

doi:10.3788/gzxb20134206.0715

# 不同光照强度和光质对铁线莲品种繁星 (*Clematis* ‘nelly moser’) 不定芽诱导和生长的影响

徐玲玲<sup>1</sup>, 丁朵朵<sup>1</sup>, 陶贵荣<sup>1</sup>, 党悦方<sup>1</sup>, 郭斌<sup>2</sup>

(1 西安文理学院 生物技术学院, 西安 710065)

(2 西北大学 生命科学学院 西部资源生物与现代生物技术教育部重点实验室, 西安 710069)

**摘 要:**以铁线莲品种繁星(*Clematis* ‘nelly moser’)的带节茎段为材料,研究不同光照强度和光质对铁线莲不定芽繁殖的影响.以 MS 为基本培养基(含有 0.2 mg/L 1-萘乙酸和 2 mg/L 6-苄氨基腺嘌呤),设置光照强度梯度为 0、500、2 000、3 000 和 4 000 Lux 的白光光照;用透明玻璃纸得到蓝(440 nm)、绿(560 nm)、红(650 nm) 3 种光质,以白光为对照组,强度均为 3 000 Lux.结果表明:在光照强度为 3 000 Lux 的白光光照下,不定芽的诱导效果最好,其诱导频率和每个外植体上不定芽的数量分别为 100%和 4.4,每个外植体上不定芽的平均高度为 5.66 cm,平均节数为 4.6 个;蓝光能够显著提高不定芽的诱导数量,是相同光强白光诱导数量的 1.27 倍,蓝光下不定芽 SOD 和 CAT 的最大值显著高于其它光质下的数值,且叶绿素 a 和 b 的比值最大.

**关键词:**生物光学;铁线莲;激素;不定芽;光照强度;光质

中图分类号:S682.1

文献标识码:A

文章编号:1004-4213(2013)06-0715-6

## Effects of Different Light Intensity and Light Quality on Adventitious Buds Induction and Growth of *Clematis* ‘nelly moser’

XU Ling-ling<sup>1</sup>, DING Duo-duo<sup>1</sup>, TAO Gui-rong<sup>1</sup>, DANG Yue-fang<sup>1</sup>, GUO Bin<sup>2</sup>

(1 School of biotechnology, Xi'an University of Arts and Science, Xi'an 710065, China)

(2 Key Laboratory of Resource Biology and Biotechnology in Western China, School of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

**Abstract:** Effects of different light intensity (0, 500, 2 000, 3 000 and 4 000 Lux) and light quality (blue, green and red light) on propagation of axillary buds by *Clematis* ‘nelly moser’ are studied. MS media with NAA (Naphthaleneacetic Acid) 0.2 mg/L+6-BA (6-Benzylaminopurine) 2 mg/L are used as basal media. The experimental results show that the 3 000 Lux white light is better for the axillary buds propagation than the other light quality values. Under 3 000 Lux white light, the adventitious buds per explants, average adventitious bud height per explants and average nodes number are 100%, 4.4, 5.66 cm and 4.6, respectively. Besides, it is found that the blue light significantly enhanced the induction efficiency of adventitious buds, which is 1.27 times than that under white light treatments. The physiological and biochemical data show that the activities of superoxide dismutase (SOD), hydrogen peroxide (CAT), and the ratio of chlorophyll a to b in adventitious bud under blue light treatment are significantly higher than those in the other light quality treatments.

**Key words:** Biological optics; *Clematis*; Hormone; Adventitious buds; Light intensity; Light quality

基金项目:国家自然科学基金(No. 31000144)、陕西省科技厅项目(No. 2012JQ3017)、西安市科技计划项目(No. NC1206(3))和陕西省教育厅基金(No. 12JK0846)资助

第一作者:徐玲玲(1981-),女,讲师,博士,主要研究方向为植物与微生物. Email: missilell@163.com

通讯作者:郭斌(1975-),男,副教授,博士,主要研究方向为植物生理工作. Email: guobin@nwu.edu.cn

收稿日期:2013-01-21;录用日期:2013-04-01

## 0 引言

铁线莲属 (*Clematis*) 隶属于毛茛科 (*Ranunculaceae*), 是一种观赏价值高、具有多种抗逆性的藤本植物, 分布于世界各地, 共约 300 余种. 我国各地均有分布, 有 140 多种, 以华中和西南地区居多. 铁线莲属植物花形新颖别致, 变化大, 花朵色泽调和, 独具风采; 花期较长, 适应性强, 并具有较强的耐寒性, 在欧美庭园垂直绿化应用甚多, 有“藤本皇后”之美称. 常用于攀缘乔灌木和墙篱、拱门、花架、花柱等园林建筑, 也用作地被花卉、切花、盆花、垂吊装饰, 在国际观赏园艺中占有重要地位<sup>[1]</sup>. 同时, 该属植物大多为重要的药用植物, 药用价值高, 是中医和民间常用的利尿通淋、祛风止痛药<sup>[2]</sup>. 目前, 对铁线莲有效药用化学成分的研究也是关注的热点<sup>[3]</sup>.

铁线莲品种繁星是开花最早并且最受青睐的品种. 其花色为淡玫瑰红, 花瓣中间有一条深玫红中线, 花期将尽时花朵变为淡紫色. 尽管铁线莲花色淡雅秀丽、生长健壮、移栽易于成活, 但繁殖却较为困难. 由于是杂交品种, 不产生种子, 只能采用无性繁殖. 目前, 我国铁线莲属植物的繁殖方法, 主要是无性繁殖中的扦插和压条, 由于铁线莲其茎很细, 纤细的茎无法贮存足够营养, 所以扦插成活率极低; 并且扦插和压条都受天气和季节影响较大, 生产效率也较低, 且因为无法对种苗进行脱毒, 经常会出现病虫害, 长期使用还会引起种质的退化. 因此, 可以采用组织培养的方法来获得大量的、种质稳定的植株.

目前对于铁线莲的组织培养方法研究较少, 但是仍然取得了一定的成绩<sup>[4]</sup>. 激素是植物组织培养的关键物质, 细胞分裂素和生长素的种类和相对浓度决定器官脱分化的方向. 激素组合对单叶铁线莲某些品种的嫩茎愈伤组织诱导、不定芽发生、不定根发生等方面的研究也取得了一定的进展<sup>[5]</sup>. 张启香等以栽培品种 Multi-Blue 的幼叶、茎尖、嫩茎作为外植体, 通过不同的基本培养基附加一定植物生长调节剂进行培养, 几种外植体中以茎尖的培养效果最优, 获得了高额不定芽<sup>[6]</sup>. 张徐俞等<sup>[7]</sup>对天台铁线莲愈伤组织诱导研究的结果表明: MS + BAP (6-Benzylaminopurine, 6-苄氨基腺嘌呤) 1.0 mg/L + NAA (Naphthaleneacetic Acid, 萘乙酸) 0.3 mg/L 培养基中嫩茎的出愈率最高、组织块最大, 可作为愈伤组织诱导的最佳激素配比. 因此, 铁线莲组织培养中激素的种类和水平的筛选已经成熟. 但是, 光照对铁线莲不定芽诱导影响的研究方面还没有见

报道.

光照是十分重要的环境因子, 其中不同波长的光质对再生体系的建立有着显著的影响<sup>[8]</sup>. 陈博等<sup>[9]</sup>研究表明不同光质对喜树愈伤组织形成及分化潜质影响. 刘浩等<sup>[10]</sup>经过试验证实不同光质处理下萝卜愈伤组织的诱导、增殖都各不相同. 然而, 目前尚未有研究报道不同光质对铁线莲组织培养过程不定芽诱导的影响. 本实验旨在研究不同光照强度和光质对铁线莲品种繁星腋芽繁殖的影响, 从而筛选出合适的参量, 为该品种的快速繁殖提供技术参量.

## 1 材料与方法

### 1.1 植物材料

铁线莲品种繁星 (*Clematis* ‘nelly moser’) 嫩枝由西安曲江玫瑰庄园提供.

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 铁线莲不定芽的诱导

将铁线莲的枝条剪去叶柄, 先整段用试管刷蘸浓洗衣粉水仔细刷洗, 再用自来水冲洗, 滤纸擦干, 然后把枝条短截成 2~3 cm 一段, 每段带 1 个腋芽. 先用 70% 酒精浸泡 1 min, 再用无菌水冲洗 3 次, 再置于 0.1% 升汞溶液中不断摇动, 灭菌 10 min, 无菌水冲洗 8~10 次, 用无菌吸水纸吸干. 将灭过菌的铁线莲茎段转接到含有 0.2 mg/L 1-萘乙酸 (NAA) 和 2 mg/L 6-苄氨基腺嘌呤 (6-BA) 的 MS 固体培养基中培养, 放置到不同的光照强度 (0、500、2 000、3 000 和 4 000 Lux) 的白光下培养, 筛选出最优的光照强度参量, 作为下一个实验的研究参量. 培养温度为 (25±0.5) °C, 光周期 16 h. 42 天后统计不定芽的诱导频率和平均每个茎段上不定芽的数量, 并测量芽的平均高度和统计平均节数. 研究不同光质对铁线莲不定芽诱导和生长的影响, 用透明玻璃纸得到蓝 (440 nm)、绿 (560 nm)、红 (650 nm) 3 种光质, 以白光为对照组, 不同光质的强度均为重复 3 000 Lx, 每天光照 16 h, 温度 (25±0.5) °C, 培养 42 d 后, 统计不定芽的诱导频率和平均每个茎段上不定芽的数量, 并测量芽的平均高度和统计平均节数.

#### 1.2.2 不定芽中抗氧化酶活性的测定

取生长不同阶段的不定芽, 放于预冷的研钵中, 加入 10 mL 预冷的提取液, 提取液中含 0.5 mol/L 的 Tris-HCl 缓冲液 (pH 6.8). 研磨后的提取液在 15 000 g 下冷冻离心 20 min. 上清液用来测定酶活性. 所有的操作均在 4 °C 条件下进行. 超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, SOD) 活性的测定按照 Giannopolitis and Ries 等的方法<sup>[11]</sup>; 过氧化物酶

(Peroxidase, POD)活性按照 Hammerschmidt 等的方法测定<sup>[12]</sup>;过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性按照 Arrigoni 等的方法测定<sup>[13]</sup>.

### 1.2.3 不定芽中叶绿素含量的测定

取不定芽 0.5 g,置于研钵中,加 5 mL 纯丙酮及少量石英砂(体积可忽略不计)研磨 3 min,转入离心管中,80%丙酮洗涤研钵(洗涤液仍转入离心管),用 80%丙酮定液面线与离心管刻度的 15 mL 处,加盖 3 000 r/min 离心 3 min,取上清液以 80%丙酮为对照,在 645 nm、663 nm 处测 OD 值.

$$\text{叶绿素 a } C_a = 12.7A663 - 2.69A645 \quad (\text{mg/L})$$

$$\text{叶绿素 b } C_b = 22.9A645 - 4.68A663 \quad (\text{mg/L})$$

$$\text{总叶绿素 } C_r = C_a + C_b \quad (\text{mg/L})$$

### 1.3 统计方法

所有的试验采取随机取样进行并重复三次.SPSS 13.0 软件(Statistical Package for the Social Sciences)在  $P < 0.05$  水平上对数据进行单因素方差和邓肯多重范围检验,结果表示为平均值 ± 标准误.

## 2 实验结果

### 2.1 不同光照强度和光质对铁线莲不定芽诱导的影响

不同的光照强度对铁线莲不定芽的诱导效率有显著的差异(表 1).在光照强度为 3 000 Lux 和 4 000 Lux 时,不定芽的诱导频率和诱导数量达到最大,分别是 100% 和 4.4 个/外植体,100% 和 4.2 个/外植体.显著高于光照强度为 0、500、2 000 Lux 时的数值.

表 1 不同光照条件对铁线莲腋芽繁殖的影响  
Table 1 Effect of different light conditions on bud propagation of *Clematis 'nelly moser'*

Light intensity/ Lux	Light quality	Adventitious buds induction frequency/(%)	Number of buds per explants	Average bud height/cm	Node number per bud
0	White	36 <sup>d</sup>	1.2 <sup>d</sup>	1.40 <sup>d</sup>	1.8 <sup>c</sup>
500	White	65 <sup>c</sup>	2.5 <sup>cd</sup>	3.14 <sup>c</sup>	3.2 <sup>b</sup>
2 000	White	88 <sup>b</sup>	3.2 <sup>c</sup>	4.50 <sup>b</sup>	4.3 <sup>a</sup>
3 000	White	100 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	5.66 <sup>a</sup>	4.6 <sup>a</sup>
4 000	White	100 <sup>a</sup>	4.2 <sup>b</sup>	4.53 <sup>b</sup>	4.2 <sup>a</sup>
3 000	Red	78 <sup>bc</sup>	3.3 <sup>c</sup>	5.42 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>
3 000	Green	85 <sup>b</sup>	2.8 <sup>c</sup>	5.31 <sup>a</sup>	4.3 <sup>a</sup>
3 000	Blue	100 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	5.30 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>

a~d represent the significant differences,  $P < 0.05$  (Duncan test)

另外,在实验中发现,在不同的光照强度下芽的

生长情况也不同(表 1).尽管当光照强度为 3 000 Lux 和 4 000 Lux 时,不定芽的诱导频率和数量没有显著性差异,但是,芽的平均高度不同.在光照强度 3 000 Lux 下,芽的平均高度为 5.66 cm(表 1,图 1(b)),显著高于光照强度 4 000 Lux 下的芽平均高度(4.53 cm).当光照强度在 2 000 Lux 以上时,不定芽的节数没有显著的变化.因此,对铁线莲不定芽诱导最合适的光照强度为 3 000 Lux.

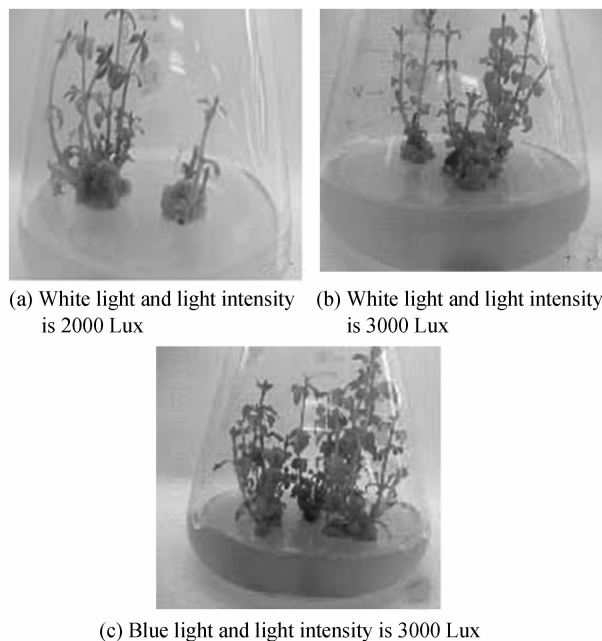


图 1 铁线莲不定芽的诱导  
Fig. 1 Induction of adventitious buds of *Clematis 'nelly moser'*

在光强 3 000 Lux 下,将铁线莲的外植体放到不同的光质下诱导不定芽.结果表明,不同的光质对铁线莲不定芽的诱导频率和个数有显著的差异,尤其是在蓝光下培养的铁线莲外植体.在蓝光下培养 42 天后(图 1(c)),铁线莲不定芽的诱导频率达到 100%;同时,每个外植体上不定芽的数量显著提高,是白光(3 000 Lux)下不定芽数量的 1.27 倍(表 1).但是,在不同的光质下,不定芽平均高度和芽上的平均节数没有显著的差异(表 1).

### 2.2 不同光质对不定芽抗氧化酶活性的影响

在不同的光质下,三种抗氧化酶的活性均有明显的变化(图 2).铁线莲不定芽诱导过程中不同的光质下 SOD 的活性变化趋势相似(图 2(a)),在整个过程中 SOD 活性逐渐增加,在培养的第 21 天达到最大值,以后 SOD 活性有所下降.在蓝光下,SOD 的最大值显著高于其在其它光质下的数值;在红光和绿光下 SOD 的最大值最低,显著小于对照(白光下的数值).在不同的光质下,POD 的活性也在逐渐的增高,在整个过程中呈缓慢上升趋势(图 2

(b)). 但是,不同的光质下 POD 活性大小没有显著的差异. SOD 和 CAT 活性变化趋势基本一致(图 2(a), (c)),在培养的 21 天之前,CAT 的活性逐渐增高,然后逐渐降低. 整个培养过程中,在蓝光下培养的不定芽 CAT 的活性显著高于白光、红光和绿光下 CAT 的活性(图 2(c)).

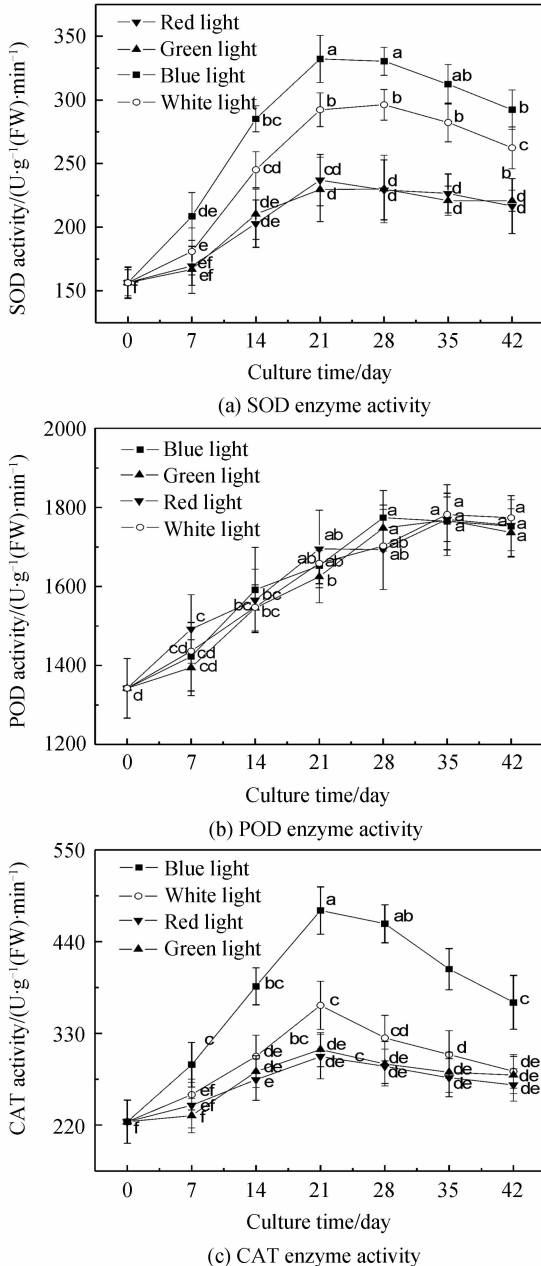


图 2 铁线莲不定芽诱导过程中抗氧化酶活性的变化  
Fig. 2 Antioxidant enzyme activity changes of *Clematis* 'nelly moser' during adventitious bud induction process

### 2.3 不同光质对不定芽叶绿素含量的影响

在不同的光质下,叶绿素的含量有显著的变化,尤其是叶绿素 a 和 b 的比值(表 2). 在铁线莲不定芽中叶绿素 a 的含量明显高于叶绿素 b 的含量. 在蓝光照射下,不定芽的叶绿素 a 的含量最高,而叶绿素 b 的含量最低,叶绿素 a 和 b 的比值最大;在红光

和绿光光照下,叶绿素 a 和 b 的比值最小(表 2).

表 2 不同基质对铁线莲叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of different substances on chlorophyll contents of *Clematis* 'nelly moser'

Light quality	$C_a/(mg \cdot g^{-1})$	$C_b/(mg \cdot g^{-1})$	$C_a/C_b$
White	5.37 <sup>b</sup>	1.82 <sup>b</sup>	2.95
Red	5.03 <sup>bc</sup>	2.65 <sup>a</sup>	1.89
Green	4.53 <sup>c</sup>	2.58 <sup>a</sup>	1.76
Blue	6.30 <sup>a</sup>	1.01 <sup>c</sup>	6.24

a~d represent the significant differences,  $P < 0.05$  (Duncan test)

### 3 讨论

实验中生长素 NAA 和植物细胞分裂素 6-BA 浓度的选择是在以前预实验的基础上进行的. 在此,主要研究不同的光照条件对铁线莲品种繁星不定芽诱导的影响. 在无光照时,接种的外植体腋芽不能进行光合作用,因此,不能合成供其自身利用的有机物,所需的营养只能从培养基中获得. 所以,其新生芽平均株高最小,长势弱、易黄化,有的徒长导致节间距离增长. 在有光照的条件下,接种的外植体腋芽能进行光合作用,合成有机物供自身的生长,并且在达到光饱和点之前,光合作用会随着光照强度的增强而增大,合成的有机物也会随之增多,供其自身消耗和生长的能量也会随之增多,所以,新生芽未出现黄化,且生长良好<sup>[14]</sup>. 另外,从表 1 中得出,新生芽的平均节数随光照强度的不断增加并没有显著性的差异. 对铁线莲的不定芽生长来说较合适的光照强度为 3 000 Lux.

光质是调节控制植物代谢的基本因素之一,它对植物的生长、形态结构、光合作用和物质代谢都具有一定的调控作用. 刘浩等<sup>[10]</sup>经过试验证实不同光质处理下萝卜愈伤组织的诱导、增殖都各不相同. 陈博等<sup>[9]</sup>发现在蓝光下,喜树愈伤组织的分化效果最好. 本文在筛选出利于铁线莲不定芽诱导的合适的光照强度下,进一步研究了在不同光质下铁线莲不定芽诱导的特点. 结果发现蓝光显著提高铁线莲不定芽的诱导频率和数量. 这和陈博等<sup>[9]</sup>的研究结果相似. 在怀山药愈伤组织诱导分化过程中也发现蓝光具有显著的促分化作用<sup>[15]</sup>. 这些研究结果表明光质对芽分化起决定性作用. 植物通过光受体感受不同的光质,然后通过它们之间的差异调节作物的生长发育<sup>[9]</sup>. 从铁线莲不定芽诱导过程中的抗氧化酶活性变化可知,不同的光质下,不定芽的诱导效率与抗氧化酶活性有密切的关系. 在蓝光作用下,铁线莲不定芽中 SOD 和 CAT 的活性显著高于其它光质处理;而 POD 在各种光质处理下,在相同的培养时间点没有显著差异. SOD 是生物体内普遍存在的一

种酶,处于保护酶系中的核心地位.近几年,在植物组织培养中研究表明较高的 SOD 酶活性有利于组织的分化<sup>[16]</sup>.这一点在辣椒<sup>[17]</sup>、大蒜<sup>[18]</sup>和喜树<sup>[9]</sup>等植物的离体分化中已有报道.在蓝光处理下,CAT 的活性在整个不定芽诱导过程中较高,说明 CAT 活性的升高对芽的形成和发育具有促进作用.随着 SOD 活性的上升,POD 和 CAT 活性升高,可防止 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 的浓度过高对胚性细胞的形成和体胚发育的抑制作用.比较有趣的是在不同品种的植物组织离体分化过程中抗氧化酶的变化趋势不完全相同.在枸杞体胚发生过程中,SOD 活性的变化趋势正好与 POD 和 CAT 活性的变化趋势相反<sup>[19]</sup>.可能光质对不同植物材料的调节作用不同;各试验所使用的培养基不同,光质对植物组织培养物生长和发育的效应又受培养基成分影响;或者各试验所使用的方法、光照的波长和辐照及时间不同.

在研究中还发现,在蓝光下不定芽中叶绿素 a 的含量显著提高.蓝光促进叶绿素积累的作用在蓝藻细胞培养中也发现了相似的现象<sup>[20]</sup>.叶绿素 a 是光合作用中最重要色素,与代谢产物的积累和植物体的生长有密切的关系.本研究表明蓝光显著提高铁线莲不定芽中叶绿素 a 的含量,增大叶绿素 a 和叶绿素 b 的比值,从侧面说明,这也可能是蓝光促进不定芽分化和生长的原因之一.

#### 4 结论

本文通过对比不同的光照强度和光质对铁线莲品种繁星不定芽诱导的影响,结果表明在光照强度为 3 000 Lux 的蓝光光照下,铁线莲品种繁星的带节茎段不定芽的诱导效率较高.

#### 参考文献

[1] ZHANG Y K, JIANG Y. Research advances and landscape application of *Clematis* sp. in China[J]. *North Horticulturae*, 2007(3): 122-124.  
章银柯,江燕.我国铁线莲属植物研究现状及其园林应用[J].北方园艺,2007(3):122-124.

[2] CHEN W Y, PU C X. Resource investigation of medicinal species of *Clematis* in Yunnan province[J]. *Journal of Yunnan University Traditional Chinese Medicine*, 2006, (1): 31-33.  
陈文允,普春霞.云南省铁线莲属药用资源调查[J].云南中医学院学报,2006,(1):31-33.

[3] YANG Yong-gang, LU Guang-fu, LI Hui, et al. The chemical constituents and pharmacological effect of *Clematis* research[J]. *Journal of Changchun University Traditional Chinese Medicine*, 2011, 27(5): 861-873.  
杨永刚,律广富,李辉,等.铁线莲属植物的化学成分及药理作用研究[J].长春中医药大学学报,2011,27(5):861-873.

[4] NI Xin, MA Yu. Tissue culture of *Clematis coccinea* [J]. *Chinese Bulletin Botany*, 1984, (Z1): 71-73.  
倪新,马毓.红花铁线莲的组织培养[J].植物学通报,1984,(Z1):71-73.

[5] HUANG Yu-lei, LÜ Jia-xin, JIANG Ming. Callus induction and plant regeneration of *Clematis henryi* [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(4): 731-735.  
黄余磊,吕枷薪,蒋明,等.单叶铁线莲 *Clematis henryi* 愈伤组织诱导与植株再生[J].浙江农业学报,2011,23(4):731-735.

[6] ZHANG Qixiang, FANG Yan-ming, LÜ Mei, et al. A preliminary study on induction of adventitious buds and embryogenesis in *Clematis 'Multi-Blue'* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(2): 365-368.  
张启香,方炎明,吕梅,等.铁线莲 Multi-Blue 不定芽及体细胞胚发生的初步研究[J].园艺学报,2007,34(2):365-368.

[7] ZHANG Xu-yu, JIANG Ming, CHEN Tong, et al. Callus induction research of *Clematis patens* ssp. *tientaiensi* [J]. *Jiangsu Agriculture Science*, 2011, 39(3): 65-66.  
张徐俞,蒋明,陈彤,等.天台铁线莲愈伤组织诱导研究[J].江苏农业科学,2011,39(3):65-66.

[8] SANG H I, RAJESH K T, KEE Y P. Photon flux density and light quality induce changes in growth, tomato development, photosynthesis and transpiration of *Withaniasomnifer* (L) Dunal plantlets[J]. *Plant Cell Tissue And Organ Culture*, 2007, 90(3): 141-151.

[9] CHEN Bo, CHEN Zhe-hao, WANG Li-lin, et al. Effects of different light quality on the formation and regenerative potentialities of calli of *Camptothecaacuminata* [J]. *Northern Horticulture*, 2012, (17): 112-115.  
陈博,陈哲皓,王利琳,等.不同光质对喜树愈伤组织形成及分化潜力的影响[J].北方园艺,2012,(17):112-115.

[10] LIU Hao, LI Sheng, MA Shao-ying, et al. Effects of different LED light qualities on callus induction, proliferation and sulforaphane content of *Raphanussativus* L [J]. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(4): 347-350.  
刘浩,李胜,马绍英,等.LED 不同光质对萝卜愈伤组织诱导、增殖及萝卜硫素含量的影响[J].植物生理学通讯,2010,46(4):347-350.

[11] GIANNOPOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutase: I. occurrence in higher plants[J]. *Plant Physiology*, 1977, 59: 309-314.

[12] HAMMERSCHMIDT R, NUCKLES E M, KUC J A. Association of enhanced peroxidase activity with induced systemic resistance of cucumber to *Colletotrichumlagenerium* [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 1982, 20(1): 73-82.

[13] ARRIGONI O, GARA L D, TOMMASI F, et al. Changes in the ascorbate system during seed development of *Vicia faba* L [J]. *Plant Physiology*, 1992, 99(1): 235-238.

[14] CAI Yan-fei, LI Shi-feng, JIE Wei-jia, et al. Influences of different light environments on photosynthetic characteristics of *Clematis 'Vyryan Pennell'* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(7): 1377-1384.  
蔡艳飞,李世峰,解玮佳,等.不同光照环境对‘薇安’铁线莲光合特性的影响[J].园艺学报,2011,38(7):1377-1384.

[15] GUO Jun-li, LI Ming-jun, ZHANG Jia-bao. The effect of combination of light quality and NAA on dedifferentiation in leaves of *Dioscoreaopposita* [J]. *Journal of Zhejiang Wanli University*, 2002, 15(1): 58-60.  
郭君丽,李明军,张嘉宝.光质和 NAA 组合对怀山药叶片脱分化的效应[J].浙江万里学院学报,2002,15(1):58-60.

[16] LI S W, XUE L G, XU S J, et al. IBA-induced changes in antioxidant enzymes during adventitious rooting in mung bean seedlings: the role of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 66(3): 442-450.

[17] HUANG Li-hua, HONG Ya-hui, DAI Xiong-ze, et al.

- Effect of light quality on calluses induction and differentiation of *Capsicum annuum* [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2009, **35**(6): 615-617.
- 黄丽华, 洪亚辉, 戴雄泽, 等. 光质对辣椒离体愈伤组织诱导极分化的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2009, **35**(6):615-617.
- [18] MA Lin, LIU Shi-qi, ZHANG Zi-kun, *et al.* Effect of different light qualities on callus induction, multiplication and organ differentiation of garlic[J]. *Acta Agricultural Boreali-Occidentalis Sinica*, 2011, **20**(6): 118-122.
- 马琳, 刘世琦, 张自坤, 等. 光质对大蒜愈伤组织诱导、增殖及器官分化的影响[J]. 西北农业学报, 2011, **20**(6): 118-122.
- [19] CUI Kai-rong, REN Hong-xu. The positive correlations between the activities of antioxidant enzymes and somatic embryogenesis during the period of tissue culture in *Lycium barbarum* L [J]. *Journal of Lanzhou University*, 1998, **34**(3): 93-99.
- 崔凯荣, 任红旭. 枸杞组织培养中抗氧化酶活性与体细胞胚发生相关性的研究[J]. 兰州大学学报, 1998, **34**(3):93-99.
- [20] GUO Bin, ZHANG Xiang-da, WEI Ya-hui. Effects of light intensity on the growth of cyanobacteria isolated from *Huperzia. Serrata* (Thunb.) Trevis in liquid medium [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2012, **41**(1): 102-106.
- 郭斌, 张向达, 尉亚辉. 光照强度对蛇足石杉共生蓝藻细胞悬浮培养的影响[J]. 光子学报, 2012, **41**(1):102-106.

\*\*\*\*\*

• 下期预告 •

## 基于小波能量和光斑尺寸的干扰图像尺度分析

吴云龙<sup>1</sup>, 邵立<sup>2</sup>, 张恺<sup>2</sup>, 李锋<sup>1</sup>, 孙晓泉<sup>1</sup>

(1 脉冲功率激光技术国家重点实验室, 合肥 230037)

(2 电子工程学院 光电系 602 室, 合肥 230037)

**摘要:**介绍了激光干扰对 CCD 成像系统的影响,从影响光电成像系统目标检测性能的角度阐述了激光干扰图像与背景杂波的相似性. 针对激光干扰图像的频率特性,利用小波分析在图像处理中的优势,结合机器视觉中背景杂波的量化尺度,提出了基于小波能量和光斑尺寸的综合图像尺度. 对典型激光干扰图像的小波分析显示,随着激光干扰功率的增大,干扰图像中的低频分量和高频分量会同时增加,图像中的光斑可被看作是低频分量,光斑周围“斑驳状”的散斑是高频分量,类似于盐噪音. 激光视场内干扰实验及数值计算表明:激光干扰会降低 Otsu 算法分割准确度,增加相关检测虚警概率,该尺度将干扰图像的高频分量和低频分量结合起来,同时克服了单一光斑尺度和小波能量尺度的局限性,能够较好地评估视场内激光干扰 CCD 成像系统的效果.

**关键词:**激光干扰;频率特性;小波能量;光斑尺寸;评估