素方差分析(*F* 值)

年份 Year	项目 Item	产量 Yield	水分利用效率 WUE	千粒重 1000-gra in weight	成穗数 Number of ears	穗粒数 Number of grains per ear
2017~2018	灌水处理 Irrigation treatment	151.465**	136.250**	87.411**	71.282**	8.446**
	品种 Variety	7.738**	10.891**	9.212**	3.972**	24.743**
	处理 × 品种 Variety × irrigation treatment	2.572**	3.742**	2.716**	3.198**	8.414**
2018~2019	处理 Irrigation treatment	88.990**	443.171**	22.678**	27.198**	15.402**
	品种 Variety	18.385**	17.998**	11.210**	11.731**	8.276**
	处理 × 品种 Variety × irrigation treatment	1.708	2.101*	0.499	2.296**	1.170

注: *, ** 分别表示达到 5% 和 1% 的显著和极显著水平。

从表 2 可知, 品种因素、灌水处理在小麦产量及其构成因素和水分利用效率上两年均达到了极显著差异: 品种和灌水处理交互作用, 2017~2018 年在产量、成穗数、穗粒数、千粒重和水分利用效率上均存在极显著差异, 2018~2019 年在成穗数上存在极显著差异, 在水分利用效率上存在显著差异。

3.2. 聚类分析

依据籽粒产量和水分利用效率 2 个因子对供试品种进行聚类分析, 在欧氏距离 5.21 处, 将参试材料分为 3 组, 结果见图 1。将供试品种分为高水分利用效率组(I 组)、中水分利用效率组(II 组)和低水分利用效率组(III 组)。第 I 组: 4 份材料(洛旱 22、洛旱 19、周麦 27、淮麦 33); 第 II 组: 4 份材料(洛麦 26、百农 207、存麦 5 号、郑麦 136); 第 III 组: 2 份材料(安麦 0711、华成 3366)。

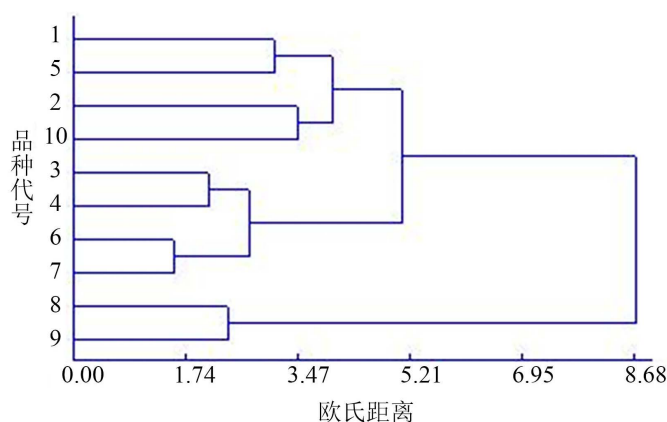


Figure 1. The cluster analysis of the tested varieties
图 1. 供试品种聚类分析

3.3. 灌水处理对不同小麦品种产量的影响

由表 3 可知, 随着灌水次数的增加, 参试品种的产量平均值均有不同程度的增加, W2、W1 和 W0 处理间均存在显著差异, 年际间变化不尽相同。2017~2018 年, W1 产量最高, 表现为 W1 > W2 > W0, W1 较 W0 处理提高 24.56%, W2 较 W0 处理提高 19.45%。2018~2019 年, W2 产量最高, 表现为 W2 > W1 > W0, W1 较 W0 处理提高 10.06%, W2 较 W0 处理提高 18.98%。

2017~2018 年度, W0 和 W2 处理下的产量表现为 II 组 > I 组 > III 组, II 组和 I 组无明显差异。W1 处理下的产量表现为 I 组 > II 组 > III 组。I 组和 II 组在 W0 处理下的产量分别为 6360.98 和 6372.98 kg·hm⁻², 分别比 III 组提高了 17.12 和 17.34%; I 组和 II 组在 W1 处理下的产量分别为 7815.83 和 7749.38 kg·hm⁻², 分别比 III 组提高了 6.23 和 5.33%。2018~2019 年度, 三个处理产量变化一致, 均表现为 I 组 > II 组 > III 组。I 组和 II 组在 W0 处理下的产量分别为 7263.45 和 6863.85 kg·hm⁻², 分别比 III 组提高了 27.94 和 20.90%; I 组和 II 组在 W1 处理下的产量分别为 7914.98 和 7350.79 kg·hm⁻², 分别比 III 组提高了 16.18 和 7.90%。

从产量两年平均值来看, W0 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 22.53%、19.12%; W1 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 11.21%、6.62%。综合两年的结果, I 组(洛旱 22、洛旱 19、周麦 27、淮麦 33)在 W0、W1 处理下均取得较高的产量, 这部分品种节水性好, 在旱肥地有一定的抗旱节水能力和高产潜力, 可以作为我国黄淮海区旱肥地或灌溉条件不充分地区推广种植。II 组(洛麦 26、百农 207、存麦 5 号、郑麦 136)在 W1、W2 处理下均取得较高产量, 这部分品种有一定的节水性和丰产性, 适合在黄淮海区节水灌溉地区或水肥地推广种植。

以 I 组中的洛旱 22 为例进一步分析, W0 处理下, 两年洛旱 22 产量均为第一位, 分别为 6895.80

kg·hm⁻²、7643.40 kg·hm⁻²，分别较百农 207 (国家黄淮南片冬水组对照种)提高 6.64%、16.63%；W1 处理，两年洛旱 22 的产量分别为 7786.05 kg·hm⁻²，7819.35 kg·hm⁻²，分别较百农 207 减产 3.24%、提高 4.82%。由此可见，洛旱 22 属于节水抗旱性品种，适合在旱肥地大力推广。

Table 3. The yield differences of 10 varieties under different irrigation treatments

表 3. 10 个品种在不同灌水处理下的产量差异

品种 代号 Number	2017~2018 产量(kg/hm ²) 2017~2018 Yield (kg/hm ²)				2018~2019 产量(kg/hm ²) 2018~2019 Yield (kg/hm ²)			
	W0	W1	W2	均值 Mean value	W0	W1	W2	均值 Mean value
1	6115.05 bc	7477.50 ab	7132.80 bcd	6908.45 c	6874.50 bc	7738.95 b	8113.80 bc	7575.75 cd
2	6895.80 a	7786.05 ab	7152.15 bcd	7278.00 ab	7643.40 a	7819.35 ab	9150.90 a	8204.55 a
5	5877.75 c	8127.75 a	6989.70 cd	6998.40 bc	7290.60 ab	7652.85 b	8492.10 ab	7811.85 bc
10	6555.30 ab	7872.00 ab	7645.35 abc	7357.55 ab	7245.30 ab	8448.75 a	8412.90 b	8035.65 ab
均值 Mean value	6360.98	7815.83	7230.00	7135.60	7263.45	7914.98	8542.43	7906.95
3	5838.30 cd	7817.55 ab	7754.70 ab	7136.85 abc	7168.95 abc	7304.85 bcd	8052.00 bc	7508.60 cd
4	6466.35 ab	8046.60 a	7650.30 abc	7387.75 a	6553.35 c	7460.10 bc	8090.40 bc	7367.95 d
6	6609.15 ab	7558.65 ab	7761.60 ab	7309.80 ab	7091.25 abc	7145.25 bcd	7904.25 bc	7380.25 d
7	6578.10 ab	7574.70 ab	8048.55 a	7400.45 a	6641.85 bc	7492.95 bc	7990.80 bc	7375.20 d
均值 Mean value	6372.98	7749.38	7803.79	7308.71	6863.85	7350.79	8009.36	7408.00
8	5560.80 cd	7180.35b	6860.85 d	6534.00 d	5947.05 d	6695.10 d	7151.85 d	6598.00 e
9	5301.15 d	7534.50 ab	6818.85 d	6551.50 d	5407.35 d	6930.30 cd	7383.45 cd	6573.70 e
均值 Mean value	5430.98	7357.43	6839.85	6542.75	5677.20	6812.70	7267.65	6585.85
总均值 Grand mean	6179.78 c	7697.57 a	7381.49 b		6786.36 c	7468.85 b	8074.25 a	

注：不同小写字母表示品种间在 0.05 水平差异显著；不同大写字母表示处理间差异显著(P < 0.05)，下表同。

3.4. 灌水处理对不同小麦品种水分利用效率的影响

Table 4. The differences in water use efficiency of 10 varieties under different irrigation treatments

表 4. 10 个品种不同灌水处理下水分利用效率的差异

品种代号 Variety NO.	2017~2018 WUE				2018~2019 WUE			
	W0	W1	W2	均值 Mean value	W0	W1	W2	均值 Mean value
1	1.2198bcd	1.2646ab	0.9718bcd	1.1521bc	2.5210ab	2.1110a	1.5933bc	2.0751bc
2	1.3706a	1.3128ab	0.9760bcd	1.2198a	2.6456a	2.1224a	1.8062a	2.1914a
5	1.1158de	1.3178a	0.9600cd	1.1312c	2.6011b	2.0876a	1.7037ab	2.1308ab
10	1.2038bcd	1.2406abc	1.0576ab	1.1673abc	2.5011ab	2.0447ab	1.7960a	2.1139ab
均值 Mean value	1.2275	1.2840	0.9914	1.1676	2.5672	2.0914	1.7248	2.1278
3	1.1281cde	1.2868ab	1.0577ab	1.1575bc	2.4234abc	1.9081bc	1.5930bc	1.9748cd
4	1.2328bc	1.3094ab	1.0498abc	1.1973ab	2.3555bc	1.9467abc	1.6161bc	1.9728cd
6	1.2494b	1.2211abc	1.0670ab	1.1792abc	2.4137abc	1.8329cd	1.6065bc	1.9510d
7	1.2703ab	1.2462abc	1.1025a	1.2063ab	2.4764ab	1.8898bc	1.6456bc	2.0039cd
均值 Mean value	1.2202	1.2659	1.0693	1.1851	2.4173	1.8944	1.6153	1.9756
8	1.0339ef	1.1436c	0.9465d	1.0413d	2.2115c	1.6481e	1.5061c	1.7886e
9	0.9775f	1.1916bc	0.9424d	1.0372d	1.9850d	1.6867de	1.5690bc	1.7469e
均值 Mean value	1.0057	1.1676	0.9445	1.0393	2.0983	1.6674	1.5376	1.7677
总均值 Grand mean	1.1802b	1.2535a	1.0131c		2.4134a	1.9278b	1.6436c	

由表 4 可知, 2017~2018 年, 从水分利用效率总均值来看, 三个处理间差异显著, 表现为 W1 > W0 > W2, I 组、II 组、III 组在三个处理下的响应相同, 均表现为 W1 > W0 > W2。随着灌水次数的增加, 不同品种对水分的反应特性存在差异, 洛旱 22、郑麦 136 和存麦 5 号水分利用效率逐渐下降, 其余品种则表现为先大幅度增加后下降, 以 W2 处理最低。W0、W1 处理下, 水分利用效率的表现为 I 组 > II 组 > III 组; W2 处理下, 水分利用效率的表现为 II 组 > I 组 > III 组, II 组和 I 组无明显差异。2018~2019 年度, 从水分利用效率总均值来看, 随着灌水次数的增加, 水分利用效率呈下降趋势, 三个处理间差异显著。I 组、II 组、III 组在 W2、W1 和 W0 三个处理下的响应相同, 均表现为 W0 > W1 > W2。W0、W1、W2 处理下, 水分利用效率的表现为 I 组 > II 组 > III 组。综合两年的结果, W0、W1、W2 三个处理下, 品种的水分利用效率表现为 I 组 > II 组 > III 组。

从水分利用效率两年平均值来看, 随着灌水次数的增加水分利用效率逐渐降低, W0 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 22.20%、20.76%; W1 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 17.7%、11.02%; W2 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 9.33%、9.13%。综合 3 个处理表现水平来看, 洛旱 22、洛旱 19、周麦 27 和淮麦 33 这 4 个品种的节水性好。

3.5. 灌水处理对不同小麦品种产量构成因素的影响

由表 5 可知, 灌水处理对小麦产量构成因素存在一定影响, 从成产三因素总均值来看, 2017~2018 年度, 成穗数表现为 $W1 > W2 > W0$, $W1$ 和 $W2$ 差异不显著; 穗粒数表现为 $W2 > W1 > W0$, $W1$ 和 $W2$ 差异不显著; 千粒重表现为 $W0 > W2 > W1$, $W1$ 和 $W2$ 差异不显著。2018~2019 年, 亩穗数表现为 $W1 > W2 > W0$, $W1$ 和 $W2$ 差异显著; 穗粒数表现为 $W2 > W1 > W0$, $W0$ 和 $W1$ 差异不显著; 千粒重表现为 $W2 > W0 > W1$, $W1$ 和 $W2$ 差异不显著。综合两年的结果分析, 各处理间, 随着灌水次数的增加, 亩穗数有不同程度的增加, $W1$ 处理最高; 穗粒数逐渐增加; 千粒重表现为先减少后增加。各品种间, 穗粒数两年均表现为 I 组 $>$ II 组 $>$ III 组, 成穗数和千粒重两年结果表现不一致, 可能与选用品种自身的特性有关。两年的降雨量相差较大, 有待进一步的研究验证。

Table 5. The differences in three yield factors of 10 varieties under different irrigation treatments

表 5. 10 个品种不同灌水处理下的产量三因素差异

年度 Year	品种 代号 Variety No.	千粒重 1000-grain weight				成穗数 Number of ears				穗粒数 Number of grains per ear			
		W0	W1	W2	均值	W0	W1	W2	均值	W0	W1	W2	均值
2017 ~ 2018	1	45.98 d	42.26 bc	41.16 cd	43.13 f	553.95 ab	641.25 a	649.20 a	614.80 a	28.25 ab	24.69 cd	22.92 c	25.29d e
	2	51.29 abc	40.29 c	43.22 bcd	44.04 ef	544.95 ab	616.50 abc	639.00 ab	600.15 a	29.54 a	28.73 b	28.10 ab	28.79b
	5	48.58 bcd	47.30 a	42.69 bcd	46.19 bcde	527.25 abc	609.75 abc	615.45 abc	584.15 abc	27.29 ab	31.50 a	27.93 ab	28.91b
	10	51.54 abc	41.01 bc	40.86 d	51.02 a	484.95 cd	613.95 abc	591.00 abc	563.30 bc	29.13 ab	26.59 bc	26.72 b	27.48c
	均值 Mean value	49.35	42.72	41.98	44.68	527.78	620.36	623.66	590.60	28.55	27.88	26.42	27.62
	3	53.68 a	47.77 a	51.62 a	44.47 def	556.50 ab	589.50 abc	623.25 ab	589.75 ab	24.32 c	25.33 cd	27.47 b	25.71d
	4	52.43 abc	44.83 ab	43.67 bcd	44.93 cdef	508.2b c	579.45 bc	586.20 bc	557.95 c	29.04 ab	31.30 a	30.33 a	30.22a
	6	47.80 cd	46.65 a	45.91 b	46.79 bcd	561.45 a	560.25 c	562.50 c	561.40 bc	22.76 cd	26.86 bc	28.52 ab	26.05d
	7	53.44 ab	44.72 ab	46.48 b	46.98 bc	447.75 d	621.00 ab	631.20 ab	566.65 bc	26.70 b	25.96 cd	26.30 b	26.32c d
	均值 Mean value	51.84	45.99	46.92	48.25	518.48	587.55	600.79	568.94	25.71	27.36	28.16	27.07
8	50.32 abcd	40.79 bc	41.02 d	48.03 b	551.25 ab	629.25 ab	583.95 bc	588.15 abc	21.71 de	23.81 de	26.89 b	24.14e f	
9	54.61 a	44.20 abc	45.27 bc	48.21 b	569.25 a	631.20 ab	597.45 abc	599.30 a	19.91 e	22.19 e	27.60 b	23.23f	
均值 Mean value	52.47	42.50	43.15	46.04	560.25	630.23	590.70	593.73	20.81	23.00	27.25	23.69	
总均值 Grand mean	50.97 a	43.98 b	44.19 b		530.55 b	609.21 a	607.92 a		25.87 b	26.70 a	27.28 a		

Continued

2018 ~ 2019	1	43.30 bcd	41.80 bc	45.00 bc	43.37 cd	582.00 a	600.00 ab	561.00 cd	581.00 ab	33.90 a	34.20 ab	36.20 ab	34.77a b
	2	46.40 ab	43.40 ab	46.20 abc	45.33 bc	493.50 c	529.50 c	585.00 abc	536.00 cd	33.40 a	35.40 a	35.50 abc	34.77a b
	5	44.50 bcd	40.10 bc	44.50 c	43.03 cd	534.00 abc	573.00 bc	579.00 bc	562.00 bc	33.60 a	33.40 ab	37.50 ab	34.83a b
	10	42.00 cd	39.60 bc	43.70 c	41.77 de	505.50 bc	567.00 bc	547.50 cde	540.00 cd	34.10 a	34.00 ab	38.20 a	35.43a
	均值 Mean value	44.05	41.225	44.85	43.37 5	528.75	567.37 5	568.12 5	554.75	33.75	34.25	36.85	34.95
	3	49.40 a	46.30 a	49.80 a	48.50 a	550.50 ab	643.50 a	631.50 a	608.50 a	32.60 a	34.00 ab	36.10 ab	34.23a b
	4	42.50 bcd	41.00 bc	45.60 abc	43.03 cd	493.50 c	567.00 bc	516.00 de	525.50 11d	34.70 a	33.90 ab	35.00 abc	34.53a b
	6	45.40 abc	42.00 bc	45.00 bc	44.13 c	565.50 a	636.00 a	567.00 cd	589.50 ab	31.70 a	31.70 b	32.50 cd	31.97c
	7	46.40 ab	46.60 a	49.20 ab	47.40 ab	505.50 bc	561.00 bc	507.00 e	524.50 11d	31.60 a	33.30 ab	34.80 bc	33.23b c
	均值 Mean value	45.93	43.98	47.40	45.77	528.75	601.88	555.38	562.00	32.65	33.23	34.60	33.49
8	40.50 d	38.00 c	42.60 c	40.37 e	576.00 a	636.00 a	558.00 cde	590.00 ab	32.30 a	32.40 ab	32.80 cd	32.50c	
9	42.40 bcd	41.10 bc	46.40 abc	43.30 cd	577.50 a	610.50 ab	619.50 ab	602.50 a	28.00 b	31.90 b	31.10 d	30.33d	
均值 Mean value	41.45	39.55	44.50	41.83	576.75	623.25	588.75	596.25	30.15	32.15	31.95	31.42	
总均值 Grand mean	44.28 b	41.99 c	45.80 a		538.35 c	592.35 a	567.15 b		32.59 b	33.42 b	34.97 a		

3.6. 灌水处理对不同小麦旗叶 SOD 活性的影响

由图 2 可知,不同品种和处理的小麦旗叶 SOD 活性,拔节期逐渐增加,到扬花期后逐渐下降。各处理间,如图 2-a 所示,随着灌水次数的增加,SOD 活性表现整体下降趋势,表现为 W0 > W1 > W2。各品种间,如图 2-b 所示,拔节期 SOD 活性表现为 II 组 > I 组 > III 组;开花期略表现为 I 组 > II 组 > III 组;灌浆期无明显差异。

不同品种各处理对旗叶 SOD 活性的响应整体趋势一致,如图 2-c、图 2-d、图 2-e 所示,拔节期、扬花期、灌浆期三个时期 SOD 活性均表现为 W0 > W1 > W2。II 组、I 组、III 组品种在三个处理下的表现为,拔节期最低,扬花期最高,后降低。SOD 活性下降的百分比表现为 I 组 > II 组 > III 组。同一品种不同处理间 SOD 活性下降的百分比表现为 W2 最大,W1 次之,W0 最小。说明抗氧化酶活性随灌水次数的增加而降低,下降程度因品种而异。

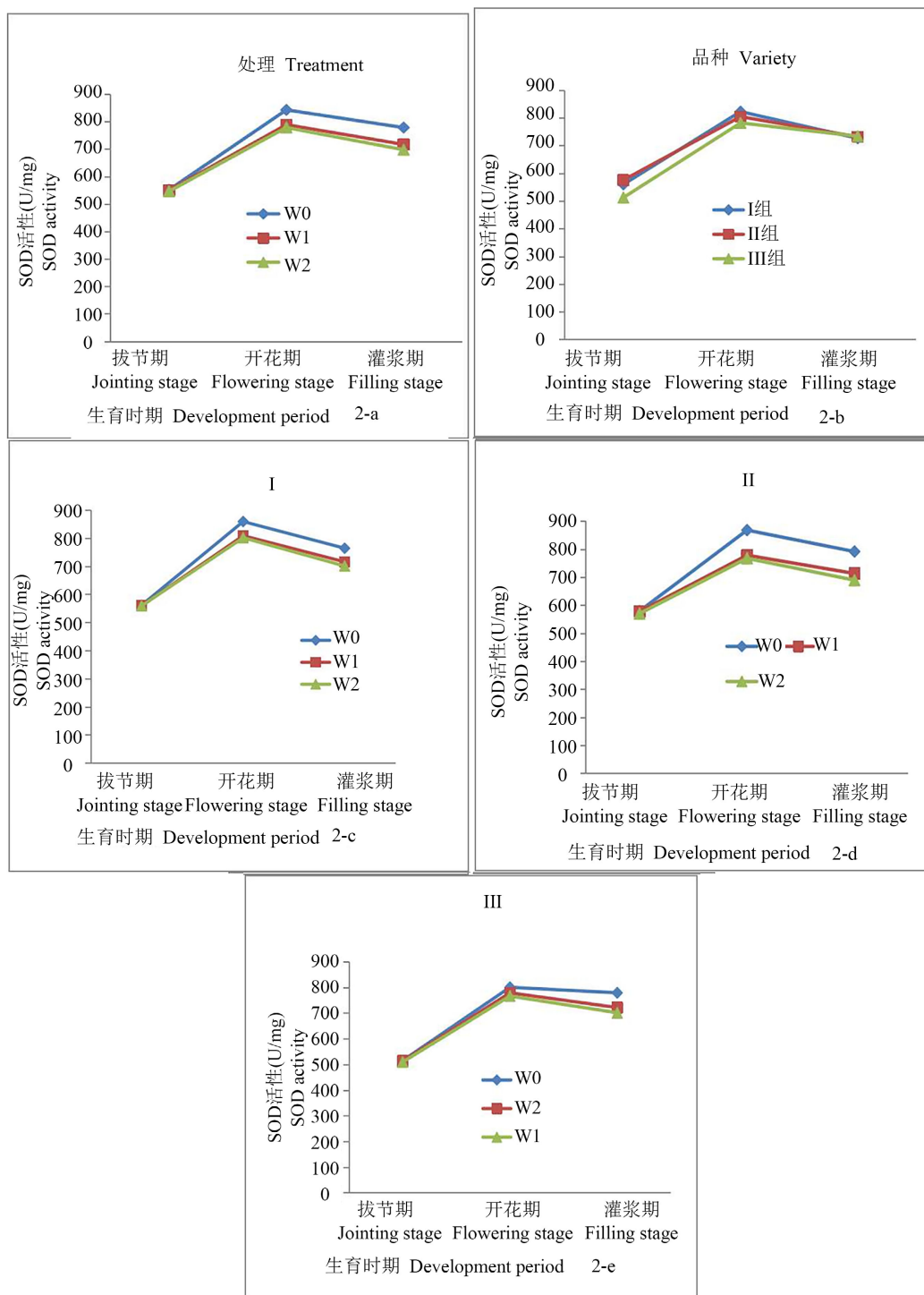


Figure 2. Effect of irrigation treatment on SOD activity in different flag leaves of wheat
图 2. 灌水处理对不同小麦旗叶 SOD 活性的影响

3.7. 灌水处理对不同小麦旗叶 CAT 活性的影响

由图 3 可知, 不同品种和处理的小麦旗叶 CAT 活性表现为, 拔节期最低, 扬花期最高, 后逐渐下降。各处理间, 如图 3-a 所示, 随着灌水次数的增加, CAT 活性表现整体下降趋势, W0 较其他处理一直保

持较高的水平, W1 次之, W2 最低。CAT 活性下降的百分比表现为 $W2 > W1 > W0$ 。各品种间, 如图 3-b 所示, I 组一直保持较高的水平、拔节期、扬花期和灌浆期 CAT 活性均表现为 I 组 $>$ II 组 $>$ III 组, CAT 活性下降的百分比表现为 III 组明显高于 I 组和 II 组。

不同品种各处理对旗叶 CAT 活性的响应整体趋势基本一致, 如图 3-c、图 3-d、图 3-e 所示, 拔节期、扬花期、灌浆期三个时期 CAT 活性均表现为 $W0 > W1 > W2$ 。说明小麦 CAT 活性随着干旱程度的增加而增加, 增加程度因品种而异。

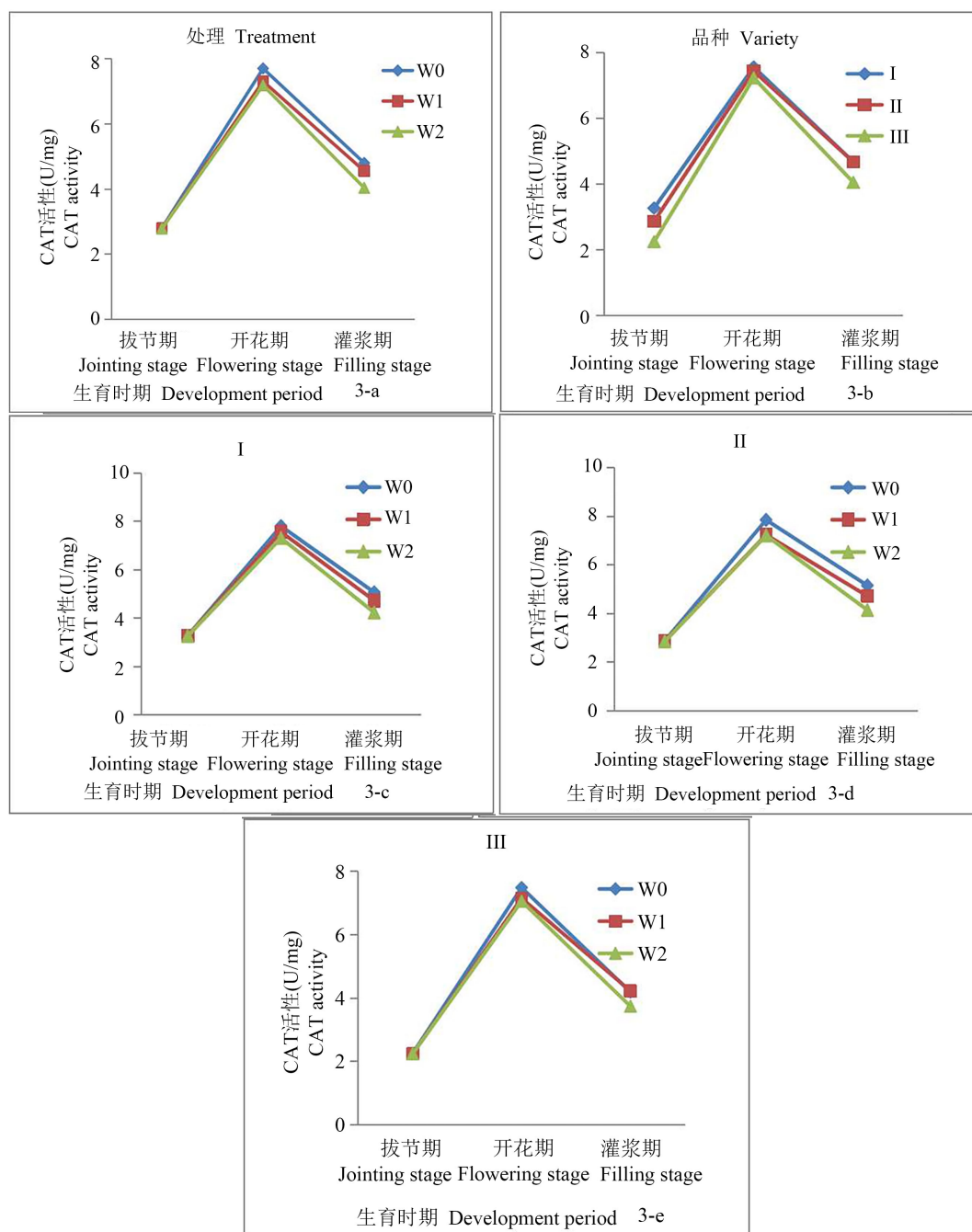


Figure 3. Effects of irrigation treatment on CAT activity in different flag leaves of wheat
图 3. 不同小麦旗叶 CAT 活性的影响

4. 讨论

有研究表明,水分利用效率受很多因素影响,包括基因型、栽培模式、土壤含水量等。基因型是决定品种节水特性的重要因素[20],不同冬小麦品种因其特征特性的不同,产量和水分利用效率存在很大差异,品种间产量相差 44.86%,水分利用效率相差 42.18% [21] [22] [23]。不同品种随灌水次数的增加,产量和水分利用效率变化趋势有显著不同,在一定灌水量范围内,产量和水分利用效率有一个最佳值[24]。也有研究表明,随着灌水量的不断增加,水分利用效率表现为先增加后下降[25]。本研究采用 10 个品种,依据其籽粒产量和水分利用效率 2 个因素,用聚类分析的方法将供试品种分为高水分利用效率组(I 组)、中水分利用效率组(II 组)和低水分利用效率组(III 组)。随着灌水次数的增加,参试品种的产量平均值均有不同程度的增加,两年平均产量在 W0 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 22.53%、19.12%; W1 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 11.21%、6.62%,说明在有限的水资源条件下水分利用效率高的品种产量亦较高。水分利用效率随着灌水次数的增加逐渐降低, W0 条件下水分利用效率, I 组和 II 组分别比 III 组高 22.20%、20.76%; W1 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 17.7%、11.02%; W2 条件下, I 组和 II 组分别比 III 组高 9.33%、9.13%。

有研究认为,随灌水次数的增加,千粒重逐渐下降,成穗数逐渐增加[26],赵广才等[27]研究认为,随灌水次数的增加,成穗数、穗粒数和千粒重更加协调一致。通过分析不同水分处理下品种产量构成因素的变化趋势,发现灌水处理对 10 个小麦品种产量构成因素存在一定影响,从成产三因素总均值来看,随着灌水次数的增加,穗粒数逐渐增加;亩穗数有不同程度的增加, W1 处理最高;千粒重表现为先减少后增加。这是因为拔节期和开花期是小麦生长发育的关键时期,灌溉有助于调控群体结构,促进籽粒灌浆、从而提高成穗数、增加穗粒数,获得更高的产量。各品种间,穗粒数两年均表现为 I 组 > II 组 > III 组,成穗数和千粒重两年结果表现不一致。可能与选用品质自身的特性有关,两年的降雨量相差较大,还有待进一步的研究验证。

研究表明,抗氧化酶活性随干旱胁迫程度的增加而增加,增加程度因品种而异[18]。本试验中,不同品种和处理的小麦旗叶 SOD 和 CAT 活性表现一致,拔节期最低,扬花期最高,后逐渐下降。各处理间,随着灌水次数的增加, SOD 和 CAT 活性表现整体下降趋势, W0 较其他处理一直保持较高的水平, W1 次之, W2 最低。各品种间,拔节期、扬花期和灌浆期 CAT 活性 I 组一直保持较高的水平、均表现为 I 组 > II 组 > III 组; SOD 活性,三个测定时期表现不尽相同,拔节期 SOD 活性表现为 II 组 > I 组 > III 组,开花期略表现为 I 组 > II 组 > III 组,灌浆期无明显差异。

本研究在河南洛阳地区进行,两年降雨量差别较大,难免仍有一定的局限性。为进一步准确把握其栽培技术和水分运筹,有必要多年多点进行鉴定、人工控水细化水分条件,多角度、深层次分析水分处理对小麦品种产量、农艺性状、生理指标和品质的调控机制,更加准确全面的研究品种特征特性,为品种的合理布局、加速小麦新品种的示范推广提供科学依据。

5. 结论

洛早 22、洛早 19、周麦 27 和淮麦 33 属于节水丰产性好的小麦品种,在不同水分处理下均表现出较高的产量和水分利用效率,这类品种可以在黄淮麦区雨养或节水灌溉区推广种植,降低生产成本,提高经济效益。在进行节水抗旱小麦的选育工作时,可将洛早 22 作为亲本加以利用。洛麦 26、百农 207、存麦 5 号、郑麦 136 在 W1、W2 处理下均取得较高产量,这部分品种有一定的节水性 and 丰产性,适合在黄淮麦区节水灌溉地区或高水肥地推广种植。

基金项目

国家现代农业(小麦)产业技术体系(CARS-3-75);河南省农业良种联合攻关项目(2022010101);河南

省中央引导地方科技发展资金项目(Z20221341012); 河洛青年人才托举工程项目(2022HLTJ09); 河南省农业科学院“四优四化”科技支撑行动计划(20220102006); 洛阳市乡村振兴公益专项(2202024A)。

参考文献

- [1] 姜文来. 中国 21 世纪水资源安全对策研究[J]. 水科学进展, 2001, 12(1): 66-71.
- [2] 康绍忠. 水安全与粮食安全[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 880-885.
- [3] 孟雨, 田文仲, 温鹏飞, 等. 基于不同发育阶段协同的小麦品种抗旱性综合评判[J]. 作物学报, 2023, 49(2): 570-582.
- [4] 曾占奎, 王征宏, 王黎明, 等. 北部冬麦区小麦新品种(系)的节水生理特性与综合评判[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(5): 137-143.
- [5] 赵虹, 王西成, 曹廷杰, 等. 黄淮南片麦区小麦品种利用现状和发展趋势[J]. 河南农业科学, 2011, 40(8): 44-49.
- [6] 武雪萍, 梅旭荣, 蔡典雄, 等. 节水农业关键技术发展趋势及国内外差异分析[J]. 中国农业资源与区划, 2005, 26(4): 28-32.
- [7] 李鹏, 崔正勇, 高国强, 等. 10 个山东省小麦品种节水丰产性鉴定与分析[J]. 山东农业科学, 2018, 50(3): 18-21.
- [8] 蔡岳. 小麦节水高产育种方法的探讨[J]. 南方农业, 2018, 12(24): 180-181.
- [9] 吴复学, 孙慧敏, 李海彦, 等. 测墒补灌对小麦水分利用特性和籽粒产量的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(10): 23-26.
- [10] 许骥坤, 石玉, 赵俊晔, 等. 测墒补灌对小麦水分利用特征和产量的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 77-281, 329.
- [11] 王志敏, 王璞, 李绪厚, 等. 冬小麦节水省肥高产简化栽培理论与技术[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(5): 38-44.
- [12] 李兴茂, 倪胜利. 不同水分条件下广适性小麦品种中麦 175 的农艺和生理特性解析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(21): 4374-4380.
- [13] 张成军, 陈国祥, 黄春娟, 等. 干旱对高产小麦宁麦 9 号旗叶光合特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(3): 24-27.
- [14] 袁蕊, 李萍, 胡晓雪, 等. 干旱胁迫对小麦生理特性及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2016, 44(10): 1446-1449, 1466.
- [15] 张伟杨, 钱希盼, 李银银, 等. 土壤干旱对小麦生理性状和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(4): 491-500.
- [16] 张军, 鲁敏, 孙树贵, 等. 7 个冬小麦品种灌浆期抗旱性鉴定指标的综合评价[J]. 植物科学学报, 2014, 32(2): 148-157.
- [17] Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., et al. (2009) Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S. and Alberola, C., Eds., *Sustainable Agriculture*, Springer, Dordrecht, 153-188. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12
- [18] 田文仲, 冯伟森, 李俊红, 等. 不同时期轻度干旱对小麦产量性状及旗叶抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(22): 99-104.
- [19] 吴金芝, 黄明, 李友军, 等. 耕作方式和氮肥用量对旱地小麦产量、水分利用效率和种植效益的影响[J]. 水土保持学报, 2021, 35(5): 264-271.
- [20] 肖永贵, 陈新民, 李思敏, 等. 水旱兼用型小麦品种中麦 175 节水特性分析[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(2): 212-219.
- [21] 张永丽, 于振文. 灌水量对不同小麦品种籽粒品质、产量及土壤硝态氮含量的影响[J]. 水土保持学报, 2007, 21(5): 155-158, 174.
- [22] 董宝娣, 张正斌, 刘孟雨, 等. 小麦不同品种的水分利用特性及对灌溉制度的响应[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 27-33.
- [23] 王德梅, 于振文, 许振柱. 高产条件下不同小麦品种耗水特性和水分利用效率的差异[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6552-6560.
- [24] 董宝娣, 刘孟雨, 张正斌, 等. 不同灌水对冬小麦农艺性状与水分利用效率的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(1): 140-143.
- [25] 杨程, 张德奇, 时艳华, 等. 不同灌水处理对不同抗旱型小麦品种生长发育和产量的影响[J]. 河南农业科学,

2019, 48(5): 10-15.

[26] 傅晓艺, 贾丹, 何明琦, 等. 灌水和花后去叶对小麦千粒质量的影响[J]. 河北农业科学, 2014, 18(2): 18-21.

[27] 赵广才, 常旭虹, 刘利华, 等. 不同灌水处理对强筋小麦籽粒产量和蛋白质组分含量的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(11): 1828-1833.