

一种土壤调理剂对玉米幼苗抗旱性的影响

尹梅, 苏帆, 付利波, 陈华, 陈检锋, 王志远, 洪丽芳

(云南省农业科学院农业环境资源研究所, 云南昆明 650205)

摘要: 为研究新型高效土壤调理剂 M3T 对作物抗旱性的影响, 开展水分胁迫下不同浓度 M3T 对盆栽玉米幼苗的抗旱性影响的试验。结果表明: 添加 M3T 可增强土壤保水能力; M3T 处理延长玉米幼苗的存活时间 3~11 天, 增加玉米幼苗的株高和生物量; 玉米幼苗体内叶绿素、丙二醛、脯氨酸、可溶性蛋白含量及过氧化物酶和超氧化物歧化酶活性的动态测定结果表明, 未加 M3T 的处理玉米幼苗最早感受到水分胁迫而产生生理生化反应, M3T 处理的玉米幼苗出现水分胁迫反应延迟。干旱胁迫下, 0.01%~0.03% M3T 处理有利于玉米幼苗生长, 0.04%~0.05% M3T 处理增强了玉米幼苗抗旱性, 其存活时间更长; 0.02%~0.03% M3T 处理下农作物在干旱胁迫下可正常生长发育, 且具有较好的抗旱性, 为较佳处理。

关键词: 干旱胁迫; 土壤调理剂; 玉米幼苗; 抗旱性

中图分类号: S156.2; S513 **文献标志码:** A

Effects of a soil conditioner on drought resistance of maize seedling

YIN Mei, SU Fan, FU Li-bo, CHEN Hua, CHEN Jian-feng, WANG Zhi-yuan, HONG Li-fang

(Agricultural Environment and Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming, Yunnan 650205, China)

Abstract: In order to study the effects of a new soil conditioner, M3T, on drought resistance of crops, a pot-based experiment applying M3T with different concentrations on maize seedlings under drought was carried out. The results showed that M3T improved water-holding ability of soil and prolonged the life time of maize seedling by 3~11 days. It also increased height and biomass of maize seedlings. Dynamic examinations on contents of chlorophyll, MDA, Pro, soluble protein, POD and SOD in maize seedlings showed that maize seedlings without any M3T treatment displayed earlier physiological responses to water stress than those with M3T treatment. It was further found that 0.01%~0.05% M3T promoted the plant growth, and 0.04%~0.05% M3T enhanced the drought resistance and prolonged the life time of maize seedlings. In conclusion, 0.02%~0.03% M3T was optimal for the growth of maize seedlings under drought.

Keywords: drought stress; soil conditioner; maize seedling; drought resistance

世界陆地面积约有 1/3 是干旱和半干旱地区, 我国干旱和半干旱地区占到总面积的一半多, 干旱直接影响到作物产量的高低和稳定性^[1]。在目前水资源较缺乏, 农业用水危机不断加剧的情况下, 农业生产要向高产稳产方向发展, 就必须实施高效节水农业。

保水剂是一种新型的水分载体, 使用方便, 它可以提高土壤含水量^[2-3], 增强植物对干旱的抵御能力, 为植物生长长期提供水分^[4-8], 化学高分子聚合物的保水剂在农林、园艺 and 环境保护等领域展示了应用前景^[9]。Marine 3 Technologies (M3T) 产品是一种来自

于海洋的土壤调理剂(www.marine3technologies.com), 为了验证该土壤调理剂的保水作用和对植物抗旱性的影响, 本文通过在温室盆栽干旱胁迫条件下对玉米幼苗施用 M3T, 探讨不同浓度 M3T 对玉米幼苗生长和抗旱性的影响, 为 M3T 在农业生产中的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试玉米品种: 甜糯 888。

供试土壤调理剂: M3T, 该土壤调理剂由 Marine

收稿日期: 2014-05-18

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项湖泊主题滇池项目(2012ZX07102-003); 国家科技支撑计划项目(2012BAD40B01); 国际植物营养所(IPNI)项目联合资助

作者简介: 尹梅(1977—), 女, 云南腾冲人, 副研究员, 主要从事植物营养与植物生理方面的研究。E-mail: ymmay@163.com。

通信作者: 洪丽芳(1963—), 研究员, 主要从事土壤肥料研究。E-mail: gredbean@163.com。

3 Technologies Ltd. 生产。M3T 可提供给植物使用, 它内含一种甲基聚合物, 与水混合形成凝胶体, 具有蓄水作用, 降低水的表面张力, 可以防止由于蒸发或渗透造成的水分流失, 保蓄植物根部水分, 增长基质保持水分的时间。

1.2 不同浓度 M3T 对土壤持水能力的影响测定

选用云南省昆明市本地农田耕作层红壤风干过筛, 土壤搅拌均匀后放入烧杯中, 每个烧杯装 100.00 g 土壤, 加入含不同浓度 M3T 的蒸馏水, 加入的水量一致, 为土壤的饱和持水量。试验处理为: CK 处理, 不加 M3T; 0.01% M3T 处理; 0.02% M3T 处理; 0.03% M3T 处理; 0.04% M3T 处理; 0.05% M3T 处理。每个处理 10 次重复。

将不同处理平均分为两组, 一组在气温约为 25℃ 室内放置, 每隔 24 小时测定一次重量, 直至恒重, 一组在 40℃ 烘箱内放置, 隔 12 小时测定一次其重量, 直至恒重。计算添加不同 M3T 浓度后土壤的保水能力^[4]。

1.3 玉米盆栽试验

1.3.1 试验设计

盆栽试验在云南省农业科学院农业环境资源研究所温室进行。供试土壤采自本地农田耕作层红壤。土壤搅拌均匀后装入直径 28 cm、高 35 cm 的塑料盆中, 每盆装含水量 13% 的风干土 12 kg。

每盆播 6 粒玉米种子, 待出苗后, 留壮实、生长一致的幼苗 3 株。玉米生长至 3 片真叶时, 停止浇水, 待玉米出现萎蔫, 浇灌 500 ml 各处理的水, 浇灌水量不能使水流出盆底, 如此处理 3 次, 各个处理每次浇水间隔的时间一样。处理浓度按照厂家提供的参考浓度 0.03% ~ 0.05% 来设计。试验为 6 个处理: CK 处理, 不加 M3T; 0.01% M3T 处理; 0.02% M3T 处理; 0.03% M3T 处理; 0.04% M3T 处理; 0.05% M3T 处理。每个处理 10 次重复。试验处理结束 24 小时后, 取各处理的第一次玉米叶片样品; 48 小时后取第二次叶片样品; 此后每隔 48 小时取样, 直至玉米植株出现永久性萎蔫。在最后一次处理后 12 天, 即 CK 处理的玉米幼苗发生永久性萎蔫前, 取玉米全株进行鲜重和干重等项目的测定。

1.3.2 测定项目及方法

按试验设计取玉米叶片样品, 每处理每次取中间和上部的功能叶 2.5 g, 剪碎供测试用。各项目测试方法如下: 叶绿素测定方法为 95% 乙醇法, 超氧化物歧化酶(SOD)采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法测定, 过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法测定, 丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法, 脯氨酸用酸性茚三酮显色法测定, 可溶

性蛋白质采用考马斯亮蓝 G—250 染色法^[10]。每项均重复测定 3 次。

1.3.3 数据分析

数据统计分析采用 EXCEL 和 DPS 软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同温度下不同浓度的 M3T 对土壤持水能力的影响

不同温度条件下添加不同浓度的 M3T 土壤保水能力曲线如图 1 和图 2 所示。人工加热 40℃ 条件下和室温条件下各处理变化规律大体相同, 均为 CK 处理水分散失速度快于各添加 M3T 处理, 说明添加 M3T 可以增加土壤的保水性能。40℃ 条件下的各个处理水分散失的速度比室温条件下快。

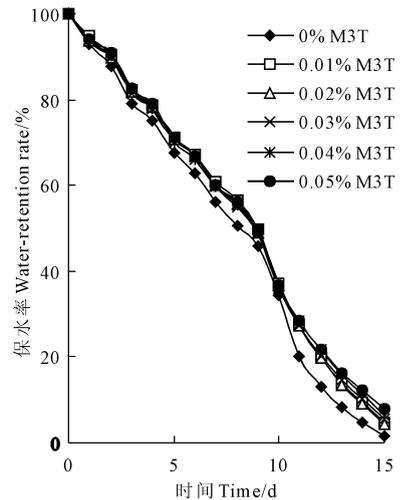


图 1 室温下添加不同浓度的 M3T 土壤保水能力的变化
Fig.1 Variations in water-holding abilities of soils with M3T varying in concentrations at room temperature

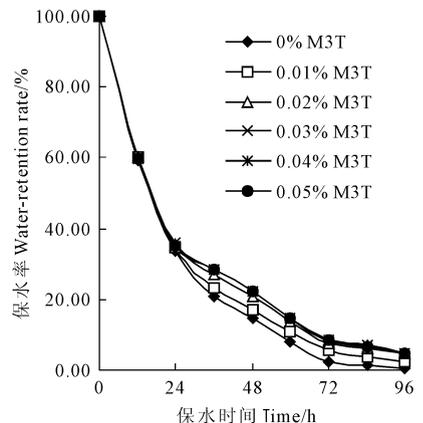


图 2 40℃ 下添加不同浓度的 M3T 土壤保水能力的变化
Fig.2 Variations of water-holding abilities of soils with M3T varying in concentrations at 40℃

2.2 干旱胁迫下不同浓度 M3T 对玉米幼苗生长的影响

表 1 显示了干旱胁迫下不同浓度 M3T 对玉米

幼苗生长的影响。经过 3 次处理后,各处理间的萎蔫死亡天数达到显著性差异,CK 处理玉米幼苗存活时间为 12~13 d,M3T 处理的存活时间为 15~24 d,

M3T 的施用延长了存活时间,幼苗存活时间随施用 M3T 浓度的增大而延长,呈现出正相关性。

表 1 不同浓度的 M3T 对玉米幼苗存活时间、株高、叶长和叶宽的影响

Table 1 Effects of different treatments on survival time, plant height, length and width of leaf of maize seedlings

处理 Treatment	存活时间 Survival time /d	株高 Plant height /cm	叶长 Length of leaf /cm	叶宽 Width of leaf /cm
0% M3T (CK)	12.33 ± 0.58 f	74.67 ± 9.07 bc	50.00 ± 13.23 b	1.77 ± 0.25 b
0.01% M3T	15.00 ± 0.00 e	89.00 ± 8.54 a	68.33 ± 10.41 a	2.60 ± 0.61 a
0.02% M3T	18.67 ± 0.58 d	85.27 ± 5.81 ab	65.00 ± 5.00 ab	2.67 ± 0.29 a
0.03% M3T	20.67 ± 0.58 c	79.87 ± 3.61 abc	58.33 ± 7.64 ab	2.47 ± 0.25 a
0.04% M3T	22.00 ± 0.00 b	80.17 ± 8.60 abc	58.33 ± 7.64 ab	2.47 ± 0.15 a
0.05% M3T	23.67 ± 0.58 a	71.70 ± 6.19 c	51.67 ± 7.64 b	2.43 ± 0.06 a

0.01% M3T 处理玉米幼苗株高最高,达 89.00 cm,与其他处理达到显著性差异。施用 M3T 处理中,仅 0.05% M3T 处理低于 CK 处理。玉米幼苗叶长和叶宽均是 M3T 处理组大于 CK 组。其中 0.01% M3T 处理叶长最长;0.02% M3T 处理的叶宽最宽。

2.3 干旱胁迫下 M3T 对玉米幼苗生物量和根冠比的影响

缺水会使植物生物量受到抑制^[11]。根系是植物吸收水分的主要器官,也最早感知到干旱胁迫,根系可通过调整自身形态和发生来适应环境的水分,植物的根冠比可以显示耐干旱的能力^[12-13]。表 2

表明干旱胁迫下不同 M3T 浓度对玉米幼苗生物量和根冠比的影响。

表 2 数据显示:M3T 处理玉米幼苗鲜重和干重明显高于 CK 处理,差异显著。0.01% M3T 和 0.02% M3T 处理的地上部鲜重和干重均是所有处理中最高的。CK 处理和 0.05% M3T 处理地下干重数值低,与其他处理有显著性差异。CK 处理的根冠比是所有处理中数值最大的,0.02% M3T 处理根冠比最小。数值测定是在 CK 处理即将发生永久性萎蔫死亡前,CK 处理已充分感应到土壤中水分的亏缺,并产生相应形态反应。

表 2 不同浓度的 M3T 对玉米幼苗生物量、干重和根冠比的影响

Table 2 Effects of different treatments on biomass, dry weight and root-top ratio of maize seedlings

处理 Treatment	鲜重 Fresh weight /(FW g·plant ⁻¹)	干重 Dry weight /(DW g·plant ⁻¹)	地上干重 Shoot dry weight /(DW g·plant ⁻¹)	地下干重 Root dry weight /(DW g·plant ⁻¹)	根冠比 Root-top ratio (DW/DW)
0% M3T (CK)	6.17 ± 0.42 c	1.51 ± 0.15 c	0.97 ± 0.17 c	0.54 ± 0.04 b	0.56
0.01% M3T	11.73 ± 2.29 a	2.00 ± 0.11 a	1.33 ± 0.14 ab	0.70 ± 0.04 a	0.53
0.02% M3T	11.86 ± 1.11 a	2.08 ± 0.26 a	1.36 ± 0.15 a	0.71 ± 0.02 a	0.52
0.03% M3T	10.27 ± 1.41 ab	1.90 ± 0.12 ab	1.27 ± 0.10 ab	0.69 ± 0.03 a	0.54
0.04% M3T	10.03 ± 1.67 ab	1.87 ± 0.19 ab	1.25 ± 0.15 ab	0.68 ± 0.05 a	0.54
0.05% M3T	8.63 ± 1.11 bc	1.77 ± 0.07 b	1.10 ± 0.04 bc	0.58 ± 0.04 b	0.53

2.4 不同浓度的 M3T 对干旱胁迫下玉米幼苗叶片叶绿素含量的动态影响

叶绿素是光合作用中最重要色素分子,在植物遭到环境胁迫后,常常表现出光合作用下降,叶绿素含量降低^[14-16]。

在试验过程中,CK 组叶绿素含量变化较小,处理后 1~8 天叶绿素含量一直增加,处理后 8 天下降,12 天后其叶绿素含量下降为整个测定过程中的最低值;各 M3T 处理的玉米幼苗叶绿素含量变化相

似,处理后 1 天略降或略升,此后时有波动。

1~6 天,各处理叶绿素含量有不显著的差异;8 天时,0.01 M3T 处理叶绿素含量明显高于其他处理,0.05% M3T 处理含量最低;10 天时,0.05% M3T、0.04% M3T 和 0.01% M3T 处理叶绿素含量较高,与其他处理之间达到显著性差异,对照 CK 处理的叶绿素含量最低;12 天时,0.05% M3T、0.01% M3T 和 0.02% M3T 处理叶绿素含量较高,与其他处理达到差异显著性,对照 0% M3T 处理的叶绿素含

量最低。

表3 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中叶绿素含量的变化/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 3 Effects of different treatments on chlorophyll content of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	2.18 ± 0.37 a	2.32 ± 0.52 a	2.33 ± 0.46 a	2.36 ± 0.13 a	2.76 ± 0.60 ab	2.44 ± 0.09 b	2.06 ± 0.41 b
0.01% M3T	2.37 ± 0.30 a	1.93 ± 0.20 a	2.41 ± 0.16 a	2.34 ± 0.44 a	3.12 ± 0.07 a	2.76 ± 0.14 a	3.05 ± 0.18 a
0.02% M3T	2.11 ± 0.69 a	2.02 ± 0.09 a	2.47 ± 0.38 a	2.41 ± 0.36 a	2.78 ± 0.21 ab	2.68 ± 0.04 ab	3.02 ± 0.16 a
0.03% M3T	2.31 ± 0.36 a	1.94 ± 0.35 a	2.36 ± 0.23 a	2.71 ± 0.43 a	2.53 ± 0.03 b	2.63 ± 0.07 ab	2.71 ± 0.92 ab
0.04% M3T	2.27 ± 0.36 a	2.30 ± 0.21 a	2.34 ± 0.08 a	2.51 ± 0.53 a	2.75 ± 0.10 ab	2.85 ± 0.17 a	2.78 ± 0.32 ab
0.05% M3T	2.01 ± 0.16 a	2.28 ± 0.39 a	2.49 ± 0.04 a	2.70 ± 0.25 a	2.52 ± 0.12 b	2.88 ± 0.30 a	3.22 ± 0.43 a

2.5 不同浓度的 M3T 对干旱胁迫下玉米幼苗中丙二醛(MDA)含量的动态影响

植物组织在水分胁迫下发生膜脂过氧化作用,丙二醛(MDA)是活性氧启动膜脂过氧化产生伤害的主要产物之一,其含量表示脂质过氧化程度和膜系统伤害程度^[17-18]。表4显示了干旱胁迫下不同处理玉米幼苗中MDA含量的变化,结果表明:所有处理的MDA含量呈现出下降—上升—略下降—再上升的趋势;所有处理的MDA含量在12天后都有升

高,说明随着干旱胁迫天数的增加,玉米幼苗体内膜脂过氧化程度不断加剧,对幼苗伤害加大;12天时,CK处理的MDA含量最高,此时该处理玉米的脂质过氧化程度最高和膜系统伤害最大,而0.04% M3T和0.05% M3T处理的MDA含量最低,0.01% M3T、0.02% M3T和0.03% M3T三个处理MDA含量居中,说明,施用M3T有利于玉米体内膜脂过氧化程度的降低,M3T对因干旱胁迫影响玉米幼苗叶片膜系统的伤害能起部分保护作用。

表4 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中丙二醛(MDA)含量的变化/($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 4 Effects of different treatments on MDA content of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	2.50 ± 0.30 a	2.35 ± 0.21 a	2.50 ± 0.18 a	2.83 ± 0.08 a	2.55 ± 0.35 a	2.87 ± 0.50 a	3.16 ± 0.28 a
0.01% M3T	2.49 ± 0.16 a	1.98 ± 0.22 a	2.47 ± 0.24 a	2.38 ± 0.28 b	2.38 ± 0.38 a	2.41 ± 0.53 a	3.05 ± 0.18 a
0.02% M3T	2.05 ± 0.41 a	2.00 ± 0.10 a	2.48 ± 0.36 a	2.45 ± 0.15 ab	2.40 ± 0.35 a	2.99 ± 0.52 a	3.02 ± 0.16 a
0.03% M3T	2.30 ± 0.38 a	1.95 ± 0.36 a	2.41 ± 0.27 a	2.75 ± 0.26 ab	2.39 ± 0.14 a	2.83 ± 0.29 a	3.01 ± 0.44 a
0.04% M3T	2.30 ± 0.41 a	2.03 ± 0.31 a	2.42 ± 0.21 a	2.50 ± 0.29 ab	2.41 ± 0.23 a	2.45 ± 0.31 a	2.81 ± 0.27 a
0.05% M3T	2.06 ± 0.10 a	2.30 ± 0.36 a	2.51 ± 0.04 a	2.75 ± 0.33 ab	2.53 ± 0.12 a	2.55 ± 0.27 a	2.94 ± 0.12 a

2.6 不同浓度的 M3T 对干旱胁迫下玉米幼苗中游离脯氨酸和可溶性蛋白含量的动态影响

渗透调节是植物适应水分胁迫的一种生理机制,脯氨酸是一类重要的渗透调节剂,脯氨酸可降低原生质渗透势,防止细胞水分散失,其累积量与环境干旱程度和植物对干旱的抗逆性相关^[19-20]。

表5显示干旱胁迫下不同处理玉米幼苗中脯氨酸含量的变化趋势:前期,脯氨酸含量略下降,4天后呈上升趋势,到12天时各处理含量均达到测定时期最高值。表明最后一次浇施后,各处理干旱有所缓解,脯氨酸含量均下降,但随着时间推移,干旱胁迫加剧,脯氨酸积累量都在不断增加。

表5 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中脯氨酸含量的变化/($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 5 Effects of different treatments on Pro content of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	67.38 ± 13.64 a	59.33 ± 6.51 a	92.10 ± 10.44 a	263.28 ± 51.90 a	337.72 ± 33.14 a	345.35 ± 43.40 a	414.36 ± 36.20 a
0.01% M3T	68.68 ± 12.54 a	56.49 ± 15.58 a	69.55 ± 14.53 a	186.02 ± 37.74 bc	298.30 ± 43.17 ab	318.17 ± 50.47 a	361.43 ± 40.81 ab
0.02% M3T	74.86 ± 10.05 a	55.44 ± 7.76 a	70.09 ± 9.15 a	154.96 ± 35.99 c	252.80 ± 34.78 bc	309.92 ± 37.02 a	342.38 ± 28.42 bc
0.03% M3T	75.25 ± 5.94 a	54.27 ± 11.75 a	66.48 ± 13.89 a	247.98 ± 44.48 ab	249.36 ± 9.51 bc	297.45 ± 54.06 ab	318.54 ± 45.46 cd
0.04% M3T	72.69 ± 5.16 a	56.12 ± 16.96 a	56.94 ± 11.87 a	199.94 ± 46.10 abc	221.85 ± 29.99 cd	225.90 ± 37.89 bc	289.78 ± 27.89 cd
0.05% M3T	69.11 ± 13.07 a	59.03 ± 10.92 a	58.13 ± 10.51 a	170.77 ± 33.77 c	177.51 ± 28.59 d	214.37 ± 25.60 c	255.05 ± 23.95 d

CK 处理的脯氨酸含量在 2~4 d 后呈急剧上升趋势,从 2 d 开始,脯氨酸含量是所有处理中最高的,干旱对 CK 处理玉米幼苗影响最大,CK 处理产生更多的脯氨酸以应对干旱的危害。虽然所有处理的脯氨酸含量都随着时间的推移而增加,但玉米幼苗脯氨酸的积累量随着 M3T 浓度提高而减少,说明 0.01%~0.05% M3T 浓度的范围内,高浓度 M3T 缓解干旱对玉米幼苗的伤害。

有研究表明,水分胁迫会产生一些新的胁迫蛋白,水分胁迫蛋白主要功能是调节渗透势^[21-22]。表 6 表明干旱胁迫下不同处理玉米幼苗可溶性蛋白

含量的变化:可溶性蛋白含量均随着干旱胁迫时间的延长而不断增加,表明所有处理在受到干旱胁迫时,玉米幼苗体内的可溶性蛋白都在增加。在 2 天时,CK 组可溶性蛋白含量大于各 M3T 处理,CK 组受到干旱胁迫出现的时间比 M3T 处理组早,以致产生较多可溶性蛋白应对干旱;4 天后,CK 组可溶性蛋白增长速度缓于 0.02% M3T 和 0.03% M3T 处理;12 天时,0.02% M3T 和 0.03% M3T 处理的可溶性蛋白最多,其次为 CK 组和 0.01% M3T 处理,0.05% M3T 处理的可溶性蛋白含量最少。

表 6 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中可溶性蛋白含量的变化/(mg·g⁻¹)

Table 6 Effects of different treatments on soluble protein content of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	3.61±0.47 a	5.75±0.26 a	6.18±0.01 b	8.36±0.61 cd	10.18±1.14 bc	12.22±0.23 b	13.30±0.34 ab
0.01% M3T	4.12±0.42 a	4.78±0.25 b	6.72±0.06 a	9.13±0.75 bc	10.78±0.12 abc	12.07±0.51 b	13.31±0.58 ab
0.02% M3T	3.62±0.59 a	4.79±0.38 b	6.13±0.06 b	9.73±0.38 ab	11.07±0.62 ab	14.05±1.64 a	14.42±0.29 a
0.03% M3T	4.38±1.01 a	5.33±0.50 ab	6.66±0.19 a	10.61±0.94 a	11.48±0.21 a	14.15±0.70 a	14.41±1.04 a
0.04% M3T	3.81±0.19 a	5.03±0.49 b	6.59±0.15 a	9.06±0.54 bc	10.44±0.55 abc	12.20±0.71 b	12.63±1.17 b
0.05% M3T	3.87±0.89 a	5.04±0.25 b	6.39±0.38 ab	7.79±0.49 d	9.77±0.28 c	11.89±0.97 b	12.28±0.60 b

2.7 不同浓度的 M3T 对干旱胁迫下玉米幼苗保护性酶 POD 和 SOD 活性的动态影响

植物受到干旱胁迫时,细胞内活性氧自由基水平增加,而植物体内防御系统中超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性的高低影响着植物应对干旱的能力^[23-24]。

不同时期测定的玉米幼苗 POD 活性结果见表 7,结果表明:前 4 天,所有处理玉米幼苗的 POD 活性有所增加,相对平稳;4 天后,所有处理 POD 活性大幅增加,说明此时幼苗对干旱胁迫已有感应,不断增加 POD 活性应对干旱;8 天后,CK 组的 POD 活性急剧下降,而 0.01% M3T 处理在 10 天时出急剧下

降,说明 CK 组在 8 天和 0.01% M3T 处理在 10 天时,由于干旱胁迫使它们体内自身代谢紊乱,不能再不断增加 POD 活性应对干旱胁迫,特别是 CK 组 12 天时 POD 值仅有 8 天时的 34.58%,12 天时 CK 组离萎焉死亡的时间已近,没有能力进行正常生理代谢来产生 POD。在 12 天时,0.02% M3T、0.03% M3T、0.04% M3T 和 0.05% M3T 处理的 POD 活性仍不断增加,它们的抗旱性仍在不断增加,M3T 浓度与玉米幼苗体内 POD 活性增加的速度呈负相关,0.02% M3T 处理 POD 活性增加最快,0.05% M3T 处理 POD 活性增加最慢,M3T 的浓度越高越有助于缓解植株的干旱胁迫。

表 7 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中 POD 活性的变化/(U·g⁻¹)

Table 7 Effects of different treatments on POD activity of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	116.67±19.53 a	141.67±21.65 ab	187.50±26.02 a	352.08±30.67 a	418.75±24.20 a	266.67±16.60 c	144.79±31.72 d
0.01% M3T	112.50±24.02 a	141.66±19.09 ab	172.22±9.66 ab	333.33±38.89 ab	420.83±11.46 a	495.83±21.02 a	320.83±19.47 c
0.02% M3T	135.00±37.44 a	128.33±16.73 b	141.67±25.67 cd	341.67±8.89 ab	412.50±6.17 a	516.67±36.32 a	545.83±27.28 a
0.03% M3T	129.17±21.71 a	104.17±37.03 b	122.92±9.08 d	295.83±29.48 b	308.33±11.03 b	487.50±18.20 a	512.50±48.05 a
0.04% M3T	145.83±15.74 a	183.33±21.65 a	150.00±10.24 bcd	212.50±36.09 c	283.33±29.17 b	358.33±18.17 b	438.89±20.97 b
0.05% M3T	134.17±16.46 a	173.75±20.65 a	158.33±11.02 abc	233.33±22.91 c	250.00±19.10 c	283.33±30.63 c	370.83±25.58 c

SOD 活性动态变化见表 8:前 2 天,各处理 SOD 活性几乎一样;4 天时,除 0.05% M3T 处理 SOD 活性

略有下降外,其他处理均增加,CK 处理增加量最多;4 天后,所有处理 SOD 活性急剧上升;8~10 天时,

CK组、0.01% M3T和0.04% M3T的SOD活性趋于平稳;10~12天时,CK处理SOD活性急剧下降,说明此时CK处理玉米幼苗已代谢紊乱不能继续产生SOD活性应对干旱,而M3T处理的幼苗SOD活性仍

不断增加。12天,M3T处理中,M3T浓度与SOD活性增加量呈负相关,0.01% M3T处理SOD活性增加最快,0.05% M3T处理增加最慢。

表8 干旱胁迫下不同处理的玉米幼苗中SOD活性的变化/(U·g⁻¹)

Table 8 Effects of different treatments on SOD activity of maize seedlings under drought

处理 Treatment	1 d	2 d	4 d	6 d	8 d	10 d	12 d
0% M3T (CK)	57.39 ± 3.05 a	59.33 ± 7.72 a	92.10 ± 14.24 a	263.28 ± 11.88 a	337.72 ± 30.82 a	345.35 ± 46.09 a	166.25 ± 27.58 c
0.01% M3T	58.68 ± 5.94 a	56.49 ± 7.41 a	69.55 ± 8.67 ab	186.02 ± 15.51 bc	298.30 ± 40.96 ab	318.17 ± 44.60 a	361.43 ± 38.44 a
0.02% M3T	54.86 ± 4.60 a	55.44 ± 8.77 a	70.09 ± 18.57 ab	154.96 ± 14.34 c	252.80 ± 36.25 bc	309.92 ± 29.19 a	352.38 ± 25.51 a
0.03% M3T	55.25 ± 6.83 a	54.27 ± 4.99 a	66.48 ± 13.76 b	247.98 ± 18.42 a	249.36 ± 27.59 bc	297.45 ± 42.13 a	318.54 ± 39.54 a
0.04% M3T	52.69 ± 8.15 a	56.12 ± 5.37 a	56.94 ± 3.49 b	199.94 ± 37.03 b	221.85 ± 32.04 cd	225.90 ± 30.78 b	319.78 ± 45.43 a
0.05% M3T	59.11 ± 5.50 a	59.03 ± 8.34 a	58.13 ± 17.02 a	170.77 ± 32.31 bc	177.51 ± 26.18 d	214.37 ± 32.38 b	255.05 ± 32.49 b

3 结论与讨论

土壤调理剂可以有效改善土壤理化性状和养分状况,对土壤微生物产生影响,降低重金属污染土壤中某些重金属的迁移能力,提高土壤的生产力;也同时存在一些问题,如天然调理剂改良土壤效果有限,且持续时间短或储量有限,人工合成高分子化合物成本高以及潜在环境污染风险等^[25-26]。

新型土壤调理剂M3T产品属于天然调理剂,能提高土壤持水能力,无论在人工加热40℃还是室温25℃下添加M3T的土壤保水性都强于没有添加M3T的土壤。

本文利用盆栽试验证明在水分胁迫条件下,土壤调理剂M3T有利于玉米幼苗的生长,增强植物抗旱性。M3T处理的玉米幼苗株高、叶长、叶宽、鲜重和干重都高于CK处理,而CK处理的根冠比是所有处理中数值最大的,说明CK处理已充分感应到土壤水分亏缺,产生了相应形态反应。干旱胁迫下,M3T处理明显提高了玉米幼苗的存活时间,在0.01%~0.05% M3T浓度间,玉米幼苗存活时间随M3T施用浓度增加而延长,呈现出正相关性。

对各个处理玉米幼苗的叶绿素、MDA、脯氨酸、可溶性蛋白、POD和SOD活性的动态测定结果显示,未加M3T处理的玉米幼苗最早感受到水分胁迫而产生一系列的生理生化反应以应对干旱;不同浓度M3T处理的生理指标动态结果显示,M3T浓度低的玉米幼苗产生应对干旱胁迫的反应要早于M3T浓度高的处理。说明在土壤中加入M3T有助于缓解土壤的水分亏缺,提高植物的抗旱性。

在新疆,研究者在棉花上对保水剂和抗旱剂的效果进行试验,结果表明保水剂提高棉花土壤水分

利用率2.1%~29.8%^[27]。在河南省,武继承等研究了保水剂和不同覆盖物对冬小麦的影响,结果显示,保水剂在小麦拔节期效果最佳,小麦产量结果显示秸秆覆盖加保水剂处理小麦产量最高,增产14.2%~20.1%^[28]。以上研究及本试验都表明土壤调理剂的应用可以有效改善农田土壤水分状况,提高水利用率。

试验结果显示,土壤调理剂M3T可以提高土壤的持水能力,增强植物抗旱性。在0.01%~0.05% M3T施用范围内,0.01%~0.03% M3T处理在干旱胁迫下更有利于玉米幼苗的生长,0.04%~0.05% M3T处理则更有利于玉米幼苗抗旱,其存活时间更长。要保证农作物干旱胁迫下的生长发育,0.02%~0.03% M3T处理为较佳的处理。

参考文献:

- [1] 李生秀.中国旱地农业[M].北京:中国农业出版社,2004:1-59.
- [2] Akhter J, Mahmood K, Malik K A. Effects of hydrogel amendment on water storage of sandy loam and loam soil and seedling growth of barley, wheat and chickpea[J]. Plant, Soil and Environment, 2004,50(10):463-469.
- [3] 黄占斌,张国桢,李秧秧,等.保水剂特性测定及其在农业中的应用[J].农业工程学报,2002,18(1):22-26.
- [4] 黄占斌,张玲春,董莉,等.不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J].水土保持学报,2007,21(1):140-143,163.
- [5] 李云开,杨培岭,刘洪禄.保水剂农业应用及其效应研究进展[J].农业工程学报,2002,18(2):182-187.
- [6] 赵敏,高会东,崔彦宏.保水剂对夏玉米生长发育和产量的影响[J].玉米科学,2006,14(6):125-126.
- [7] 庄文化,冯浩,吴普特.高分子保水剂农业应用研究进展[J].农业工程学报,2007,23(6):265-270.
- [8] Sojka R E, James A E, Jeffrey J Fuhrman. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil[J]. Applied Soil Ecology, 2006,(32):243-252.

- [9] 李倩,刘景辉,张磊,等.适当保水剂施用和覆盖促进旱作马铃薯生长发育和产量提高[J].农业工程学报,2013,29(7):83-90.
- [10] 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,2006.
- [11] 曹翠玲,杨力,胡景江.多效唑提高玉米幼苗抗旱性的生理机制研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(2):154-158.
- [12] Jia WS, Zhang JH. Stomatal movements and long distance signaling in plants[J]. Plant Signaling and Behavior, 2008,3(10):772-777.
- [13] 李文尧,张岁岐,丁圣彦,等.干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系[J].生态学报,2010,30(19):5140-5150.
- [14] Li W, Cao K F. Effects of drought stress on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of *Terminthia paniculata* grown under different light level[J]. Acta Bot Boreal - Occident Sin, 2006,26(2):0266-0275.
- [15] Lal A, Edwards G E. Analysis of inhibition of photosynthesis under water stress in the C4 species *Amaranthus cruentus* and *Zeamays*: electron transport, CO₂ fixation and carboxylation capacity[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 1996,23(4):403-412.
- [16] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿(*Medicago sativa*)对干旱胁迫的光合生理响应[J].生态学报,2007,27(12):5229-5237.
- [17] Fong K L, Mekav P B, Poyer J L. Evidence that peroxidation of lysosomal membranes is initiated by hydroxyl free radicals produced during flavin enzyme activity[J]. J Biol Chem, 1973,248:7792-7797.
- [18] 王根轩,杨成德,梁厚果.蚕豆叶片发育与衰老过程中超氧化物歧化酶活性与丙二醛含量变化[J].植物生理学报,1989,15(1):13-17.
- [19] 赵丽英,邓西平,山仑.持续干旱及复水对玉米幼苗生理生化指标的影响研究[J].中国农业生态学报,2004,(3):59-61.
- [20] Alia P, Saradhi P, Mohanty P. Involvement of proline in protecting thylakoid membranes against free radical - induced photodamage[J]. Journal of Photochemistry and Photobiology, 1997,38(2):253-257.
- [21] 王保莉,杨春.环境因素对小麦苗期 SOD、MDA 及可溶性蛋白的影响[J].西北农业大学学报,2000,28(6):72-77.
- [22] 施俊凤,孙常青.植物水分胁迫诱导蛋白研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(12):5355-5357,5385.
- [23] 李明,王根轩.干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响[J].生态学报,2002,(4),22:503-507.
- [24] 康建宏,吴宏亮,黄灵丹,等.干旱预处理的玉米幼苗对逆境的交叉适应研究[J].干旱地区农业研究,2006,26(6):143-148.
- [25] 吴增芳.土壤结构改良剂[M].北京:科学出版社,1976:24-34.
- [26] 陈义群,董元华.土壤改良剂的研究与应用进展[J].生态环境,2008,17(3):1282-1289.
- [27] 李磐,冯耀祖,钟新才.施用抗旱保水剂对棉花产量与水分利用效率的影响[J].新疆农业科学,2011,48(6):1125-1129.
- [28] 武继承,管秀娟,杨永辉.地面覆盖和保水剂对冬小麦生长和降水利用的影响[J].应用生态学报,2011,22(1):86-92.

(上接第 116 页)

- [8] 卞建民,刘彩虹,杨占梅,等.种植黄花草木樨对盐碱地土壤水、盐状况的影响[J].吉林农业大学学报,2012,34(2):176-179,183.
- [9] 郑普山,郝保平,冯悦晨,等.紫花苜蓿对盐碱地的改良效果[J].山西农业科学,2012,40(11):1204-1206.
- [10] 吴姝菊,刘凤歧,张月学,等.盐碱化土壤上不同因素对饲用燕麦鲜草产量的影响[J].中国农学通报,2011,27(21):199-202.
- [11] 岳燕,郭维娜,林启美,等.加入不同量生物质炭盐渍化土壤盐分淋洗的差异与特征[J].土壤学报,2014,51(4):914-919.
- [12] 鲍士旦.土壤农化分析[M].第三版.北京:中国农业出版社,2000:14-199.
- [13] 王葆芳,杨晓晖,江泽平.引黄灌区水资源利用与土壤盐渍化防治[J].干旱区研究,2004,21(2):139-143.
- [14] Clark R B, R itchey K D, Baligar V C. Benefits and constraints for use of FGD products on agricultural land[J]. Fuel, 2001,80:821-828.
- [15] 徐胜光,李淑仪,廖新荣,等.花生施用燃煤烟气脱硫副产物研究初报[J].土壤与环境,2001,10(1):23-26.
- [16] 李淑仪,蓝佩玲,徐胜光,等.燃煤烟气脱硫副产物在酸性土壤的农业资源化利用[J].生态科学,2003,22(3):222-226.
- [17] 李焕珍,徐玉佩,杨伟奇,等.脱硫石膏改良强度苏打盐渍土效果的研究[J].生态学杂志,1999,18(1):25-29.
- [18] Chun S, Nishiyama M, Matsumoto S. Sodic soils reclaimed with by-product from flue gas desulfurization: corn production and soil quality[J]. Environmental Pollution, 2001,114:453-459.
- [19] Sakai Y, Matsumoto S, Sadakata M. Alkali soil reclamation with flue gas desulfurization gypsum in China and assessment of metal content in corn grains[J]. Soil & Sediment Contamination, 2004,13(1):65-80.
- [20] 石连旋.松嫩不同盐碱化羊草草甸草原羊草光合及逆境生理生态特性研究[D].长春:东北师范大学,2007:1-97.
- [21] 颜宏,赵伟,尹尚军,等.羊草对不同盐碱胁迫的生理响应[J].草业学报,2006,15(6):49-55.