

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2019.02.002

茉莉酸甲酯对颠茄生长及其氮代谢的影响^①

刘 兴^{1,2}, 张翠平², 杨 怡^{1,2},
韦 悦³, 吴能表¹

1. 西南大学 生命科学学院/三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;
2. 沂水县第一中学, 山东 沂水 276400; 3. 中国农业科学院 棉花研究所, 新疆 昌吉 831100

摘要: 以颠茄(*Atropa belladonna*)幼苗为材料, 研究了不同质量浓度(0, 100, 200, 300 和 400 $\mu\text{mol/L}$)茉莉酸甲酯(Methyl Jasmonate, MeJA)处理不同时间(7, 14, 21 和 28 d)对颠茄鲜质量、光合色素和主要含氮化合物质量分数以及氮代谢关键酶活性的影响, 为药材产量的提高提供理论依据. 结果表明, 随处理时间的延长, 各质量浓度 MeJA 处理组中颠茄鲜质量、光合色素质量分数呈降低的趋势, 并明显低于同时期对照(0 $\mu\text{mol/L}$); 相反可溶性蛋白(SP)、游离脯氨酸(Pro)质量分数呈增加的趋势, 其中低质量浓度(100, 200 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 更能促进 SP, Pro 质量分数的积累. 在 MeJA 处理 28 d 时, 硝态氮质量分数显著降低($p < 0.05$); 硝酸还原酶(GS)与谷氨酰胺合成酶(NR)活性的变化趋于一致, 呈先升高后降低趋势, 均是在 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理时活性达到最高值, 分别是对照的 1.35 倍和 1.672 倍. 综上, MeJA 能够抑制颠茄的生长, 降低光合色素、硝态氮质量分数, 而低质量浓度 MeJA 可提高 SP, Pro 质量分数以及 GS, NR 活性, 因此在颠茄人工栽培过程中喷施低质量浓度 MeJA 有利于颠茄的生长和氮素代谢.

关键词: 颠茄; 茉莉酸甲酯; 生长; 氮代谢; 硝酸还原酶; 谷氨酰胺合成酶

中图分类号: S567

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2019)02-0009-08

颠茄(*Atropa belladonna*)为茄科(Solanaceae)颠茄属(*Atropa*)的多年生草本植物, 全草入药, 具有解痉镇痛、麻醉镇静及止咳平喘等功效^[1-2]. 近年来, 人们对颠茄药材需求量逐渐增加, 人工栽培已成为其主要的来源^[3-4]. 但在人工栽培过程中, 颠茄经常会受到干旱、病虫害等环境胁迫的影响, 致使其莨菪碱(天仙子胺)、东莨菪碱(莨菪胺)和阿托品(颠茄碱)等主要次生代谢产物托品烷类生物碱(Tropane Alkaloids, TAs)质量分数低, 从而影响颠茄药材的产量和品质^[5-6]. 如何在人工栽培过程中提高药用植物产量, 是目前值得研究的课题. 茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)是一种新型植物内源生长调节物质, 广泛存在于高等植物体内, 对植物生长具有极为广谱的生理效应^[7]. 研究发现 MeJA 可促进苦玄参(*Picria feltearuae*)成熟期提前, 缩短苦玄参生育期, 从而抑制苦玄参生物量的形成^[8]. 李琳琳^[9]研究表明, MeJA 抑制了颠茄毛状根的生长, 随着 MeJA 质量浓度越高对颠茄毛状根生长的抑制作用越明显, 游离脯氨酸和可溶性蛋白质质量分数也有不同程度的变化. 董桃杏等^[10]研究了干旱胁迫下施用 MeJA 对水稻(*Oryza sativa*)幼苗的叶绿素荧光和光合作用特性的影响, 结果表明干旱胁迫下外源 MeJA 处理可显著提高水稻幼苗的叶绿

① 收稿日期: 2018-03-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(30500041).

作者简介: 刘 兴(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事药用植物生理及次生代谢的研究.

通信作者: 吴能表, 教授, 硕士研究生导师.

素质量分数、叶绿素荧光参数 F_v/F_0 和 F_v/F_m 值. 徐曲毅^[11] 研究结果显示, MeJA 在大田实验中都能稳定地促进各个品种大豆(*Glycine max*)的鲜质量、干质量和根瘤固氮酶活性, 从而影响植物氮代谢途径. 鉴于 MeJA 在植物生长发育和抗逆反应过程中的重要作用, 近年来其在植物中的应用引起了植物学家广泛的关注, 但关于 MeJA 对颠茄幼苗的生长和生理生化特性的影响尚未见报道. 因此, 本研究以颠茄幼苗为材料, 通过添加外源 MeJA, 探究不同质量浓度 MeJA 不同时间处理下对颠茄生长生理和氮代谢相关生理指标的影响, 以期对颠茄人工种植产量的提高作理论指导.

1 材料与方法

1.1 实验材料

颠茄种子购买于湖南永州, 经西南大学生命科学学院吴能表教授鉴定为茄科颠茄属植物的颠茄(*Atropa belladonna*)种子. 挑选大小一致的颠茄种子, 先用蒸馏水清洗 3 次, 用 50 mmol/L 赤霉素溶液进行浸种 2 d, 之后均匀地铺撒在有湿润滤纸的培养盘上, 放置在 25 °C 培养室中催芽, 待种子萌发出两瓣子叶后, 选取苗高一致的幼苗种植在高 12 cm, 直径 13 cm 的塑料营养盆中, 基质为混匀介质(腐殖土、珍珠岩、蛭石比例为 3 : 1 : 1), 每钵 3 株, 共 200 钵, 放置于培养室中. 培养室条件为温度为 (25 ± 1) °C, 相对湿度为 60%~80%, 光照为 16 h/d, 光强为 400~500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$. 每 7 d 对颠茄幼苗浇灌 1 次基本营养液, 30 d 培养后进行不同质量浓度的 MeJA 处理. 基本营养液配方采用 Hoagland 营养液配方和 Arnon 营养液配方作为大量元素和微量元素, pH 值为 6.0^[12].

1.2 实验设计

MeJA 设置为 4 个水平, 分别为 100, 200, 300, 400 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 质量浓度, 以喷施蒸馏水为对照(CK), 其他条件均一致(表 1). 待颠茄苗生长 30 d 后, 每 1 d 喷施 1 次不同水平 MeJA 溶液的处理, 喷施至颠茄幼苗叶片湿润为止, 每个处理 3 个重复, 每个重复 4 盆, 每盆 3 株, 各重复间随机排列. 喷施 MeJA 溶液后分别在不同的处理时间 7 d, 14 d, 21 d 和 28 d 进行随机采样, 样品于 -80 °C 保存备用.

表 1 不同时间不同质量浓度 MeJA 处理组

处理组	MeJA/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	时间/d	处理组	MeJA/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})$	时间/d
T1	0(CK)	7, 14, 21, 28	T4	300	7, 14, 21, 28
T2	100	7, 14, 21, 28	T5	400	7, 14, 21, 28
T3	200	7, 14, 21, 28			

1.3 指标测定与方法

1.3.1 鲜质量的测定

每个处理每个时间段随机选取 3 株颠茄苗, 从营养盆中取出后, 用蒸馏水清洗干净颠茄苗表面土壤和灰尘, 用吸水纸吸干水分, 称鲜质量.

1.3.2 叶绿素质量分数测定

参照张宪政^[13]的方法, 称取 0.2 g 新鲜的颠茄叶片, 剪碎成细丝, 加入 20 ml 丙酮-乙醇混合液(1 : 1)中浸泡, 暗处封口放置, 待叶片组织变白后混匀, 取上清液 3 ml 在比色皿中, 用紫外分光光度计在 663 nm 和 645 nm 下测定吸光度值, 计算叶绿素 a, 叶绿素 b 和总叶绿素质量分数.

1.3.3 氮代谢生理指标测定

游离脯氨酸(Pro)质量分数测定参照邹琦^[14]的方法, 采用茚三酮显色法; 可溶性蛋白(SP)质量分数测定参照邹琦^[14]的考马斯亮蓝(G-250)染色法; 硝态氮质量分数测定参照高俊凤^[15]的水杨酸比色法.

谷氨酰胺合成酶(GS)活性测定参照王小纯等^[16]的方法, 一个 GS 活性单位定义为在 15 min 反应时间内催化形成 1 μmol γ -谷氨酰异羟肟酸需要的酶量, GS 总活性为每克新鲜样酶粗液在 15 min 反应时间内

催化形成 γ -谷氨酰异羟肟酸的 μmol 数. 硝酸还原酶(NR)活性测定参照南京建成生物工程研究所的 NR 试剂盒(A096)说明书, 一个酶活力单位 U 定义为每毫克植物组织在 37 °C 条件下每分钟还原 1.0 μmol 硝酸盐为亚硝酸盐, 在 540 nm 下测定的吸光值.

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel (2010)和 SPSS 22.0 软件对所有实验数据进行统计分析, 数据结果用平均值和标准误($\bar{X} \pm S$)表示. 对同一处理时间不同处理组间进行单因素方差分析, 并用 Duncan 法对各数据进行多重比较, 显著水平为 $p < 0.05$. 采用 Microsoft Excel (2010)制图.

2 结果与分析

2.1 不同质量浓度 MeJA 对颠茄幼苗生长的影响

不同处理时间不同质量浓度 MeJA 处理下颠茄幼苗的生长状况不同(表 2). 从整个 MeJA 处理时期来看, 随着处理时间的延长, 各 MeJA 处理组的颠茄鲜质量呈缓慢增长的趋势; 但与同时期 T1 对照组相比, T1 对照组颠茄鲜质量明显高于其他 MeJA 处理组, 说明 MeJA 对颠茄幼苗的生长具有一定的抑制作用. 在 MeJA 处理 7 d 时, T5 处理组颠茄幼苗的鲜质量达到最低值, 比 T1 对照组降低了 29.05%; 而 T3, T4, T5 处理组间差异无统计学意义($p < 0.05$). 在 MeJA 处理 14 d, 21 d 和 28 d 时, T3, T4 和 T5 处理组随着天数的增加, 处理组间差异无统计学意义($p < 0.05$), 但鲜质量显著低于 T2 处理组和同时期 T1 对照组($p < 0.05$). 由此可见, MeJA 不仅抑制颠茄幼苗的生长, 还随处理天数和 MeJA 质量浓度的增加而抑制作用增强, 其中低质量浓度(100 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 对颠茄生长影响最小.

表 2 不同质量浓度 MeJA 对颠茄鲜质量的影响

指标	MeJA/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	处理时间/d			
		7 d	14 d	21 d	28 d
鲜质量/g	T1	11.363 \pm 1.493a	15.943 \pm 2.499a	18.067 \pm 2.499a	20.846 \pm 1.604a
	T2	10.743 \pm 1.154ab	13.687 \pm 0.920ab	14.767 \pm 0.921ab	14.766 \pm 0.842b
	T3	9.593 \pm 0.450ab	11.157 \pm 0.446b	12.436 \pm 0.446b	12.437 \pm 2.032c
	T4	10.017 \pm 1.371ab	12.320 \pm 1.988b	12.436 \pm 1.988b	12.667 \pm 0.755c
	T5	8.057 \pm 2.254b	12.113 \pm 1.068b	13.009 \pm 0.806b	13.010 \pm 1.370c

注: 小写字母不同表示相同处理时间不同质量浓度 MeJA 处理组间差异有统计学意义($p < 0.05$).

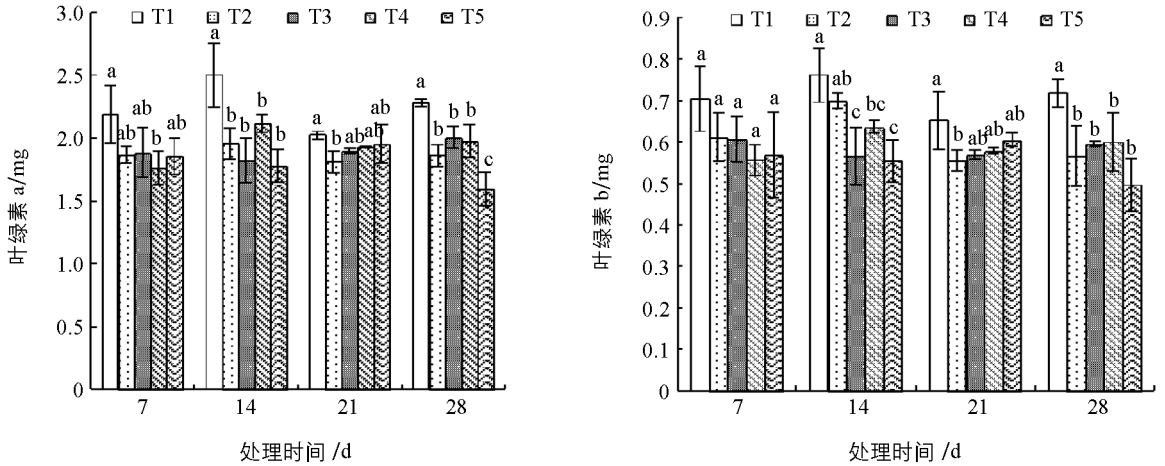
2.2 不同质量浓度 MeJA 对颠茄叶片光合色素质量分数的影响

不同处理时期不同质量浓度 MeJA 处理下颠茄叶片光合色素质量分数变化情况不同(图 1). 在 MeJA 处理颠茄幼苗 7 d 时, 除叶绿素 b 质量分数与 T1 对照组差异无统计学意义($p < 0.05$)外, 颠茄叶片中叶绿素 a 质量分数和总叶绿素质量分数均呈下降的趋势. 在 MeJA 处理 14 d, 21 d 时, 颠茄叶绿素 a 质量分数、叶绿素 b 质量分数和总叶绿素质量分数随之显著低于同时期 T1 对照组($p < 0.05$); 其中总叶绿素质量分数与叶绿素 a 质量分数的变化趋于一致. 在 MeJA 处理 28 d 时, T5 组颠茄叶绿素 a 质量分数、叶绿素 b 质量分数和总叶绿素质量分数均达到最低值, 较同时期 T1 对照组分别显著降低了 30.04%, 30.68% 和 30.22%, 说明 MeJA 对颠茄光合色素的合成有一定的抑制作用, 并随着 MeJA 质量浓度的增加而抑制作用增强.

2.3 不同质量浓度 MeJA 对颠茄主要含氮化合物的影响

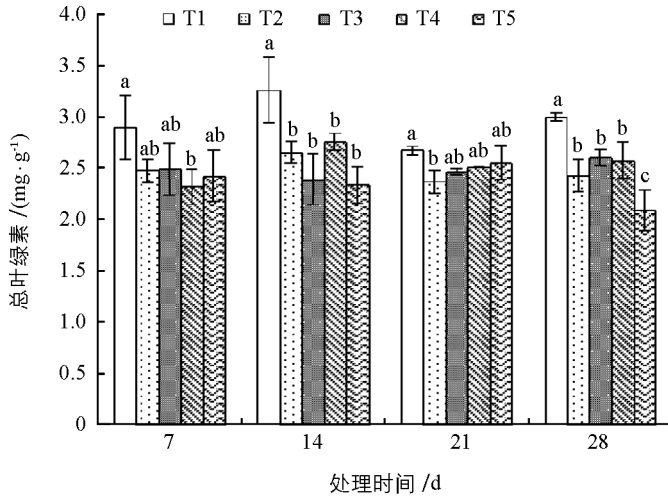
可溶性蛋白是植物体内主要的含氮化合物之一, 它的质量分数对研究植物氮代谢水平具有一定的参考价值. 不同质量浓度 MeJA 处理对颠茄叶片可溶性蛋白质量分数有不同程度的影响(图 2). 在 MeJA 处理 7 d 时, T4, T5 处理组中颠茄可溶性蛋白质量分数达到最高值, 较同时期 T1 对照组明显增加了 89%, 88%; 而 T2, T3 处理组与 T1 对照组相比, 颠茄叶片可溶性蛋白质量分数差异无统计学意义($p <$

0.05)。随着处理时间的延长, T3, T4, T5 处理组中颠茄可溶性蛋白质质量分数呈逐渐上升趋势, 其中 T3 处理组中可溶性蛋白质质量分数比 T1 对照组以及高质量浓度 MeJA 处理组 (T4, T5 组) 显著增加。在 MeJA 处理 14, 21 d 时, T2 处理组中颠茄可溶性蛋白质质量分数较同时期 T1 对照组相比呈增加的趋势; 但在 MeJA 处理 28 d 时, T2 处理组颠茄可溶性蛋白质质量分数呈下降的趋势, 而其他 MeJA 处理组中可溶性蛋白的质量分数在整个处理时期仍呈增加的趋势。由此可见, 一定质量浓度范围内的 MeJA 能够促进颠茄叶片中可溶性蛋白质质量分数的积累, 其中 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理效果最明显。



(a) MeJA 对颠茄叶片叶绿素 a 质量分数的影响

(b) MeJA 对颠茄叶片叶绿素 b 质量分数的影响



(c) MeJA 对颠茄叶片总叶绿素质量分数的影响

小写字母不同表示相同处理时间不同质量浓度 MeJA 处理组间差异有统计学意义 ($p < 0.05$)。

图 1 不同质量浓度 MeJA 对颠茄叶片光合色素质量分数的影响

游离脯氨酸对植物有多种保护功能, 在调节植物生长发育和代谢中起着重要的作用。不同处理时期不同质量浓度 MeJA 处理下, 颠茄叶片游离脯氨酸质量分数变化不同 (图 3)。在 MeJA 处理 7 d 时, T2, T3 处理组中游离脯氨酸质量分数显著高于 T4, T5 处理组和 T1 对照组 ($p < 0.05$), 分别是对照组的 1.138, 1.106 倍。在 MeJA 处理 14, 21 d 时, 颠茄叶片中游离脯氨酸质量分数随着处理天数的增加均呈逐渐增加的趋势, 并显著高于同时期 T1 对照组 ($p < 0.05$)。在 MeJA 处理 28 d 时, T2 处理组中颠茄游离脯氨酸质量分数明显增加, 并达到最大值, 是 T1 对照组的 2.861 倍。在整个质量浓度 MeJA 处理期间, 随着时间的延长, 对照和低质量浓度 (T2, T3 组) MeJA 处理组中游离脯氨酸质量分数均逐渐增加, 同时 MeJA 处理组中游离脯氨酸质量分数显著高于对照组; 不同的是高质量浓度 MeJA 处理组 (T4, T5

组)随天数的增加, 颠茄中游离脯氨酸质量分数呈先上升后下降的趋势, 并都在处理 28 d 时与对照相比游离脯氨酸质量分数差异无统计学意义($p < 0.05$), 说明低质量浓度(100, 200 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 处理可促进游离脯氨酸的积累。

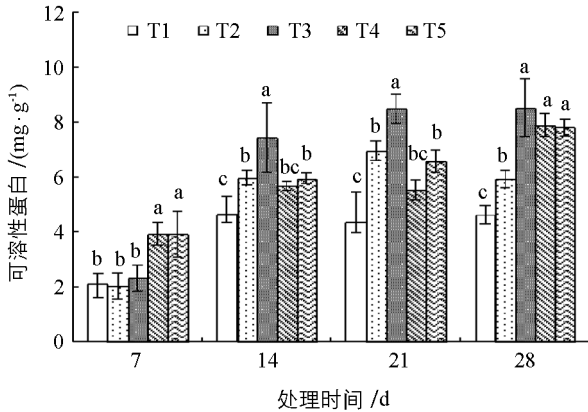


图 2 不同质量浓度 MeJA 对颠茄叶片可溶性蛋白的影响

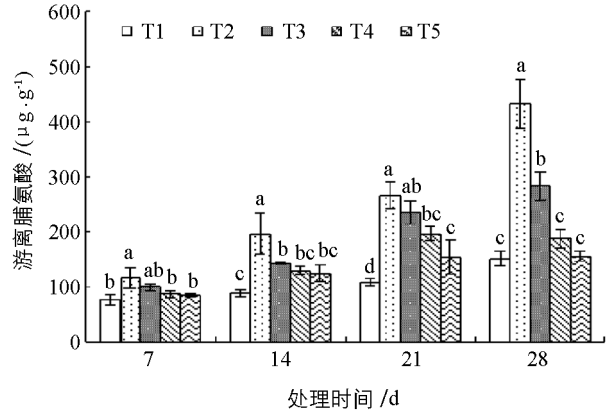


图 3 不同质量浓度 MeJA 对颠茄叶片游离脯氨酸质量分数的影响

2.4 不同质量浓度 MeJA 对颠茄氮代谢的影响

硝态氮是植物重要的氮源之一, 对研究植物的氮代谢具有重要的作用. 在 MeJA 处理 28 d 时, 与 T1 对照组相比, MeJA 处理组中颠茄硝态氮质量分数均显著降低(图 4), 说明 MeJA 对颠茄硝态氮质量分数有显著影响($p < 0.05$). 在整个 MeJA 处理组中, 随着 MeJA 质量浓度的增加, 颠茄叶片中硝态氮质量分数呈先下降后上升的趋势; 其中 T3 处理组中颠茄硝态氮质量分数达到最低值, 较 T1 对照组降低了 35%; 而在 T5 处理组中颠茄硝态氮质量分数与对照组差异较小, 较 T1 对照组降低了 9%. 因此, MeJA 对颠茄叶片中硝态氮质量分数有抑制作用, 而 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJA 处理对颠茄叶片硝态氮质量分数的影响较大。

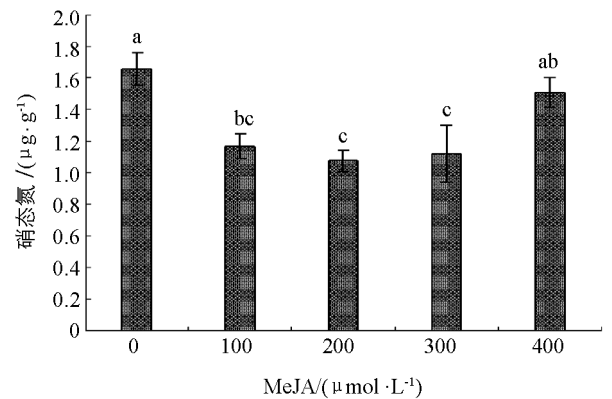


图 4 不同质量浓度 MeJA 处理 28 d 对颠茄叶片硝态氮质量分数的影响

硝酸还原酶(NR)与谷氨酰胺合成酶(GS)是氮代谢过程中的关键酶. 不同质量浓度 MeJA 处理对颠茄叶片中 NR 活性影响不同(图 5). 在 MeJA 处理 28 d 时, MeJA 处理组的 NR 活性显著高于 T1 对照组($p < 0.05$). 在整个 MeJA 处理期间, 颠茄 NR 活性的变化随着 MeJA 质量浓度的增加呈先升高后降低的趋势; 在 MeJA 处理 28 d 时, T3 处理组中颠茄 NR 活性较 T1 对照组显著增加了 67.2%. 由此可见, MeJA 处理有助于提高颠茄氮代谢关键酶 NR 活性, 其中在低质量浓度(200 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 处理下更能增加颠茄叶片中 NR 活性。

与 NR 活性相比, 不同质量浓度 MeJA 处理下颠茄叶片中 GS 活性影响不同(图 6). 在 MeJA 处理期间(28 d)内, 随着 MeJA 质量浓度的增加, 颠茄叶片中 GS 与 NR 活性的变化一样呈先升高后降低趋势. 在 T3 处理组中颠茄 GS 活性达到最高值, 是 T1 对照组的 1.35 倍; 在 T5 处理组中其活性达到最低值, 较 T1 对照组显著降低了 15%. 由此可见, 低质量浓度(100, 200 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 处理能够促进颠茄氮代谢关键酶 GS 活性, 高质量浓度(400 $\mu\text{mol/L}$)MeJA 处理则能够抑制颠茄叶片中 GS 活性。

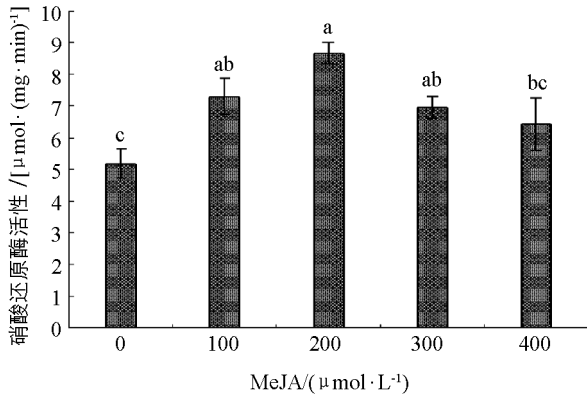


图 5 不同质量浓度 MeJA 处理 28 d 对颠茄叶片 NR 活性的影响

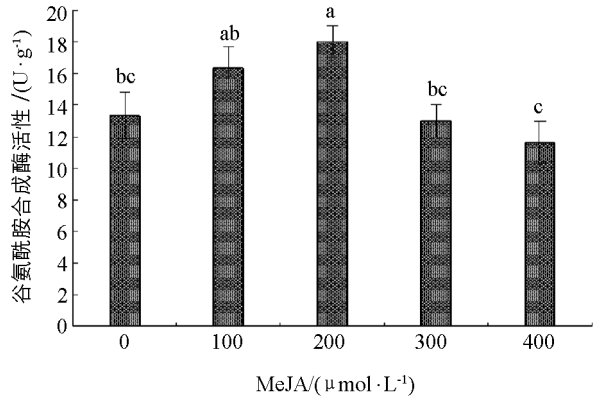


图 6 不同质量浓度 MeJA 处理 28 d 对颠茄叶片 GS 活性的影响

3 讨论与结论

3.1 MeJA 对颠茄生长及光合色素的影响

MeJA 作为植物一种天然化学物质, 调控着植物的生长发育、抗逆性反应和次生代谢产物的合成^[17]. 植株生长能直接反映出植株的生理状态. 程玉鹏等^[18]研究发现通过调节茉莉酸甲酯质量浓度, 可有效地促进狭叶柴胡悬浮细胞的生长; 当茉莉酸甲酯在低质量浓度条件时, 狭叶柴胡悬浮细胞细胞鲜质量会随着茉莉酸甲酯使用质量浓度的增加而增加, 而随着茉莉酸甲酯质量浓度的不断增加, 悬浮细胞的生长受到轻微抑制. 侯赛男等^[19]研究显示 200 $\mu\text{mol}/\text{L}$ MeJA 对坛紫菜生长产生抑制作用. 本实验中, 一定质量浓度范围内的 MeJA 抑制了颠茄的生长, 还随着处理时间的延长和 MeJA 质量浓度的增加抑制作用更强.

MeJA 作为广泛存在于植物体内的一类内源生长物质, 能抑制叶绿素的合成和光合作用, 促进叶片的衰老和果实的成熟^[20]. 光合色素是衡量植物生理状态的重要指标之一. 李小玲等^[21]研究表明茉莉酸甲酯可显著提高黄芩种子的发芽势、发芽率, 提高叶片叶绿素质量分数. 本研究发现外源 MeJA 处理使颠茄叶片叶绿素质量分数降低, 这与魏燕霞等^[22]研究结果相同, 这表明外源 MeJA 能够抑制叶绿素的合成, 降低光合速率.

3.2 MeJA 对颠茄氮代谢的影响

硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)是植物吸收的主要氮源, 绝大多数在植物茎叶以 NO_3^- 形式被同化, 而另一部分则在根系中被同化为氨基酸等含氮有机物质^[23-24]. 酶在植物的代谢过程中尤为重要, 氮代谢关键酶包括硝酸还原酶(NR)和谷氨酰胺合成酶(GS)^[25]. NR 是 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 同化过程中的一个关键调节酶和限速酶, NR 作用的底物是硝态氮, 它能催化硝酸盐还原成亚硝酸盐, 是植物氮素同化的第一步, 它的活性大小在一定程度上能够反映植物的氮代谢水平^[26]. GS 是氮代谢中心的多功能酶, 能在 ATP 和 Mg^{2+} 存在的条件下, 催化植物体内的谷氨酸形成谷氨酰胺^[27-28]. 本实验结果中, 不同质量浓度 MeJA (100, 200, 300 和 400 $\mu\text{mol}/\text{L}$) 处理 28 d 时, MeJA 提高了颠茄叶片中游离脯氨酸及可溶性蛋白质质量分数, 但降低了硝态氮质量分数; 除 400 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 处理降低了 GS 活性外, NR 与 GS 活性均显著提高, 且变化趋势一致. 由此可见, 硝态氮质量分数的降低, 游离脯氨酸、可溶性蛋白质质量分数以及 NR, GS 活性的提高, 说明 MeJA 处理后颠茄在氮代谢过程中, 为加速颠茄的氮素同化而消耗了更多的底物硝态氮, 生成更多的含氮有机物, 也为颠茄含氮生物碱提供更多的前提物质, 从而有利于次生代谢产物的积累, 但其中的机制有待进一步探究.

3.3 结论

综上所述, 外源添加 MeJA 能够抑制颠茄生长, 降低叶绿素、硝态氮质量分数, 但能提高可溶性蛋白、游离脯氨酸质量分数以及 NR, GS 活性. 低质量浓度 (100, 200 $\mu\text{mol}/\text{L}$) MeJA 处理对颠茄的生长影响最

小,同时对氮代谢关键酶影响显著,因而在种植颠茄过程中喷施低质量浓度 MeJA 更有助于颠茄的生长和氮代谢。此外,这些生理生化特性也会直接或间接地影响颠茄的次生代谢,特别是颠茄托品烷类生物碱(TAs)的合成,而这也改变颠茄药用成分的质量分数。因此,在人工种植中,应综合考虑在不同时期喷施不同质量浓度 MeJA 以促进颠茄生长和氮代谢,从而获得高质量和高产量颠茄。

参考文献:

- [1] 李琳琳,刘佳,苏贝贝,等.茉莉酸甲酯对颠茄毛状根的生理指标及托品烷类生物碱积累的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2017,39(5):70-75.
- [2] RANDEEP R, UANGXIAO Y, ETSUKO K. Chitinase Induced by Jasmonic Acid, Methyl Jamonate, Ethylene and Protain Phospha-Tase Inhibitors in Rice [J]. Molecular Biology Reports, 2004, 31: 113-119.
- [3] 李红利,孙振元,赵梁军,等.茉莉酸类物质对植物生长发育及抗性的影响[J].中国农学通报,2009,25(16):167-172.
- [4] SUANNE B. Jasmonate-Related Mutants of *Arabidopsis* as Tools for Studying Stress Signaling [J]. Planta, 2002, 214: 497-504.
- [5] 邓朝晖,罗充,刘彬,等.曼陀罗药用价值的开发和利用[J].现代生物医学进展,2011,11(7):1394-1398.
- [6] 秦白富.颠茄 ODC 基因克隆和功能分析[D].重庆:西南大学,2014.
- [7] 杨艺,常丹,王艳,等.盐胁迫下茉莉酸(JA)及茉莉酸甲酯(MeJA)对棉花种子萌发及种苗生化特性的影响[J].种子,2015,34(1):8-13,18.
- [8] 谢阳姣,何志鹏,林伟.茉莉酸甲酯对苦玄参生长及苦玄参苷积累的影响研究[J].作物杂志,2013(2):80-83.
- [9] 李琳琳.茉莉酸甲酯对颠茄毛状根的生长及次生代谢产物产生的影响[D].重庆:西南大学,2015.
- [10] 董桃杏,蔡昆争,曾任森.茉莉酸甲酯(MeJA)对干旱胁迫下水稻幼苗光合作用特性的影响[J].生态环境学报,2009,18(5):1872-1876.
- [11] 徐曲毅.茉莉酸甲酯(methyl jasmonate)对大豆(*Glycine max* (L.) Merr.)结瘤和固氮影响的研究[D].广州:华南师范大学,2001.
- [12] 申建波.植物营养研究方法[M].北京:中国农业大学出版社,2011.
- [13] 张宪政.植物叶绿素含量测定-丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [14] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [15] 高俊凤.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [16] 王小纯,熊淑萍,马新明.不同形态氮素对专用型小麦花后氮代谢关键酶活性及籽粒蛋白质含量的影响[J].生态学报,2005,25(4):802-807.
- [17] 郭玉梅,曾令杰,梁淑颖,等.UV-B辐射对铁皮石斛生长及主要次生代谢产物的影响[J].北方园艺,2016(17):154-156.
- [18] 程玉鹏,林进华,高宁,等.不同因素对狭叶柴胡悬浮细胞生长的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(5):305-309.
- [19] 侯赛男,邹同雷,汪芳俊,等.茉莉酸甲酯和水杨酸对坛紫菜生长与抗逆性的影响[J].海洋科学,2017,41(1):104-112.
- [20] HONG Z, ZHANG Y Z, CHEN H B, et al. The Physiological Function, Biological and Chemical Synthesis of Natural Physiological Active Substance of Jasmonates and Its Methyl ester [J]. Pesticides, 2000, 39(5): 8-11.
- [21] 李小玲,华智锐.外源茉莉酸甲酯对盐胁迫下黄芩种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].山西农业科学,2016,44(11):1603-1607.
- [22] 魏燕霞,陆俐娜,彭长连.外源施加 AsA 和 MeJA 对乙烯利诱导水稻叶片衰老的影响[J].热带亚热带植物学报,2017,25(4):348-356.
- [23] KUBO T. Molecular and Physiological Aspects of Nitrate Uptake in Plants [J]. Trends in Plant Science, 1998, 3(10): 389-395.
- [24] ANDREWS M. The Partitioning of Nitrate Assimilation Between Root and Shoot of Higher Plants [J]. Plant Cell & Environment, 1986, 9(7): 511-519.

- [25] 陶 爽, 华晓雨, 王英男, 等. 不同氮素形态对植物生长与生理影响的研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(12): 64—68.
- [26] 陈 煜, 朱保葛, 张 敬, 等. 不同氮源对大豆硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性及蛋白质含量的影响 [J]. 大豆科学, 2004, 23(2): 143—146.
- [27] 周忆堂. 不同光强对长春花光合作用及次生代谢的影响研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- [28] 张翠平, 李琳琳, 韦 悦, 等. 3 种常用培养基对颠茄毛状根生长与次生代谢产物积累的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(6): 36—41.

Effect of Methyl Jasmonate on the Growth of *Atropa belladonna* and Its Nitrogen Metabolism

LIU Xing^{1,2}, ZHANG Cui-ping², YANG Yi^{1,2},
WEI Yue³, WU Neng-biao¹

1. School of Life Science, Southwest University/Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China;
2. No. 1 Middle School of Yishui, Yishui Shandong 276400, China;
3. Cotton Research Institute, CAAS, Changji Xinjiang 831100, China

Abstract: To offer a theoretical support for improving the yield of *Atropa belladonna*, we investigated the effects of different concentrations of methyl jasmonate (0, 100, 200, 300 and 400 $\mu\text{mol/L}$) over different time periods (7, 14, 21 and 28 d) on the fresh weight, chlorophyll, main nitrogenous compound contents and key enzyme activities in nitrogen metabolism of this Chinese traditional medicine crop. With the prolongation of treatment time, the fresh weight and the content of chlorophyll showed a descending trend in all MeJA treatment groups, which was significantly lower than those of the control group (0 $\mu\text{mol/L}$). In contrast, the content of soluble protein (SP) and proline (Pro) tended to increase, and the low concentration of MeJA (100 and 200 $\mu\text{mol/L}$) could promote the accumulation of SP and Pro. When treated with MeJA for 28 days, the nitrate content significantly decreased ($p < 0.05$), and the activities of nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) tended to decrease, which was the highest at 200 $\mu\text{mol/L}$ MeJA, being 1.35 and 1.672 times that of the control group, respectively. In conclusion, MeJA can inhibit the growth of *A. belladonna* and reduce the content of chlorophyll and nitrate in it, and the low mass concentration of MeJA can increase the content of SP and Pro as well as the activities of GS and NR. Therefore, a low concentration of MeJA appears to be more beneficial to the growth and nitrogen metabolism in *A. belladonna*.

Key words: *Atropa belladonna*; methyl jasmonate; growth; nitrogen metabolism; nitrate reductase; glutamine synthetase