

吸湿回干对冬小麦种子萌发和幼苗期根系形态及生理的影响

周宣材,刘义国,张玉梅,师长海,朱玉鹏,林琪

(青岛农业大学农学院,山东省旱作农业技术重点实验室,山东青岛266109)

摘要:全球气候变化条件下,干旱发生的越来越频繁,冬小麦播种往往需要造墒。种子吸湿回干能够提高作物的抗旱性。以抗旱型小麦青麦6号、水肥型小麦济麦22为试验材料,设置“对照”、“干旱”、“吸湿回干”、“吸湿回干+干旱”4个处理,通过萌发期、两叶一心期胁迫试验,分析冬小麦发芽率、发芽势、发芽指数、株高、根长、根系总根长、根系总根体积、根系总表面积、根系平均根直径、超氧化物酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性、丙二醛(MDA)含量的变化。结果表明,吸湿回干处理虽降低冬小麦发芽率、发芽指数、株高、根长、根系总根长、根系总根体积、根系总表面积、根系平均根直径,却能提高济麦22的发芽势、SOD、POD、CAT活性,但吸湿回干处理对青麦6号的上述指标影响较小。由此看来,吸湿回干通过增强氧自由基清除酶的活性来提高水肥型冬小麦抗旱性,而对抗旱冬小麦影响较小。

关键词:冬小麦;种子吸湿回干;根系;抗氧化酶

中图分类号:S311;S512.1⁺1 **文献标志码:**A

Effect of moisture-absorbing and dehydration on seed germination, seedling morphology and physiology of winter wheat

ZHOU Xuan-cai, LIU Yi-guo, ZHANG Yu-mei, SHI Chang-hai, ZHU Yu-peng, LIN Qi
(Qingdao Agricultural University, Agricultural College, Shandong Province Key Laboratory of dry farming technology, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: Due to the global climate change, drought occurs more frequently. It is essential to store more moisture in soil in winter wheat seeding. A hydroponic experiment was conducted to explore the effects of seeds moisture-absorbing and dehydration treatments on wheat varieties, drought-sensitive wheat cultivar ‘Qingmai 6’ and fertilizer Wheat cultivar ‘Jimai 22’. The four treatments were set as “control”, “drought”, “moisture-absorbing and dehydration” and “moisture-absorbing and dehydration + drought” respectively. Dynamics of wheat germination rate, germination potential, germination index, plant height, root length, root total root length, total root surface area, root volume, root total average root diameter, superoxide dismutase activity, peroxidase, catalase and malondialdehyde were analyzed by tests of germination and two leaf stress. The results showed that moisture-absorbing and dehydration treatment decreased the winter wheat germination rate, germination index, seedling height, root length, root total root length, total root surface area, root volume, root mean root diameter phenotype. However, it could improve the germination potential and activity of SOD, POD and CAT for winter wheat Jimai 22 with less effect on Qingmai 6. In conclusion, moisture absorption could improve the drought resistance of common winter wheat and it had little effect on drought resistance of winter wheat.

Keywords: wheat; root system; moisture-absorbing and dehydration; antioxidant enzyme

收稿日期:2017-06-12

修回日期:2017-09-06

基金项目:山东省重点研发计划项目“旱地土壤水肥增容保蓄关键技术研究”(2018GNC2305);山东省渤海粮仓科技示范工程资金项目“黄河三角洲盐碱地粮果饲专用品种筛选及示范”(2017BHLC021)

作者简介:周宣材(1996-),男,山东莱西人,硕士研究生,主要从事作物抗逆栽培生理研究。zhouxuanc1996@163.com

通信作者:师长海(1981-),男,山东新泰人,副教授,博士,主要从事作物水分生理生态研究。E-mail:shichh0215@126.com

朱玉鹏(1990-),男,山东沂源人,硕士,主要从事作物根系抗旱机理研究。E-mail:zhuyp13@163.com

受气候变化影响,干旱发生频率不断增加,对粮食生产的危害越来越大^[1,2]。冬小麦生育期较长,播种后遭遇干旱会造成缺苗断垄,从而造成产量损失^[3],因此寻找一种简单有效且能显著提高冬小麦苗期抗旱性的方法迫在眉睫。目前有磁场处理、 γ 射线处理、种子包衣及不同化学溶液的种子引发等多种种处理方法,这些方法虽然对提高种子抗性、发芽率,促进幼苗生长发育有一定效果,但存在着成本较高,步骤繁琐,需投入较大人力物力等问题^[4-7]。1946年,前苏联人金杰里提出的种子吸湿回干方法是一种简单有效的提高种子抗性的方法,我国古代农业也早有类似记载。近期研究认为吸湿回干处理有利于修复膜系统,积累蛋白质、激素、糖类物质,提高超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性等^[8-11]。吸湿回干处理在小麦、水稻、玉米、辣椒、大豆等种子萌发、种子活力、抗盐性等方面的研究较多,但涉及不同干旱敏感型冬小麦根系形态特征和苗期生理特性的报道较少。

根系是小麦重要的水分吸收器官,能够通过自身适应性生长对水分胁迫做出响应^[12-15]。但是,因为大田条件下根系较难获取等原因,相关形态与生理变化研究较少。本研究通过对不同干旱敏感性冬小麦吸湿回干处理,观察其萌发及苗期的形态和生理的变化,分析不同干旱敏感型冬小麦根系形态及生理生化特性的适应性变化,为冬小麦抗旱生产

提供参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

冬小麦品种为水浇地品种济麦 22 和旱地品种青麦 6 号。

1.2 种子吸湿回干处理

吸湿处理:用 0.4 倍小麦种子质量的无离子水浸湿种子,搅拌待其缓慢吸湿 24 h;回干处理:室温(温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$,相对湿度 $56 \pm 5\%$)下小麦种子自然回干到原重量,如此重复三次。

1.3 干旱胁迫试验

发芽试验:将大小一致,吸湿回干处理后的小麦种子和未经吸湿回干处理的种子分别以蒸馏水和 25% PEG-6000 (-1.29 MPa) 水溶液处理。置于人工气候培养箱中(避光, 25°C ,相对湿度 $60 \pm 5\%$),每处理 100 粒。

苗期胁迫试验:将吸湿回干处理后的小麦种子和正常种子置于发芽盒中,发芽后选取大小一致的幼苗,并用 Hoagland 营养液进行培养,当三叶一心时进行水分胁迫处理(表 1)。光照培养箱温度为 $20^\circ\text{C}/8^\circ\text{C}$ (昼/夜),光强 $300\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,光照周期 12 h/12 h (昼/夜)。胁迫处理 24 h、48 h、72 h 时叶片,用于生理指标的测定^[16]。

表 1 不同吸湿回干、干旱胁迫处理

Table 1 Different moisture-absorbing and dehydration, drying stress treatments

品种 Varieties	处理 Treatment
济麦 22/青麦 6 号 Jimai 22/Qingmai 6	正常种子(对照,CK)+苗期 Hoagland 营养液
	正常种子+苗期 25% PEG Hoagland 营养液
	种子吸湿回干+苗期 Hoagland 营养液
	种子吸湿回干+苗期 25% PEG Hoagland 营养液

1.4 测定项目及方法

萌发试验:每天统计发芽数,计算发芽势(GP)、发芽率(GR)、发芽指数(GI),第 7 天测量芽长、根长。利用 EPSON SCAN 进行根系扫描,WinRHIZO Pro 2012b 进行根系形态指标分析。

苗期胁迫试验:1.5 g 样品剪碎并加入 15 ml 150 mM pH 值为 7.0 的磷酸缓冲液,在冰浴上研磨,15 000×g 冰冻离心 5 min,上清液部分为酶粗提取液,用于超氧化物酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性的测定。超氧化物歧化酶活性参照王爱国的方法^[18];过氧化物酶活性的测定采用愈创木酚比色法^[19];过氧化氢酶活性测定按 Trevor 等^[20]的方法;丙二醛 MDA 含量测

定采用李合生^[17]的硫代巴比妥酸(TBA)法。

1.5 数据处理

用 Excel 2007 进行数据处理并绘制表格,利用 DPS V 7.05 统计分析。

2 结果与分析

2.1 种子吸湿回干处理对小麦萌发的影响

两品种冬小麦种子经过吸湿回干处理后的发芽率、发芽指数均显著低于对照;两小麦种子经过吸湿回干+干旱处理后的发芽率、发芽指数与干旱处理间无差异。经吸湿回干+干旱处理后,济麦 22、青麦 6 号的发芽率显著低于吸湿回干的处理;吸湿

回干+干旱处理的济麦 22 的发芽率、发芽指数与正常种子+干旱处理无差异。济麦 22、青麦 6 号的种子吸湿回干处理后的发芽势显著高于其它处理(表 2)。

2.2 吸湿回干处理对小麦苗期株高的影响

吸湿回干处理显著降低两小麦品种的株高;吸湿回干处理下两小麦株高显著高于干旱处理;“吸湿回干+干旱”处理的小麦株高显著低于吸湿回干处理,与干旱处理无显著差异(图 1)。

2.3 吸湿回干处理对小麦单株总根长的影响

由图 2 可见,与正常种子和干旱处理相比,吸湿回干、“吸湿回干+干旱”处理显著降低青麦 6 号的单株总根长。各处理对济麦 22 单株根长均无显著影响。

2.4 吸湿回干处理对小麦根形态指标的影响

吸湿回干,吸湿回干+干旱处理下济麦 22 的根系总根长、总体积、总表面积均显著低于对照处理,各处理下青麦 6 号的根系总根长、总表面积均显著

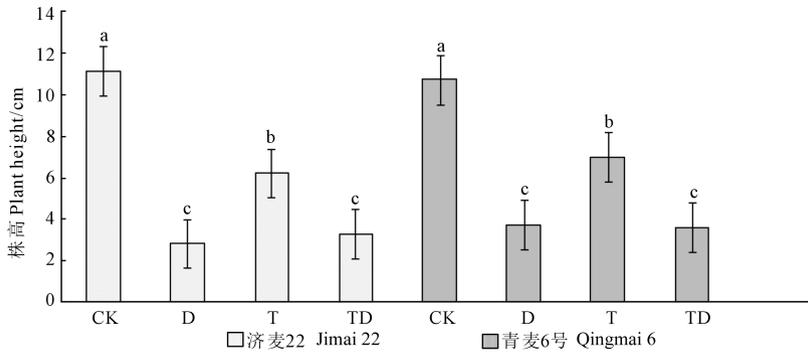
表 2 吸湿回干处理对小麦萌发的影响

Table 2 Effect of moisture-absorbing and dehydration treatment on the germination of wheat seed

品种 Varieties	处理 Treatment	发芽率/% Germination percentage	发芽势/% Germination potential	发芽指数 Germination index
济麦 22 Jimai 22	CK	95.7a	83.0b	15.0ab
	PEG	73.3d	78.7b	8.44c
	吸湿回干	88.7b	93.78a	10.2bc
	吸湿回干+ PEG	75.9d	85.7b	7.3c
青麦 6 号 Qingmai 6	CK	96.0a	78.7bc	16.5a
	PEG	74.8d	70.3c	7.8c
	吸湿回干	80.0c	98.2a	7.9c
	吸湿回干+ PEG	76.7cd	88.0b	7.8c

注:不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different letters indicate significant differences between different treatments ($P<0.05$), the same as below.



CK:对照;D:干旱;T:吸湿回干;TD:吸湿回干+干旱,下同。

CK: Contrast; D: Drought; T: Moisture-absorbing and dehydration; TD: Moisture-absorbing and dehydration+drought, the same below.

图 1 吸湿回干处理对小麦株高的影响

Fig.1 Effect of moisture-absorbing and dehydration treatments on plant height of wheat

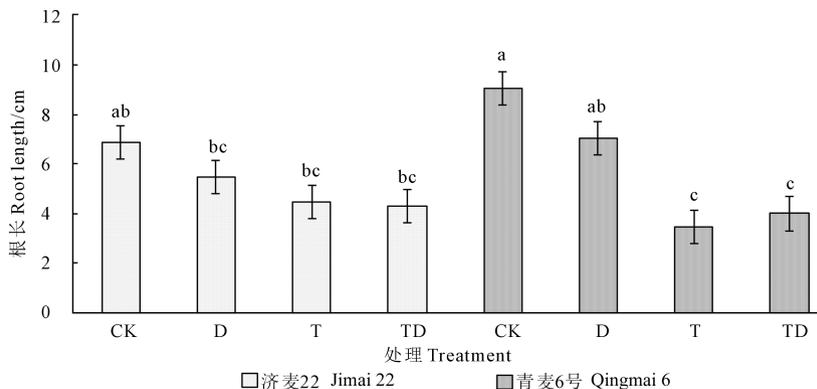


图 2 吸湿回干处理对小麦单株总根长的影响

Fig.2 Effect of moisture absorption and drying treatment on total root length of wheat

低于对照处理;吸湿回干处理下济麦 22 的根系总根长、青麦 6 号的根系总表面积均显著低于其干旱处理,但吸湿回干处理下青麦 6 号的根系平均直径显著高于对照、干旱处理;“吸湿回干+干旱”处理下两小麦根系总根长、总表面积、总体积显著低于对照,与吸湿回干处理差异均不显著(表 3)。

2.5 吸湿回干处理对小麦 SOD 活性的影响

由图 3 可见,随胁迫时间延长,各处理下济麦 22 的 SOD 活性变幅较小。24h 时,吸湿回干处理下青麦 6 号的 SOD 活性显著高于对照、干旱处理以及

济麦 22 各处理;胁迫处理 72h 时,干旱处理下的青麦 6 号 SOD 活性显著高于其它各处理。

2.6 吸湿回干处理对小麦 POD 活性的影响

济麦 22 体内的 POD 活性呈先增高后降低的趋势,48h 时达到最大值而后降低。在 24、48h 时,吸湿回干处理下济麦 22 体内 POD 活性是对照处理的 2.79、2.53 倍,差异显著。胁迫 48 小时后“吸湿回干+干旱”处理下济麦 22 的 POD 活性显著高于干旱处理,72 小时两者差异不显著。各处理对青麦 6 号的 POD 活性无差异性影响(图 4)。

表 3 吸湿回干处理对小麦根形态指标的影响

Table 3 Effect of moisture absorption and drying treatment on the root morphological

品种 Varieties	处理 Treatment	总根长/(cm · plant ⁻¹) Total root length	总表面积/(cm ² · plant ⁻¹) Total surface area	总体积/(cm ³ · plant ⁻¹) Total volume	平均直径/(mm · plant ⁻¹) Average diameter
济麦 22	CK	22.0a	3.6ab	0.046a	0.516ab
	PEG	19.0b	2.3cd	0.032abc	0.629a
	吸湿回干	11.6c	2.0d	0.027c	0.566ab
	吸湿回干+ PEG	9.9c	1.7d	0.023c	0.546ab
青麦 6 号	CK	25.9a	3.8a	0.045ab	0.476b
	PEG	13.2c	2.8bc	0.034abc	0.481b
	吸湿回干	10.3c	1.9d	0.031bc	0.646a
	吸湿回干+ PEG	9.5c	1.7d	0.023c	0.560ab

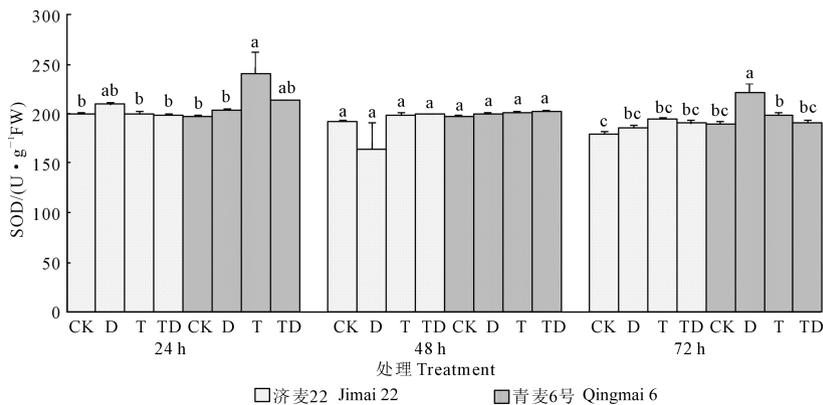


图 3 吸湿回干处理对小麦 SOD 活性的影响

Fig.3 Effect of moisture absorption and dehydration treatment on SOD enzyme activity in wheat

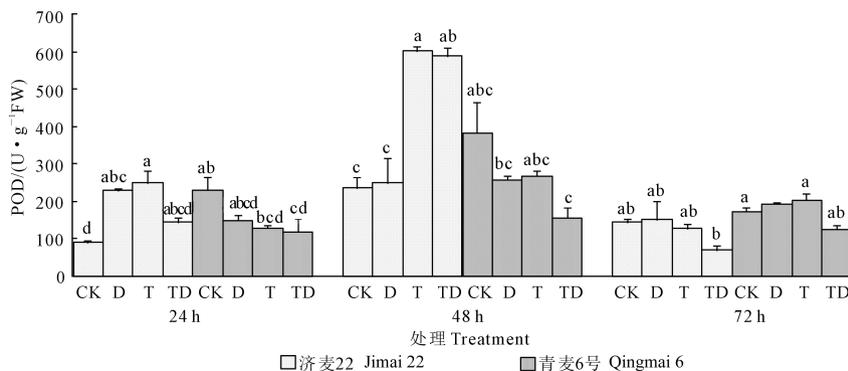


图 4 吸湿回干处理对小麦 POD 活性的影响

Fig.4 Effect of moisture absorption and dehydration treatment on POD enzyme activity in wheat

2.7 吸湿回干处理对小麦 CAT 活性的影响

处理 48 h 时,吸湿回干处理下济麦 22 与对照、干旱处理虽差异不显著,但“吸湿回干+干旱”处理下其 CAT 活性显著高于其它各处理(图 5)。

2.8 吸湿回干处理对小麦 MDA 含量的影响

24 h 时,干旱、吸湿回干处理后的济麦 22 体内 MDA 含量显著高于对照和“干旱+吸湿回干”处理,48h 时“干旱+吸湿回干”处理显著降低济麦 22 体内 MDA 含量。各处理对青麦 6 号体内 MDA 含量无显著性影响(图 6)。

3 讨论

小麦的发芽率、发芽势等相关指标直接反映小

麦成苗率,吸湿回干处理对不同植物种子发芽的影响还存在争议^[8,21,22]。本试验结果表明吸湿回干处理对小麦种子发芽率并未有显著提高,这与牛海山^[23]相关研究一致。但与对照相比,吸湿回干处理显著提高两小麦种子发芽势,即吸湿回干处理缩短小麦种子成苗时间。发芽指数是指种子在失去发芽力之前已发生劣变的数量,本试验中发芽指数变化与发芽率趋势虽然相同,但发芽势与两者趋势不同,说明吸湿回干处理确能够提高种子活力,减少劣变。小麦种子发芽率、发芽势、发芽指数的不同变化与吸湿回干处理有关,吸湿回干处理对小麦内部微结构造成一定损伤^[23],从而使得发芽率降低。

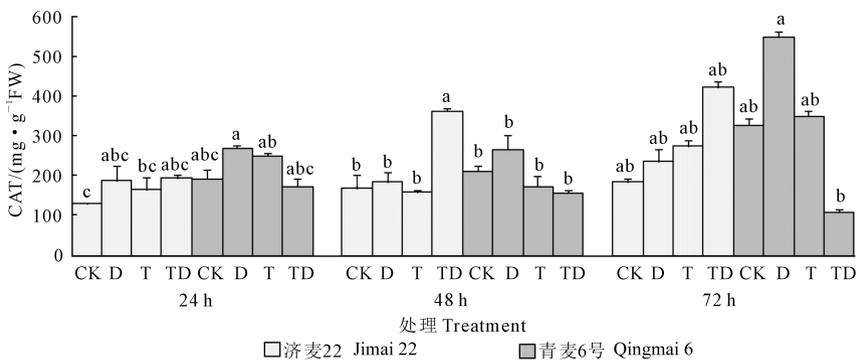


图 5 吸湿回干处理对小麦 CAT 酶活性的影响

Fig.5 Effect of moisture absorption and dehydration treatment on CAT enzyme activity in wheat

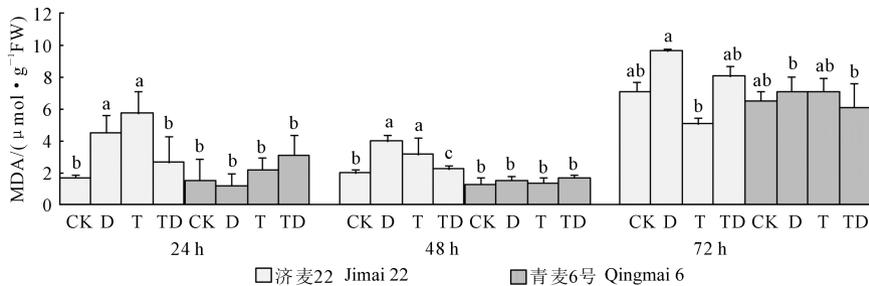


图 6 湿回干处理对小麦 MDA 含量的影响

Fig.6 Effect of moisture absorption and dehydration treatment on MDA content in wheat

株高、单株总根长是小麦最直观、容易获得的形态指标。本试验中,吸湿回干处理后的小麦株高、单株总根长等指标介于对照与干旱处理之间,前期轻微干旱胁迫刺激作物本身抗旱性的提高,再次遭遇干旱胁迫有助于提高作物抗旱性^[24],吸湿回干处理对小麦种子的影响效应类似于种子时期较轻微的干旱胁迫。小麦根系结构具有较高的遗传力^[25],根系作为地下吸收水分养分的重要部分,对作物至关重要。作物遭受干旱时,根系首先感受到刺激,经刺激转导成信号,地上部接受刺激,其作物形态、生理生化进行应激性反应,干旱敏感型不同小麦的根系表现不同^[26],可以作为反映小麦遭受

胁迫程度的鉴定指标。本试验中,未经干旱、吸湿回干处理的 2 小麦根系单株根长、总根系长度、总根体积、总根表面积、平均根直径差异不显著,但是各处理下两小麦的根系单株长、总长度、总体积、总根面积、平均直径存在显著差异。小麦根系构型不仅是遗传因素影响,主要还是受环境的控制。小麦干旱或者吸湿回干处理后根系构型变化较大,“干旱+吸湿回干”处理与干旱处理在根系总根系长度、总根体积、总根表面积、平均根直径方面差异不显著,与此同时,吸湿回干影响株高,这可能是因为吸湿回干处理是一种轻微干旱锻炼。青麦 6 号在吸湿回干处理下其根系平均直径显著高于对照、干旱处

理,与“吸湿回干+干旱”处理差异不显著。由此推断青麦 6 号的根体积、直径变化是旱地小麦较强抗旱性的重要手段。此外,本试验中小麦根系形态指标变化主要是小麦萌发期初生根生长,小麦分蘖、次生根发生后的构型变化还需进一步研究。

通过两小麦品种苗期形态表现得知,吸湿回干处理是一种轻微干旱锻炼,能提高水肥型小麦再次遭受干旱时的抗旱性。深入研究吸湿回干处理后小麦体内酶活性变化,POD 协同 SOD、CAT 消除活性氧对作物的危害、胁迫^[27],不同敏感型小麦体内 POD 活性具有不同变化^[28]。吸湿回干处理、“吸湿回干+干旱”处理显著提高济麦 22 的 POD 活性,且活性效应存在一个限定范围。青麦 6 号体内过氧化物酶在吸湿回干处理下活性变幅较小。过氧化氢酶主要是催化过氧化氢的分解防止过氧化^[29],吸湿回干处理能显著提高济麦 22 的 CAT 活性,从而抵御干旱胁迫,这与郭秀林等^[30]、刘岩等^[31]的研究结果一致。SOD 在小麦抵御干旱胁迫时发挥重要作用,也是小麦抗性重要鉴定指标^[32],济麦 22 种子时期的吸湿回干处理显著活跃了其体内 SOD 活性,活性氧的清除能力得到加强,从而增强了苗期抗旱性,但是随干旱胁迫时间延长,各处理下 SOD 活性差异不显著。丙二醛作为植物体内脂膜氧化反应的产物,反映膜结构的损毁程度、作物抗氧化能力的大小^[33,34]。随胁迫时间延长,吸湿回干后的济麦 22 体内具有较少的 MDA 含量,青麦 6 号在各处理下体内 MDA 含量均较少。与干旱相比,“吸湿回干+干旱”处理后水肥型小麦的 3 种酶在不同时间内分别增强活性氧清除能力,吸湿回干处理显著提高水肥型小麦济麦 22 酶活性,但是抗旱型小麦青麦 6 号体内酶受吸湿回干处理影响较小。苗期遭受干旱胁迫时,吸湿回干处理后的济麦 22 体内 MDA 含量较少,48 h 时吸湿回干处理后的济麦 22 体内 POD、CAT 活性显著增加,时间段内各处理下济麦 22 的 SOD 活性变幅较小,SOD、POD、CAT 活性并不是在同一时间点同时发挥作用而是在一定时间段内协同发挥作用。吸湿回干处理能提高小麦的苗期 SOD、POD、CAT 酶活性,消除干旱时活性氧对小麦的危害,提高水肥型小麦苗期的抗旱性。

本试验中吸湿回干处理降低小麦发芽率、发芽指数,但能够缩短不同类型种子发芽时间,水肥型、抗旱型小麦成苗时间缩短,从而有助于小麦抵御萌发期干旱胁迫。吸湿回干处理对水浇地小麦品种济麦 22 影响较大,吸湿回干处理类似于提前的轻微

干旱锻炼,能够通过激活酶活性,提升小麦再次干旱胁迫的抗干旱能力,从而提高水肥型小麦的苗期抗旱能力,吸湿回干处理对抗旱型小麦青麦 6 号确实无类似影响。吸湿回干处理作为一种简单有效提高作物抗旱性的方法,接下来可以深入小麦的蛋白质、激素以及大田产量等方面的研究。

参考文献:

- [1] 康蕾,张红旗.我国五大粮食主产区农业干旱态势综合研究[J].中国生态农学报,2014,22(8):928-937.
- [2] 张炜,高巍,曹振,等.干旱胁迫下小麦(*Triticum aestivum* L.)幼苗中 ABA 和 IAA 的免疫定位及定量分析[J].中国农业科学,2014,47(15):2940-2948.
- [3] 马富举,李丹丹,蔡剑,等.干旱胁迫对小麦幼苗根系生长和叶片光合作用的影响[J].应用生态学报,2012,23(3):724-730.
- [4] Jaime A, Teixeira da Silva, Judit Dobránszki. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? [J]. Protoplasma, 2016, 253(2):231-248.
- [5] MKumar, BSingh, SAhuja, et al. Gamma radiation and magnetic field mediated delay in effect of accelerated ageing of soybean[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(8):4785-4796.
- [6] 惠霞,张海英,郭建国,等.噻虫嗪种子包衣对燕麦蚜虫和红叶病的控制效果及农药残留分析[J].麦类作物学报,2012,32(6):1205-1209.
- [7] 扬小环,马金虎,郭数进,等.种子引发对盐胁迫下高粱种子萌发及幼苗生长的影响[J].中国生态农学报,2011,19(1):103-109.
- [8] 吴敏,薛立,李燕.种子吸湿-回干处理研究综述[J].种子,2005,24(4):46-49.
- [9] Close T J, Dehydrins. Emergence of a biochemical role of a family of poplar dehydration proteins [J]. Physiol Plant, 1996, 97:795-803.
- [10] Miazek A, Bogdan J, Zagdanska B. Effects of water deficit during germination of wheat seeds [J]. Biologia plantarum, 2001, 44(3):397-403.
- [11] 余小平,贺军民.RNA 和蛋白质合成抑制剂对番茄种子吸湿-回干抗吸胀伤害效应的影响[J].植物生理通讯,2000,36(5):411-413.
- [12] Yousfi N, Slama I, Ghnaya T, et al. Effects of water deficit stress on growth, water relations and osmolyte accumulation in *Medicago truncatula* and *M. laciniata* populations [J]. Comptes Rendus Biologies, 2010, 333:205-213.
- [13] 卜斌,徐开杰,王勇锋,等.小麦种子萌发期抗旱鉴定指标的初步研究[J].麦类作物学报,2013,33(4):675-681.
- [14] 田梦雨,李丹丹,戴廷波,等.水分胁迫下不同基因型小麦苗期的形态生理差异[J].应用生态学报,2010,21(1):41-47.
- [15] 崔俊美,张朝明,张怀渝,等.7 个小麦品种的抗旱性比较[J].麦类作物学报,2015,35(11):1542-1550.
- [16] 李国瑞,马宏亮,胡雯媚,等.西南麦区小麦品种萌发期抗旱性综合鉴定[J].麦类作物学报,2015,35(4):1-8.
- [17] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:261-263.
- [18] 王爱国,罗广华.大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J].植物生理学报,1983,9(1):77-84.