

蒋润枝,马翠亭,冯先楚,等. 激素和叶面剪除对莲藕实生苗不定根形成及 POD 活性的影响[J]. 江苏农业科学,2018,46(13):142-146.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.13.034

激素和叶面剪除对莲藕实生苗不定根形成及 POD 活性的影响

蒋润枝, 马翠亭, 冯先楚, 杨蒙立, 程立宝

(扬州大学园艺与植物保护学院, 江苏扬州 225009)

摘要:利用不同浓度的生长素(IAA)、生长素运输抑制剂(TIBA)、乙烯利、乙烯利合成前体抑制剂(1-MCP)及叶片剪除处理莲藕实生苗,研究生长素、乙烯利和叶面剪除处理对莲藕实生苗不定根形成和过氧化物酶(POD)活性的影响。结果表明,15、75、125 $\mu\text{mol/L}$ IAA 均能促进莲藕实生苗不定根的形成,而 175 $\mu\text{mol/L}$ IAA 具有显著的抑制作用;利用 5、10、15 $\mu\text{mol/L}$ TIBA 处理实生苗后,不定根形成的时间延迟,其中 15 $\mu\text{mol/L}$ TIBA 的抑制效果显著;200、300 mg/L 乙烯利显著促进莲藕实生苗不定根形成,而 100 mg/L 乙烯利的促进效果不显著;200、300 mg/L 1-MCP 能够显著抑制实生苗前期不定根的数量和发生率;与对照相比,叶片水面以上剪除处理能够显著促进实生苗不定根的形成,而水面以下剪除处理对不定根的形成具有显著的抑制作用。经过乙烯利和生长素处理后,实生苗 POD 活性在 24 h 内呈现先升高后降低的趋势,水面以上剪除处理植株 POD 活性在处理 3 d 内显著低于水面以下剪除处理的植株。综上所述,乙烯利、生长素和叶面剪除处理均显著影响莲藕实生苗不定根的形成,本研究为莲藕实生苗生产及育种工作提供了坚实的理论基础。

关键词: 莲藕; 不定根; 激素; 剪除; 过氧化物酶

中图分类号: S645.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)13-0142-05

莲藕(*Nelumbo nucifera* Gaertn)是睡莲科(Nymphaeaceae)莲属多年生水生草本植物,在我国有 3 000 多年的栽培历史^[1],是我国主要水生蔬菜之一,以膨大根状茎(俗称藕)供食用,其营养丰富,深受群众喜爱,是我国主要出口创汇型蔬菜之一^[2]。莲藕根系不发达,不定根的形成直接影响莲藕植株的后期发育。因有性繁殖的实生苗幼苗期较长,发育迟缓,影响植株后期的生长发育,所以目前生产上通常采用无性繁殖的繁殖方法。通过杂交产生变异,再通过无性繁殖固定变异是莲藕新品种创制的主要途径,也是莲藕新品种培育的主要手段,但通过有性杂交获得的莲藕实生苗不定根发生量较少,导致苗期较长、植株当年不能开花,进而影响形成生产用种藕或商品藕。因此,发掘莲藕实生苗不定根形成过程激素调控机制,是加速莲藕新品种选育、缩短育种年限的有效途径,也为加速莲藕种质创新和新品种选育奠定重要基础。

吲哚乙酸(IAA)作为生长素中最重要的一种内源激素,参与植物发育的诸多过程,调控多种生理反应。研究表明一定浓度的 IAA 可以显著促进作物根系的生长发育^[3-5]。过氧化物酶(POD)是 IAA 分解代谢的关键酶,在 IAA 分解代谢过程中起着关键作用,许多研究发现 POD 参与 IAA 的分解,植物的 POD 通过催化 IAA 氧化脱羧来调节植物体内的生长素

水平,从而保持植物的正常生长发育^[6]。乙烯能够促进果实成熟并具有对幼苗生长的“三重反应”(抑制茎的伸长生长、促进茎或根的增粗与促进茎的横向生长),此外它还具有诱导不定根和根毛的发生、促进叶片衰老、打破种子和芽的休眠及促进器官脱落等功能。目前,相关研究表明乙烯在形成不定根方面的影响主要有促进^[7-9]、抑制^[10]和不作用^[11]3 种观点。叶片剪除处理对植物的生长发育起到一定的促进作用。梁娴等研究了在不同剪除方式下,草坪黑麦草根系统活性的变化,适当的剪除次数和修剪高度能够促进草坪黑麦草根系统活性的升高,说明剪除处理能够促进地下根系的生长^[12]。陈龚的研究表明,在一定程度上提高剪叶程度和次数,可明显提高烟苗根鲜质量、根干质量、总根长、根表面积及二级侧根数^[13]。

目前有关莲藕实生苗不定根生长发育的研究较少,乙烯、生长素和叶片剪除方式对实生苗形成和 POD 活性的影响尚无报道,本试验研究了乙烯利、生长素和叶片剪除处理之后的莲藕实生苗不定根形成和对 POD 活性的影响,为深入解析莲藕不定根形成的激素调控机理及种质改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料及处理

1.1.1 乙烯和生长素对莲藕实生苗不定根形成的影响 试验材料为江西太空莲,在扬州大学园艺与植物保护学院的 RXZ-300D 智能人工气候箱中培养,白天温度 30 $^{\circ}\text{C}$,夜间温度 24 $^{\circ}\text{C}$,湿度 70%;该试验于 2015 年 7 月至 2017 年 10 月开展。待莲籽(已破壳)充分吸水发芽后,即 2 张子叶之间有裂缝时,选取长势一致的实生苗放置于塑料盒(长 22 cm \times 宽

收稿日期:2017-12-06

基金项目:江苏省和扬州大学“研究生培养创新工程”项目(编号: SJCX17_0629)。

作者简介:蒋润枝(1994—),女,江苏溧阳人,硕士研究生,主要从事莲藕不定根发育调控机制的研究。E-mail:jrz940622@163.com。

通信作者:程立宝,博士,副教授,主要从事蔬菜遗传育种与分子生物学研究。E-mail:lbcheng@yzu.edu.cn。

15 cm × 高 16 cm) 中。利用不同浓度的 IAA、TIBA、乙烯利和 1-MCP(表 1)处理莲藕实生苗 3 d 后置于清水中培养,每 2 d 更换 1 次清水。每个处理 3 个重复,每个重复 50 株。

表 1 不同溶液处理浓度

	溶液	浓度
1	对照	清水
2	生长素	15、75、125、175 μmol/L
3	TIBA	5、10、15 μmol/L
4	乙烯利	100、200、300 mg/L
5	1-MCP	100、200、300 mg/L

1.1.2 叶片剪除处理对莲藕实生苗不定根形成的影响 将已破壳的江西太空莲莲籽放在玻璃瓶(上口直径 5.5 cm,下口直径 6.5 cm,高 7 cm)中培养,待莲籽实生苗长至 5~7 cm 时,对实生苗进行剪除处理。此处理包括水面以上叶片剪除和水面以下叶片剪除 2 个处理(图 1)。水面以上剪除处理:用剪刀将实生苗的叶片和部分叶柄剪去,剪留叶柄长度高于水面 2 cm 左右。水面以下剪除处理:在实生苗叶柄的 3~4 cm 处用剪刀将上部叶片和叶柄剪除,并将剪口处用塑料薄膜封住,以防止水灌入叶柄。在 2 次剪除处理后(早、晚各 1 次)进行第 1 次取样,待水面以上剪除处理的莲藕实生苗长出 不定根后进行第 2 次取样。

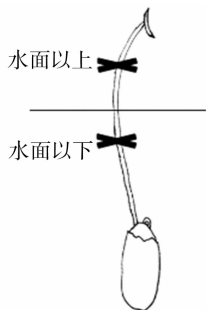


图 1 叶片剪除处理示意

1.1.3 不定根数量的测定 待莲藕实生苗长出 不定根之后,统计根长 ≥ 0.5 mm 的所有不定根数量,计算生根率:

$$\text{生根率} = \text{生根种子个数} / \text{总个数} \times 100\%$$

1.2 试验仪器与试剂

本试验中所用到仪器包括酶标仪、离心机;本试验中所用到的主要试剂包括过氧化物酶(peroxidase, POD)试剂盒(购自苏州科铭生物技术有限公司)。

1.3 POD 活性测定

使用过氧化物酶试剂盒测定样品中过氧化物酶的活性。按照组织质量(g):提取液体积(mL)为 1 g:10 mL 的比例,称取 0.1 g 混样,加入 1 mL 提取液,进行冰浴匀浆,10 000 g 4 ℃ 离心 10 min,去上清,置冰上待测。测定步骤如下:

在微量石英比色皿或 96 孔板中按顺序加入上述试剂,立即混匀并计时,记录 470 nm 下 30 s 时的吸光值 D_1 和 1 min 30 s 后的吸光值 D_2 。

(1)分光光度计或酶标仪预热 30 min 以上,调节波长至 470 nm,蒸馏水调零。

(2)测定前将试剂一、二和三室温放置 10 min 以上,然后进行如下操作(表 2)。

表 2 样品测定

试剂名称	测定孔
样本	10
蒸馏水	60
试剂一	120
试剂二	30
试剂三	30

(3)POD 活性的计算。

单位定义:1 g 组织在 1 mL 反应体系中 1 min $D_{470 \text{ nm}}$ 变化 0.01 为 1 个酶活性单位。

$$\text{POD}(\text{U/g}) = \Delta D \times V_{\text{反应}} \div (m \times V_{\text{样}} \div V_{\text{样总}}) \div 0.01 \div t = 2500 \times \Delta D \div m。$$

式中: $V_{\text{反应}}$ 表示反应体系总体积, mL; $V_{\text{样}}$ 表示加入样本体积, mL; $V_{\text{样总}}$ 表示加入提取液体积, mL; t 表示反应时间, min; m 表示样本质量。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel、SPSS 16.0 软件中 One-Way ANOVA 分析 Duncan's 法($P < 0.05$)进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 IAA 对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.1.1 不同浓度 IAA 处理对莲藕实生苗不定根数量的影响

不同浓度的生长素对莲藕实生苗不定根形成的效果不同。从图 2 中可以看出,莲藕实生苗经低浓度的 IAA 处理后,能显著促进不定根数量的增加,其中 15 μmol/L IAA 处理效果好于 75、125、175 μmol/L IAA 处理。利用 15、75 μmol/L IAA 处理后,在调查时间内实生苗不定根形成数量始终显著高于对照,而 125 μmol/L IAA 处理在后期促进效果不明显,后期甚至出现显著下降趋势;利用 175 μmol/L IAA 处理实生苗后 1~6 d 发现,不定根形成的数量极显著低于对照。以上试验结果表明,低浓度的生长素促进莲藕实生苗不定根的形成,而高浓度的生长素则抑制不定根的发生。

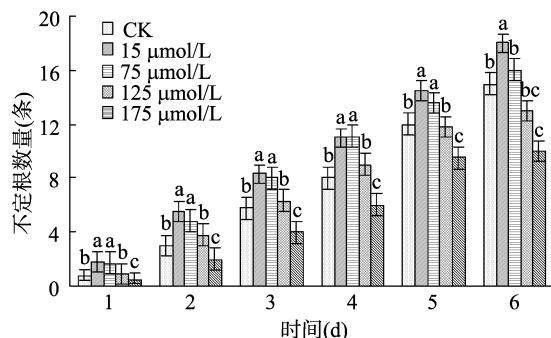


图 2 不同浓度 IAA 处理后对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.1.2 不同浓度 IAA 处理对莲藕实生苗不定根生根率的影响

表 3 为不同浓度 IAA 处理后莲藕实生苗在 6 d 内生根率的变化,从表 3 可看出,不同浓度 IAA 处理后的实生苗与对照组相比,15 μmol/L IAA 效果最好,在 5 d 时生根率已达 100%,生根率显著高于对照。75、125 μmol/L IAA 在 1~3 d 有显著促进作用,在 4、5 d 时,75 μmol/L IAA 处理较对照相比效果不明显。125 μmol/L IAA 在 4 d 时,较对照相比差异不显著,而在 5、6 d 时,呈显著负增加的趋势。175 μmol/L IAA

表 3 不同浓度 IAA 处理后莲藕实生苗生根率的变化

IAA 浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	生根率 (%)					
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d
CK	12.3c	38.2c	57.5c	69.4b	92.1b	100.0a
15 $\mu\text{mol/L}$	36.4a	64.3a	73.1a	82.4a	100.0a	100.0a
75 $\mu\text{mol/L}$	26.3b	43.4b	61.1bc	74.3b	90.7b	96.2b
125 $\mu\text{mol/L}$	23.8b	40.6b	63.3b	70.6b	86.3c	95.1b
175 $\mu\text{mol/L}$	10.4c	40.3c	59.7c	70.1b	84.5c	94.3b

注:同列数据后不同小写字母表示差异达到 0.05 显著水平,相同小写字母表示在 0.05 水平上差异不显著。下同。

IAA 处理后显著抑制了实生苗的不定根生根率。

2.2 TIBA 对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.2.1 不同浓度 TIBA 处理对莲藕实生苗不定根数量的影响 与 IAA 处理效果相反,不同浓度 TIBA 处理莲藕实生苗后均对不定根数量产生抑制作用,抑制效果 15 $\mu\text{mol/L}$ 好于 10、5 $\mu\text{mol/L}$ (图 3)。5、10 $\mu\text{mol/L}$ TIBA 处理后,莲藕实生苗在 1~4 d (2 d 除外) 不定根数量较对照相比显著减少,6 d 时,抑制效果达到极显著水平。15 $\mu\text{mol/L}$ TIBA 在调查期内始终显著地抑制了藕实生苗不定根的形成。

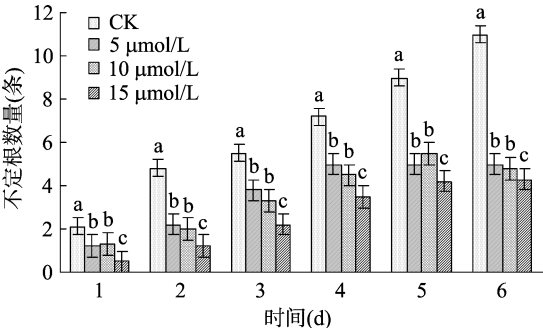


图 3 不同浓度 TIBA 处理后莲藕实生苗不定根数量的变化

2.2.2 不同浓度 TIBA 处理对莲藕实生苗不定根生根率的影响 从表 4 可看出,经 TIBA 处理后,莲藕实生苗的生根率与对照组相比呈显著下降的趋势。利用 5、10、15 $\mu\text{mol/L}$ TIBA 处理后,生根率在 1~6 d 都显著降低,随浓度的增加抑制效果越明显,当对照生根率达 100% 时,5、10、15 $\mu\text{mol/L}$ 处理的生根率仅达 86%、79%、61% (第 5 d)。

表 4 不同浓度 TIBA 处理后莲藕实生苗生根率的变化

TIBA 浓度 ($\mu\text{mol/L}$)	生根率 (%)					
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d
CK	33.2a	62.4a	72.7a	93.4a	100.0a	100.0a
5	15.1b	35.5b	50.4b	70.9b	86.3b	93.2b
10	7.4c	20.9c	42.6b	64.2b	79.4b	85.6b
15	7.2c	20.6c	29.3c	43.4c	60.8b	79.1b

2.3 乙烯利对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.3.1 不同浓度乙烯利处理对莲藕实生苗不定根数量的影响 利用不同浓度 (100、200、300 mg/L) 的乙烯利处理莲藕实生苗,结果如图 4 所示。100 mg/L 乙烯利处理后,与对照相比,不定根形成数量在 1~3 d 差异不显著,4~6 d 时,促进效果达到显著水平;200、300 mg/L 乙烯利处理在 1~3 d 时显著促进不定根的形成,4~6 d 时,促进效果达到极显著水平。以上结果表明,一定浓度的乙烯利能够促进莲藕实生苗不定

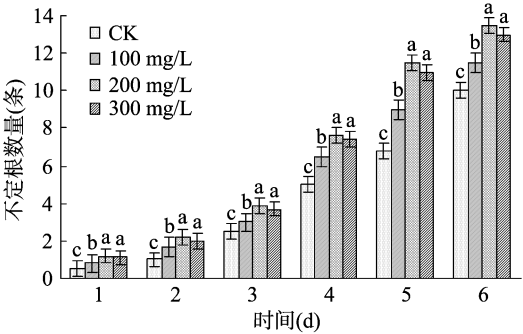


图 4 不同浓度乙烯利处理后莲藕实生苗不定根数量的变化

根数量的增加。

2.3.2 不同浓度乙烯利处理对莲藕实生苗不定根生根率的影响 由表 5 可知,与对照相比,一定浓度的乙烯利能够提高莲藕实生苗不定根的生根率。在整个调查期间,其中 200 mg/L 乙烯利对生根率的促进效果最佳,6 d 时莲藕实生苗生根率已达 100%,与 100 mg/L 乙烯利之间差异显著,与 300 mg/L 乙烯利之间差异不显著。

表 5 不同浓度乙烯利处理后莲藕实生苗生根率的变化

乙烯利浓度 (mg/L)	生根率 (%)					
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d
CK	7.3c	28.1c	47.8b	63.2b	76.5b	89.3b
100	13.8b	36.2b	52.6ab	69.1b	79.9b	91.4b
200	22.3a	45.2a	60.5a	84.6a	95.8a	100.0a
300	20.1a	42.4a	58.8a	81.5a	91.4a	99.1a

2.4 1-MCP 对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.4.1 不同浓度 1-MCP 处理对莲藕实生苗不定根数量的影响 利用 100、200、300 mg/L 1-MCP 处理莲藕实生苗,研究其对莲藕实生苗不定根形成的影响。结果表明,100、200、300 mg/L 1-MCP 在调查时间内,均能显著抑制不定根的形成,且 200、300 mg/L 1-MCP 的抑制效果好于 100 mg/L (图 5),说明降低植物体内源乙烯含量能抑制不定根的形成。

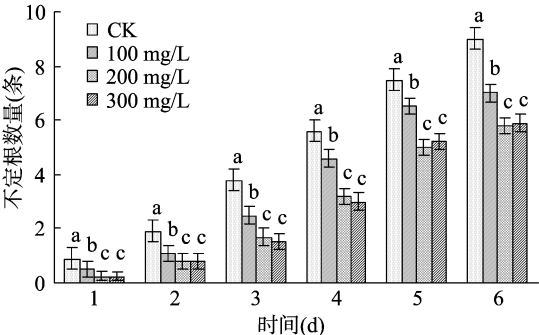


图 5 不同浓度 1-MCP 处理后莲藕实生苗不定根数量的变化

2.4.2 不同浓度 1-MCP 处理对莲藕实生苗不定根生根率的影响 由表 6 可知,1-MCP 处理后莲藕实生苗的生根率在调查时间内显著降低。当对照的生根率达 100% 时 (5 d), 1-MCP 处理过的实生苗生根率分别为 85%、67% 和 70%。从作用效果来讲,200、300 mg/L 抑制作用好于 100 mg/L, 200 mg/L 和 300 mg/L 之间无显著差异。

2.5 叶片剪除处理对莲藕实生苗不定根的影响

2.5.1 叶片剪除处理对莲藕实生苗不定根数量的影响 水

面以上叶片剪除处理和水面以下叶片剪除处理对影响莲藕实生苗不定根形成的效果不同。图 6 表明,与对照相比,水面以上叶片剪除处理显著促进了实生苗不定根的形成,叶片水面以下剪除反而抑制了实生苗不定根的形成。

表 6 不同浓度 1-MCP 处理后莲藕实生苗生根率的变化

1-MCP 浓度 (mg/L)	生根率(%)					
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d
CK	25.7a	37.1a	64.4a	92.8a	100.0a	100.0a
100	18.4b	29.2b	45.7b	75.5b	85.1b	90.2b
200	9.3c	18.5c	32.4c	51.8c	67.4c	77.6c
300	9.1c	20.3c	37.6c	57.2c	70.1c	74.8c

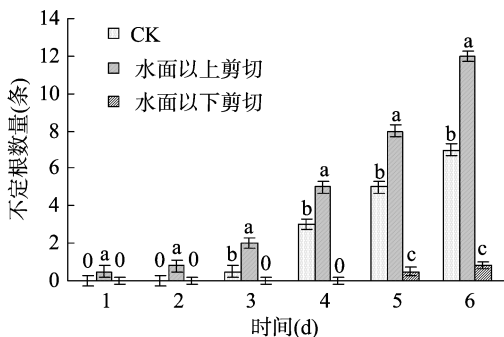


图 6 叶片剪除处理对莲藕实生苗不定根形成的影响

2.5.2 叶片剪除处理对莲藕实生苗不定根生根率的影响

由表 7 可知,叶片水面以上剪除处理显著高于对照和叶片水

面以下剪除处理。叶片剪除处理 4 d,水面以上剪除处理生根率达 100%,对照生根率为 38.4%,而水面以下处理只有 0,说明不同的叶片剪除方式对不定根的形成具有很大的影响(表 6)。

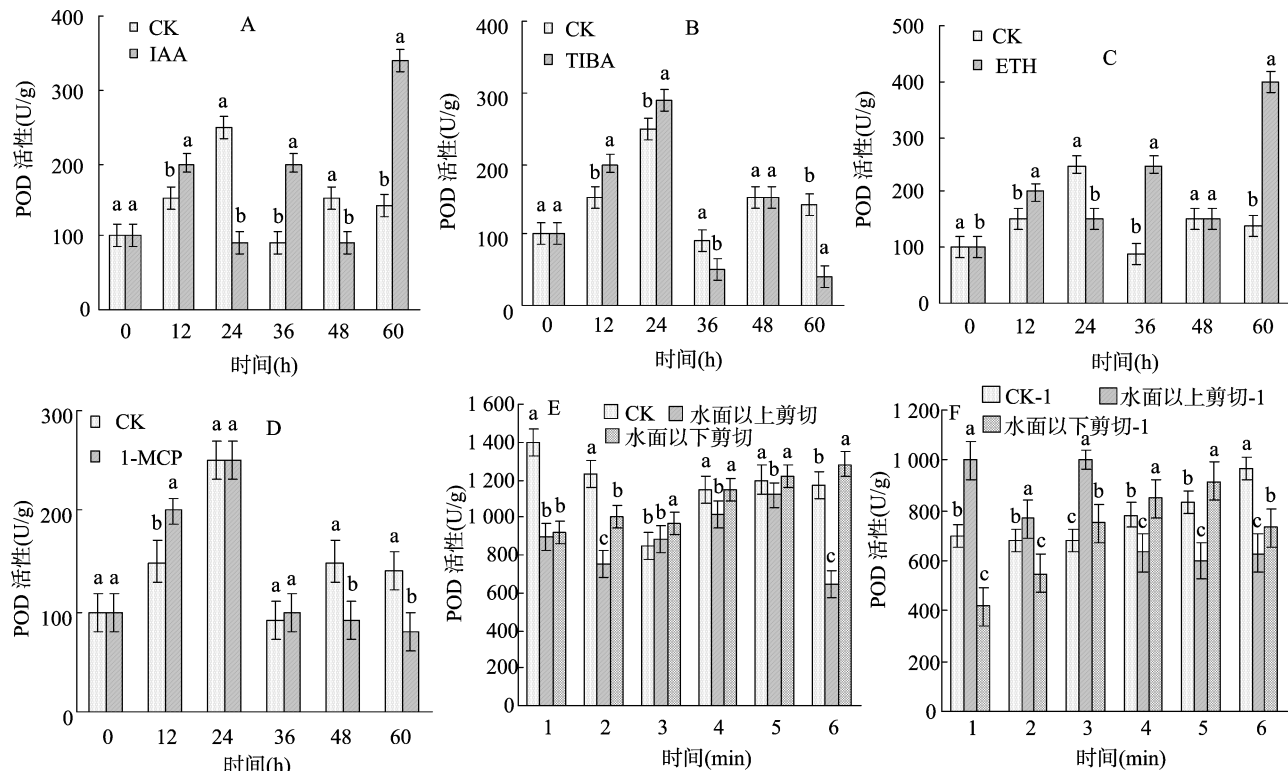
表 7 叶片剪除处理对莲藕实生苗的生根率的影响

处理	生根率(%)					
	1 d	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d
CK	0.0b	0.0b	21.1b	38.4b	52.8b	75.4b
水面以下剪除	0.0b	0.0b	0.0c	0.0c	21.8c	45.3c
水面以上剪除	26.2a	66.7a	92.5a	100.0a	100.0a	100.0a

2.6 不同处理对莲藕实生苗 POD 活性的影响

从图 7 可知,经过 IAA 和 ETH 处理的植株在 24 h 内 POD 活性均呈现先升高后降低的趋势(图 7-A、图 7-C),而 TIBA、1-MCP 和对照组植株 POD 活性一直保持升高趋势(图 7-B、图 7-D)。其中 12 h 时,1-MCP、IAA、TIBA、乙烯利处理的 POD 活力无明显差异,但显著高于对照,而在 24 h 时,POD 活性大小依次为 TIBA > 1-MCP、对照 > 乙烯利 > IAA 处理,说明乙烯利和 IAA 均能改变植株体内 POD 活性。

从图 7-E 可知,对照 POD 活性呈现先下降后上升最后下降的趋势,而叶片水面以下剪除 POD 活性一直高于叶片水面以上剪除 POD 活性。从图 7-F 可知,在莲藕实生苗长出 不定根后,对照 POD 活性呈现先下降后上升的趋势;叶片水面以上剪除 POD 活性呈现出显著高于叶片水面以下剪除 POD 活性而后低于叶片水面以下剪除 POD 活性的趋势。



E 是实生苗早晚各剪切 1 次后立即取样; F 是实生苗剪切完待它长出 不定根后再取样

图 7 不同条件处理下莲藕实生苗后 POD 活性的变化

3 结论

本研究发现,15 $\mu\text{mol/L}$ IAA 能够显著提高莲藕实生苗

不定根数量和生根率,而 175 $\mu\text{mol/L}$ IAA 处理后显著抑制了实生苗的不定根的数量和生根率,这表明低浓度的生长素对不定根起到促进作用,而高浓度的生长素则抑制不定根的发

生。一定浓度的乙烯利能够促进莲藕实生苗不定根数量和生根率的增加,200、300 mg/L 乙烯利效果最佳。植株叶片剪除处理对不定根有一定影响,与对照相比,水面以上剪除可以显著促进莲藕实生苗不定根的生长发育,水面以下剪除起到一定的抑制作用。由以上结论推测,POD 可能通过影响生长素含量来影响植株的生长发育。

4 讨论

裴东等研究发现,在培养基中加入一定水平的 IBA 能够诱导核桃子叶产生不定根^[14]。江玲等发现,利用适宜浓度的吲哚乙酸处理莴苣幼苗的根部 20 ~ 30 h,可促进大量侧根原基启动和突起^[15]。王金祥研究表明,利用 100 $\mu\text{mol/L}$ 乙烯利处理大豆插条,对其不定根的形成有一定促进作用^[16];而孙逸超研究表明,5 $\mu\text{L/L}$ 1-MCP 可显著抑制绿豆下胚轴不定根的发生^[17]。以上报道与本试验结果相似,本研究发现 10 $\mu\text{mol/L}$ IAA 能够显著促进莲藕实生苗不定根的形成。另外一定浓度的乙烯利也能够促进莲藕实生苗不定根的形成,这与谢阳姣等的试验结果^[7]相似。刘国顺等在烤烟漂浮育苗中发现,通过剪叶处理可以显著提高根系活性,暗示剪叶处理较未剪叶的对照相比,能明显地促进根系的生长发育^[18],这与吕芳等的研究结论^[19]相一致。本试验对莲藕实生苗进行剪叶处理后,能显著增加实生苗不定根数目和提高生根率,说明剪叶处理对莲藕实生苗不定根的形成有显著促进作用。但凌启鸿等的研究表明,在越冬前对小麦进行剪叶处理,不仅明显减少了分蘖穗数和每株穗数,且对次生根数有一定的抑制作用^[20],说明不同物种的叶面剪除效果可能不同。

外源刺激可导致植物体内 POD 活性发生变化,这与物种种类、生长习性等有关。廖祥儒等研究发现,用甘露醇和 6-BA 处理水稻后,明显降低了 POD 的活性^[21]。在小麦干旱胁迫研究试验中,陈军等研究发现小麦萌发期在 0 ~ 120 h 期间,5%、15% PEG-6000 胁迫下小麦 POD 活性呈逐渐上升趋势,但 15% PEG-6000 胁迫下小麦 POD 活性比 5% PEG-6000 胁迫下其活性增幅大,25%、35% PEG-6000 胁迫下小麦 POD 活性表现为先上升后下降^[22]。但也有研究发现,干旱胁迫下,荔枝叶片细胞胞质以及与壁以离子键和与壁以共价键结合的 POD 和 IAA 氧化酶(比)活性均上升,IAA 氧化酶和 POD(比)活性的增加,引起 IAA 含量下降^[23]。本试验利用乙烯利、生长素处理莲藕实生苗,发现在 24 h 内 POD 活性呈现先上升后降低的趋势,而叶片水面以上剪除也得到相似的结果,说明 POD 活性可能与不定根的形成相关,但这种相关性是否和实生苗内源 IAA 含量有关还有待进一步验证。

参考文献:

- [1]路志芳,袁超,郝贵增,等. 莲藕淀粉的特性研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):157-160.
- [2]康书静,钱前,朱丽. 生长素对水稻根系生长发育调控的研究进展[J]. 中国稻米,2014,20(4):1-8.
- [3]冯璐,王玉国,温银元,等. 外源激素对紫马铃薯试管苗快繁的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2016,36(8):544-550,556.
- [4]李磊,牛艳婷,徐榕雪,等. 生长素对丰花月季硬枝扦插生根的影响[J]. 安徽农业科学,2012,40(29):14209-14210,14212.
- [5]洪丽芳,苏帆,付利波,等. 生长素在烤烟钾素库源关系改变时对根系呼吸作用生理指标的影响[J]. 中国农业科学,2003(12):1604-1608.
- [6]原牡丹,侯智霞,翟明普,等. IAA 分解代谢相关酶(IAAO、POD)的研究进展[J]. 中国农学通报,2008(8):88-92.
- [7]谢阳姣,何志鹏. 乙烯利对苦玄参生长的影响[J]. 南方农业学报,2013,44(7):1100-1104.
- [8]丛超,蒋欣梅,于锡宏. 乙烯利对苦瓜种子的萌发及其生长发育的影响[J]. 中国蔬菜,2010(14):60-63.
- [9]刁俊明,文芳德,潘瑞炽. 乙烯利对绿豆下胚轴插条形成的促进作用[J]. 华南师范大学学报(自然科学版),1999(1):102-105.
- [10]徐小玉,张凤银,曹阳. 赤霉素和乙烯利对美女樱种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子,2014,33(6):72-74.
- [11]江玲,管晓春. 植物激素与不定根的形成[J]. 生物学通报,2000,35(11):17-19.
- [12]梁娟,赵建华,罗充. 不同修剪方式对黑麦草叶绿素、根系活力的影响[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2010,28(3):4-7.
- [13]陈龚. 湿润育苗剪叶技术对烤烟烟苗素质和产质量的影响研究[D]. 福州:福建农林大学,2016.
- [14]裴东,袁丽钗,谷端升,等. 核桃子叶不定根发生调控的研究[J]. 林业科学,2003,39(6):33-39,165.
- [15]江玲,周燮. 外源生长素和细胞分裂素对莴苣幼苗侧根原基发生和内源激素含量的影响[J]. 南京农业大学学报,2000,23(1):19-22.
- [16]王金祥. 生长素和乙烯对大豆下胚轴插条不定根形成的影响[C]//中国土壤学会. 第九届中国青年土壤科学工作者学术讨论会暨第四届中国青年植物营养与肥料科学工作者学术讨论会论文集. 北京:中国土壤学会,2005.
- [17]孙逸超. 乙烯在绿豆下胚轴不定根发生中的作用及其与 NO 的关系[D]. 西安:陕西师范大学,2013.
- [18]刘国顺,习向银,时向东,等. 剪叶处理对烤烟漂浮育苗中烟苗生长及生理特性的影响[J]. 中国烟草科学,2003(1):25-27.
- [19]吕芬,易建华,杨焕文,等. 剪叶次数对烤烟漂浮育苗中烟苗生理特性的影响[J]. 湖北农业科学,2005(6):94-97.
- [20]凌启鸿,朱庆森. 小麦各叶位叶片对产量形成作用的研究(初报)[J]. 作物学报,1965,4(3):219-233.
- [21]廖祥儒,宋陆铨,王俊丽,等. 甘露醇和 6-BA 处理对水稻细胞过氧化物酶及 IAA 氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2000(4):585-589.
- [22]陈军,高贵珍,方雪梅,等. 干旱胁迫对小麦萌发期 POD、CAT 活性的影响[J]. 安徽农业科学,2014,42(17):5360-5361,5389.
- [23]陈立松,刘星辉. 水分胁迫下荔枝叶片过氧化物酶和 IAA 氧化酶活性的变化[J]. 武汉植物学研究,2002,20(2):131-136.