

李妍,张同新,刘冉,等. 灌水对不同糯性小麦旗叶抗氧化酶活性的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(9):76–82.  
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2022.09.013

# 灌水对不同糯性小麦旗叶抗氧化酶活性的影响

李妍<sup>1,2</sup>, 张同新<sup>1</sup>, 刘冉<sup>1</sup>, 叶欣月<sup>1</sup>, 刘娟<sup>1,2</sup>, 戴忠民<sup>1,2</sup>

(1. 德州学院生命科学学院, 山东德州 253023; 2. 德州学院生物技术与生物资源利用山东省高校重点实验室, 山东德州 253023)

**摘要:**为研究灌水对不同糯质小麦活性氧代谢的影响,对糯质小麦节水栽培提供参考,以石麦 19(SM19)和由石麦 19 选育的部分糯质小麦 SM19-P 和全糯质小麦 SM19-N 为材料,设置全生育期 3 种灌水条件 W0(不灌水)、W1(灌水 1 次:拔节水)和 W2(灌水 3 次:越冬水、拔节水、开花水),对 3 种灌水条件下的小麦分别在花后 0、7、14、21 d 取旗叶,测超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶的活性及丙二醛含量,花后 35 d 取籽粒测鲜质量和干质量并计数穗粒数。结果表明,花后 14、21 d,SM19 的 POD 活性在 W2 处理下最大,穗产量也表现为 W2 处理最大,SM19 虽然为抗旱型小麦品种,但充足的水分更有利于其提高产量。SM19-P 是由 SM19 为亲本培育出的半糯质小麦品系,表现为 W0 处理的穗产量最大,该条件下 SOD 活性总体较高,MDA 含量在花后 14、21 d 最低。SM19-N 在花后 14、21 d 表现为 W2 处理的 SOD、POD、CAT 活性较高,MDA 含量最低,穗产量最大。通过分析可知,3 种小麦均具有一定的耐旱能力,SM19 在水分较充足的条件下生长得较好,POD 活性在其 W2 处理下的良好生长起到了重要的作用;SM19-P 在节水的 W0 条件下 SOD 活性较高,生长较好;SM19-N 在生长后期,其 SOD、POD、CAT 的活性均在 W2 处理下较高,穗产量最高。

**关键词:**灌水条件;糯小麦;旗叶;抗氧化酶;丙二醛

**中图分类号:**S512.107;S311 **文献标志码:**A **文章编号:**1002–1302(2022)09–0076–07

黄淮冬麦区是我国小麦主要产区,全区小麦产量约为全国小麦总产量的 50%,该区冬小麦生长期间降水量分布不均,时常会发生旱害<sup>[1–2]</sup>。培育筛选节水小麦品种,研究节水栽培技术措施,对于促

进小麦高产增收势在必行<sup>[3]</sup>。目前,关于不同灌水处理对普通小麦生长发育的影响已经进行了大量研究,一般认为普通小麦全生育期灌水 3 次(越冬水、拔节水和开花水)最有利于生长并获得最高产量,节水灌溉模式以灌水 2 次(越冬水和拔节水)最为普遍,不同时期的灌水以拔节水对产量影响最大<sup>[4–7]</sup>。除了灌水模式对小麦生理特性和产量及水分利用情况造成影响外,在相同灌水条件下,不同品种间产量等方面也有很大不同<sup>[8]</sup>。Waxy 蛋白是小麦籽粒直链淀粉合成过程中重要的酶蛋白,由 Wx 基因编码,在小麦中存在 3 个 Wx 基因,缺失 1 个或

收稿日期:2021–07–29

基金项目:国家自然科学基金(编号:31271667);山东省自然科学基金(编号:ZR2019MC032)。

作者简介:李妍(1975—),女,山东德州人,硕士,副教授,主要从事植物生理与分子生物学等研究。E-mail:lylx0524@126.com。

通信作者:戴忠民,博士,教授,主要从事小麦优质高产栽培生理研究。E-mail:dzm66@126.com。

[35] Sun X, Che Y Y, Xiao Y. Increased N fertilizer input enhances CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions from soil amended with low amount of milk vetch residues[J]. Paddy and Water Environment, 2019, 17(4): 597–604.

[36] Kandel T P, Gowda P H, Northup B K, et al. Winter wheat yield and nitrous oxide emissions in response to cowpea-based green manure and nitrogen fertilization[J]. Experimental Agriculture, 2020, 56(2): 239–254.

[37] 李虹桥, 李梦颖, 杨云飞, 等. 豆科绿肥覆盖还田对春玉米产量和氮素吸收利用的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(3): 243–247.

[38] 王玥, 杜广祖, 黄钰, 等. 冬种绿肥还田对春玉米主要农艺性

状及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2021, 34(4): 784–790.

[39] 杨璐, 曹卫东, 白金顺, 等. 翻压二月兰对玉米干物质积累和养分吸收及土壤养分的影响[J]. 华北农学报, 2014, 29(1): 183–189.

[40] 谭杰辉, 付双军, 南丽丽, 等. 轮作绿肥对黄土高原半干旱区土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 草原与草坪, 2020, 40(5): 116–123.

[41] 洪辛茜, 黄勇, 孙涛. 我国西南喀斯特地区 2001–2018 年植被净初级生产力时空演变[J]. 生态学报, 2021, 41(24): 9836–9846.

[42] 薄晶晶. 长武怀豆和黑麦草绿肥腐解过程及其对农田土壤温室气体排放的影响[D]. 西安: 西北大学, 2018: 23–31.

者 2 个  $Wx$  基因会造成小麦直链淀粉含量降低,表现为部分糯性品质,3 个  $Wx$  基因全部缺失会导致直链淀粉含量为 0,成为全糯质小麦<sup>[9-10]</sup>。糯小麦的主要储存物质包括支链淀粉和小麦面筋蛋白,在淀粉糊化特性等方面与普通小麦不同,富含锌、硒等有益微量元素,加工特性和营养品质好,是一种新食品开发的优质原粮,除了食品方面,糯小麦在医药、造纸、纺织等方面也有很大的应用价值<sup>[11-12]</sup>。近年来,国内外对于糯小麦育种、应用等进行了大量的研究<sup>[13-15]</sup>,但适合黄淮冬麦区种植的糯小麦品种培育仍在探索过程中,本试验以石麦 19 和由其为亲本培育的半糯质小麦及全糯质小麦为材料,研究不同灌水条件下小麦旗叶抗氧化酶活性的动态变化,旨在为加强黄淮冬麦区糯小麦的选育和开发利用提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

本研究以石家庄市农林科学研究院培育的节水高产、水分利用效率高的小麦品种石麦 19 (SM19)及由其选育的部分糯质品系石麦 19 - 半 (SM19 - P)和全糯品系石麦 19 - 全 (SM19 - N)为

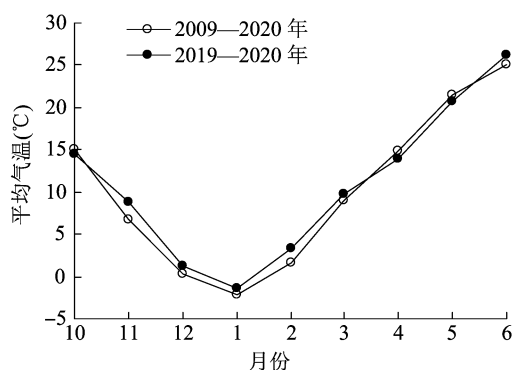


图1 小麦生长期间的平均气温和降水量变化

### 1.4 数据分析

用 Microsoft Excel 2010 和 Origin 7.5 进行数据计算和作图,用 DPS (Data Processing System) 7.05 进行数据差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同灌水处理对小麦 SOD 活性的影响

从图 2 可以看出,开花当天,SM19 旗叶的 SOD 活性随灌水次数增加呈现下降趋势;花后 7、14 d, SM19 灌水处理 (W1、W2 处理) 的 SOD 活性均比 W0 处理高, W1 处理的 SOD 活性最高, 分别比 W0

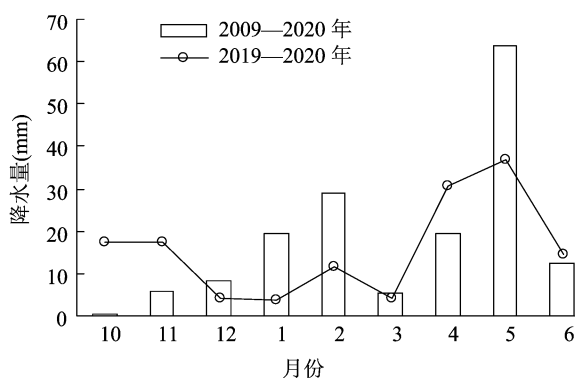
材料。

### 1.2 试验设计

试验于 2019—2020 年在山东省德州市科技园试验农场进行,土壤质地为壤土,前茬作物为玉米。试验设置 3 种灌溉栽培条件:常规灌溉模式 (W2), 根据当地水浇地的常规灌溉方式,全生育期分别灌溉越冬水、拔节水和开花水;节水灌溉 (W1),全生育期灌溉拔节水,每次灌水量为  $750 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ;旱作栽培 (W0),小麦生长期无灌溉。试验田小区面积  $3 \text{ m} \times 4 \text{ m} = 12 \text{ m}^2$ ,随机区组设计排列,重复 3 次,其他田间种植管理措施按常规进行,小麦生长期间的平均气温和降水量变化如图 1 所示。

### 1.3 生理指标测定

对同一天开花的小麦植株进行挂牌标记,分别于花后 0、7、14、21 d 在各小区内选取代表性植株旗叶进行取样,用于相关酶活性等生理指标测定。超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定采用氮蓝四唑法<sup>[16]</sup>,过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定采用紫外分光光度法<sup>[17]</sup>,过氧化物酶 (POD) 活性的测定采用愈创木酚显色法<sup>[18]</sup>,丙二醛 (MDA) 含量的测定采用硫代巴比妥酸法<sup>[17]</sup>。花后 35 d 取籽粒,测其鲜质量、干质量,计数穗粒数。



处理显著增加 99.39%、4.81% ( $P < 0.05$ );花后 21 d, SM19 的 SOD 活性随灌水次数的增加先上升后下降,但变化不显著。SM19 - P 旗叶的 SOD 活性在花后 0、7 d 随灌水次数的不同变化不显著;花后 14 d, W0 处理的活性最高, W1 和 W2 处理较 W0 处理分别显著下降 3.20% 和 2.23%;花后 21 d, SM19 - P 旗叶的 SOD 活性随灌水次数增加而先上升后下降, W1 处理较 W0 处理显著上升 2.96%, W2 处理较 W0 处理显著下降 4.77%。SM19 - N 的 SOD 活性在花后 0、7 d 均随灌水次数的增加而下降, W2 处理较 W0 处理分别下降 32.53% 和 66.27%;花

后 14 d, SM19 - N 的 SOD 活性在灌水条件下 (W1、W2 处理) 均比旱作栽培条件下 (W0 处理) 高, W1、W2 处理分别较 W0 处理显著上升 2.10% 和 2.55%; 花后 21 d, SM19 - N 的 SOD 活性随灌水次数增加而上升, W2 处理较 W0 处理显著上升 4.33%。

从时间梯度来看, 在 3 种不同灌水条件下, 3 种

小麦旗叶中的 SOD 活性随开花时间的延长均呈现先下降后上升的趋势, 花后 7 d 的 SOD 活性最低。3 种灌水条件下, SM19 小麦花后 7 d 比花后 0 d 分别降低 80.41%、53.77%、64.44%, SM19 - P 小麦分别降低 81.43%、75.77% 和 73.14%, SM19 - N 小麦分别降低 72.75%、74.45% 和 86.38%。

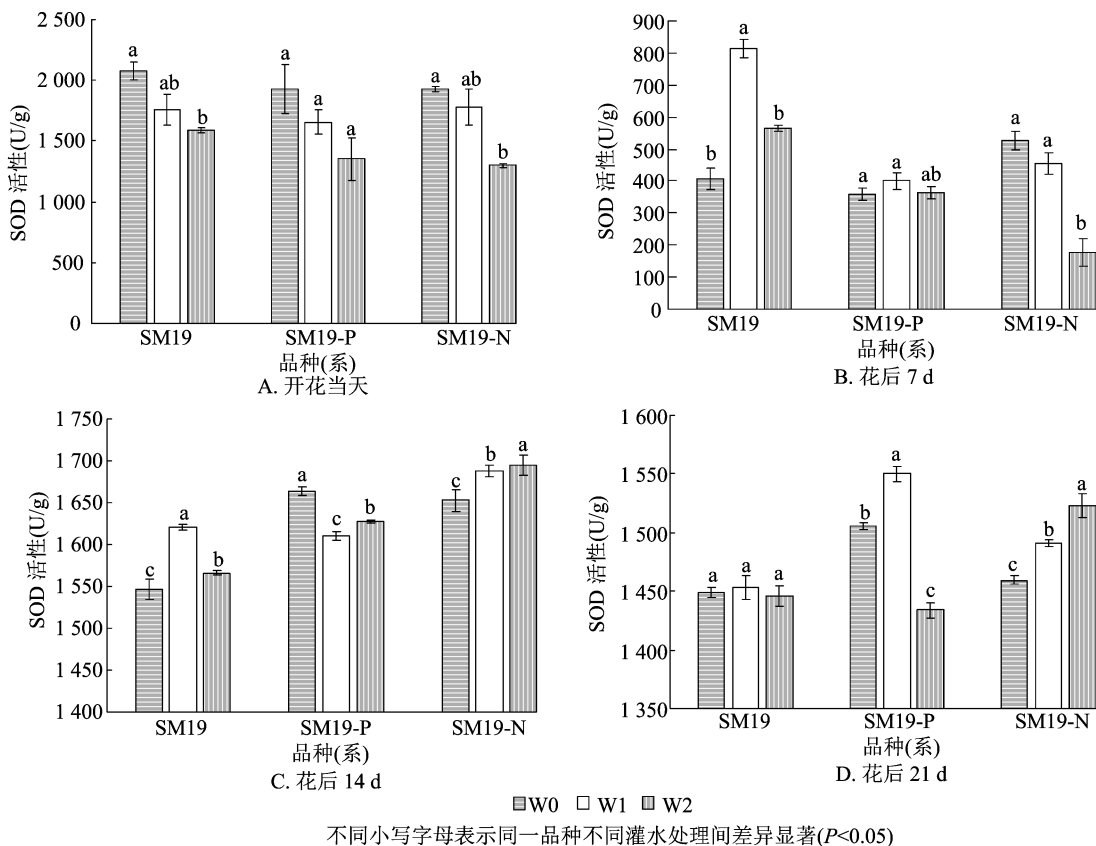


图2 不同灌水处理对小麦 SOD 活性的影响

## 2.2 不同灌水处理对小麦 POD 活性的影响

从图 3 可以看出, 花后 14 d, SM19 的 POD 活性随灌水次数的变化而显著变化; 花后 7 d, SM19 的 POD 活性随着灌水次数的增加呈下降趋势, W1 和 W2 处理较 W0 处理分别显著降低 12.86% 和 19.24%。花后 21 d, POD 活性则随灌水次数增加而上升, W1 和 W2 处理较 W0 处理分别增加 2.58% 和 20.80%。SM19 - P 的 POD 活性在花后 7 d 随灌水次数增加变化不显著; 花后 14、21 d, POD 活性随灌水次数增加而增加, 花后 14 d, W1 和 W2 处理较 W0 处理分别显著增加 18.22% 和 47.27%; 花后 21 d 分别显著增加 5.25% 和 45.86%。SM19 - N 旗叶 POD 活性在花后 0、7、21 d 均随灌水次数增加而下降, W2 处理较 W0 处理分别下降 24.79%、35.78%、3.86%; 花后 14 d, POD 活性随灌水次数

的增加先下降后上升, 与 W0 处理相比, W1 处理显著下降 6.93%, W2 处理显著增加 9.45%。

从时间梯度来看, 在 3 种灌水条件下, 3 种小麦旗叶 POD 活性随开花时间的延长均呈现先下降后上升的趋势, POD 活性均在花后 7 d 达到最低值。花后 7 d 的 3 种灌水条件下, SM19 小麦的 POD 活性比开花当天分别降低 57.00%、64.91%、48.67%, SM19 - P 小麦则分别降低 34.05%、57.59%、47.32%, SM19 - N 小麦分别降低 46.22%、49.61%、54.07%。

## 2.3 不同灌水处理对小麦 CAT 活性的影响

从图 4 可以看出, SM19 的旗叶 CAT 活性在花后 0、7、21 d 随灌水次数的增加而先上升后下降, W1 处理最高, 分别比 W0 处理增加 88.11%、3.90%、50.92%; 花后 14 d, CAT 活性随灌水次数的

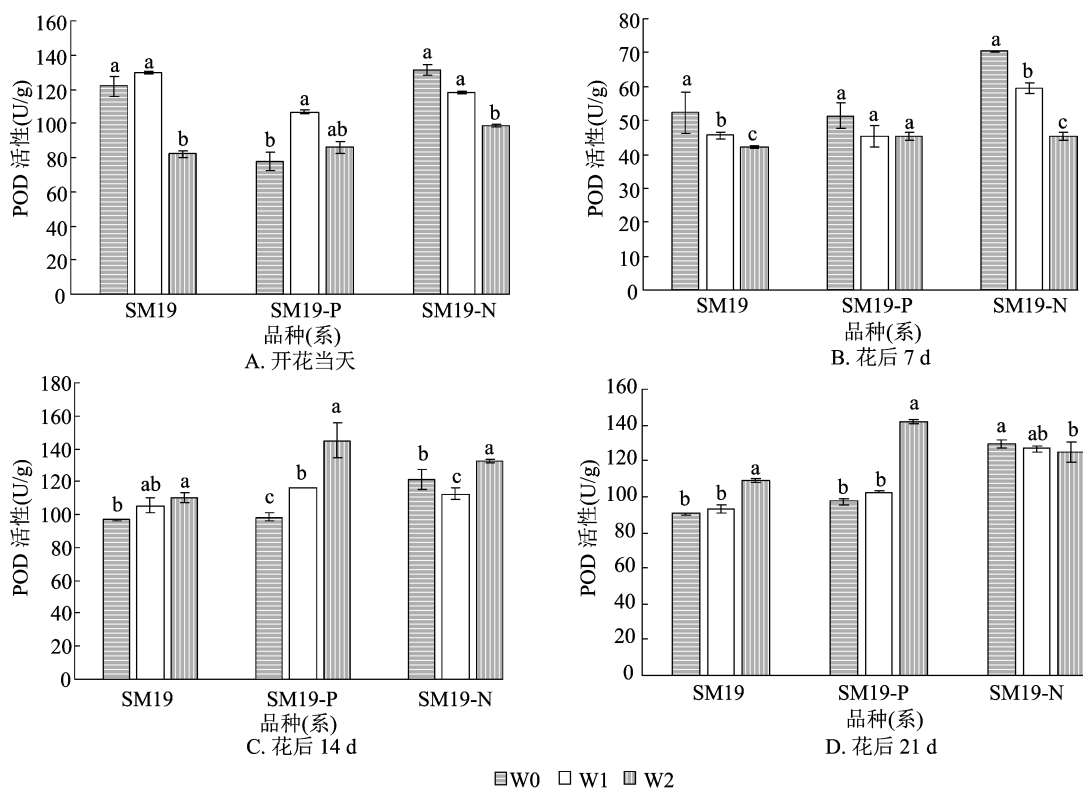


图3 不同灌水处理对小麦 POD 活性的影响

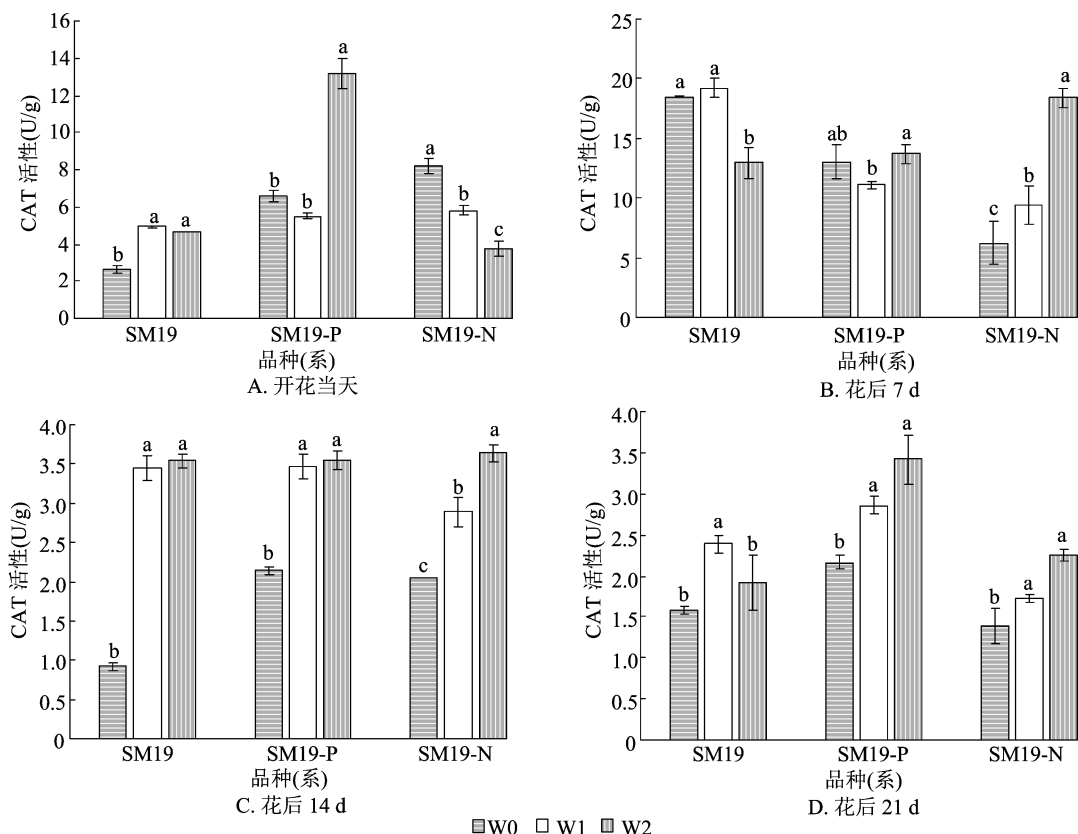


图4 不同灌水处理对小麦 CAT 活性的影响

增加而上升,W1 和 W2 处理较 W0 处理分别显著上升 275.57% 和 286.26%。SM19-P 的旗叶 CAT 活

性在花后 7 d 随灌水次数增加先下降后上升;花后 14、21 d,CAT 活性随灌水次数增加而上升,W2 处理

较 W0 处理分别显著上升 65.59%、57.68%。SM19-N 的旗叶 CAT 活性在开花当天随灌水次数的增加而下降, W1 和 W2 处理较 W0 处理分别显著下降 29.02%、54.20%; 花后 7、14、21 d, 旗叶 CAT 活性则随灌水次数的增加而上升, W2 处理较 W0 处理分别显著上升 194.22%、76.99%、61.99%。

从时间梯度来看, 在 3 种灌水条件下, 3 种小麦旗叶的 CAT 活性均随时间推移呈先上升后下降的趋势, 除 SM19-N 的 W0 处理在开花当天最高外, 其他灌水处理均在花后 7 d 达到最高。花后 7 d, W0、W1、W2 处理的 SM19 旗叶 CAT 活性分别比开花当天增加 604.76%、289.27%、179.87%, SM19-P 旗叶的 CAT 活性分别增加 98.93%、102.02%、3.84%。花后 7 d, W2 处理的 SM19-N 旗叶 CAT 活性比开花当天增加 194.22%。花后 21 d, W0、W1、W2 处理的 SM19 旗叶 CAT 活性分别比开花当天下降 39.70%、51.62%、58.55%。花后 21 d, W0、W1、W2 处理的 SM19-P 旗叶 CAT 活性分别较开花当天下降 66.98%、47.98%、74.09%。花后 21 d, W0、W1、W2 处理的 SM19-N 旗叶 CAT 活性分别较开花当天下降 83.04%、70.37%、40.00%。

## 2.4 不同灌水处理对小麦 MDA 含量的影响

从图 5 可以看出, SM19 的 MDA 含量在花后 0、7、21 d 随灌水次数增加而变化不显著。花后 14 d, SM19 的旗叶 MDA 含量随灌水次数的增加而先下降后上升, W1 处理的 MDA 含量最低, 比 W0 处理显著下降 80.47%。花后 0、7、14 d, SM19-P 的旗叶 MDA 含量随灌水次数增加而下降, W2 处理的 MDA 含量最低, 分别比 W0 处理下降 25.95%、64.80%、44.04%; 花后 21 d, 旗叶的 MDA 含量随灌水次数的增加而先下降后上升, W1 处理的旗叶 MDA 含量最低, 比 W0 处理显著下降了 20.04%。SM19-N 的旗叶 MDA 含量在开花当天随灌水次数的增加没有显著变化; 花后 7 d, MDA 含量随灌水次数的增加呈显著下降趋势, W1 和 W2 处理分别比 W0 处理显著下降 51.85%、72.38%; 花后 14、21 d, 旗叶的 MDA 含量随灌水次数的增加而下降, W1 和 W2 处理分别比 W0 处理显著下降 18.02%、18.60% 和 16.58%、20.04%。

从时间梯度来看, SM19 和 SM19-P 旗叶的 MDA 含量随开花时间的延长均呈现先下降后上升的趋势。SM19 旗叶的 MDA 含量在 W0 和 W1 处理

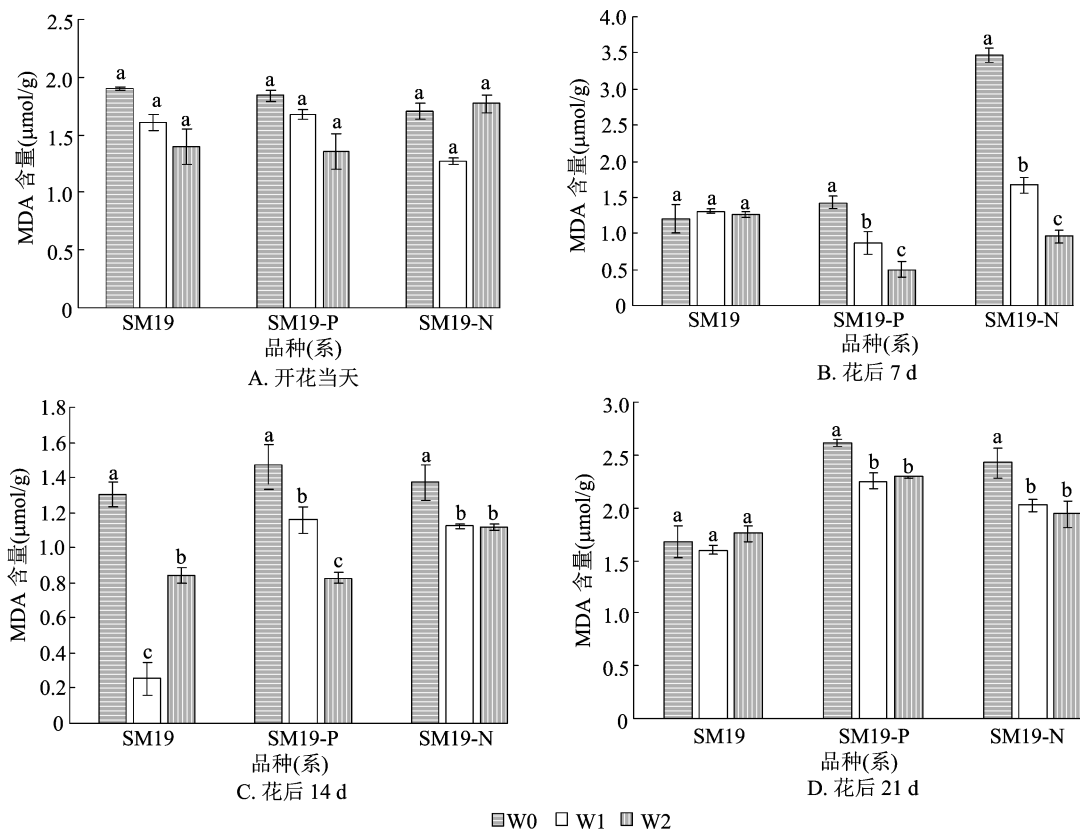


图5 不同灌水处理对小麦 MDA 含量的影响

下均是开花当天最高;W2 处理下,在花后 21 d 含量最高,比开花当天升高 25.50%。SM19 - P 的 MDA 含量在花后 7 d 最低,3 个灌水处理分别比开花当天降低 22.42%、48.48%、63.12%;花后 21 d 达到最大值,分别比开花当天升高 42.38%、34.13%、68.33%。W0 处理下,SM19 - N 的旗叶 MDA 含量在花后 7 d 最高;W1 和 W2 处理下,花后 21 d 的 MDA 含量最高,分别比开花当天升高 58.92%、9.61%。

2.5 不同灌水处理对小麦生长发育的影响

在不同的灌水条件下,SM19 的穗粒鲜质量在

W1 处理时最大,比 W0 处理显著增加 17.18%;W2 处理的穗粒干质量最大,比 W0 处理显著增加 6.05%,总体表现为 W2 处理的穗产量最大。SM19 - P 的穗粒鲜质量、穗粒干质量和穗粒数均在 W0 处理时最大,所以 W0 处理的穗产量最大。SM19 - N 的穗粒鲜质量和干质量在 W2 处理时最大,所以 W2 处理的穗产量最大,分别比 W0 处理增加 2.33% 和 8.44%。SM19、SM19 - P、SM19 - N 均是 W1 处理的籽粒含水量最大(表 1)。

表 1 不同灌水处理对小麦生长发育的影响

品种(系)	灌溉模式	穗粒鲜质量 (g)	穗粒干质量 (g)	含水量 (%)	穗粒数 (粒)
SM19	W0	2.188 ± 0.090b	1.719 ± 0.027b	21.44 ± 9.034b	33.5 ± 3.536a
	W1	2.564 ± 0.062a	1.785 ± 0.076b	30.35 ± 4.497a	39.5 ± 0.707a
	W2	2.228 ± 0.030b	1.823 ± 0.011a	21.21 ± 2.437c	37.5 ± 3.536a
SM19 - P	W0	3.827 ± 0.191a	2.512 ± 0.076a	18.75 ± 10.705b	42.0 ± 2.828a
	W1	2.699 ± 0.110a	2.121 ± 0.085a	21.40 ± 1.540a	38.5 ± 0.707a
	W2	2.186 ± 0.079a	1.824 ± 0.070a	16.57 ± 4.437c	31.5 ± 2.121b
SM19 - N	W0	2.709 ± 0.097b	2.062 ± 0.029a	23.90 ± 8.069a	35.0 ± 5.657a
	W1	2.274 ± 0.103c	1.628 ± 0.036b	28.41 ± 8.072a	36.5 ± 4.950a
	W2	2.772 ± 0.039a	2.236 ± 0.016a	19.34 ± 4.453b	40.0 ± 2.828a

3 讨论与结论

酶系统是活性氧清除系统主要因素之一,包括超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶等<sup>[19]</sup>。丙二醛是活性氧启动膜脂过氧化过程的主要产物之一,其含量常用来衡量植物在逆境中受活性氧的伤害程度<sup>[20]</sup>。组成酶系统的各种酶活性的高低可直接反映出植物活性氧清除能力或抗氧化能力的强弱<sup>[21-22]</sup>,植物体内抗氧化能力的下降是引起活性氧和 MDA 大量积累的主要原因。

SM19 在 3 种不同的灌水条件下,于花后 7、14、21 d,SOD 活性在 W1 处理最高;POD 活性在开花当天表现为 W1 处理最高,花后 14、21 d 则表现为 W2 处理最高;CAT 活性总体表现为 W1 处理下活性总体较高;MDA 含量总体变化不显著(花后 14 d 除外)。SM19 在 W1 处理下穗粒鲜质量最大,W2 处理下穗粒干质量最大,总体表现为 W2 处理下穗产量最大。综合来看,SM19 开花后的早期,3 种酶活性在 W1 条件下较高,花后晚期 POD 活性在 W2 条件下较高,MDA 含量总体变化不显著(花后 14 d 除外),W2 处理的穗产量最大。李彩华等设置了灌水

0、1、2 次等 3 种灌水方式,结果发现小麦的产量随灌水次数的增加而增加<sup>[23]</sup>,本研究结果与之相似。结合本研究结果,SM19 具有一定的耐旱能力,但在充分灌水的条件下小麦的穗产量更大。

SM19 - P 在 3 种不同的灌水条件下,SOD 活性在花后 0、14 d 表现为 W0 处理最强,POD 和 CAT 活性总体表现为在 W2 处理下较强。花后 0、7、14 d,MDA 含量在 W2 处理最低,花后 21 d 则表现为 W1 处理最低。SM19 - P 在 W0 处理下的穗粒鲜质量、穗粒干质量、穗粒数均最大,总体表现为 W0 条件下穗产量最大。试验结果也可能与气温和降水等气候环境因素有关,在本研究中小麦灌浆期间降水量较往年增多(图 1),可能导致 SM19 - P 的相关酶活性在节水条件下表现更好,穗产量也在节水条件下最高。

SM19 - N 在 3 种不同的灌水条件下,SOD 和 POD 活性在花后 0、7 d 表现为 W0 处理最高,而花后 14 d 则表现为 W2 处理最高;CAT 活性在开花当天表现为 W0 处理最高,之后都表现为 W2 处理最高。MDA 含量在 SM19 - N 刚开花时变化不显著,花后 14、21 d 表现为随灌水次数的增加而下降,但

W1 和 W2 处理差异不显著。SM19 - N 的穗粒鲜质量、穗粒干质量、穗粒数在 W2 处理下最大, 总体表现为 W2 处理穗产量最大。3 种酶在 W0 处理下对 SM19 - N 花后的前期生长起到了重要的保护作用, 使其能在水分相对匮乏的条件下较好地生长, 但在花后的较晚时期, 3 种酶均表现为 W2 处理活性最高。MDA 含量总体表现为 W0 处理含量最高, 说明 SM19 - N 在灌水条件下比不灌水条件下生长得要好, 但是在充分灌水的条件下小麦的穗产量更大。

综上所述, SM19 的 POD 活性在花后 14、21 d 均为 W2 处理最大, 穗产量也表现为 W2 处理最大。SM19 - P 是由 SM19 为亲本培育出的半糯质小麦品系, 表现为 W0 处理穗产量最大, 该条件下 SOD 活性较高, MDA 含量较低。SM19 - N 开花后的晚期表现为 W2 处理的 SOD、POD、CAT 活性较高, MDA 含量最低, 穗产量最大。SM19 虽然是抗旱型小麦品种, 但充足的水分更有利于其提高产量, W2 处理的穗干质量显著高于 W0 和 W1 处理; 半糯性 SM19 - P 表现出更好的耐旱性, W0 处理的穗干质量高于其他 2 种灌水条件, 但差异不显著, SOD 可能是其具有较强耐旱性的因素之一。全糯性小麦 SM19 - N 在 W2 处理下的 3 种酶活性均较高, 穗产量最大。

#### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 赵广才, 朱新开, 王法宏, 等. 黄淮冬麦区水地小麦高产高效技术模式[J]. 作物杂志, 2015(1): 163 - 164.
- [3] Zhang X Y, Pei D, Hu C S. Conserving groundwater for irrigation in the North China Plain[J]. Irrigation Science, 2003, 21(4): 159 - 166.
- [4] 王 强, 刘卫星, 岳鹏莉, 等. 不同灌水模式对小麦籽粒抗氧化物含量和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(8): 1037 - 1042.
- [5] 张慧成, 武世信, 郭艳萍, 等. 不同灌水模式对小麦产量及其农艺性状的影响[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(19): 64 - 65.
- [6] 徐松杰, 郑根昌. 不同灌水模式对小麦产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2013(5): 8 - 10.
- [7] 门洪文, 张 秋, 代兴龙, 等. 不同灌水模式对冬小麦籽粒产量和水、氮利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2517 - 2523.
- [8] 王映红, 董 昀, 盛 坤, 等. 灌水对不同小麦品种产量和水分利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(12): 61 - 64.
- [9] Yamamori M, Nakamura T, Endo T R, et al. Waxy protein deficiency and chromosomal location of coding genes in common wheat[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1994, 89(2/3): 179 - 184.
- [10] Miura H, Tanii S. Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles[J]. Euphytica, 1993, 72(3): 171 - 175.
- [11] 张凤琴, 王向东, 逯腊虎. 糯小麦品质特性及其开发利用探析[J]. 山西农业科学, 2019, 47(12): 2210 - 2212.
- [12] 王华君, 张文明, 姚大年, 等. 糯小麦及非糯普通小麦若干农艺和品质性状的比较研究[J]. 安徽农业大学学报, 2006, 33(2): 248 - 251.
- [13] Graybosch R A. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(4): 135 - 142.
- [14] 周文春, 赵寅槐. 糯小麦的遗传、选育和应用前景[J]. 江苏农业学报, 2000, 16(2): 118 - 123.
- [15] Shevkani K, Singh N, Bajaj R, et al. Wheat starch production, structure, functionality and applications—a review[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2017, 52(1): 38 - 58.
- [16] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4 版. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [17] 高俊凤. 植物生理学实验技术[M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000.
- [18] 李 慧, 王妙媛, 彭立新, 等. NaCl 胁迫对胡卢巴幼苗抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 185 - 188.
- [19] 左佳琦, 谢佳恒, 薛宇轩, 等. 褪黑素对缓解植物逆境胁迫作用的研究进展[J]. 基因组学与应用生物学, 2014, 33(3): 709 - 715.
- [20] 许丽明, 孙晓燕, 文江祁. 水杨酸和阿斯匹林对盐胁迫下对小麦幼苗叶片膜损伤的保护作用[J]. 植物生理学通讯, 2000, 36(1): 29 - 32.
- [21] 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等. 土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(5): 1386 - 1396.
- [22] 李 慧, 王妙媛, 彭立新, 等. NaCl 胁迫对胡卢巴幼苗抗氧化酶活性和丙二醛含量的影响[J]. 华北农学报, 2012, 27(2): 185 - 188.
- [23] 李彩华, 郭家宝, 班进福, 等. 高产水高效冬小麦新品种“石麦 19 号”选育与应用[J]. 中国科技成果, 2018(9): 51 - 54.