doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20199

喷施木醋液与有机水溶肥协同对小麦抗干热风的影响

张玉凤, 刘兆辉*, 田慎重, 边文范, 董亮, 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, 山东 济南 250100)

摘要: 为了检验木醋液与有机水溶肥协同作用能否提高小麦抗干热风的能力。采用盆栽试验, 通过模拟干热风胁迫, 研究了叶面肥、木醋液、木醋液+含海藻酸水溶肥(木+海肥)、木醋液+含腐植酸水溶肥(木+腐肥)对小麦产量、叶绿素、养分、抗氧化酶等指标的影响。结果表明: 与清水处理相比, 叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的产量、穗粒数、千粒重分别增加 1.15% ~ 26.57%、5.36% ~ 23.00%、0.88% ~ 7.99%; 木醋液、木+腐肥处理的秸秆重分别增加 7.43% 和 14.76%; 木醋液、木+腐肥处理的根重分别增加 27.26% 和 13.89%; 木+腐肥处理的叶绿素含量最高, 增幅为 0.88% ~ 3.94%; 木醋液处理的秸秆氮、磷含量分别增加 9.20% 和 11.11%; 叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的籽粒氮、磷、钾含量增幅分别为 2.19% ~ 6.57%、13.04% ~ 23.91%、9.68% ~ 12.90%; 5月11日的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)活性增幅分别为 9.09% ~ 18.15%、1.08% ~ 15.30%, 丙二醛(MDA)含量降低 0.94% ~ 11.69%。说明木醋液与有机水溶肥协同能够提高小麦抗干热风的能力, 主要表现在提高小麦产量、生物量及氮磷钾向籽粒的转移, 提高SOD、POD活性, 降低MDA含量。在产量、生物量、叶绿素、SOD、POD、MDA方面, 木醋液+含腐植酸水溶肥效果最好; 在促进养分向籽粒转移方面木醋液+含海藻酸水溶肥效果最好。

关键词: 木醋液; 含海藻酸水溶肥; 含腐植酸水溶肥; 小麦; 干热风

干热风经常出现在小麦扬花灌浆期间, 影响其光合和灌浆速率, 使灌浆不充分、茎叶干枯、炸芒、籽粒干瘪, 造成粒重下降、产量降低^[1]。一般减产 5% ~ 10%, 严重时达到 20% 以上, 而且影响小麦品质及出粉率^[2-3]。若在小麦灌浆初期喷施叶面肥或植物生长调节剂可以有效增加植株营养和提高抗逆性, 明显减轻干热风对小麦植株的危害, 增加千粒重, 一般可提高产量 10% ~ 20%^[4-5]。

农业废弃秸秆或木材加工剩余物在碳化或干馏过程中产生的烟气经冷凝回收分离后获得的混合物称为木醋液^[6], 其主要成分为有机酸、酚类、醇

类和酮类等约 500 种物质^[7]。其中, 有机酸类物质往往占有有机成分的 50% 以上, 主要包括乙酸、正丙酸、丁酸和正戊酸^[8]。研究表明适宜浓度的木醋液能够促进植物生长、改善品质、降低病虫害发病率, 调节土壤酸碱度、改善土壤微生物群落及代谢活性^[9-14]。虽然国内对木醋液在农业上的应用开展了一系列基础性研究, 但生产上规模化应用基本处于空白状态, 主要原因是单独的木醋液很难进入市场, 需要以某类肥料或农药产品形式进入, 鉴于木醋液除了具有抗病虫的功能, 还具有促生和抗逆功能, 可以将木醋液制备成有机水溶肥产品, 现行有机水溶肥标准中的有机物质主要有腐植酸、氨基酸、海藻酸, 其中腐植酸、海藻酸的抗旱效果较明显, 木醋液与其共同作用能否提高小麦抗干热风的能力, 目前尚未见报道, 本研究通过模拟干热风胁迫, 研究木醋液+含海藻酸水溶肥、木醋液+含腐植酸水溶肥协同对小麦生长的影响, 为研制含木醋液有机水溶肥提供实践和理论依据。

收稿日期: 2020-04-13; 录用日期: 2020-06-28

基金项目: 山东省重点研发计划(2019GSF109044); 国家小麦产业技术体系“养分管理及麦田环境治理”岗位科学家项目(CARS-03); 山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019XM002); 山东省重大科技创新工程计划(2019JZZY010701-2); 山东省大科学计划(2018-001)。

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

通讯作者: 刘兆辉, E-mail: liuzhaohuinky@163.com。

1 材料与方法

1.1 供试材料

小麦品种：济麦 22。木醋液：木屑、棉花秸秆等高温热解所得的一种液体产物，主要成分为左旋葡聚糖 14.90%、醋酸 9.40%、丙酮 6.08%、乙醛 6.02% 等。本文中的有机水溶肥包括自制含海藻酸水溶肥、自制含腐植酸水溶肥及市购叶面肥，主要成分为：(1) 含海藻酸水溶肥：海藻酸 6%、N+K₂O 20.7%、微量元素 2.5%，pH 值 5.4，液体，符合含海藻酸水溶肥标准^[15]；(2) 含腐植酸水溶肥：N+K₂O 204 g/L，腐植酸 32 g/L，pH 值 5.1，符合含腐植酸（大量元素）水溶肥标准^[16]；(3) 市购叶面肥：粮食专用型，含氨基酸水溶肥，游离氨基酸 ≥ 100 g/L，微量元素（B+Zn）≥ 20 g/L，主要成分为海洋生物活性物质、植物细胞膜稳态剂。

1.2 试验设计

试验设 5 个处理，每个处理 7 次重复，每个处理喷施一次约需 2000 mL 溶液。分别为：(1) 清水（CK）：喷施清水；(2) 叶面肥：喷施市购叶面肥，稀释 600 倍；(3) 木醋液：喷施木醋液原液，稀释 200 倍；(4) 木醋液 + 含海藻酸水溶肥（简称木 + 海肥）：喷施木醋液和含海藻酸水溶肥，木醋液稀释 200 倍，含海藻酸水溶肥稀释 500 倍。取 4 mL 含海藻酸水溶肥，加入到约 100 mL 水中，然后取 10 mL 木醋液加入，混合，加水到 2000 mL；(5) 木醋液 + 含腐植酸水溶肥（简称木 + 腐肥）：喷施木醋液和含腐植酸水溶肥，木醋液稀释 200 倍，含腐植酸水溶肥稀释 500 倍。取 4 mL 含腐植酸水溶肥，加入到约 100 mL 水中，然后取 10 mL 木醋液加入，混合，加水到 2000 mL。除喷施不同溶液外，所有处理其它施肥方式、种类和数量均相同，管理方式均相同。

1.3 试验方法

采用盆栽试验方法，于 2017 年 10 月 ~ 2018 年 6 月在山东省农业科学院试验农场进行。试验土壤理化性质为有机质 23.23 g/kg、碱解氮 94.68 mg/kg、有效磷 75.89 mg/kg、速效钾 210.35 mg/kg、pH 值 7.82。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。将盆埋入土壤，将每个处理的基肥（尿素、重过磷酸钙、

硫酸钾分别为 6.4、3.9、2.5 g/盆）与 16 kg 土壤掺混均匀，然后装盆，浇水，达到饱和持水量，水分渗入后，播小麦种，每盆 20 粒，然后在土壤表面覆盖一层干土（约 0.5 cm）。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%。出苗后定苗 15 株。水溶肥喷施时间为返青期 - 拔节期（2018 年 4 月 16 日下午 4:00 ~ 5:30）和孕穗 - 灌浆前期（5 月 4 日下午 4:00 ~ 5:30）。喷施方法为用喷雾器均匀细致地喷施小麦中上部茎叶。

小麦干热风条件模拟：5 月 9 日将小麦盆栽地四周用塑料布包围，采用自制的模拟干热风装置对小麦进行连续 6 d（5 月 10 日 ~ 5 月 15 日）的干热风胁迫处理。该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%，再将加热的空气以软质导管引到单排 9 个出风口朝向小麦的硬质出风管道（此出风管道长 2 m，一端软质热风导管，另一端封死），风速大约 2.5 m/s，温度为 34℃，为轻干热风^[17]。

1.4 取样和测定方法

叶绿素测定方法：分别于 4 月 20 日、4 月 27 日、5 月 7 日和 5 月 11 日上午采用 SPAD-502 叶绿素仪测定不同处理旗叶叶绿素相对含量（SPAD 值）。

生理指标的取样和测定方法：分别于 4 月 20 日、4 月 27 日、5 月 7 日和 5 月 11 日下午 3:00 ~ 4:00 取旗叶，放入液氮罐冷冻，用于测定超氧化物歧化酶（SOD）活性——氮蓝四唑法^[18]、过氧化物酶（POD）活性——愈创木酚法^[18]，过氧化氢酶（CAT）活性——紫外分光光度计法^[18]、丙二醛（MDA）含量——硫代巴比妥酸法^[18]。

小麦收获时取样和测定方法：数每盆小麦穗数，然后将穗剪下来，最后将秸秆和根全部拔出。将根洗净，风干，称量秸秆、根系风干重。然后将籽粒搓下来，称量籽粒重，计为产量，数穗粒数，称量千粒重。最后将秸秆、籽粒、根系分别烘干，称重，粉碎，测定根系、秸秆和籽粒养分含量（氮——自动定氮仪法^[19]、磷——钒钼黄比色法^[20]、钾——火焰光度法^[20]）。

1.5 数据统计与分析

采用 Excel 2010 和 DPS 18.1 软件对数据进行处理和分析，采用单因素方差分析（ $P < 0.05$ ），Duncan 新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 木醋液与有机水溶肥对小麦产量及其形成因素的影响

表1说明,叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的小麦产量均高于清水处理,增幅为1.15%~26.57%,增幅最高的是木+腐肥处理,而且木醋液、木+海肥、木+腐肥与清水处理间差异达到显著水平。穗数结果表明,叶面肥处理的穗数显著低于清水处理,其它处理与清水处理间差异不显著。叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的穗粒数、千粒重均高于清水处理,增幅分别为5.36%~23.0%、0.88%~7.99%,其中穗粒数增幅最大的是木+腐肥,千粒重最大的是木+海肥。这表明,叶面肥、木醋液、木醋液与有机水溶肥协同能提高小麦产量,增产的主要原因是提高了小麦穗粒数和千粒重。其中木醋液+含腐植酸水溶肥协同处理的小麦产量、穗数、穗粒数均最高。

表1 木醋液与有机水溶肥对小麦产量及其形成因素的影响

处理	产量 (g/盆)	穗数 (个/盆)	穗粒数 (个/穗)	千粒重 (g)
清水	30.45b	28.70ab	33.56b	46.46b
叶面肥	30.80b	23.80c	35.36b	47.32ab
木醋液	35.87a	27.60b	38.68a	46.87b
木+海肥	36.74a	26.40bc	38.56a	50.17a
木+腐肥	38.54a	29.80a	41.28a	49.35ab

注:同列中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$),下同。

2.2 木醋液与有机水溶肥对小麦生物量的影响

表2表明,木醋液、木+腐肥处理的秸秆和根重均高于清水,秸秆重增幅分别为7.43%、14.76%,根重的增幅分别为27.26%、13.89%,其余处理均低于清水处理,初步说明,木醋液、木醋液+含腐植酸水溶肥具有促进小麦生长的作用。

表2 木醋液与有机水溶肥对小麦生物量的影响

处理	秸秆重 (g/盆)	根重 (g/盆)
清水	21.54bc	7.63c
叶面肥	20.52c	6.17d
木醋液	23.14ab	9.71a
木+海肥	20.81c	7.11c
木+腐肥	24.72a	8.69b

2.3 木醋液与有机水溶肥对小麦叶绿素含量的影响

从表3看出,随着时间的推移,各处理的叶绿素基本均呈现上升-下降-下降趋势,说明在本试验条件下,5月份开始小麦光合能力开始下降。不同处理间相比,不同时间均呈现处理间差异未达到显著水平,4月20日、5月11日叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的叶绿素稍高于清水处理,增幅分别为0.08%~2.12%、2.76%~3.94%,4月27日只有木+腐肥增加1.27%,5月7日木+海肥、木+腐肥分别增加0.85%和0.87%。由此看出,干热风胁迫后,叶绿素的增幅增大,表明喷施木醋液、叶面肥、木醋液+有机水溶肥具有提高小麦生长后期叶绿素含量的趋势。

表3 木醋液与有机水溶肥对小麦叶片叶绿素含量 (SPAD值) 的影响

处理	4月20日	4月27日	5月7日	5月11日
清水	64.77a	66.19a	63.37a	60.84a
叶面肥	65.11a	65.53a	62.83a	62.94a
木醋液	64.82a	65.35a	62.81a	62.84a
木+海肥	64.89a	65.58a	63.91a	62.52a
木+腐肥	66.14a	67.03a	63.92a	63.24a

2.4 木醋液与有机水溶肥对小麦秸秆、根和籽粒中的氮、磷、钾含量的影响

表4中秸秆养分含量表明,木醋液处理的秸秆氮、磷含量高于清水处理,增幅分别为9.20%、11.11%,木+腐肥处理的磷含量显著低于清水处理,其余处理与清水处理间差异不显著;叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的秸秆钾含量均高于清水处理,增幅为1.21%~7.88%,其中木醋液、木+海肥与清水处理间差异达到显著水平。根中养分含量表明,木+海肥、木+腐肥处理的根氮含量高于清水处理,增幅分别为2.27%、7.95%,木+腐肥与清水处理间差异达到显著水平;木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的根磷含量高于清水处理,增幅分别为14.29%、42.86%、57.14%,其中木+海肥、木+腐肥与清水处理间差异达到显著水平;叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的根钾含量均低于清水处理。籽粒养分含量显示,叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的籽粒氮、磷和钾含量均高于清水处理,增幅分别为2.19%~6.57%、13.04%~23.91%和9.68%~12.90%,其中籽粒氮,只有木+海肥与清水处理间差异达到显著水平,籽粒磷、钾的各处理与清水处理间差异均达到显著水平。

表 4 木醋液与有机水溶肥对小麦秸秆、根、籽粒中的氮、磷、钾含量的影响 (%)

处理	秸秆			根			籽粒		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
清水	0.87b	0.09ab	1.65b	0.88bc	0.07c	0.76a	2.74b	0.46c	0.31b
叶面肥	0.87b	0.08b	1.70b	0.76d	0.06c	0.72a	2.80b	0.57a	0.34a
木醋液	0.95a	0.10a	1.78a	0.84c	0.08c	0.62b	2.82b	0.52b	0.34a
木 + 海肥	0.88b	0.09ab	1.77a	0.90ab	0.10b	0.60b	2.92a	0.56a	0.35a
木 + 腐肥	0.86b	0.07c	1.67b	0.95a	0.11a	0.50c	2.81b	0.52b	0.34a

叶面肥、木醋液、木 + 海肥、木 + 腐肥处理间相比，秸秆氮、磷、钾含量最高的是木醋液处理，根中氮、磷含量最高的是木 + 腐肥处理，根中钾含量最高的是叶面肥，籽粒氮、钾含量最高的是木 + 海肥处理，籽粒磷最高的是叶面肥处理。

初步表明，木醋液具有提高秸秆和籽粒氮、磷、钾养分吸收的功能；木醋液 + 含海藻酸水溶肥具有提高籽粒氮、磷、钾养分吸收的功能；木醋液 + 含腐植酸水溶肥也具有提高籽粒磷含量的能力。在促进籽粒吸收氮、磷、钾方面，木醋液 + 含海藻酸水溶肥效果最优。

2.5 木醋液与有机水溶肥对小麦叶片抗氧化酶活性和 MDA 含量的影响

由表 5 中 SOD 数据看出，随着时间的推移，

SOD 活性呈现下降 - 上升 - 下降的趋势；木醋液、木 + 腐肥处理在不同测定时期的 SOD 活性均高于清水处理；5 月 7 日、5 月 11 日叶面肥、木醋液、木 + 海肥、木 + 腐肥处理的 SOD 活性均高于清水处理，5 月 7 日、5 月 11 日增幅分别为 8.47% ~ 29.03%、9.09% ~ 18.15%，其中 5 月 7 日增幅最大的是木醋液处理，5 月 11 日增幅最大的是木 + 腐肥处理。

POD 数据显示，随着时间的推移，POD 活性呈现上升 - 上升 - 下降的趋势，4 月 27 日，叶面肥、木醋液、木 + 海肥、木 + 腐肥处理的 POD 活性均低于清水处理；5 月 11 日均高于清水处理，增幅为 1.08% ~ 15.30%，其中增幅最高的是木 + 腐肥处理。

表 6 中 CAT 数据，随着时间的推移，基本呈

表 5 木醋液与有机水溶肥对小麦叶片 SOD、POD 活性的影响

处理	SOD 活性 (U/g)				POD 活性 [ΔA470/(min·g)]			
	4 月 20 日	4 月 27 日	5 月 7 日	5 月 11 日	4 月 20 日	4 月 27 日	5 月 7 日	5 月 11 日
清水	674.42bc	458.46c	662.84d	527.43c	24.23a	30.49a	33.42b	26.02b
叶面肥	612.88d	506.22b	755.60bc	614.47a	23.06a	27.48a	34.07b	27.46ab
木醋液	721.16ab	482.92bc	855.29a	599.12ab	23.00a	26.46a	37.80a	29.13a
木 + 海肥	665.66c	377.75d	719.00c	575.38b	24.22a	28.11a	32.42b	26.30b
木 + 腐肥	764.77a	701.67a	775.14b	623.16a	25.76a	30.10a	32.82b	30.00a

表 6 木醋液与有机水溶肥对小麦叶片 CAT 活性、MDA 含量的影响

处理	CAT 活性 [ΔA240/(min·g)]				MDA 含量 (nmol/g)			
	4 月 20 日	4 月 27 日	5 月 7 日	5 月 11 日	4 月 20 日	4 月 27 日	5 月 7 日	5 月 11 日
清水	23.73b	20.72a	22.69a	10.46b	4.37b	4.55bc	6.08b	7.44a
叶面肥	25.23b	18.86a	14.07c	10.36b	4.72a	4.38c	5.72c	7.33a
木醋液	23.08b	20.46a	18.21b	12.54a	4.24b	4.46bc	6.61a	7.37a
木 + 海肥	31.94a	20.90a	22.71a	10.72b	4.13b	4.82ab	6.49a	7.20a
木 + 腐肥	29.63a	20.24a	12.44c	9.82b	4.76a	5.10a	6.78a	6.57b

现一直下降的趋势,但是清水和木+海肥处理5月7日除外;与清水处理相比,未呈现明显规律性的变化。

MDA 数据表明,除了4月27日的叶面肥、5月11日木+腐肥处理外,其余处理均呈现随着时间的推进,MDA 含量逐渐升高的趋势;5月11日叶面肥、木醋液、木+海肥、木+腐肥处理的MDA 含量均低于清水处理,降幅为0.94%~11.69%,降幅最大的是木+腐肥。

上述结果表明,干热风胁迫后,小麦旗叶内SOD、POD、CAT 活性均下降,MDA 含量升高,细胞膜透性增强。喷施叶面肥、木醋液、木醋液+含海藻酸水溶肥、木醋液+含腐植酸水溶肥具有提高小麦叶片SOD、POD 活性,降低MDA 含量的功能,其中木醋液+含腐植酸水溶肥的效果最好。

3 讨论

抵御小麦干热风的有效措施之一是在小麦生长中后期施用有效养分、喷施叶面肥或生长促进剂物质。赵海燕等^[21]研究表明,在小麦叶片衰老的过程中,喷施含腐植酸水溶肥料能够提高小麦旗叶的叶绿素含量,增加小麦生育期内叶片叶绿体以及光合色素含量,促进光合作用,并在提高作物抗逆性上也具有一定的促进作用。张运红等^[22]研究表明,喷施海藻酸钠寡糖等生物刺激素可一定程度促进小麦旗叶的生长和提高SPAD 值。张兰生等^[23]研究表明,拔节期施用锌腐肥能提高小麦产量。李金鑫等^[24]施海藻酸增效复混肥提高小麦粒重和穗数,增产15.33%,氮、磷和钾养分吸收量分别增加15.63%、12.54%和8.13%。在小麦拔节期及灌浆期喷施聚谷氨酸叶面肥450~1350 mL/hm²,能增加千粒重、成穗率和穗粒数,增产效果显著^[25]。本研究发现,喷施木醋液、木+海肥、木+腐肥均能提高小麦粒重、穗粒数、千粒重;木醋液、木+腐肥处理还能增加秸秆、根重;干热风胁迫后,叶绿素的增幅增大;喷施木醋液提高秸秆氮、磷含量;木醋液、木+海肥、木+腐肥处理均能提高籽粒氮、磷、钾含量。

逆境胁迫下植物体内会产生大量的活性氧自由基,导致膜脂过氧化,进而造成膜系统的氧化损伤^[26-27]。当然植物体内也存在着一系列酶促和非酶促抗氧化剂来消除活性氧自由基,保护植物细胞免受活性氧伤害,维持膜系统稳定性,以增强植株

抗逆性^[28-29]。当植物遇到逆境时,POD 和CAT 能与SOD 协同反应,减轻活性氧的伤害,抑制膜内不饱和脂肪酸分解产物MDA 的积累,保持和修复细胞膜,从而共同发挥防御作用^[30]。刘洪展等^[31]研究发现,在轻度高温胁迫下,SOD 酶活性增强,但在重度高温胁迫下,SOD 酶活性最终表现出下降的趋势。姜春明等^[32]研究表明灌浆后期持续高温胁迫将导致植株体内SOD、POD 活性下降。吴进东^[33]研究表明花后短暂高温胁迫使旗叶抗氧化酶活性短暂小幅升高后随即显著下降,并且MDA 含量显著高于对照。虽然不同胁迫得到的结果存在不同,但是从总体上而言,高温胁迫会导致MDA 含量升高,胁迫时间长可能会出现下降趋势,并且长时间高温最终会导致POD、SOD、CAT 活性下降。本研究表明干热风胁迫后,小麦旗叶内SOD、POD、CAT 活性均下降,MDA 含量升高,细胞膜透性增强。喷施叶面肥、木醋液、木醋液+含海藻酸水溶肥、木醋液+含腐植酸水溶肥能缓解干热风对小麦的伤害,与喷清水处理相比,能够提高小麦叶片SOD、POD 活性,降低MDA 含量,其中木+腐肥的效果最好,进而提高了小麦产量、生物量及氮、磷、钾向籽粒的转移。产生上述现象的原因可能是:一方面木醋液中含有的酚类可刺激植物内源性生长激素和多种酶的增加,如吲哚乙酸、赤霉素均能促进植株更快更好生长,促进植株对氮元素的吸收;另一方面是因为木醋液、含海藻酸水溶肥、含腐植酸水溶肥中含有的氮、钾、小分子有机酸能被小麦直接吸收,茎叶中养分含量增加,进而促进小麦旗叶的光合作用,提高整个生育期小麦旗叶光合速率^[34],延缓小麦后期衰老速度,有利于籽粒干物质的积累和小麦产量的提高。上述结果初步表明,本试验条件下,木醋液与有机水溶肥协同能够提高小麦抗干热风的能力,但是其作用机理有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 李森,韩丽娟,张蕾,等.黄淮海地区干热风灾害致灾因子时空特征分析[J].自然灾害学报,2020,29(1):183-192.
- [2] 陈继珍,王咏青,张杰.河南省小麦干热风气候特征及其对小麦产量的影响[J].安徽农业科学,2012,40(12):7152-7154.
- [3] 赵娜,刘赞.我国小麦干热风危害及其防御措施研究[J].农业灾害研究,2011,1(2):68-73.
- [4] 张晓,卜冬宁,李瑞奇,等.叶面喷施微肥对冬小麦产量和

- 品质的影响[J]. 麦类作物学报, 2012, 32 (4): 747-749.
- [5] 吕凤荣, 李向东, 季书勤, 等. 喷洒磷酸二氢钾和杀菌剂对强筋小麦郑麦 366 千粒重和品质的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40 (9): 11-13.
- [6] Wei Q, Ma X H, Dong J. Preparation, chemical constituents and antimicrobial activity of pyrolytic acids from walnut tree branches[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2012, 87: 24-28.
- [7] 徐社阳, 陈就记, 曹德榕. 木醋液的成分分析[J]. 广州化学, 2006, 31 (3): 28-31.
- [8] 崔莹, 王海英, 段晓玲. 木醋液有机酸类成分的香气研究进展[J]. 广州化工, 2014, 42 (6): 11-12, 30.
- [9] 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.
- [10] 黄文, 应芳卿, 黄晓燕, 等. 木醋液作灌根对番茄生长发育和产量的影响[J]. 北方园艺, 2010 (24): 37-38.
- [11] Bilehal D, Li L, Kim Y H. Gas chromatography-mass spectrometry analysis and chemical composition of the bamboo-carbonized liquid[J]. Food Analytical Methods, 2011, 5 (5): 109-112.
- [12] Benzon H R L, Rubenecia M R U, Ultra Jr V U, et al. Chemical and biological properties of paddy soil treated with herbicides and pyrolytic acid[J]. Journal of Agricultural Science, 2015, 7 (4): 20-29.
- [13] 潘洁, 肖辉, 程文娟, 等. 木醋液土壤灌溉对土壤养分、番茄产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2016 (2): 61-64, 77.
- [14] 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.
- [15] HG/T 5050-2016, 海藻酸类肥料[S].
- [16] NY 1106-2010, 含腐植酸水溶肥料[S].
- [17] 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.
- [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] NY/T 2419-2013, 植株全氮含量测定-自动定氮仪法[S].
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海: 上海科技出版社, 1978. 362-364, 367.
- [21] 赵海燕, 甘淳丹, 兰汝佳, 等. 喷施新型腐植酸型叶面肥对小麦旗叶抗氧化和产量及品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2018, 41 (4): 685-690.
- [22] 张运红, 杨占平, 郑春风, 等. 几种生物刺激素对小麦产量形成及品质的调控[J]. 麦类作物学报, 2019, 39 (11): 1333-1342.
- [23] 张兰生, 张晶, 党建友, 等. 锌腐酸肥料对冬小麦群体、产量及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018 (2): 109-122.
- [24] 李金鑫, 李絮花, 刘敏, 等. 海藻酸增效复混肥料在冬小麦上的施用效果[J]. 中国土壤与肥料, 2020 (1): 153-159.
- [25] 段淑娟, 刘骏, 张草, 等. 聚谷氨酸叶面肥在小麦上的应用效果研究[J]. 现代农业科技, 2019 (1): 6.
- [26] Blokhina O, Virolainen E, Fagerstedt K V. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review[J]. Annals of Botany, 2003, 91 (2): 179-194.
- [27] 张永福, 黄鹤平, 银立新, 等. 冷(热)激对干旱胁迫下玉米活性氧清除及膜脂过氧化的调控机制[J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (5): 56-60.
- [28] 夏民旋, 刘飞虎, 梁雪妮. 超氧化物歧化酶与植物抗逆性[J]. 分子植物育种, 2015, 13 (11): 2633-2646.
- [29] Guo Z F, Tan J L, Zhuo C L, et al. Abscisic acid, H₂O₂ and nitric oxide interactions mediated cold-induced S-adenosylmethionine synthetase in *Medicago sativa* subsp. *falcata* that confers cold tolerance through up-regulating polyamine oxidation[J]. Plant Biotechnology Journal, 2014, 12 (5): 601-612.
- [30] 王文佳, 李爽, 马泽众, 等. 水分胁迫对春大豆叶片保护酶活性及相对电导率的影响[J]. 中国农学通报, 2019, 35 (11): 14-18.
- [31] 刘洪展, 郑风荣, 赵世杰. 高温胁迫对不同衰老型小麦叶片中活性氧清除系统的影响[J]. 贵州农业科学, 2006, 34 (1): 8-10.
- [32] 姜春明, 尹燕桦, 刘霞, 等. 不同耐热性小麦品种旗叶膜脂过氧化和保护酶活性对花后高温胁迫的响应[J]. 作物学报, 2007, 33 (1): 143-148.
- [33] 吴进东. 花后短暂高温渍水逆境对冬小麦产量和品质影响机理及其氮素调控[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013.
- [34] 于振文, 张炜, 余松烈. 钾营养对冬小麦养分吸收分配、产量形成和品质的影响[J]. 作物学报, 1996, 22 (4): 442-447.

Effects of spraying wood vinegar and organic water-soluble fertilizer on wheat resistance to dry hot wind

ZHANG Yu-feng, LIU Zhao-hui*, TIAN Shen-zhong, BIAN Wen-fan, DONG Liang, LI Rui-qin (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 Shandong 250100)

Abstract: In order to test whether the synergistic effect of wood vinegar and organic water-soluble fertilizer can improve the ability of wheat to resist dry hot wind, the effects of foliar fertilizer, wood vinegar, wood vinegar + alginate water-soluble fertilizer (wood + alginate fertilizer), wood vinegar + humic acid water-soluble fertilizer (wood + humic acid fertilizer) on wheat yield, chlorophyll, nutrients, antioxidant enzymes and other indicators were studied by pot experiment under

simulated dry hot wind stress. The results showed that compared with the treatment of water, wood vinegar, wood + alginate fertilizer, wood + humic acid fertilizer treatments increased the yield, grain number per spike and the weight of 1000 grains of foliar fertilizer by 1.15% ~ 26.57%, 5.36% ~ 23.00%, 0.88% ~ 7.99%, respectively. Straw weight of wood vinegar, wood + humic acid treatments increased by 7.43% and 14.76%, respectively. Root weight of wood vinegar, wood + humic acid treatment increased by 27.26% and 13.89%, respectively. The chlorophyll of wood + humic acid treatment was the highest, increased by 0.88% ~ 3.94%. The N and P content in straw of wood vinegar treatment increased by 9.20% and 11.11%, respectively, and the N, P and K content in grain of foliar fertilizer, wood vinegar, wood + alginate fertilizer, wood + humic acid fertilizer treatments increased by 2.19% ~ 6.57%, 13.04% ~ 23.91%, 9.68% ~ 12.90% respectively; On May 11, SOD activity increased by 9.09% ~ 18.15% , POD activity increased by 1.08% ~ 15.30%, malondialdehyde (MDA) content decreased by 0.94% ~ 11.69%. The results showed that the combination of wood vinegar and organic water-soluble fertilizer could improve the ability of wheat to resist dry hot wind, mainly in improving wheat yield, biomass and the transfer of N, P, K to grain, increasing SOD and POD activity, and reducing MDA content. Wood vinegar + water-soluble fertilizer with humic acid was the best in yield, biomass and chlorophyll, SOD、POD、MDA of wheat. Wood vinegar + water-soluble fertilizer with alginate was the best in promoting nutrient transfer to seeds.

Key words: wood vinegar; water-soluble fertilizers containing alginate; water-soluble fertilizers containing humic-acids; wheat; dry hot wind