

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.03.008

张玉凤, 刘兆辉, 田慎重, 等. 含木醋液水溶肥对干热风胁迫下小麦生长的影响. 土壤, 2021, 53(3): 499–504.

含木醋液水溶肥对干热风胁迫下小麦生长的影响^①

张玉凤, 刘兆辉*, 田慎重, 边文范, 董 亮, 谭德水, 李瑞琴

(山东省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部废弃物基质化利用重点实验室/山东省植物营养与肥料重点实验室/山东省环保肥料工程技术研究中心, 济南 250100)

摘 要: 为明确在干热风胁迫下含木醋液水溶肥(简称木肥)对小麦生长的影响, 以济麦 22 为研究对象, 采用盆栽试验, 通过设置清水、木肥、市购水溶肥(简称市购)、含海藻酸水溶肥(简称海肥)4 个处理, 研究了干热风胁迫 3d 情况下, 木肥对小麦生长、抗氧化酶活性、养分吸收的影响。结果表明: 与清水处理相比, 木肥处理使小麦产量、穗数、穗粒数、千粒重分别提高 24.22%、8.85%、9.95% 和 6.07%; 秸秆、根重分别增加 16.58% 和 11.84%; 叶绿素含量提高 2.41% ~ 8.92%; 籽粒氮含量提高 6.28%; 干热风胁迫处理后第 1 天(5 月 7 日)所取叶片的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性分别提高 6.14%、105.32%、45.91%, 丙二醛(MDA)含量降低 6.76%。市购、海肥、木肥处理间相比, 海肥处理的产量、穗粒数、千粒重和根重均最高, 木肥处理的穗数、秸秆重最高, 海肥、木肥处理的叶绿素含量基本显著高于市购处理, 干热风胁迫处理后第 9 天(5 月 15 日)所取叶片海肥处理的叶绿素含量显著高于木肥处理; 海肥、木肥处理的秸秆钾含量高于市购处理, 海肥处理的根钾含量高于市购处理, 海肥、木肥处理的籽粒氮、磷、钾含量均高于市购处理; 海肥、木肥处理的 SOD、POD、CAT 活性、5 月 7 日所取叶片的 MDA 含量均高于市购处理。综合各项结果, 在轻干热风胁迫 3 d 情况下, 含木醋液水溶肥能显著提高小麦产量和穗粒数, 主要原因是促进了小麦籽粒氮的吸收及干物质的累积, 提高了小麦叶片合成叶绿素的能力, 提高了抗氧化酶活性, 降低小麦叶片膜脂过氧化程度, 进而提高了小麦抗干热风的能力。

关键词: 小麦; 干热风; 木醋液; 抗氧化酶; 水溶肥

中图分类号: S210.5045; S210.2080 **文献标志码:** A

Effect of Water-Soluble Fertilizer Containing Wood Vinegar on Wheat Growth Under Dry-hot Wind Stress

ZHANG Yufeng, LIU Zhaoxue*, TIAN Shenzhong, BIAN Wenfan, DONG Liang, TAN Deshui, LI Ruiqin

(Institute of Agricultural Resources and Environment, Shandong Academy of Agricultural Science/Key Laboratory of Wastes Matrix Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs /Shandong Provincial Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer/Shandong Provincial Engineering Research Center of Environmental Protection Fertilizers, Jinan 250100, China)

Abstract: A pot experiment was conducted with wheat variety Jimai-22 to understand the effect of water-soluble fertilizer containing wood vinegar (wood-fertilizer) on the growth, antioxidant enzyme activity and nutrient absorption of wheat under the less stress of dry and hot. Four treatments were designed including 1) clean water (CK), 2) wood-fertilizer, 3) conventional water-soluble fertilizer from market (market-fertilizer), and 4) water-soluble fertilizer containing alginate (alginate-fertilizer). The results showed that, compared with CK, wood-fertilizer treatment increased the yield, spike number, grains number per spike and 1000-kernel weight of wheat by 24.22%, 8.85%, 9.95% and 6.07%, respectively, increased straw and root weights, chlorophyll content in leaves, and nitrogen content in grains by 16.58%, 11.84%, 2.41%–8.92% and 6.28%, respectively. Meanwhile, wood-fertilizer treatment increased the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) by 6.14%, 105.32% and 45.91%, respectively, but decreased malondialdehyde (MDA) content by 6.76% in wheat leaves sampled on the 1st day after dry-hot wind stress (May 7). Alginate-fertilizer treatment had the highest of yield, grain number per spike, 1000-kernel

^①基金项目: 山东省重点研发计划项目(2019GSF109044)、财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-03)和 2020 年度山东省重点扶持区域引进急需紧缺人才项目资助。

* 通讯作者(liuzhaohuinky@163.com)

作者简介: 张玉凤(1972—), 女, 山东聊城人, 博士, 研究员, 主要从事植物营养和新型肥料研究。E-mail: zhyfsdu@126.com

weight and root weight, while, wood-fertilizer treatment got the highest of spike number and straws weight. Chlorophyll contents in leaves under alginate-fertilizer and wood-fertilizer treatments were significantly higher than that of market-fertilizer, chlorophyll content in leaves sampled on the 9th day after dry-hot wind stress (May 15) was significantly higher under alginate-fertilizer treatment than that of the wood-fertilizer treatment. Potassium content in straws, nitrogen, phosphorus and potassium contents in grains, SOD, POD, CAT activities and MDA content in leaves sampled on May 7 under alginate-fertilizer and wood-fertilizer treatments were higher than those of market-fertilizer treatment. Potassium content in roots under alginate-fertilizer treatment was higher than that of market-fertilizer treatment. In conclusion, wood-fertilizer can improve significantly the yield and grain number per spike of wheat under the less stress of dry-hot wind within 3 days, which is attributed to the increase in chlorophyll synthesis, antioxidant enzyme activity and decrease membrane lipid peroxidation of wheat leaves owing to the promotion in nitrogen absorption and dry matter accumulation in grains.

Key words: Wheat; Dry-hot wind; Wood vinegar; Antioxidant enzyme; Water-soluble fertilizer

干热风是我国北方小麦扬花灌浆期间出现的一种高温、低湿并伴有一定风力的灾害性天气。通常用温、湿、风三要素组合来确定干热风等级,日最高气温 $\geq 32^{\circ}\text{C}$ 、14:00 相对湿度 $\leq 30\%$ 、14:00 风速 $\geq 2\text{ m/s}$ 时为 1 个轻干热风日;日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、14:00 相对湿度 $\leq 25\%$ 、14:00 风速 $\geq 3\text{ m/s}$ 时为 1 个重干热风日^[1]。黄淮海冬麦区是我国最大的小麦产区,也是干热风危害最重、影响范围最广的区域^[1-2]。干热风对小麦的千粒重和产量影响较大,一般可使小麦减产 5%~10%,严重时可达 20% 以上^[3]。目前主要的防御措施有“躲”、“抗”、“防”、“改”4 种,其中“防”是指干热风来临前采取灌水施肥等农技措施增强小麦抵御干热风的能力^[4]。席吉龙等^[5]研究表明,喷施抗干热风制剂(KN-8 和 KN-2)能调节小麦生理机能,减少细胞膜电解质外渗,抑制蒸腾,减少体内水分损耗,提高细胞活力和光化学效率,增强抗干热风能力,提高小麦千粒重和产量。因此小麦生育后期叶面喷肥可及时补充小麦根系吸收养分的不足,进而提高小麦的产量和品质,是小麦生育后期不减产的有效保证。

木醋液是木材等含纤维素和半纤维素的生物质在热解炭化或干馏过程中产生的气体经冷凝回收分离得到的有机混合物,经静置并分离出木焦油后,为澄清红褐色或黑褐色液体,具有醋酸的酸味和烟熏气味, pH 为 2.20~3.35,相对密度约为 0.90 g/cm^3 ^[6-7],是解决农业废弃物资源化利用的有效途径之一。根据原料来源不同,木醋液成分有所变化,大约有 70 多种,含量较高的为有机酸、酚类、醇类,此外还有酯类、羰基类、呋喃类、胺类、吡啶类等有机物质^[7-9]。木醋液在国外作为医药原料、食品添加剂、脱臭剂、农药原料、土壤改良剂等进行应用^[10]。中国于 20 世纪 80 年代后期开始对木醋液进行研究。研究表明,

木醋液具有促进植物生长、抑菌、降低土壤 pH、调控土壤微生物、水质净化、抗氧化等多种作用^[8,11],是一种潜在的新型植物肥料原料。李忠徽和王旭东^[11]发现灌施木醋液可有效改善土壤性状和促进辣椒生长。周红娟等^[12]研究表明,灌施木醋液可以提高盐碱土壤酶活性和改善土壤性质。赵飞等^[13]研究表明,添加木醋液能够显著提高解磷真菌对磷矿粉的分解能力,在改善盐碱土壤肥力方面具有很好的应用前景。王晓朋等^[14]研究表明,废菌棒木醋液能提高小白菜株高、鲜重和 Vc 含量,促进还原性糖的积累,降低硝酸盐含量。本课题组李燕等^[15]研究表明,浓度为 6.0 g/L 的木醋液对小麦根腐病致病菌具有显著抑制作用,抑制率 $>80\%$,而且不影响小麦的生长发育。木醋液能否提高小麦抗干热风的能力,进而提高小麦产量,目前研究报道较少,而且由于单独的木醋液溶液很难获得肥料登记证,不能以肥料产品的形式进入市场,所以本研究将木醋液制作成符合含腐植酸水溶肥标准的肥料,通过设置具有抗旱功能的水溶肥为对照,检验在干热风胁迫下含木醋液水溶肥对小麦生长的影响,以期为其田间应用提供理论依据,并提供有效缓解小麦干热风的肥料产品。

1 材料与方法

1.1 供试材料

小麦品种:济麦 22。肥料品种:①含海藻酸水溶肥:自行研制,海藻酸含量为 60 g/L 、 $\text{N}+\text{K}_2\text{O}$ 含量为 306 g/L , pH 5.4,液体,符合含海藻酸水溶肥标准^[16];②含木醋液水溶肥:自行研制,木醋液含量为 550 g/L , $\text{N}+\text{K}_2\text{O}$ 含量为 204 g/L ,腐植酸含量为 32 g/L , pH 5.1,符合含腐植酸(大量元素)水溶肥标准^[17];③市购水溶肥:粮食专用型,含氨基酸水溶肥,游离氨基酸 $\geq 100\text{ g/L}$,微量元素($\text{B}+\text{Zn}$) $\geq 20\text{ g/L}$, pH

6.3, 主要成分为海洋生物活性物质、植物细胞膜稳态剂, 具有抗旱功能。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理, 每个处理 7 次重复。分别为: ①清水: 喷施清水; ②市购水溶肥(简称市购): 喷施市购水溶肥, 稀释倍数为 600; ③含海藻酸水溶肥(简称海肥): 喷施含海藻酸水溶肥, 稀释倍数为 500; ④含木醋液水溶肥(简称木肥): 喷施含木醋液水溶肥, 稀释倍数为 500。除喷施水溶肥外, 所有处理基肥方式、种类和数量均相同。

1.3 试验方法

盆栽试验于 2018 年 10 月—2019 年 6 月在山东省农业科学院试验农场进行。试验土壤为潮土, 理化性质为有机质 23.01 g/kg, 碱解氮 95.32 mg/kg, 有效磷 79.57 mg/kg, 速效钾 223.12 mg/kg, pH 7.86。试验用盆为瓦氏盆, 高 23 cm、直径 30 cm, 每盆装 16 kg 过 2 mm 筛的风干土。先将每个处理的基肥(尿素、重过磷酸钙、硫酸钾的每盆用量分别为 6.4、3.9、2.5 g)与 16 kg 土壤掺混均匀, 装盆, 然后将盆埋入土壤中。浇水至盆内土壤达到饱和持水量, 水分渗入后, 每盆播 10 粒小麦种子, 然后在土壤表面覆盖一层厚约 0.5 cm 干土。日常管理采用定量浇水方式, 土壤湿度约为田间持水量的 70% ~ 80%。各处理喷施水溶肥和清水时间为小麦返青—拔节期(2019 年 4 月 22 日下午 4:00—5:30)和孕穗—灌浆前期(5 月 3 日下午 4:00—5:30)。每个处理喷施一次约需 1 000 ml, 喷施方法为用喷雾器均匀细致地喷施小麦中上部茎叶正反面, 以叶面有液滴滴落为止。

小麦干热风条件模拟: 5 月 3 日将试验小麦四周用塑料布包围, 采用自制的模拟干热风装置对小麦进行连续 3 d(5 月 4 日—5 月 6 日)的干热风胁迫处理。其间利用便携式温湿度计监测温度和湿度变化, 利用手持式风速仪测定风速。本研究模拟干热风装置利用电热鼓风机对吸自地上 100 cm 处的空气进行电加热, 加热后的热风相对湿度约为 28%, 加热的空气以软质导管引至单排 9 个出风口朝向小麦的硬质出风管道(此出风管道长 2 m, 一端为软质热风导管, 另一端封死), 风速大约 3.5 m/s, 日最高温为 34 ℃, 为轻干热风^[1,3]。

1.4 取样和测定方法

叶绿素测定: 分别于 4 月 30 日、5 月 7 日、5 月 15 日采用 SPAD-502 叶绿素仪测定不同处理小麦旗叶叶绿素相对含量(SPAD 值)。在每个处理的每盆中选取长势均匀的 7 株小麦, 测定旗叶中部位置, 计

算其平均值即为该盆叶片的叶绿素含量, 7 盆的平均值即为该处理的叶绿素含量。

生理指标测定: 分别于 4 月 30 日、5 月 7 日下午 3:00—4:00, 在每个处理的每盆中选取长势均匀的 5 株小麦, 戴橡胶手套, 从旗叶基部剪断, 放入封口袋中, 然后放入液氮罐冷冻, 用于测定超氧化物歧化酶 SOD(氮蓝四唑法^[18])、过氧化物酶 POD(愈创木酚法^[18])、过氧化氢酶 CAT(紫外分光光度计法^[18])活性及丙二醛 MDA 含量(硫代巴比妥酸法^[18])。

产量及生物量测定: 计数每盆小麦穗数, 然后剪下麦穗, 将秸秆和根全部拔出。将根洗净, 风干, 称量秸秆、根风干重; 将麦粒搓下, 计数穗粒数, 称量麦粒总重、千粒重。最后, 将秸秆、麦粒、根烘干, 称重, 粉碎, 测定氮(自动定氮仪法^[19])、磷(钒钼黄比色法^[20])、钾(火焰光度计法^[20])含量。

1.5 数据处理与分析

采用 Excel 2010 和 DPS 18.1 软件对数据进行处理与分析, 采用单因素方差分析 Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 含木醋液水溶肥对小麦产量及其形成因素的影响

表 1 结果表明, 与清水处理相比, 市购、海肥、木肥处理的产量均升高, 增幅为 15.65% ~ 25.57%, 差异达 $P < 0.05$ 显著水平; 海肥、木肥处理的产量均高于市购处理, 分别增加 8.58% 和 7.41%, 但是差异未达显著水平($P > 0.05$)。对于穗数, 市购和木肥处理高于清水处理, 增幅分别为 0.88% 和 8.85%, 但是处理间差异不显著。对于穗粒数, 海肥、木肥处理显著高于清水处理, 增幅分别为 16.47% 和 9.95%; 海肥、木肥处理也显著高于市购处理, 增幅分别为 23.76% 和 16.83%。对于千粒重, 市购、海肥、木肥处理均高于清水处理, 增幅分别为 6.33%、11.33%、6.07%, 其中海肥处理最高, 且与清水处理间差异达

表 1 含木醋液水溶肥对小麦产量及其形成因素的影响
Table 1 Effects of water-soluble fertilizer containing wood vinegar on wheat yield and yield components

处理	产量(g/盆)	每盆穗数	穗粒数	千粒重(g)
清水	18.36 b	18.83 a	42.93 b	33.44 b
市购	21.23 a	19.00 a	40.40 b	35.55 ab
海肥	23.05 a	18.67 a	50.00 a	37.22 a
木肥	22.81 a	20.50 a	47.20 a	35.46 ab

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$); 下同。

$P<0.05$ 显著水平;海肥处理比市购处理增加了 4.7%,但是差异不显著($P>0.05$)。

上述结果表明,喷施市购水溶肥、含海藻酸水溶肥、含木醋液水溶肥能提高小麦产量,含海藻酸水溶肥和含木醋液水溶肥效果相当,两者效果均高于市购水溶肥。含木醋液水溶肥增产的主要表现是穗数、穗粒数、千粒重均增加;市购水溶肥增产的主要表现是千粒重的增加;含海藻酸水溶肥增产的主要表现是穗粒数和千粒重的增加。

2.2 含木醋液水溶肥对小麦生物量的影响

从表 2 可以看出,与清水处理相比,市购、海肥、木肥处理的小麦秸秆、根重均升高,增幅分别为 8.81%~16.58%、5.79%~24.05%,其中木肥处理的增幅分别为 16.58% 和 11.84%,海肥处理的根重与清水处理间差异显著($P<0.05$)。市购、海肥、木肥处理中以木肥处理的秸秆量最高,海肥处理的根重最高。

表 2 含木醋液水溶肥对小麦生物量的影响
Table 2 Effects of water-soluble fertilizer containing wood vinegar on wheat biomass

处理	秸秆重量(g/盆)	根重(g/盆)
清水	10.75 a	5.53 b
市购	11.84 a	5.85 ab
海肥	11.70 a	6.86 a
木肥	12.53 a	6.19 ab

初步可见,喷施市购水溶肥、含海藻酸水溶肥、含木醋液水溶肥能够促进小麦生长,提高小麦生物量,含海藻酸水溶肥和含木醋液水溶肥效果相当,两者效果均高于市购水溶肥。含木醋液水溶肥对秸秆生长的促进作用优于其对根部,而含海藻酸水溶肥主要促进根部生长。

2.3 含木醋液水溶肥对小麦叶片叶绿素含量的影响

表 3 结果表明,随着时间的推移,清水、市购、木肥处理的叶绿素含量呈现升高-下降趋势;海肥处理呈现逐渐下降趋势,但是降幅平稳,说明经过干热

风胁迫后所有处理的小麦叶片叶绿素含量下降。不同处理间相比,4月30日(干热风胁迫处理前)、5月7日(干热风胁迫处理后第1天)、5月15日(干热风胁迫处理后第9天)测定的叶片叶绿素含量均呈现海肥、木肥处理显著高于清水处理,增幅为 4.39%~11.74%,市购处理 5 月 15 日的叶绿素含量稍高于清水处理;海肥、木肥处理的叶绿素含量均高于市购处理;4 月 30 日、5 月 15 日测定的叶片叶绿素含量均是海肥处理高于木肥处理,其中 5 月 15 日海肥与木肥处理间差异达显著水平($P<0.05$)。

表 3 含木醋液水溶肥对小麦叶片叶绿素含量 (SPAD 值)的影响

Table 3 Effects of water-soluble fertilizer containing wood vinegar on chlorophyll content (SPAD) of wheat leaves

处理	4 月 30 日	5 月 7 日	5 月 15 日
清水	52.27 b	54.69 b	50.41 c
市购	51.28 b	52.66 c	51.47 bc
海肥	57.79 a	57.09 a	56.33 a
木肥	56.93 a	58.72 a	52.71 b

上述结果初步表明,喷施含木醋液、含海藻酸水溶肥具有提高小麦叶片叶绿素含量的能力;干热风处理结束后第 9 天(5 月 15 日)含海藻酸水溶肥的效果最好。

2.4 含木醋液水溶肥对小麦养分含量的影响

表 4 结果表明,与清水处理相比,市购、海肥、木肥处理的小麦秸秆氮、磷、钾含量,根氮、根磷含量基本均降低,这可能是由于稀释效应导致的;市购、海肥、木肥处理的根钾含量均升高,增幅分别为 4.43%、11.36%、0.86%,海肥处理与清水处理间差异达显著水平($P<0.05$);市购、海肥、木肥处理的籽粒氮含量均升高,增幅分别为 2.86%、8.23%、6.28%,海肥、木肥处理与清水处理间差异达显著水平($P<0.05$);海肥处理的籽粒磷含量升高 1.48%,木肥处理的籽粒钾含量升高 2.59%,其余基本均下降,但是差异不显著。市购、海肥、木肥处理间相比,只有海肥处理的籽粒氮含量显著高于市购处理 5.22%,其余指标,市购、海肥、木肥处理间差异不显著。

表 4 含木醋液水溶肥对小麦养分含量的影响 (g/kg)
Table 4 Effects of water-soluble fertilizer containing wood vinegar on nutrient contents in wheat organs

处理	秸秆			根			籽粒		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
清水	7.1 a	0.6 a	16.4 a	6.8 a	0.8 a	6.4 b	28.1 c	5.2 a	4.8 a
市购	7.0 a	0.5 a	14.6 b	6.2 a	0.8 a	6.7 ab	28.9 bc	4.9 a	4.6 a
海肥	6.5 a	0.6 a	15.8 ab	6.3 a	0.8 a	7.2 a	30.5 a	5.3 a	4.8 a
木肥	6.6 a	0.5 a	15.8 ab	6.4 a	0.8 a	6.5 b	29.9 ab	5.0 a	5.0 a

可见,含海藻酸水溶肥具有提高小麦根钾和籽粒氮含量的功能,含木醋液水溶肥具有提高小麦籽粒氮含量的功能。

2.5 含木醋液水溶肥对小麦叶片抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

由表 5 结果可以看出,与清水处理相比,4 月 30 日市购、海肥、木肥处理的叶片 SOD 活性均下降,干热风处理后第 1 天即 5 月 7 日市购、海肥、木肥处理的叶片 SOD 活性均升高,增幅为 3.98% ~

8.90%;市购、海肥、木肥处理的 POD 活性均显著高于清水处理,增幅为 30.93% ~ 128.59%;市购、海肥、木肥处理的 CAT 活性均上升,增幅为 10.08% ~ 45.94%,其中 5 月 7 日海肥、木肥处理与清水处理间差异达显著水平($P<0.05$);4 月 30 日市购和海肥处理的 MDA 含量均下降,木肥处理升高,5 月 7 日市购和木肥处理 MDA 含量均下降,降幅分别为 31.98%、6.76%,且市购处理与清水处理间差异达显著水平($P<0.05$)。

表 5 含木醋液水溶肥对小麦叶片 SOD、POD、CAT 活性和 MDA 含量的影响
Table 5 Effects of water-soluble fertilizer containing wood vinegar on SOD, POD CAT activities and MDA content of wheat leaves

处理	SOD(U/g)		POD(Δ A470/(min g))		CAT(Δ A240/(min g))		MDA(nmol/g)	
	4 月 30 日	5 月 7 日	4 月 30 日	5 月 7 日	4 月 30 日	5 月 7 日	4 月 30 日	5 月 7 日
清水	937.27 a	827.08 b	37.67 c	44.2 c	22.35 a	25.01 b	14.92 a	19.70 ab
市购	841.28 c	859.97 ab	63.70 b	57.87 b	24.72 a	27.53 b	14.87 a	13.40 c
海肥	881.73 bc	900.73 a	79.44 a	68.12 b	25.80 a	36.11 a	14.85 a	20.53 a
木肥	887.54 b	877.85 a	86.11 a	90.75 a	25.26 a	36.50 a	15.58 a	18.37 b

市购、海肥、木肥处理间相比,除 4 月 30 日海肥处理 MDA 含量稍低于市购处理外,其余指标均呈现海肥、木肥处理高于市购处理。其中海肥处理 4 月 30 日叶片 POD 活性、5 月 7 日叶片 CAT 活性和 MDA 活性与市购处理间差异达显著水平($P<0.05$);木肥处理 4 月 30 日叶片 SOD、POD 活性及 5 月 7 日叶片 CAT 活性、MDA 活性与市购处理间差异达显著水平($P<0.05$)。

上述结果表明,小麦遭受干热风胁迫后,喷施市购水溶肥和含木醋液水溶肥能提高小麦叶片抗氧化酶活性、降低小麦叶片膜脂过氧化程度,对细胞膜具有保护作用。在提高抗氧化酶活性方面含木醋液水溶肥的效果最好,其次为含海藻酸水溶肥;在降低 MDA 含量方面市购水溶肥的效果最优。海肥、木肥处理 5 月 7 日叶片抗氧化酶活性高于市购处理,表明海肥、木肥处理对干热风的反应强烈,抗氧化酶活性增强幅度大于市购处理,能够及时清除小麦体内多余氧自由基,维持小麦体内氧自由基的平衡。

3 讨论

小麦在遭受逆境胁迫时,体内会积累较多活性氧等有害物质,这些有害物质的积累会引起活性氧清除酶系统的响应,主要包括 SOD、POD、CAT 等^[21]。叶亚新等^[22]认为,小麦在逆境胁迫下,SOD 活力迅速增强,因此 SOD 活性的升高通常被当作是植物对逆境反应的一个指标。钟鹏等^[23]研究表明,活性氧清除酶可清除植物细胞中多余的活性氧自由基,抑制

MDA 积累,延缓植物叶片衰老,延长叶片的光合期,促进小麦增产^[24]。席吉龙等^[5]研究表明,在中度干热风胁迫下,抗干热风制剂 KN-8 和 KN-2 处理小麦 SOD 活性提高 21.4% 和 15.4%;MDA 含量降低 21.0% 和 19.6%。本研究表明,干热风胁迫后,市购水溶肥、含木醋液水溶肥处理的 SOD、POD、CAT 活性均高于清水处理,MDA 含量低于清水处理,初步说明在小麦遭受干热风胁迫时,市购水溶肥、含木醋液水溶肥能够提高小麦抗氧化酶活性,进而减少 MDA 积累。

在旱作生产条件下,喷施叶面肥能显著提高冬小麦灌浆期旗叶的净光合速率,促进灌浆期光合产物的形成和运输,增大籽粒灌浆速率,进而增产^[25]。小麦生育后期尿素、磷酸二氢钾和微肥混喷可使千粒重、产量分别提高 4.14%、15.82%^[26]。拔节期、开花期喷施叶面肥,喷肥处理的穗数、穗粒数和千粒重均高于对照,小麦产量增加^[27]。席吉龙等^[5]研究表明,在中度干热风胁迫下,抗干热风制剂 KN-8 和 KN-2 处理的光合速率提高 20.0% 和 15.6%。周红娟等^[28]研究表明,鸡粪与木醋液配施可使盐碱土的 pH 显著降低、养分含量显著提高。解秋等研究^[29]发现,添加 20%、40% 木醋液的炭基肥氮素利用率比常规炭基肥提高 13.87% 和 23.49%。魏泉源等^[30]研究显示,叶面喷洒稀释 300 倍的木醋液可使芹菜产量提高 17.12%。本研究也表明,返青-拔节期和孕穗-灌浆前期喷施水溶肥促进了小麦植株和根系生长,增强了小麦根对钾、籽粒对氮的吸收功能,提高了旗叶绿素

含量, 进而提高小麦穗粒数和千粒重, 增加产量。

小麦产量增加的原因之一是水溶肥中含有小麦生长所需的营养物质, 含木醋液水溶肥中含有氮、钾、有机酸等物质, 含海藻酸水溶肥中含有氮、钾、锌、硼、海藻酸等物质, 市购水溶肥中含有硼、锌、氨基酸等物质。小麦吸收该类物质后, 促进了小麦根对钾的吸收, 提高了小麦籽粒氮含量, 在小麦遭受干热风危害时, 启动了抗氧化酶系统, 保护了细胞膜, 促进了干物质积累, 进而提高了产量; 另一个原因可能是叶面喷施含木醋液水溶肥后, 部分木醋液进入土壤中, 降低了土壤 pH, 提高了土壤碱解氮、速效钾和有效磷含量^[12], 进而提高了肥料利用率^[29]。

下一步应该研究干热风胁迫前后, 水溶肥对小麦生物量及其他相关生理指标影响的变化规律和幅度是否有区别, 土壤中养分和微生物区系的变化, 以便于全面评价含木醋液水溶肥能否提高小麦抗干热风的能力, 同时进行田间验证。

4 结论

1) 在轻干热风胁迫 3 d 情况下, 含木醋液水溶肥能提高小麦产量 24.22%, 主要原因是促进了小麦籽粒氮的吸收及干物质的累积, 提高了小麦叶片合成叶绿素的能力, 提高了抗氧化酶活性, 降低了小麦叶片膜脂过氧化程度, 进而提高了小麦抗干热风的能力。

2) 在小麦产量、根重、叶绿素、养分含量方面, 含海藻酸水溶肥的效果稍微优于含木醋液水溶肥; 在提高抗氧化酶活性和降低 MDA 含量方面含木醋液水溶肥的效果优于含海藻酸水溶肥; 两者的整体效果均优于市购水溶肥。

参考文献:

- [1] 北方小麦干热风科研协作组. 小麦干热风[M]. 北京: 气象出版社, 1988: 256–257.
- [2] 李森, 韩丽娟, 郭安红, 等. 1961—2015 年黄淮海地区冬小麦干热风灾害时空分布特征[J]. 生态学报, 2018, 38(19): 6972–6980.
- [3] 中国气象局. 小麦干热风灾害等级: QX/T 82—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [4] 赵花荣, 任三学, 齐月, 等. 不同时期灌水对冬小麦干热风的防御效应[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 58–65.
- [5] 席吉龙, 张建诚, 杨娜, 等. 小麦抗干热风制剂配方筛选与作用机制研究[J]. 山西农业科学, 2018, 46(11): 1818–1822.
- [6] 曹宏颖, 王海英. 木醋液的制备及精制研究进展[J]. 广东化工, 2014, 41(4): 37–38.
- [7] 刘长风, 张功领, 高品一, 等. 杂木木醋液成分分析及精制后再处理抑菌活性研究[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(14): 76–79, 109.

- [8] 毛巧芝, 赵忠, 马希汉, 等. 苦杏壳木醋液抑菌活性和化学成分分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 164–170.
- [9] 王元, 翟梅枝, 晏婷, 等. 不同温度段核桃壳木醋液的组分分析及生物活性研究[J]. 西北植物学报, 2011, 31(11): 2321–2327.
- [10] 高尚愚, 钱慧娟. 日本的木醋液精制和应用研究[J]. 林产化工通讯, 1994(6): 36–37.
- [11] 李忠徽, 王旭东. 灌施木醋液对土壤性质和植物生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 510–516.
- [12] 周红娟, 耿玉清, 丛日春, 等. 木醋液对盐碱土化学性质、酶活性及相关性的影响[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 105–111.
- [13] 赵飞, 宰学明, 李思宇, 等. 木醋液对滨海盐土解磷真菌 *Apophysomyces* sp. SM-1 生长代谢及其溶磷效果的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(5): 135–140.
- [14] 王晓朋, 张红雪, 胡坤, 等. 喷施废菌棒木醋液对小白菜生长和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020(3): 95–100.
- [15] 李燕, 张玉凤, 林海涛, 等. 木醋液对小麦根腐病致病菌及小麦发芽的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(4): 96–99, 111, 2.
- [16] 中华人民共和国工业和信息化部. 海藻酸类肥料: HG/T 5050—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [17] 中华人民共和国农业部. 含腐植酸水溶肥料: NY 1106—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [18] 蔡庆生. 植物生理学实验[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2013: 178–179, 182–188.
- [19] 中华人民共和国农业部. 植株全氮含量测定 自动定氮仪法: NY/T 2419—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 362–364, 367.
- [21] 奉斌, 代其林, 王劲. 非生物胁迫下植物体内活性氧清除酶系统的研究进展[J]. 绵阳师范学院学报, 2009, 28(11): 50–53, 77.
- [22] 叶亚新, 金进, 秦粉菊, 等. 低温胁迫对小麦、玉米、萝卜幼苗超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 244–248.
- [23] 钟鹏, 朱占林, 李志刚, 等. 干旱和低磷胁迫对大豆叶保护酶活性的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(2): 153–154, 204.
- [24] 刘佳, 李豪圣, 程敦公, 等. 高产小麦品种济麦 22 旗叶叶绿素和活性氧清除系统酶活性的变化[J]. 山东农业科学, 2012, 44(8): 31–34.
- [25] 朱娟娟, 张保军, 王成社. 金诺丰叶面肥对旱地冬小麦陕农 981 旗叶光合和灌浆特性及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 50–53.
- [26] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 等. 后期喷肥对强筋小麦临汾 138 产量和品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(6): 148–149.
- [27] 周吉红, 曹海军, 朱青兰, 等. 不同类型叶面肥在不同时期喷施对小麦产量的影响[J]. 作物杂志, 2012(5): 140–145.
- [28] 周红娟, 耿玉清, 丛日春, 等. 鸡粪与木醋液配施对滨海盐碱土化学性质和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(3): 157–162.
- [29] 解秋, 王敏, 张旭辉, 等. 木醋液—生物炭基肥对玉米苗期生长及氮素利用率的影响[J]. 土壤通报, 2018, 49(5): 1165–1169.
- [30] 魏泉源, 刘广青, 魏晓明, 等. 木醋液作为叶肥施用对芹菜产量及品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2009, 14(1): 89–92.