

茉莉酸与茉莉酸甲酯预处理对干旱胁迫下棉花种子萌发和种苗生理特性的影响

杨 艺^{1,2},常 丹²,王 艳^{1,2*},张雪妍¹,李付广¹,张富春²

(1 棉花生物学国家重点实验室,河南安阳 455000;2 新疆生物资源基因工程重点实验室,新疆大学 生命科学与技术学院,乌鲁木齐 830046)

摘要:以新疆棉花主栽品种‘新陆早 17’为材料,采用 PEG 模拟水分胁迫的方法,探讨不同浓度(0.025、0.25、2.5、25、250 $\mu\text{mol/L}$)外源激素茉莉酸(JA)和茉莉酸甲酯(MeJA)预处理对 23% PEG-6000 模拟干旱胁迫下棉花种子萌发及种苗生长、水分含量、根系活力、脯氨酸和氧化损伤的影响,为 JA 和 MeJA 在棉花生产中的合理使用提供依据。结果显示:(1)JA 和 MeJA 预处理能够显著缓解 23% PEG-6000 对棉花种子的干旱胁迫伤害,且 2.5 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理使干旱胁迫下棉花种子的发芽率和发芽势达到最高(70.0%、63.3%),比 23% PEG-600 干旱胁迫对照分别提高了 49.99%、72.70%;0.025 $\mu\text{mol/L}$ JA 预处理使干旱胁迫下棉花种子的发芽指数和活力指数达到最高(27.3、203.1),比对照分别提高了 68.14%、190.29%;2.5 $\mu\text{mol/L}$ JA 预处理使干旱胁迫下根系活力达到最高,比对照提高 266.68%。(2)两种激素预处理均能够使干旱胁迫下棉花种苗的脯氨酸含量显著上升,丙二醛含量显著降低。研究表明,适宜浓度外源 JA 和 MeJA 能够显著缓解干旱胁迫对棉花种子伤害,促进棉花种子萌发、种苗生长,增强根系代谢和减轻种苗的氧化损伤,从而增强其耐旱能力;MeJA 预处理效果要好于 JA 预处理,且干旱条件下棉花种子萌发及种苗生长的最适 MeJA 预处理浓度为 2.5 $\mu\text{mol/L}$,而 0.025 $\mu\text{mol/L}$ JA 则为棉花种子萌发的最适作用浓度,0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 则分别为种苗生长过程中促进作用最明显的浓度。

关键词:棉花;干旱胁迫;茉莉酸甲酯;茉莉酸;种子萌发;种苗生理特性

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

Effects of JA and MeJA Pretreatment on Seed Germination and Seedling Physiological Characteristics of *Gossypium hirsutum* under Drought Stress

YANG Yi^{1,2}, CHANG Dan², WANG Yan^{1,2*}, ZAHNG Xueyan¹, LI Fuguang¹, ZHANG Fuchun²

(1 State Key Laboratory of Cotton Biology, Anyang, He'nan 455000, China; 2 Xinjiang Key Laboratory of Biological Resources and Genetic Engineering, College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: PEG-6000 was used to imitate the drought stress, and under 23% PEG-6000 the effects of exogenous jasmonic acid (JA) and methyl jasmonic acid (MeJA) pretreatment at five concentrations of 0.025, 0.25, 2.5, 25, 250 $\mu\text{mol/L}$ were measured on seed germination, seedling growth, water content, root activity, proline content, and the effects of oxidative damage in cotton cultivar ‘Xinluzao 17’. The results indicated that:(1) The seed germination rate, germination potentiality, germination index, and vigor index were all improved with pretreatment by a certain concentration of JA and MeJA. The seed germination rate and germination potentiality were significantly increased by 49.99% and 72.70% with 2.5 $\mu\text{mol/L}$ MeJA pre-

收稿日期:2014-06-24;修改稿收到日期:2014-12-30

基金项目:棉花生物学国家重点实验室开放课题(CB2014A04);国家自然科学基金-新疆联合基金项目(U1303282)

作者简介:杨 艺(1989—),女,在读硕士研究生,主要从事植物分子生物学研究。E-mail:563226049@qq.com

* 通信作者:王 艳,博士,副教授,主要从事植物分子生物学研究。E-mail:wangyanxju@126.com

treatment. While seed germination index and vigor index by using 0.025 $\mu\text{mol/L}$ JA pretreatment was increased by 68.14% and 190.29% in compared with the control group. The root activity reached the maxima by using 2.5 $\mu\text{mol/L}$ JA and its level was higher 266.68% than the control. (2) Both JA and MeJA pretreatment were able to significantly increased proline content and reduced MDA content under drought stress in the seedling. The results demonstrated that JA and MeJA in a certain concentration could effectively mitigate inhibitory effect under drought stress and improve the cotton seed germination and seedling growth. In general, the ability for alleviation to drought stress by MeJA pretreatment was better than JA. 0.025 $\mu\text{mol/L}$ JA was the optimum pretreatment concentration for seed germination, while 0.25 and 2.5 $\mu\text{mol/L}$ JA were the optimum pretreatment concentration for seedling growth under drought stress, and for MeJA, the optimum pretreatment concentration was 2.5 $\mu\text{mol/L}$ for both seed germination and seedling growth, which provided the scientific basis for agricultural production.

Key words: *Gossypium hirsutum*; drought stress; jasmonic acid; methyl jasmonate; seed germination; physiological characteristics of seedling

中国西北地区是主要的干旱荒漠区,平均每年的受旱面积约2100万 hm^2 ^[1]。新疆栽种的棉花面积和产量占全国的一半左右,作为典型的干旱、半干旱地区,棉花的生长发育在任何时期都可能遭受干旱胁迫的影响,因而干旱已经成为影响新疆棉花生的主要灾害之一^[2]。

茉莉酸类物质(JAs)是广泛存在于植物体内的
一类生长调节物质,包括茉莉酸(jasmonic acid,
JA)、茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)及其相
关衍生物,近年研究发现JA和MeJA均能够参与
植物的抗逆反应^[3-4]。茉莉酸类物质具有应答外界
刺激,传导逆境信号及启动抗逆基因表达等生理效
应,并在抵御非生物胁迫和生物胁迫方面发挥作用,
外施JA及MeJA在一定程度上能减缓干旱胁迫对
植株造成的伤害,有效地提高植株的抗旱能力^[5-7]。
Ranjan等发现,0.1~1 mmol/L的外源JA处理可
以促进参薯种子的萌发,而用30~100 mmol/L JA
处理则抑制种子萌发,说明低浓度JA对种子萌发
有促进作用,而高浓度有抑制作用^[8]。邹燕等研究
表明,外源MeJA能显著提高渗透胁迫下油菜种子
发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数,降低丙二醛
(MDA)含量,在一定程度上能缓解渗透胁迫造成
的氧化损伤,维持细胞质膜的完整性,有效促进渗透
胁迫下油菜种子的萌发和幼苗生长^[9]。潘瑞炽等用
MeJA处理花生幼苗后发现,其植株矮化,叶小而
厚,叶片贮水细胞变大,蒸腾减弱,内源脱落酸和脯
氨酸含量增多,因此减少了水分丧失,从而加大叶片
中水分的贮存,提高了幼苗的抗旱性^[10]。

茉莉酸类物质JA和MeJA对植物生长具有极
为广谱的生理效应,研究显示MeJA对水稻和油菜
种子的萌发具有调节作用,但JA和MeJA对干旱

胁迫下棉花种子的萌发和生化特性的影响未见报
道。本试验以新疆主栽棉花品种‘新陆早17’
(XLZ17)为实验材料,研究外源施加JA及MeJA
对干旱胁迫下棉花种子萌发、种苗生长、脯氨酸含量
以及叶片氧化损伤的影响,旨在探讨茉莉酸和茉莉
酸甲酯对棉花抗逆性的调控作用,为其实践应用奠
定理论基础。

1 材料和方法

1.1 材料

试验材料为新疆棉花主栽品种‘新陆早17’
(XLZ17),是早熟陆地抗病品种,在新疆早熟棉区生
育期120 d左右。试验种子由新疆农业科学院经济
作物研究所提供。

1.2 种子处理

1.2.1 PEG-6000 浓度筛选 挑选籽粒饱满、大小
一致棉花种子,用70%乙醇消毒1 min,蒸馏水冲洗
3~4次,再用15%过氧化氢浸种5 h,蒸馏水冲洗3
~4次,然后分别播种到底部垫有2层滤纸(分别加
有4 mL 14.5%、18.7%、23%、25.1%、27.4%、
29.6%和31.7%胁迫溶液)培养皿中,以蒸馏水培
养种子为对照(CK₁),种子上覆盖2层滤纸(加有与
底部相应浓度2 mL 胁迫溶液)保湿于(25±2)℃培
养箱中萌发。培养过程中光暗周期为光照16 h/d,
光照强度为56 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,隔天揭开保湿滤
纸,底部加入2 mL 对应浓度胁迫处理液,最后在保
湿滤纸再加入2 mL 胁迫处理液以保持湿润,持续
胁迫,直至萌发终止。每处理播种20粒,4次重复。

1.2.2 JA 和 MeJA 预处理 棉花种子用上述方法
消毒后,分别采用不同浓度JA和MeJA[0(蒸馏
水)、0.025、0.25、2.5、25和250 $\mu\text{mol/L}$]处理液

浸种 36 h, 而后播种到底部垫有 2 层滤纸(加有 4 mL 23% PEG-6000 胁迫溶液)的培养皿中, 以 23% PEG-6000 处理的种子为对照(CK₂), 种子上面覆盖 2 层滤纸(加有 2 mL 23% PEG-6000 的胁迫溶液), 按上述条件在培养箱中萌发, 直至萌发终止, 每个处理播种 20 粒, 4 次重复。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 种子萌发率和根长 处理后以胚根大于种子长度的 1/2 为萌发标准, 每天统计发芽个数, 隔天测量种子的根长, 直至萌发数不再改变则终止萌发(第 9 天)。第 4 天计算发芽势, 第 9 天计算发芽率、发芽指数和活力指数。

发芽势=种子发芽试验初期(第 4 天)全部正常发芽种子数/供试种子数×100%

发芽率=发芽终期全部正常发芽的种子数/供试种子×100%

$$\text{发芽指数} = \sum G_t / D_t$$

式中, G_t 为第 t 天发芽数, D_t 为相应发芽试验天数

$$\text{活力指数} = \text{发芽指数} \times \text{种苗长度(全长)}$$

1.3.2 根系和植株相对水含量 待萌发终止后分别取棉花种苗及其新鲜的根, 用吸水纸吸干表面水分, 称其鲜重(W_f); 然后将其放入蒸馏水中浸泡数小时, 期间不断称重, 直至达到恒重为其饱和鲜重(W_t); 最后将材料放入 150 °C 的烘箱中, 烘干至恒重, 然后分别称干重(W_d), 试验均重复 4 次。

$$\text{相对水含量} = (W_f - W_d) / (W_t - W_d) \times 100\%$$

$$\text{自然饱和亏} = 1 - \text{相对水含量}$$

1.3.3 种苗根活力、游离脯氨酸、MDA 含量及渗透势 萌发终止后(第 9 天)取种苗根部, 采用 TTC 法测定种苗根活力, 取整株幼苗测定游离脯氨酸、丙二醛(MDA)含量及渗透势。游离脯氨酸含量采用碘基水杨酸提取、酸性茚三酮染色法测定, MDA 含量采用硫代巴比妥酸法测定^[11-12], 渗透势采用组织研磨器破碎种苗细胞, 用冰点渗透压仪测定组织液的渗透压。所用试剂均为分析纯, 试验均重复 3 次。

1.4 数据统计分析

用 Microsoft Excel 2003 和 prism 5.0 分析软件进行统计学分析, 采用 ANOVA 的方法比较均值之间的差异显著性, 并采用 Turkey test 进行多重比较($P < 0.05$)。图表中所有数据均表示为 $\bar{x} \pm s$ 。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对棉花种子萌发的影响

如图 1 所示, 利用不同浓度 PEG-6000 对‘新陆

早 17’(XLZ17)棉花种子进行胁迫, 棉花种子的萌发率随着 PEG-6000 浓度的升高而逐渐降低, 直到 31.7% 时降为零。当 PEG-6000 浓度在 23% 时, 萌发率为 46.67%, 接近萌发率一半, 是胁迫抑制萌发的节点, 因而本试验选取该浓度作为棉花种子干旱处理的胁迫浓度。

2.2 外源 JA 及 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花种子萌发的影响

图 1 显示, 棉花种子萌发率随 PEG 浓度升高而显著降低, 发芽率下降约一半时 PEG 浓度为 23% (CK₂)。由表 1 可以看出, 23% PEG 模拟干旱胁迫条件下, 预处理 XLZ17 棉花种子各项萌发指标均随着 JA 和 MeJA 浓度的增加而先升高后降低, 且除 250 μmol/L 浓度外均有不同程度促进作用, 但仍明显低于蒸馏水对照。其中, 与 CK₂ (23% PEG) 相比, 0.025 和 0.25 μmol/L JA 预处理的种子萌发率和活力指数、0.025 μmol/L JA 预处理的发芽势、0.25 μmol/L JA 预处理发芽指数均显著升高($P < 0.05$), 其余浓度预处理各发芽指数大多无显著变化; 发芽率和发芽势均在 0.025 μmol/L JA 下最高, 比对照分别提高 46.41% 和 49.99%, 而发芽指数和活力指数均在 0.25 μmol/L JA 处理下最高, 分别比对照提高 68.14% 和 190.29%。对于 MeJA 预处理而言, 种子萌发率、发芽势、发芽指数和活力指数均在 2.5 μmol/L 浓度处理下达到最大值, 并分别显著高于 CK₂ 对照组 49.99%、72.70%、51.29%、150.61%, 其余浓度处理的发芽指数大多与 CK₂ 对照无显著差异。可见, 适宜浓度的 JA 和 MeJA 预处理能一定程度上促进干旱胁迫下棉花种子的萌发, 浓度过高则会减弱这种促进作用, 甚至转为显著抑制作用, 并以 0.025、0.25 μmol/L JA 和 2.5 μmol/L

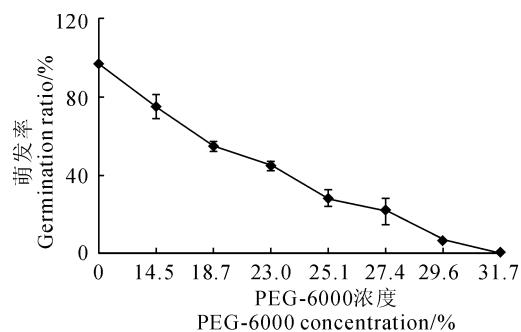


图 1 不同浓度 PEG-6000 胁迫下棉花(XLZ17)种子萌发的变化

Fig. 1 The seed germination ratio of cotton (XLZ17) under different PEG-6000 concentrations

MeJA 的处理效果最佳,但各浓度 JA 和 MeJA 预处理均不能完全解除干旱胁迫的影响。

2.3 外源 JA 及 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花根和种苗水分含量的影响

JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花种苗和根的水分含量影响不同(表 2)。与 CK₂ 对照相比,0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ JA 和 0.025、0.25、2.5、25 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 预处理的棉花种子胚根相对含水量显著增加,而自然饱和亏显著降低($P<0.05$),且 JA 和 MeJA 的最佳浓度均为 2.5 $\mu\text{mol/L}$,此浓浓度下相对含水量比 CK₂ 对照分别提高 20.21% 和 32.86%,自然饱和亏分别比 PEG 对照降低了 51.54% 和 83.78%;其他浓度的 JA 和 MeJA 预处理虽然对胚根的相对含水量和自然饱和亏都有一定的促进作用,但随着浓度升高促进程度开始降低,直至 250 $\mu\text{mol/L}$ JA 处理对种子水分含量表现出抑制作用,但与 CK₂ 对照相比无显著性差异。就整体而

言,MeJA 处理对种子水分的作用效果要强于 JA。另外,干旱胁迫下 JA 和 MeJA 预处理对棉花种苗的相对水含量和自然饱和亏均无显著影响,这可能与干旱胁迫下种子不能挣脱种皮密切相关。

2.4 干旱胁迫下外源 JA 及 MeJA 对棉花种苗根长和根活力的影响

在干旱胁迫条件下,JA 和 MeJA 处理棉花种子根长均随浓度增加而呈先升高后降低的变化趋势,并分别在 0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 浓度下达到最大值(图 2)。其中,0.025、0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ JA,以及 0.025、0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理的种子根长均比 PEG 对照显著增加($P<0.05$),增加幅度分别为 21.92%~72.07% 和 29.95%~61.86%;而 25 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理的种子根长虽比 CK₂ 对照增加但无显著性差异;当 JA 和 MeJA 的浓度升高至 250 $\mu\text{mol/L}$ 时根的伸长反而受到了抑制,但与对照组相比均无显著性差异。外源 JA 和 MeJA 预处理

表 1 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花(XLZ17)种子萌发的影响

Table 1 Effect of JA and MeJA pretreatment on seed germination of cotton (XLZ17) under drought stress

JA(MeJA)浓度 JA(MeJA) concentration /(\mathbf{\mu}\text{mol/L})	发芽率 Germination ratio/%		发芽势 Germination potentiality/%		发芽指数 Germination index		活力指数 Vigor index	
	JA	MeJA	JA	MeJA	JA	MeJA	JA	MeJA
CK ₁	96.67±2.89	96.67±2.89	91.67±2.89	91.67±2.89	30.73±0.95	30.73±0.95	202.7±1.99	202.7±1.99
CK ₂	46.67±7.64c	46.67±7.64bc	36.67±2.89bc	36.67±2.89bc	16.26±2.49bc	16.26±2.49bc	68.55±11.40cd	68.55±11.40cd
0.025	68.33±2.89a	56.67±2.89b	55.00±5.0a	48.33±2.89abc	18.67±1.50b	17.35±0.71bc	122.2±8.73b	97.04±2.86bc
0.25	58.33±2.89b	61.67±2.89ab	51.67±2.89ab	51.67±12.58abc	27.34±1.5a	18.36±2.02bc	203.11±0.69a	117.5±8.96b
2.5	51.67±2.89bc	70.00±5.00a	45.00±5.00ab	63.33±5.77a	18.15±1.19b	24.60±2.06a	118.7±3.76bc	171.8±10.21a
25	48.33±2.89bc	53.33±2.89b	43.33±5.77bc	45.00±5.00bc	16.55±1.07b	19.38±0.53b	87.04±7.49c	90.59±3.09bc
250	33.33±2.89d	38.33±2.89c	33.33±2.89c	35.00±5.00c	11.78±1.66c	13.69±1.93c	43.94±6.33d	46.89±8.50d

注:CK₁ 和 CK₂ 分别为蒸馏水和 23% PEG-6000 处理,各浓度 JA(MeJA)预处理后均经过 23% PEG-6000 模拟干旱胁迫处理;同一列中不同字母表示处理间在 0.05 水平的差异显著性;下同。

Note: CK₁ and CK₂ are treatments with water and 23% PEG-6000 respectively, while other treatments are stressed with 23% PEG-6000 after pretreated by different concentrations of JA or MeJA; Different letters followed by values within the same column mean significant difference among treatments at 0.05 level; The same as below.

表 2 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花(XLZ17)根和种苗水分含量的影响

Table 2 Effect of JA and MeJA pretreatment on water content of root and seedling of cotton(XLZ17) under drought stress

JA(MeJA)浓度 JA(MeJA) concentration /(\mathbf{\mu}\text{mol/L})	相对含水量(胚根) RWC(root)/%		相对含水量(种苗) RWC(seedlings)/%		自然饱和亏(胚根) Natural saturation deficit(root)/%		自然饱和亏(种苗) Natural saturation deficit(seedling)/%	
	JA	MeJA	JA	MeJA	JA	MeJA	JA	MeJA
CK ₂	71.83±6.65bc	71.83±6.65c	57.55±3.87a	57.55±3.87a	28.17±6.65a	28.17±6.65a	42.45±3.87a	42.45±3.87a
0.025	79.67±3.67abc	89.25±2.67ab	57.16±1.48a	58.21±1.89a	20.33±3.67abc	10.75±2.97bc	41.79±1.89a	42.84±1.48a
0.25	85.02±4.12a	86.69±6.96a	60.26±1.48a	60.22±2.49a	14.98±4.12bc	13.31±6.96bc	39.78±2.49a	39.74±1.48a
2.5	86.35±2.53a	95.43±0.93a	59.71±2.59a	60.43±3.28a	13.65±2.53c	4.57±0.93c	39.57±3.28a	40.29±2.59a
25	74.78±5.37abc	84.61±2.15ab	58.87±1.36a	58.08±1.39a	25.22±5.37abc	15.39±2.15bc	41.92±1.39a	41.13±1.36a
250	70.07±3.33c	81.44±3.28bc	56.14±1.37a	57.14±2.54a	29.93±3.33a	18.56±3.28ab	42.86±2.55a	43.86±1.37a

整体上对棉花根长的作用效果一致,即适宜浓度促进,过高浓度则抑制。

另外,在干旱胁迫条件下,各浓度 JA 和 MeJA 预处理均可显著提高棉花种子的根系活力($P < 0.05$),且均以 $2.5 \mu\text{mol/L}$ 浓度的促进作用最佳,与 CK_2 对照相比分别提高 266.68% 和 219.26%,但随着 JA 和 MeJA 浓度继续升高,这种对种子根系活力促进作用随之减小(图 3);尽管最适浓度下 JA 处理的种子根系活力比 MeJA 高,但就整体上 MeJA 处理对种子根系活力的促进作用要比 JA 处理更大。

2.5 干旱胁迫下外源 JA 及 MeJA 对棉花种苗脯氨酸含量和渗透势的影响

在干旱胁迫条件下,除 $250 \mu\text{mol/L}$ 的 MeJA 处理外,各浓度 JA 和 MeJA 处理均可不同程度增

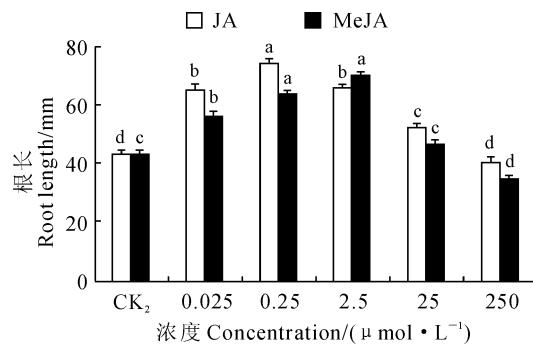


图 2 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下

棉花(XLZ17)种苗根长的影响

不同字母表示同种试剂处理浓度间在 0.05

水平的差异显著性;下同

Fig. 2 Effect of JA and MeJA pretreatment on root length of cotton(XLZ17) under drought stress

Different letters within the same reagent mean

significant difference among concentrations

at 0.05 level; The same as below

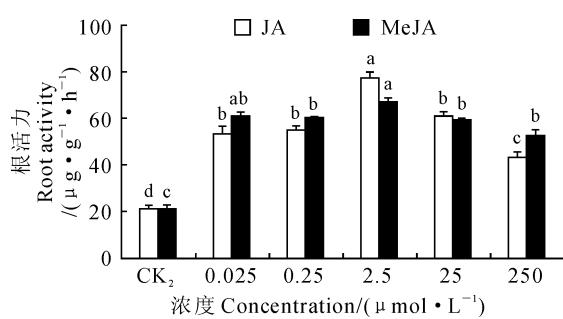


图 3 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下

棉花(XLZ17)种苗根活力的影响

Fig. 3 Effect of JA and MeJA pretreatment on root activity of cotton (XLZ17) under drought stress

加棉花种苗的脯氨酸含量(图 4, A)。其中,0.025、0.25 和 $25 \mu\text{mol/L}$ JA 处理的种苗的脯氨酸含量比 CK_2 对照组显著上升($P < 0.05$),并以 $0.25 \mu\text{mol/L}$ JA 处理脯氨酸含量最高($33.47 \mu\text{g/g}$),相较 CK_2 对照组增加了 50.49%;对于 MeJA 的处理而言,0.025、0.25 和 $2.5 \mu\text{mol/L}$ 也均能显著增加种苗脯氨酸含量,且以 $2.5 \mu\text{mol/L}$ MeJA 处理效果最佳,相较 CK_2 对照组增加了 67.63%;其他浓度的 JA 和 MeJA 预处理虽然也能增加种苗的脯氨酸含量,但随着浓度继续升高脯氨酸含量的增加幅度随之减小,甚至 $250 \mu\text{mol/L}$ MeJA 处理种苗脯氨酸含量比 CK_2 对照降低,但无显著性差异。就整体表现而言,MeJA 处理组较 JA 处理组种苗中的脯氨酸含量更高。

另外,JA 和 MeJA 预处理可使干旱胁迫下棉花种苗的渗透势降低(图 4, B)。 0.25 和 $2.5 \mu\text{mol/L}$ JA 处理的棉花种苗渗透势比 CK_2 对照显著下降($P < 0.05$),并以 $0.25 \mu\text{mol/L}$ JA 处理种苗的渗透势最低,相较 CK_2 对照组降低了 19.72%,其他浓度的 JA 均能降低种苗渗透势,但与 CK_2 对照组相比无显著性差异;对于 MeJA 处理而言,0.25、 2.5 和 $25 \mu\text{mol/L}$ 处理的种苗渗透势均比 CK_2 对照组显著降低,且以 $2.5 \mu\text{mol/L}$ MeJA 处理渗透势最低,相较 CK_2 对照组降低了 19.40%,而 $250 \mu\text{mol/L}$ MeJA

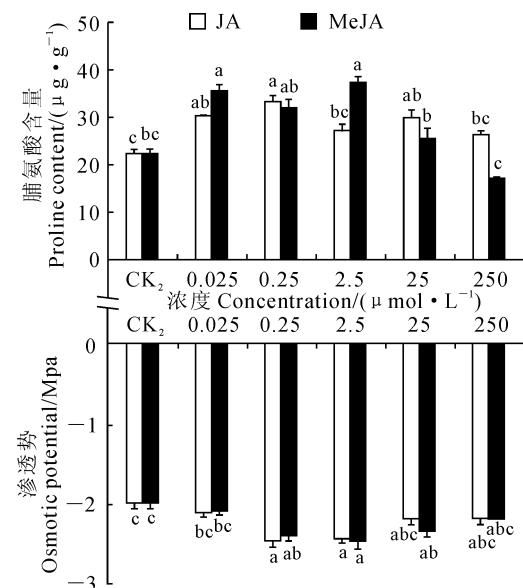


图 4 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花(XLZ17)

种苗脯氨酸含量和渗透势的影响

Fig. 4 Effect of JA and MeJA pretreatment on proline content and osmotic potential of cotton(XLZ17) under drought stress

处理种苗的渗透势却比 CK₂ 对照组升高,但未达到无显著水平。就整体表现而言,MeJA 处理组对种苗降低细胞渗透势及增强吸水能力的作用效果较 JA 处理组更明显。

2.6 外源 JA 及 MeJA 对干旱胁迫下棉花种苗丙二醛含量的影响

图 5 表明,在干旱胁迫条件下,除 250 $\mu\text{mol/L}$ JA 的处理外,其他浓度的 JA 和 MeJA 处理均可显著降低棉花种苗的丙二醛(MDA)含量($P<0.05$)。其中,当 JA 浓度为 25 $\mu\text{mol/L}$ 、MeJA 浓度为 0.25 $\mu\text{mol/L}$ 时,棉花种苗的 MDA 含量水平最低,比 CK₂ 对照组分别显著降低了 43.13% 和 49.05%;整体而言,外源 MeJA 处理减轻棉花种苗内膜脂过氧化物的效果比外源 JA 处理更明显。

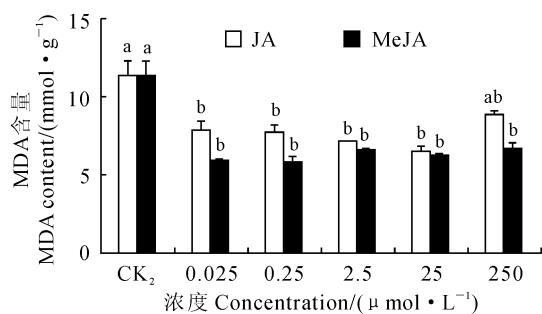


图 5 JA 和 MeJA 预处理对干旱胁迫下棉花(XLZ17)种苗 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of JA and MeJA pretreatment on MDA content of cotton (XLZ17) under drought stress

3 讨 论

茉莉酸类物质作为一种植物信号转导分子,不仅与种子萌发、开花、果实成熟、衰老等各种生长发育过程密切相关而且在植物胁迫防御中也起重要的作用^[13-15]。研究发现与其他植物激素一样,微量的 JA 和 MeJA 便可以在植物的生长发育及代谢过程中起到重要作用,但是不同浓度对植物有不同的影响,适宜浓度会促进植物的生长或缓解胁迫对植物造成的伤害,高浓度则可能会起抑制作用^[16]。

本研究采用不同浓度的 PEG-6000 模拟干旱胁迫处理新疆主栽棉花‘新陆早 17’,棉花种子发芽率显著降低,最终选取胁迫抑制萌发的节点 23% PEG 作为本试验的胁迫浓度。种子萌发试验中,适宜浓度的 JA 和 MeJA 均可在一定程度上缓解干旱胁迫

对棉花种子的萌发抑制,且可显著促进种子的萌发率、发芽势、发芽指数和活力指数,这与 MeJA 对油菜种子^[9] 和紫苏种子^[17] 萌发影响的研究结果相一致。在本研究浓度范围内,MeJA 的最适浓度比 JA 高且作用效果也较明显,然而随着 JA 和 MeJA 浓度的升高,其对干旱胁迫下棉花种子萌发的促进作用也逐渐减弱,甚至高浓度 JA 和 MeJA 对种子的萌发有一定的抑制作用,表明植物激素具有微量高效的特点,浓度过高则抑制植物的生长。此外,经一定浓度 JA 和 MeJA 处理能促进棉花种苗根的伸长以及增强根系活力,这与 Hummel 等^[18] 研究结果一致。植物体内脯氨酸含量的升高能够降低细胞水势,改变细胞渗透势,保持或吸收水分^[19]。本研究结果表明,经 JA 和 MeJA 处理能显著增加种苗脯氨酸含量,降低渗透势,这与董桃杏等^[20] 研究结果一致。由此增强了棉花胚根的抗脱水能力,提高相对水含量,减缓了干旱胁迫对棉花生长的影响,从而提高其抗旱性,且整体上 MeJA 的作用效果要强于 JA 处理,这与 Brossa^[21] 和潘瑞炽等^[22] 研究结果基本一致。

干旱等胁迫条件下植物体内会产生活性氧物质而引发膜脂过氧化,丙二醛 MDA 是膜脂过氧化的最终分解产物,它能与酶蛋白发生链式反应聚合,使膜系统变性,影响膜结合酶的功能,引起膜伤害。本研究结果显示,干旱胁迫使棉花种苗 MDA 的含量升高,而经 JA 和 MeJA 处理能显著降低 MDA 的含量,有效缓解干旱胁迫造成的氧化损伤,这与邹燕^[9] 和董桃杏^[23] 等研究结果一致。

综上所述,适宜浓度的外源 JA 和 MeJA 能缓解干旱胁迫对棉花‘新陆早 17’的伤害,其主要可能通过增加胁迫下种子根的水分含量,提高根系活力,增加渗透物质的含量及减少干旱胁迫造成的氧化损伤等方式进行调节;同时,MeJA 处理的缓解效果要比 JA 处理更好,这可能与 JA 发生甲基化或与氨基酸结合时活性受到影响有关^[24]。在本实验模拟的干旱胁迫条件下,‘新陆早 17’种子萌发及种苗生长的最适 MeJA 预处理浓度为 2.5 $\mu\text{mol/L}$,而 0.025 $\mu\text{mol/L}$ JA 则为棉花种子萌发的最适作用浓度,0.25 和 2.5 $\mu\text{mol/L}$ 则分别为种苗生长过程中促进作用最明显的浓度。本研究结果可为 MeJA 和 JA 在棉花生产中的合理使用提供科学依据。

参考文献：

[1] WANG J S(王劲松), GUO J Y(郭江勇), ZHOU Y W(周跃武), *et al*. Progress and prospect on drought indices research[J]. *Arid Land Geography*(干旱区地理), 2007, **30**(1): 60—65(in Chinese).

[2] MAO SH CH(毛树春). Research and application of cotton culture and tillage technology in China[J]. *Cotton Science*(棉花学报), 2007, **19**(5): 369—377(in Chinese).

[3] ZHU J H(朱家红), PENG SH Q(彭世清). Jasmonic acid and its signal transmission[J]. *Acta Bot. Boreal. - Occident. Sin.*(西北植物学报), 2006, **26**(10): 2 166—2 172(in Chinese).

[4] WANG X W(汪新文). Jasmonic acid involved in plant adversity stress[J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*(安徽农学通报), 2008, **14**(6): 29—35(in Chinese).

[5] CHEONG J J, CHOI Y D. Methyl jasmonate as vital substance in plants[J]. *Trends in Genetics*, 2003, **19**(7): 409—413.

[6] BERGER S. Jasmonate-related mutants of *Arabidopsis* as tools for studying stress signaling[J]. *Planta*, 2002, **214**(4): 497—504.

[7] ARIMURA G, OZAWA R, SHIMODA T, *et al*. Herbivory-induced volatiles elicit genes in lima bean leaves[J]. *Nature*, 2000, **406**: 512—515.

[8] RANJAN R, MIERSCH O, SEMBDNER G, *et al*. Presence and role of jasmonate in apple embryos[J]. *Physiologia Plantarum*, 1994, **90**(3): 548—552.

[9] ZOU Y(邹燕), WANG R X(王瑞雪), SHEN L Y(沈亮余), *et al*. Effects of exogenous MeJA on physiological characteristics of *Brassica napus* under osmotic stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2011, **31**(3): 564—568(in Chinese).

[10] PAN R CH(潘瑞炽), GU H Q(古焕庆). Effect of Methyl Jasmonate on the growth and resistance in peanut seedlings[J]. *Plant Physiology Journal*(植物生理学报), 1995, **21**(3): 215—220(in Chinese).

[11] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.

[12] 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.

[13] JIANG K J(蒋科技), PI Y(皮妍), HOU R(侯嵘), *et al*. Jasmonate biosynthetic pathway: its physiological role and potential application in plant secondary metabolic engineering[J]. *Chinese Bulletin of Botany*(植物学报), 2010, **45**(2): 137—148(in Chinese).

[14] GAO X P, WANG X F, L U Y F, *et al*. Jasmonic acid is involved in the water-stress-induced betaine accumulation in pear leaves[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2004, **27**: 497—507.

[15] XUE R H(薛仁镐), JIN SH A(金圣爱). Methyl Jasmonate: A vital signaling molecule[J]. *Letters in Biotechnology*(生物技术通讯), 2006, **17**(6): 985—988(in Chinese).

[16] CAI K ZH(蔡昆争), DONG T X(董桃杏), XU T(徐涛). The physiological roles and resistance control in stress environment of jasmonates[J]. *Ecology and Environment*(生态环境), 2006, **15**(2): 397—404(in Chinese).

[17] LI R CH(李荣冲), SHEN L Y(沈亮余), LIANG J L(梁晶龙), *et al*. Effects of exogenous MeJA on germination and physiological characteristics of *Perilla frutescens* seed under high temperature and air humidity stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报), 2012, **32**(2): 312—317(in Chinese).

[18] HUMMEL G M, NAUMANN M, SCHURR U, *et al*. Root growth dynamics of *Nicotiana attenuata* seedlings are affected by simulated herbivore attack[J]. *Plant, Cell and Environment*, 2007, **30**: 1 326—1 336.

[19] YANG J(杨洁), HU Y Y(胡云云), LI Y L(李应丽), *et al*. Effect of NaCl stress on osmotic adjustment solute in *Chenopodium glaucum* L. [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*(安徽农业科学), 2013, **41**(6): 2 358—2 362(in Chinese).

[20] DONG T X(董桃杏), CAI K ZH(蔡昆争), ZHANG J X(张景欣), *et al*. The physiological roles of methyl jasmonate(MeJA) in drought resistance of rice seedlings[J]. *Ecology and Environment*(生态环境), 2007, **16**(4): 1 261—1 265(in Chinese).

[21] BROSSA R, LOPEZ-CARBONELL M, JUBANY-MARI T, *et al*. Interplay between abscisic acid and jasmonic acid and its role in water-oxidative stress in wild-type, ABA-deficient, JA-deficient, and ascorbate-deficient *Arabidopsis* plants[J]. *Journal of Plant Growth Regulation*, 2011, **30**(3): 322—333.

[22] PAN R CH(潘瑞炽), DOU ZH J(豆志杰), YE Q SH(叶庆生). Effect of methyl jasmonate on SOD activity and membrane-lipid peroxidation in peanut seedlings during water stress[J]. *Plant Physiology Journal*(植物生理学报), 1995, **21**(3): 221—228(in Chinese).

[23] DONG T X(董桃杏), CAI K ZH(蔡昆争), ZENG R S(曾任森). Effects of methyl jasmonate on membrane permeability and inorganic ions content in rice leaves under drought stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*(华北农学报), 2010, **25**(1): 136—140(in Chinese).

[24] LI Q Q(李清清), LI D P(李大鹏), LI D Q(李德全). The research progress in biosynthesis and regulation of jasmonates[J]. *Biotechnology Bulletin*(生物技术通报), 2010, (1): 53—62(in Chinese).

(编辑:裴阿卫)