

# 不同浓度 MeJA 对头花蓼光合和荧光特性的影响

赵许朋, 刘 燕\*, 魏加练, 陈学梅, 姜 婷, 施 豪

(贵阳学院, 贵阳 550005)

**摘 要:**以苗药头花蓼为研究对象, 对其在不同浓度茉莉酸甲酯处理下叶片的光合和荧光特性进行了研究, 以期能够为外源物质在头花蓼栽培过程中的应用提供理论依据。结果表明: 当茉莉酸甲酯 (MeJA) 在 0 ~ 7.5 mmol/L 范围内变化时, 头花蓼的净光合速率 (Pn)、气孔导度 (Gs)、蒸腾速率 (Tr)、胞间二氧化碳浓度 (Ci)、实际量子产量 (Y(II))、最大量子产量 (Fv/Fm)、最大荧光 (Fm)、光化学猝灭系数 (qP) 均呈现先上升后下降趋势, 初始荧光 (F<sub>0</sub>) 呈现上升趋势, 非光化学猝灭系数 (NPQ) 呈现下降趋势, Ci 极值出现在 0.1 mmol/L, 而 Pn、Gs、Tr、Ci、Y(II)、Fv/Fm、Fm、qP 出现在 0.5 mmol/L 处, 当 MeJA 浓度低于 0.5 mmol/L, F<sub>0</sub> 与 NPQ 变化不明显, 当 MeJA 浓度超过 0.5 mmol/L 时, F<sub>0</sub> 与 NPQ 变化明显。综上分析, 0.5 mmol/L 茉莉酸甲酯明显提高头花蓼的光合效率, 超过 0.5 mmol/L 后, 茉莉酸甲酯不会对头花蓼光合系统有显著的伤害, Pn 虽然呈下降趋势但是与气孔因素有关。

**关键词:**头花蓼; 茉莉酸甲酯; 光合; 荧光

中图分类号: Q945

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2019)04-0037-06

## Effect of Different Concentration of Methyl Jasmonate on Leaf Photosynthesis and Fluorescence of *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don.

ZHAO Xupeng, LIU Yan\*, WEI Jialian, CHEN Xuemei, JIANG Ting, SHI Hao

(Guiyang University, Guiyang 550005, China)

**Abstract:** Using pot-cultured *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don as materials, effect of different concentration of Methyl Jasmonate (MeJA) on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of leaves was studied in the paper. The result showed that Pn, Gs, Tr, Ci, Y(II), Fv/Fm, Fm and qP of *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don increased at first, and then decreased when the concentration of MeJA changed among 0-7.5 mmol/L. F<sub>0</sub> has increasing tendency and NPQ has a decreasing tendency. When the MeJA concentrations was 0.5 mmol/L, Pn, Gs, Tr, Y(II), Fv/Fm, and Fm were the highest. However, Ci was the highest when MeJA concentrations was 0.1 mmol/L. If MeJA concentration was lower than 0.5 mmol/L, the F<sub>0</sub> and NPQ was stable. F<sub>0</sub> increased and NPQ decreased when MeJA concentration was 0.5 mmol/L to 7.5 mmol/L. In summary, the data presented in the paper suggested that MeJA treatment of 0.5 mmol/L might significantly enhance the photosynthetic efficiency of *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don. The concentration of MeJA higher than 0.5 mmol/L did not cause significant damage to the photosynthetic system of *Polygonum capitatum* and the decrease of Pn was related to stomatal factors at this time.

**Key words:** *Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex D. Don; Methyl Jasmonate; Photosynthesis; Fluorescence

头花蓼 (*Polygonum capitatum* Buch.-Ham. ex

D. Don) 属蓼科蓼属多年生草本植物, 主要分布于贵州、云南、四川等地<sup>[1]</sup>, 为著名的贵州苗药之一, 被收录于《贵州省中药材、民族药材质量标准》<sup>[2]</sup>, 头花蓼还是贵州省中药现代化重点发展的“六大苗药”和贵州“十三五”期间重点培育发展的“七大中药产业链”中的品种之一<sup>[3]</sup>。到目前为止, 已有多家制药公司以头花蓼为原料的成方制剂, 如“热淋清颗粒”, 具有清热利湿、解毒止痛、和血散瘀、利尿通淋之功效<sup>[4]</sup>, 被广泛应用于治疗泌尿系

收稿日期: 2019-01-29

基金项目: 贵阳市科技局-贵阳学院科技专项资金项目 (GYU-KYZ[2019 ~ 2020]PT13-04); 贵州省科技厅联合基金项目 (黔科合 LH 字[2015]7310、7312); 贵州省大学生创新创业训练计划一般项目 (201510976013); 贵州省大学生创新创业训练计划重点项目 (201610976005)

作者简介: 赵许朋 (1982-), 男, 副教授, 博士, 主要从事植物生物技术研究。

通讯作者: 刘 燕, 女, 硕士, 教授, E-mail: gyly68@sina.com

统疾病。除药用之外,在园林绿化<sup>[5]</sup>、重金属富集<sup>[6]</sup>、生态保护<sup>[7]</sup>等方面也具有十分重要的作用。

自头花蓼被引种以来,研究者对其进行了多方面的研究,如药用成分<sup>[8]</sup>、化感作用<sup>[9]</sup>、生态保护<sup>[7]</sup>等,然而,关于其光合特性特别是不同环境因子影响下的光合和荧光特性的研究相对较少。光合作用是反映植物对环境变化响应最敏感的指标之一,它可以直观反映出植物对不同环境因子的响应特性<sup>[10]</sup>,同时光合作用的强弱对于植物初生代谢及次生代谢产物的积累有着重要的作用,郑州元等<sup>[11]</sup>研究结果显示外源添加硫化氢能够提高番茄幼苗叶片的光合效率,缓解盐胁迫对番茄叶片PS II的伤害。茉莉酸类物质(jasmonates, JAs)是植物中广泛存在的一类内源信号分子,主要功能分子有茉莉酸、茉莉酸甲酯(methyl jasmonate, MeJA)和茉莉酸-异亮氨酸复合物<sup>[12]</sup>,关于茉莉酸甲酯在调节植物生长发育方面的研究最为广泛<sup>[13]</sup>。外源性添加茉莉酸甲酯不仅可以通过调节气孔运动、叶绿素的合成等来影响植物的光合作用<sup>[14-15]</sup>,同时也能调控相关基因表达影响植物的次级代谢途径<sup>[16]</sup>,对药用植物药用成分的提高具有促进作用,然而关于茉莉酸甲酯在头花蓼光合和荧光特性方面的研究暂无报道。本研究以苗药头花蓼为研究对象,探究其在不同浓度茉莉酸甲酯影响下的光合和荧光特性,以期外源物质在头花蓼栽培过程中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

头花蓼幼苗由贵州威门药业股份有限公司提供;栽培用土壤采集于贵州威门药业股份有限公司头花蓼种植基地,过1 cm孔径筛,备用。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 土样准备

将栽培用土壤摊晾3 d晾干,敲碎大的土块,过1 cm孔径筛,按照土壤:腐殖质=3:1比例混匀,将经过处理的土样分装入32 cm×25 cm×33 cm(口径×底径×深)的栽培盆中,每盆6 kg土样,浇水,直至栽培盆底部刚好出水为止,放置1 d备用。

#### 1.2.2 幼苗移栽

育苗4周后,选取生理周期、长势一致的头花蓼幼苗移栽至栽培盆中,放置于贵阳学院苗圃基地,定期定量浇水,期间除去杂草,并做好病虫害的防治,生长90 d,用于后续试验。

#### 1.2.3 茉莉酸甲酯处理

选取生长一致的头花蓼盆栽15盆进行茉莉酸甲酯(MeJA)处理,该研究设置了5个茉莉酸甲酯梯度(0 mmol/L、0.1 mmol/L、0.5 mmol/L、2.5 mmol/L、7.5 mmol/L),每个处理设置9次重复<sup>[17-18]</sup>。于每天上午8:00进行茉莉酸甲酯处理,时间间隔为2 d,连续喷撒7次,每次喷洒以叶片表面形成小液滴为准<sup>[19]</sup>,由于茉莉酸甲酯易挥发,喷洒后用保鲜膜包裹<sup>[17]</sup>,2 h后打开,放置2 h,使茉莉酸甲酯完全挥发,然后再移入温室<sup>[20]</sup>。

#### 1.2.4 光合及荧光指标测定

采用德国WALZ光合作用测定系统GFS-3000测定净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr),于测定当日8:30~11:30进行。采用德国WALZ调制叶绿素荧光测定系统IMAGING-PAM(MINI-探头)测定初始荧光(F<sub>0</sub>)、最大荧光(F<sub>m</sub>)、PS II的实际量子产量或实际光合效率(Y(II))、非光化学猝灭系数(NPQ)、光化学猝灭系数(qP);PS II的最大量子产量用F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>=(F<sub>m</sub>-F<sub>0</sub>)/F<sub>m</sub>公式<sup>[21]</sup>计算;测定前将植物置于黑暗状态下3 h以上<sup>[22]</sup>。

### 1.3 数据处理

用SPSS 17.0进行差异显著性分析;用Microsoft Excel软件进行制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度茉莉酸甲酯对头花蓼光合特性的影响

#### 2.1.1 叶片净光合速率

叶片净光合速率(Pn),主要体现了植物有机物的积累。研究结果表明(图1),随着MeJA浓度的增加,头花蓼Pn值出现先增加后下降的趋势,在0.5 mmol/L时达到最大值,该处理与对照及其它处理有显著差异( $P \leq 0.05$ ,下同),表明一定浓度的MeJA对头花蓼的Pn有促进作用;然而,在0~0.1 mmol/L范围内,Pn仅增加了0.08 μmol/m<sup>2</sup>·s,无显著差异;与在0.5 mmol/L处相比,在2.5 mmol/L处头花蓼Pn虽有下降,但是与0.5 mmol/L无显著差异,且略高于对照;当MeJA达到7.5 mmol/L时,Pn值低于对照,与对照和0.5 mmol/L时均有显著差异。表明MeJA对头花蓼Pn影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用。

#### 2.1.2 胞间二氧化碳浓度

Ci是分析光合速率降低原因的指标之一,Pn大小与Ci有着重要的关系。研究结果表明(图2),随着MeJA的增加,Ci呈现先增加后下降的趋

势,当MeJA为0.1 mmol/L时Ci达到最大;与对照相比,0 mmol/L时Ci增加 $5.19\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,而0.5 mmol/L时Ci降低 $3.07\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,且0、0.1和0.5 mmol/L时Ci无显著差异;当MeJA浓度高于2.5 mmol/L时,Ci急剧降低,与对照相比,其降低的最大值为 $26.66\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,与对照无显著差异;表明在0~7.5 mmol/L范围内,MeJA对Ci影响作用不显著。

### 2.1.3 叶片蒸腾速率

研究结果表明(图3),随着MeJA的增加,Tr呈现先增加后降低的趋势,当MeJA为0.5 mmol/L时,Tr达到最大,与对照组有显著差异;当MeJA浓度为2.5 mmol/L时,Tr值低于对照,与对照无显著差异;当MeJA浓度为7.5 mmol/L时,Tr值进一步降低,与对照差异显著,表明头花蓼的蒸腾作用受到高浓度MeJA的抑制;由此可知在0~7.5 mmol/L范围内,MeJA对头花蓼Tr影响表现为低

浓度促进,高浓度抑制作用,且抑制作用显著。

### 2.1.4 叶片气孔导度

Gs表示气孔张开的程度,它通过控制气孔内外物质交换调节植物的光合作用、呼吸作用及蒸腾作用。研究结果显示(图4),随着MeJA的增加,Gs呈现先增加后降低的趋势,当MeJA为0.5 mmol/L时,Gs达到最大,当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,Gs虽有上升,但是最大值与最小值仅相差 $23.23\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,无显著差异;当MeJA浓度超过0.5 mmol/L时,Gs呈现急剧下降的趋势,从图4可以看出,MeJA浓度为7.5 mmol/L时,Gs值最小,最大下降值为 $57.20\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,最小值与对照处理相差 $36.97\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$ ,最小值与其它处理有显著差异;表明MeJA对头花蓼Gs影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用,且抑制作用强度要高于促进作用。

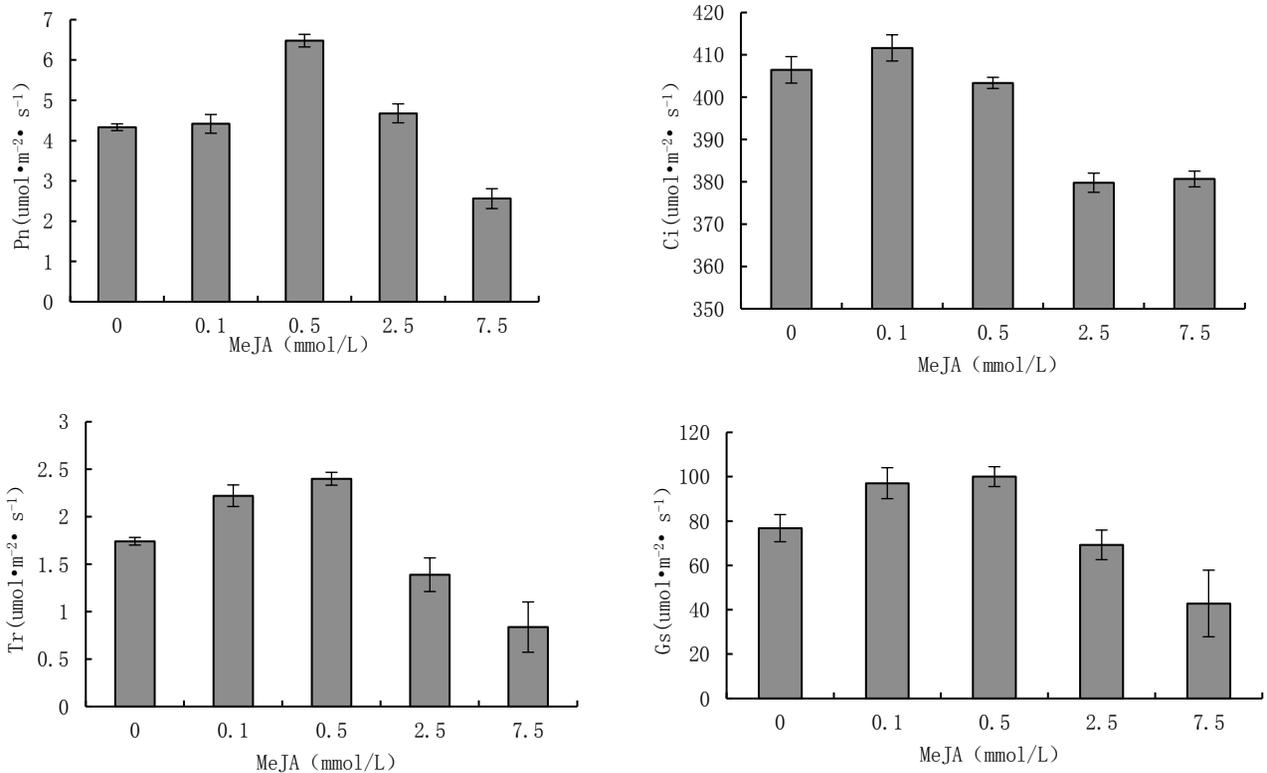


图1-4 不同浓度茉莉酸甲酯对头花蓼光合特性的影响 ( $P\leq 0.05$ )

## 2.2 不同浓度茉莉酸甲酯对头花蓼荧光特性的影响

### 2.2.1 初始荧光 $F_0$ 和最大荧光 $F_m$

$F_0$ 是光系统II(PS II)反应中心全部开放,原初电子受体(QA)全部氧化时的荧光产量。研究结果表明(图5),随着MeJA浓度的增加, $F_0$ 呈现先降低后升高的趋势;当MeJA浓度在0~0.5

mmol/L范围内变化时, $F_0$ 虽略有下降,但是最大值与最小值仅相差0.006,无显著差异;当MeJA浓度超过0.5 mmol/L时, $F_0$ 呈现显著增加趋势,与对照存在显著差异;表明较高浓度的MeJA对 $F_0$ 具有显著的增强作用。

$F_m$ 是PS II反应中心处于完全关闭时的荧光产量,可反映PS的电子传递情况。研究结果表明

(图6),随着 MeJA 浓度的增加,  $F_m$  呈现先升高后降低的趋势;当 MeJA 为 0.5 mmol/L 时,  $F_m$  达到最大,但与对照仅相差 0.010,无显著差异;当 MeJA 浓度超过 0.5 mmol/L 时,  $F_m$  呈现显著下降趋势,与对照相比,下降最大值达到 0.055,与对照存在显著差异;表明 MeJA 对  $F_m$  影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用,且抑制作用强度要高于促进作用。

2.2.2 实际量子产量  $Y(II)$  和最大光量子产量  $F_v/F_m$

$Y(II)$  反映 PS II 反应中心在有部分关闭情况下的实际原初光能捕获效率。研究表明(图7),随着 MeJA 浓度的增加,  $Y(II)$  呈现先升高后降低的趋势;当 MeJA 为 0.5 mmol/L 时,  $Y(II)$  达到最大,最大值为 0.639,高于对照,与对照有显著差异;当 MeJA 浓度超过 0.5 mmol/L 时,  $Y(II)$  呈现显著下降趋势,与 0.5 mmol/L 相比下降显著,下降最大值达到 0.066;当 MeJA 浓度为 2.5 mmol/L 时,与对照相比,其值降低 0.004,无显著差异;当 MeJA 浓度为 7.5 mmol/L 时,其值升高 0.013,与对照存在显著差异;表明 MeJA 对头花蓼  $Y(II)$  影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用。

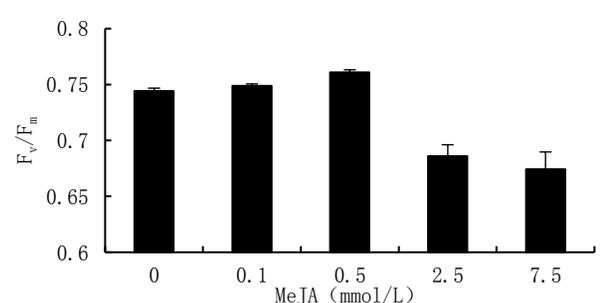
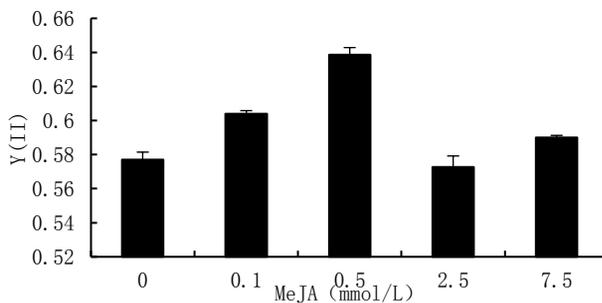
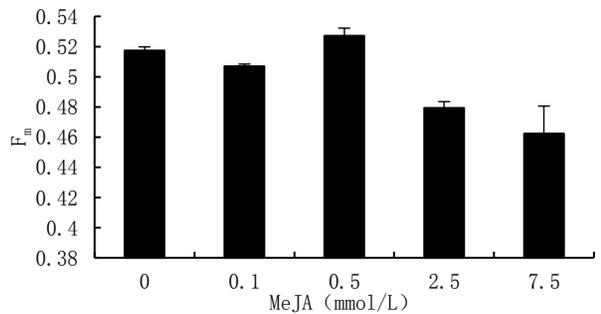
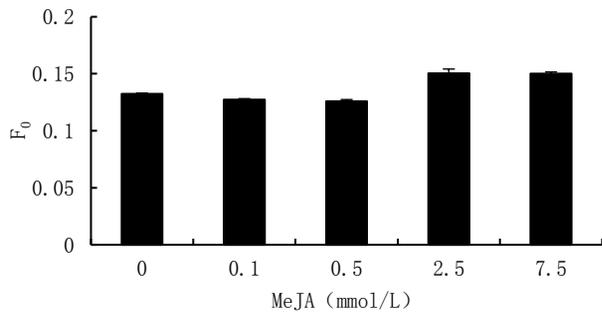
$F_v/F_m$  反映了植物潜在最大光合能力,  $F_v/F_m$  能够体现植物对光能的利用效率,是植物在胁迫条件下光合作用受到抑制程度的重要指标。研究表明(图8),随着 MeJA 浓度的增加,  $F_v/F_m$  呈现先升高后降低的趋势;当 MeJA 为 0.5 mmol/L 时,  $F_v/F_m$  达到最大,最大值为 0.7609,与对照相比其值增加了 0.017,与对照无显著差异;当 MeJA 浓度高于 0.5 mmol/L 时,  $F_v/F_m$  呈现显著下降趋势;当 MeJA 为

7.5 mmol/L 时,  $F_v/F_m$  值最小,与对照相比,其值下降了 0.070,存在显著差异;表明 MeJA 对头花蓼  $F_v/F_m$  影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用,且抑制作用强度要高于促进作用。

2.2.3 光化学猝灭系数  $qP$  和非光化学猝灭系数 NPQ

NPQ 是过剩光能的指示计,能够反映类囊体膜的激发状态。研究结果表明(图9),随着 MeJA 浓度的增加, NPQ 呈现逐渐下降的趋势;当 MeJA 为 0 mmol/L 时 NPQ 最大,最大值为 0.032;当 MeJA 为 7.5 mmol/L 时 NPQ 最小,其值为 0.020,与对照相比下降了 0.012,最大值与最小值有显著差异;当 MeJA 浓度为 0.5 mmol/L 时 NPQ 值为 0.031,与对照相比,仅下降 0.001,与对照无显著差异,与 MeJA 为 7.5 mmol/L 时的最小值 0.020 相比 NPQ 增加了 0.011,两者有显著差异;表明 MeJA 对头花蓼 NPQ 影响表现为高浓度抑制作用。

$qP$  表示 PS II 反应中心将吸收的光能转化为化学能,反映了植物的光合效率和光合活性的高低。研究结果表明(图10),随着 MeJA 浓度的增加,  $qP$  呈现先升高后降低的趋势;当 MeJA 为 0.1 mmol/L 时  $qP$  达到最大值 0.8754,比对照增加了 0.0007,比 0.5 mmol/L 时增加了 0.0003,三者之间无显著差异;当 MeJA 浓度超过 0.5 mmol/L 时,  $qP$  呈现显著下降趋势;当 MeJA 为 7.5 mmol/L 时  $qP$  值最小,下降了 0.0469,与对照存在显著差异;表明 MeJA 对  $qP$  影响表现为低浓度促进,高浓度抑制作用,且抑制作用强度要高于促进作用。



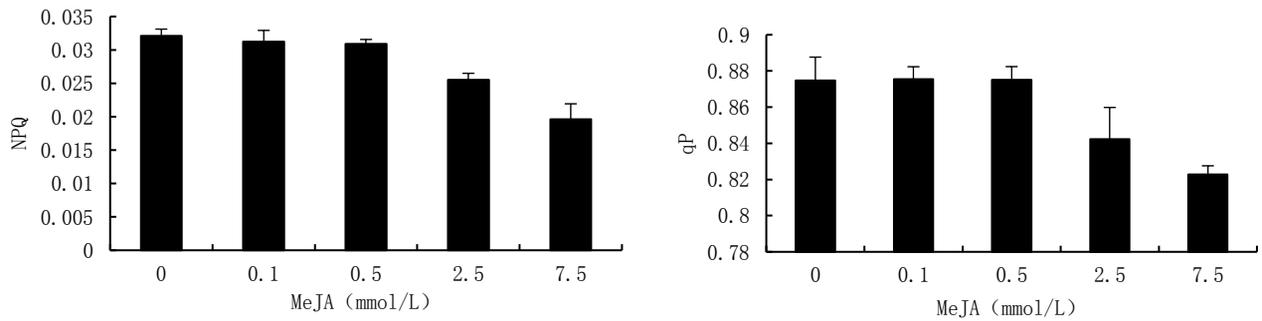


图5-10 不同浓度茉莉酸甲酯对头花蓼荧光特性的影响

### 3 讨论

茉莉酸甲酯是调节植物生长发育的一种内源性调节剂<sup>[14]</sup>,外源添加茉莉酸甲酯不仅通过调节气孔运动、叶绿素的合成等来影响植物的光合作用<sup>[15]</sup>,同时也能调控相关基因表达影响植物的次级代谢途径<sup>[16]</sup>,对药用植物药用成分的提高具有促进作用。植物的光合作用不仅是植物生长过程中的物质和能量基础,还能敏感反映各种环境条件变化的生理过程,净光合速率直接体现植物的光合作用能力,净光合速率的大小反映了植物光合能力的强弱,提高植物光合生产力和光能利用率是提高植物产量的根本途径,本研究以苗药研究中的热点植物—头花蓼为研究对象,研究了其在不同浓度茉莉酸甲酯处理下的光合和荧光特性,结果显示,一定浓度的茉莉酸甲酯能够有效提高头花蓼的光合和荧光特性。在已有的研究报告中,国内外研究者分别以苹果<sup>[23]</sup>、菠萝<sup>[24]</sup>、苦蕒<sup>[25]</sup>、水稻<sup>[26]</sup>等为对象进行研究,结果显示一定浓度的茉莉酸甲酯可以促进植物的光合作用,提高果树果实的品质,提高药用植物代谢产物的含量;在本研究中,随着MeJA浓度的变化,头花蓼Pn、Gs、Ci、Tr均呈现变化趋势,当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,Pn和Gs呈现上升趋势,而Ci呈现先上升后下降的趋势,可能是由于在MeJA的刺激下Gs升高,更多的CO<sub>2</sub>进入细胞,使光合速率升高,同时较高光合速率的消耗降低了Ci浓度,表明当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,可以有效提高头花蓼的光合效率,这与陈汝民等<sup>[26]</sup>与金微微等<sup>[27]</sup>研究结果一致;当MeJA浓度在0.5~7.5 mmol/L范围内变化时,Pn呈下降趋势,Gs、Ci的变化趋势与Pn保持一致,这与李亚藏<sup>[28]</sup>等的研究结果一致;气孔因素和非气孔因素均有可能引起Pn降低,Farquhar和Sharkey<sup>[29]</sup>认为,Ci的变化是判断气孔因素和非气孔因素的依

据,当Pn下降伴随着Gs和Ci的下降时,引起Pn的下降的因素为气孔;如果Pn下降而Ci提高,则表明Pn下降限制因素是非气孔,在本研究中,Gs、Ci的变化趋势与Pn保持一致,表明当MeJA浓度在0.5~7.5 mmol/L范围内变化时,引起Pn下降主要是气孔因素,高浓度的MeJA可能没有对叶片的气孔数量有较大的影响。此外,当MeJA浓度在0~7.5 mmol/L范围内变化时,Tr的变化趋势与Gs保持一致,表明在此浓度范围内,头花蓼的蒸腾速率与Gs呈正相关,同时,也从侧面证实了高浓度的MeJA可能不会对叶片的气孔数量有较大的影响。

叶绿素荧光参数是描述植物光合作用机理和光合生理状况的一项重要指标,它反映了植物光合作用“内在”的联系,被视为是研究植物光合作用与环境关系的内在探针,对植物叶绿素荧光特性的检测可以考查植物的生长和胁迫等生理状态。前人研究结果显示,叶绿素荧光参数会随着环境因素如温度、调节剂、降雨等的变化发生变化<sup>[30]</sup>;在本研究中,当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,头花蓼的初始荧光F<sub>0</sub>呈现下降趋势,而F<sub>m</sub>、Y(II)、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>呈现上升趋势,F<sub>0</sub>表明该浓度范围的MeJA可以通过提高PS II反应中心的电子传递活性、实际量子产量和最大光量子产量促进头花蓼光能的转化效率,这与董桃杏等<sup>[21]</sup>与张弦等<sup>[23]</sup>的研究结果一致,同时也解释了该浓度范围内Pn增加的原因;当MeJA浓度在0.5~7.5 mmol/L范围内变化时,初始荧光F<sub>0</sub>呈现上升趋势,而F<sub>m</sub>、Y(II)、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>呈现下降趋势;F<sub>0</sub>升高,F<sub>m</sub>降低,表明叶片PSII反应中心可能出现可逆的失活,也可能是植物叶片类囊体膜受到损伤<sup>[31]</sup>,同时实际量子产量Y(II)和最大光量子产量F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>也呈现下降趋势,也表明在高浓度的MeJA作用下,头花蓼的光能利用效率有所下降,这也解释了该浓度范围内Pn下降的原因。

qP反映了植物的光合效率和光合活性的高低,数据显示,MeJA浓度在0~7.5 mmol/L范围内变化时,qP呈现先上升后下降的趋势,表明低浓度MeJA可以促进头花蓼的光合效率,而高浓度的MeJA对头花蓼的光合活性具有抑制作用,同时从另外一个角度支持了当MeJA浓度在0~7.5 mmol/L范围内变化时Pn呈现先上升后下降的趋势的观点。NPQ是过剩光能的指示计,反映类囊体膜的激发状态,当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,头花蓼的NPQ变化不明显,但是当MeJA浓度超过0.5 mmol/L时,其NPQ急剧下降,表明PS II反应中心耗散过剩光能的能力降低,进一步说明在高浓度MeJA作用下,头花蓼消耗过剩光能能力下降。

#### 4 结 论

本研究以头花蓼为研究对象,研究了其在不同浓度茉莉酸甲酯处理下的光合和荧光特性,结果显示当MeJA浓度在0~0.5 mmol/L范围内变化时,头花蓼的Pn、Gs、Ci、Y(II)、Fv/Fm、Fm、qP呈现上升的趋势,而F<sub>0</sub>变化不明显,表明在此浓度范围内,MeJA可以通过提高气孔导度吸入较多的光合原料,从而提高头花蓼的Pn,同时PS II反应中心的电子传递活性、实际量子产量、最大光量子产量、光合活性的增加也从光合电子传递、转化及利用的角度解释了Pn增加的原因;当MeJA浓度在0.5~7.5 mmol/L范围内变化时,Pn、Gs、Ci呈现下降的趋势,显示了在此浓度范围内引起Pn下降的因素主要是气孔因素,而F<sub>0</sub>的上升及Y(II)、Fv/Fm、Fm、qP的下降,显示了高浓度的MeJA(0.5~7.5 mmol/L)降低了光能利用效率,降低了净光合速率;此外,当MeJA浓度在0.5~7.5 mmol/L范围变化时,头花蓼NPQ急剧下降,表明了在高浓度的MeJA作用下,头花蓼消耗过剩光能能力下降。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 刘瑜新,宋晓勇,康文艺,等.头花蓼对多重耐药金黄色葡萄球菌抗菌作用研究[J].中成药,2014,36(9):1817-1821.
- [ 2 ] 姚元贵,张丽艳,谢立敏,等.头花蓼不同极性部位抑菌作用的谱效学分析[J].中国试验方剂学杂志,2018,24(1):20-25.
- [ 3 ] 唐丽,刘跃,黄勇,等.离体外翻肠囊法研究头花蓼提取物中5个成分的肠吸收特性[J].中国药理学通报,2014(7):1031-1032.
- [ 4 ] 王洪平,曹芳,杨秀伟.头花蓼地上部分的化学成分研究[J].中草药,2013,44(1):24-30.
- [ 5 ] 刘艳丽,付飞跃,王海洋.头花蓼在屋顶绿化中的生长及观赏特点研究[J].西南大学学报(自然科学版),2014(8):67-72.
- [ 6 ] 王丽,杨爱江,邓秋静,等.贵州独山梯矿区土壤-头花蓼系统中重金属的分布特征[J].生态学杂志,2017,36(12):3545-3552.
- [ 7 ] 董力,王海洋.头花蓼4个野外居群生物量及分枝格局研究[J].西南农业学报,2011,24(1):253-257.
- [ 8 ] 周雯,张丽艳,谢立敏,等.超高效液相色谱-飞行时间质谱联用分析苗药头花蓼醇提取物及水提物化学成分[J].中国中药杂志,2017,42(18):3557-3563.
- [ 9 ] 刘勇,刘燕,胡茂飞,等.头花蓼水浸提液的化感自毒作用[J].江苏农业学报,2018,34(3):520-526.
- [ 10 ] 徐惠风,金桥,薛国艳,等.不同肥料处理下蓝莓光合特性日变化的研究[J].东北农业科学,2018,43(2):10-15.
- [ 11 ] 郑州元,林海荣,崔辉梅,等.外源硫化氢对盐胁迫下加工番茄幼苗光合参数及叶绿素荧光特性的影响[J].核农学报,2017,31(7):1426-1435.
- [ 12 ] Per T S, Khan M I R, Anjum N A, et al. Jasmonates in plants under abiotic stresses: Crosstalk with other phytohormones matters[J]. Environmental & Experimental Botany, 2018, 145(1): 104-120.
- [ 13 ] 王春丽,梁宗锁,李殿荣,等.水杨酸和茉莉酸甲酯对丹参幼苗叶片显微结构、光合及非结构糖积累的影响[J].植物科学学报,2012,30(5):501-510.
- [ 14 ] 王海彦,成城,安立昆,等.玉米内源茉莉酸调节干旱胁迫下的光合作用和抗旱生理反应[J].南京农业大学学报,2019,42(1):30-38.
- [ 15 ] 忽雪琦,李东阳,严加坤,等.干旱胁迫下外源茉莉酸甲酯对玉米幼苗根系吸水的影响[J].植物生理学报,2018,54(6):991-998.
- [ 16 ] Wasternack C, Stenzel I, Hause B, et al. The wound response in tomato—role of jasmonic acid[J]. Journal of Plant Physiology, 2006, 163(3): 297-306.
- [ 17 ] Hyunjin Kim, Chen, F, Wang, et al. Effect of Methyl Jasmonate on Secondary Metabolites of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.)[J]. J Agric Food Chem, 2006, 54(6):2327-2332.
- [ 18 ] Hao D C, Chen S L, Osbourn A, et al. Temporal transcriptome changes induced by methyl jasmonate in *Salvia sclarea*[J]. Gene, 2015, 558(1): 41-53.
- [ 19 ] Misra R C, Ghosh S. Methyl jasmonate-elicited transcriptional responses and pentacyclic triterpene biosynthesis in sweet basil [J]. Plant Physiology, 2014, 164(2): 1028.
- [ 20 ] Wang H, Ma C, Li Z, et al. Effects of exogenous methyl jasmonate on artemisinin biosynthesis and secondary metabolites in *Artemisia annua* L.[J]. Industrial Crops & Products, 2010, 31(2): 214-218.
- [ 21 ] 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.
- [ 22 ] 徐晨,刘晓龙,李前,等.供氮水平对盐胁迫下水稻叶片光合及叶绿素荧光特性的影响[J].植物学报,2018,53(2):185-195.

基本推动力。一方面政府和教育机构应该大力为农民提供知识教育,以合理的知识传播方式提高农户的劳动力素质水平,同时社会各界应将资金投入到有发展潜力的农业产业中,促进农民劳动力收入持续增加;另一方面涉农企业、农民专业合作社尽可能将实用的生产技术简单化并转移到农户的日常生产中,促进技术在农业产业融合各主体之间的流通融合,以提高农户的综合实力。

(3)产品和业务是现阶段影响该地区农业产业融合内生动力的重要因素。该地区相对发达地区而言,各项设施设备欠佳,通讯手段落后,整体硬实力发展迟缓等弊端影响着农业产业融合主体的发展进程。由于农业产业融合主体对产品和业务的依赖程度较大,政府机构应该着手增强农业产业融合发展主体的硬实力,多角度、全方位满足该地区农业产业融合主体的发展要求,提升该地区信息媒体发展水平,促进该地区农业产业的进一步融合发展。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 马 健.产业融合理论研究评述[J].经济学动态,2002(5):78-81.
- [ 2 ] Clive-Steven Curran, Jens Leker. Patent indicators for monitoring convergence—examples from NFF and ICT[J]. Technological Forecasting & Social Change,2010,78(2):256-273.
- [ 3 ] 唐润芝.龙头企业与农户的联结模式及利益实现[J].重庆社会科学,2011(12):44-49.
- [ 4 ] 陶群山,胡 浩,王其巨.环境约束条件下农户对农业新技术采纳意愿的影响因素分析[J].统计与决策,2013(1):106-110.
- [ 5 ] 李道和,陈江华.农民专业合作社绩效分析——基于江西省调研数据[J].农业技术经济,2014(12):65-75.
- [ 6 ] 李云新,戴紫芸,丁士军.农村一二三产业融合的农户增收效应研究——基于对345个农户调查的PSM分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2017(4):37-44,146-147.
- [ 7 ] 吴明隆.结构方程模型:AMOS的操作与应用[M].重庆:重庆大学出版社,2010:115-260.
- [ 8 ] 单元媛,赵玉林.国外产业融合若干理论问题研究进展[J].经济评论,2012(5):152-160.
- [ 9 ] 肖小虹.农业产业链利益机制研究[J].贵州社会科学,2010(8):113-116.
- [ 10 ] 梁树广,马中东.农业产业融合的关联度、路径与效应分析[J].经济体制改革,2017(6):79-84.
- [ 11 ] 王艳君,谭 静,雷俊忠.农业与其服务业间产业融合度实证研究——以四川省为例[J].农村经济,2016(12):82-87.
- [ 12 ] 王栓军.我国现代农业发展路径的产业融合理论解析[J].农业经济,2015(10):34-35.
- [ 13 ] 朱月季,高贵现,周德翼.基于主体建模的农户技术采纳行为的演化分析[J].中国农村经济,2014(4):58-73.
- [ 14 ] 费红梅,刘文明,王 立,等.农户土地流出处意及其影响因素分析[J].东北农业科学,2017,42(6):69-72.
- [ 15 ] 徐晓红,杨 双,王洪丽,等.农地规模化经营中农民意愿及影响因素分析——以吉林省农民为例[J].吉林农业科学,2014,39(4):89-91,96.
- [ 16 ] 杨 双,许春艳,舒坤良,等.基于农户视角的吉林省农业技术推广模式评价[J].吉林农业科学,2013,38(6):78-81.
- [ 17 ] 王成志.浅析吉林省农民专业合作社发展的制约因素[J].600-605.
- [ 23 ] 张 弦,王志博,聂雅婷,等.茉莉酸甲酯和油菜素内酯减轻苹果叶片光抑制的生理机制研究[J].西北农业学报,2017,26(6):906-915.
- [ 24 ] 季 悦,李 静,王 雷,等.茉莉酸甲酯处理对鲜切菠萝品质及抗氧化活性的影响[J].食品科学,2018,39(1):258-263.
- [ 25 ] Zhan X, Liao X, Luo X, et al. Comparative Metabolomic and Proteomic Analyses Reveal the Regulation Mechanism Underlying MeJA-Induced Bioactive Compound Accumulation in Cut-leaf Groundcherry ( *Physalis angulata* L.) Hairy Roots[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2018, 66(25): 6336.
- [ 26 ] 陈汝民,刘振声.茉莉酸甲酯对水稻光合速率及其同化物运输的调节作用[J].植物学报(英文版),1993,35(8):600-605.
- [ 27 ] 金微微,张会慧,王 炎,等.茉莉酸甲酯对干旱及复水下烤烟幼苗光合特性和抗氧化酶的影响[J].干旱区地理(汉文版),2011,34(6):933-940.
- [ 28 ] 李亚藏,梁彦兰,王庆成.镉对茶条槭和五角槭光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J].西北植物学报,2009,29(9):1881-1886.
- [ 29 ] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1):317-345.
- [ 30 ] 朱延姝,郭丽丽,崔震海,等.光强对玉米幼苗不同叶位叶片叶绿素荧光参数的影响[J].吉林农业科学,2013,38(4):1-4.
- [ 31 ] 王玉霞,李芳东,李延菊,等.三种叶面肥对晚熟油桃‘福秀’果实品质的影响[J].东北农业科学,2018,43(4):41-43.

(上接第42页)