

飞机草不定根形成过程中的结构和生理变化

何海旺^{1,2}, 罗海玲^{1,3}, 龚明霞^{1,3}, 何龙飞^{1*}

(¹广西大学 农学院, 南宁 530005; ²广西农业科学院 生物技术研究所, 南宁 530007;

³广西农业科学院 蔬菜研究所, 南宁 530007)

摘要:【目的】研究飞机草不定根形成过程中的解剖结构和生理变化,了解其不定根形成特性,为进一步阐明飞机草无性繁殖机制奠定基础。【方法】通过扦插试验,研究飞机草在不同基质、不同含水量中的生根情况,并在生根过程中进行解剖结构观察,同时测定相关内源激素含量、POD活性及黄酮含量。【结果】飞机草在菜园土、红土、河沙3种基质中生根率均为100.0%。极度干旱(水分含量0)或水分过多时(80%)不能生根,在基质含水量为20%~60%时均能迅速长出不定根。解剖结构发现,飞机草茎段皮层中没有环状厚壁细胞,皮层薄且髓部较大,不定根原基产生于束中形成层,生根过程中没有愈伤组织产生,根原基形成和不定根突破表皮的时间分别为扦插后3和7 d。在飞机草不定根形成过程中,相关生理指标均发生显著变化;IAA含量总体呈上升—下降—上升的变化趋势,ABA及黄酮作为生根抑制物,其含量在生根过程中总体呈下降趋势;ZT含量峰值出现在扦插后3 d;POD活性最低值出现在扦插后1 d,最高值出现在扦插后3 d,且生根过程中的活性比未扦插时极显著升高。【结论】飞机草不定根形成具有极强的环境适应性,其解剖结构和扦插过程中内源激素含量的变化均符合易生根植物特征。

关键词:飞机草;外来入侵种;无性繁殖;不定根;解剖结构;生理特性

中图分类号:S451.01

文献标志码:A

文章编号:2095-1191(2015)08-1378-07

Structural and physiological changes of *Chromolaena odorata* during formation of adventitious root

HE Hai-wang^{1,2}, LUO Hai-ling^{1,3}, GONG Ming-xia^{1,3}, HE Long-fei^{1*}

(¹Agricultural College, Guangxi University, Nanning 530005, China; ²Biotechnology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; ³Vegetable Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract:【Objective】The anatomic structure and physiological changes of *Chromolaena odorata* were investigated to understand rooting characteristics during formation of adventitious root, in order to lay the foundation for further clarifying its strong asexual reproduction mechanism. 【Method】The formation of *C. odorata* adventitious root in different base and water contents of base materials was investigated respectively in the cutting experiment. Meanwhile, the changes of anatomic structure were observed, and the endogenous hormones content, POD activity and flavonoids content were determined. 【Result】The results showed that the rooting rates reached up to 100.0% in 3 base materials viz., vegetable garden soil, red soil and river sand, respectively. The cuttings were easy to form adventitious root in base materials with water content of 20%~60%, while which could't form adventitious root in base materials with water content at 0 or above 80%. The observed result of anatomical structure showed that *C. odorata* stem had thin cortex and large pith, without ringlike sclerenchyma cells in cortex, the adventitious root primordium of cuttings was generated from fascicular cambium, and there was not callus formation in rooting process, moreover, the formations of root primordium and adventitious root were found on 3 and 7 d after cutting, respectively. In addition, during adventitious root formation, the physiological indexes changed significantly; the content of IAA first increased, then decreased and increased again; ABA and flavonoids as rooting inhibitors, their content presented declining trend on the whole; ZT content was peaked on 3 d after cutting. Furthermore, the minimum POD activity was found on 1 d after cutting, the maximum was found on 3 d after cutting, and the POD activity in rooting process after cutting was significantly higher than that before cutting. 【Conclusion】*C. odorata* has high environmental adaptability during adventitious root formation, and its anatomic structure and change of endogenous hormones content in the process of cuttage are in accordance with feature of being easy to form adventitious roots.

Key words: *C. odorata*; alien invasive species; asexual reproduction; adventitious root; anatomical structure; physiological index

收稿日期:2015-03-20

基金项目:广西自然科学基金项目(桂科自0832047);广西研究生教育创新计划项目(GXU11T31086)

作者简介:*为通讯作者,何龙飞(1967-),博士,教授,主要从事植物生理研究工作, E-mail:lfhe@gxu.edu.cn。何海旺(1979-),主要从事生物技术研究工作, E-mail:gxhwh@gxaas.net

0 引言

【研究意义】飞机草 [*Chromolaena odorata* (L.) RM King and H. Robinson] 属菊科多年生植物, 别名香泽兰、暹罗草等, 原产于中南美洲 (Witkowski and Wilson, 2001; von Senger et al., 2002; Ye et al., 2004), 最早作为观赏植物被引种到印度, 20世纪以来迅速传播到东南亚、非洲和太平洋群岛等热带、亚热带地区 (Hall et al., 1972; 刘金海等, 2006)。它能抑制入侵地自然植被的生长并减少生物多样性, 与牧草及农作物竞争, 严重影响农牧业的发展, 已形成一种严重的生态灾难 (刘薇等, 2007)。自1934年飞机草在我国云南南部第一次被发现以来, 目前已在台湾、香港、澳门、广东、海南、广西、云南、贵州、四川等省(区)相继发现其为害 (吴邦兴, 1982; 刘金海等, 2006)。飞机草兼具有性繁殖和无性繁殖方式, 且强无性繁殖能力可能是其具有强入侵性的重要原因之一。不定根的形成是无性繁殖的基础, 因此, 研究飞机草不定根形成过程中的结构和生理变化, 是破解其强入侵能力的关键, 也对其有效防治具有重要意义。【前人研究进展】目前, 对不定根形成过程的解剖结构、生理变化等研究大多集中在难生根的木本植物。易咏梅等 (2000) 对珙桐扦插生根的解剖结构进行了研究, 认为其生根困难的原因可能是韧皮部中存在环状厚壁纤维细胞及插穗内无潜伏根原基。勒栋梁等 (2009) 通过对杂交棒扦插的研究, 认为POD酶活性在峰值处的大小与插穗生根率呈显著正相关。李永欣等 (2010)、董胜君等 (2013) 研究表明, 光皮树和山杏在扦插过程中, ABA、GA3和ZT的含量与生根率呈负相关, 而IAA含量、IAA/ABA及IAA/ZT与生根率显著正相关。【本研究切入点】虽已有研究指出飞机草具有无性繁殖能力 (陈进军等, 2005; Liu et al., 2006), 但至今为止, 对飞机草不定根形成的特性、解剖结构及相关生理生化变化等研究还鲜见报道。【拟解决的关键问题】从广西隆安县采集飞机草植株, 将其扦插到不同的基质中, 观察不定根形成过程中的解剖结构并测定其生理生化指标, 旨在了解飞机草不定根的形成特性, 为进一步阐明其无性繁殖机制奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用飞机草采自广西南宁市隆安县, 盆栽种植于广西大学农学院温室。

1.2 试验方法

1.2.1 不同基质上不定根形成研究 剪取5 cm左右的飞机草单芽茎段, 叶片保留一半, 扦插于基质中, 淋足水分, 不定根形成过程中保持基质湿润。基质选用

菜园土、红土及河沙, 每处理扦插100株, 3次重复, 扦插后10 d观察记录飞机草的生根情况。

1.2.2 不同含水量中不定根形成研究 为方便观察及控制水分, 选用木糠作为基质。剪取5 cm左右的飞机草单芽茎段, 叶片保留一半, 扦插于不同含水量的基质中, 含水量设置0%、20%、40%、60%和80%共5个处理, 每处理扦插100株, 3次重复, 扦插后10 d观察记录飞机草的生根情况。

1.2.3 不定根形成过程结构变化研究 剪取5 cm左右的飞机草单芽茎段, 扦插于沙粒基质中。从茎段离体开始, 扦插前取1次材料, 然后再从第1 d天始, 每隔2 d取1次材料, 直至肉眼观察到不定根, 总共取5次材料用于解剖结构的研究, 所取材料为插穗基部0.5 cm左右的茎基段, 保存于福尔马林—醋酸—酒精 (Formalin-acetic acid-alcohol, FAA) 固定液中, 采用石蜡切片法 (于晓刚等, 2010) 进行解剖结构研究。

1.2.4 不定根形成过程中内源激素含量、POD活性及总黄酮含量变化研究 剪取5 cm左右的飞机草单芽茎段, 扦插于沙粒基质中。分别剪取扦插后0、1、3、5和7 d的插穗基部0.5 cm的茎段作为材料测定内源激素 (吲哚-3-乙酸, IAA; 玉米素, ZT; 脱落酸, ABA) 的含量、POD活性及总黄酮含量。每次随机抽取10个插穗为一组, 3次重复。内源激素含量采用高效液相色谱法分离并测定 (郭敏敏等, 2009); POD活性采用愈创木酚法 (郑科等, 2010) 测定; 总黄酮含量采用亚硝酸钠—硝酸铝法 (李增富和吴荣锋, 2008) 测定。

1.3 统计分析

采用SPSS 13.0软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 飞机草在不同基质中的不定根形成情况

菜园土、红土、河沙3种不同的基质分别代表肥沃疏松、酸性贫脊粘重及贫脊疏松的土壤类型。扦插3 d左右, 大部分插穗的腋芽均开始萌发, 扦插7 d左右就能观察到有不定根形成。由图1和表1可看出, 飞机草茎段在不同类型的基质中生根率相同, 均为100.0%, 但生根数和根长存在极显著差异 ($P < 0.01$, 下同), 其中扦插在菜园土中的茎段生根数最多, 达40.4条/株, 红土中最少, 仅14.7条/株。根长则以河沙基质中的最长, 达3.15 cm, 极显著高于菜园土和红土处理。

2.2 飞机草在不同基质含水量中的不定根形成情况

从图2可看出, 在水分含量为0的极度干旱条件下, 飞机草很快干枯死亡 (图2-A); 而在基质水分过多时 (80%), 虽然茎段和叶片均能保持绿色, 但观察到插穗基部切口处有少量腐烂变黑, 均不能生根 (图2-E)。在20%~60%的含水量条件下, 飞机草均能迅速长出不

定根(图2-B~图2-D),同时由表2可知,该范围内插穗产生的不定根数量随含水量的增大而增多,3个处理间根数差异达显著水平($P<0.05$,下同),且40%和60%

含水量处理的根数极显著高于20%处理;根长与根数变化趋势相同,也随含水量的增大而增大,3个处理间差异极显著。

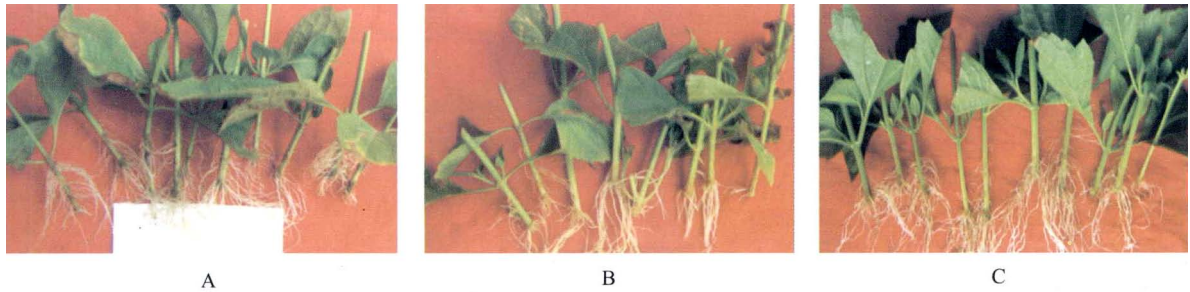


图 1 不同基质对飞机草不定根形成的影响

Fig.1 Effects of different base materials on adventitious root formation of *C. odorata*

A:菜园土;B:红土;C:河沙

A: Vegetable garden soil; B: Red soil; C: River sand

表 1 飞机草在不同基质中不定根形成的统计分析

Tab.1 Statistical analysis on formation of *C. odorata* adventitious root in different base materials

基质 Base material	生根率(%) Rooting rate	根数(条/株) Number of root (Per plant)	根长(cm) Length of root
菜园土 Vegetable garden soil	100.0	40.4±1.96aA	1.37±0.90cB
红土 Red soil	100.0	14.7±2.98cC	1.92±0.43bB
河沙 River sand	100.0	21.4±2.22bB	3.15±0.51aA

同列数据后不同大、小写字母分别表示差异达极显著($P<0.01$)和显著水平($P<0.05$)。下同

Different capital and lowercase alphabets in the same column represented extremely significant difference ($P<0.01$) and significant difference ($P<0.05$), respectively. The same was applied in the subsequent tables

表 2 飞机草在不同基质含水量下不定根形成的统计分析

Tab.2 Statistical analysis on adventitious root formation of *C. odorata* in different water contents of base materials

基质含水量(%) Water content of base material	生根率(%) Rooting rate	根数(条/株) Number of roots (Per plant)	根长(cm) Length of root
0	0bB	-	-
20	100.0aA	5.1±0.74cB	2.00±0.16cC
40	100.0aA	6.2±1.03bA	2.38±0.19bB
60	100.0aA	7.3±0.82aA	2.72±0.16aA
80	0bB	-	-

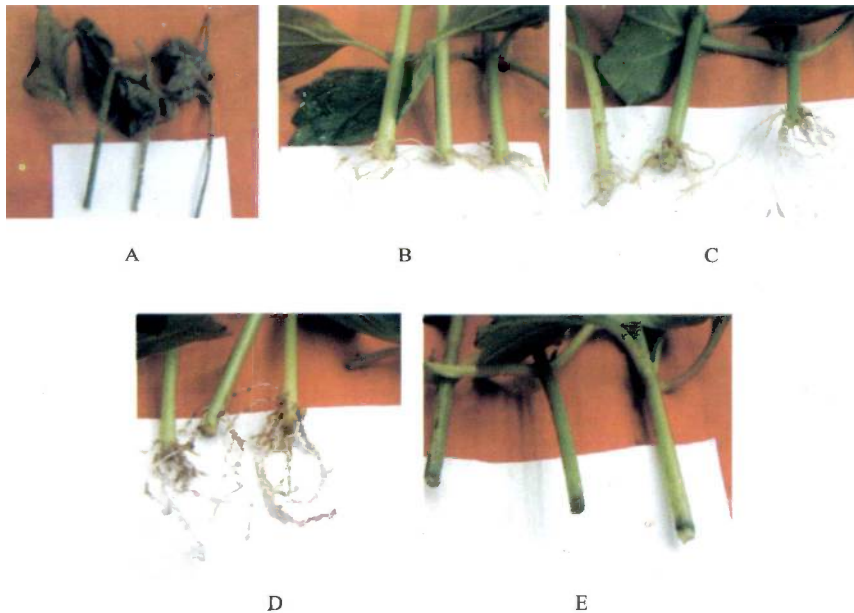


图 2 不同基质含水量对飞机草不定根形成的影响

Fig.2 Effect of water content in base materials on formation of *C. odorata* adventitious root

A: 0; B: 20%; C: 40%; D: 60%; E: 80%

2.3 飞机草不定根形成过程中的解剖结构

从飞机草茎段的解剖结构可看出,其维管束呈椭圆形,各维管束之间距离较大,环状排列于皮层内侧;

皮层细胞疏松,没有环状厚壁组织;髓部大(图3-A)。在扦插前的茎中未发现有潜在根原基,因此,其不定根原基属于诱导根原基类型。飞机草茎段扦插后1 d,

束中形成层的细胞开始活跃分裂,将维管束内的木质部向内挤压,木质部逐渐分散成扇形(图3-B);扦插后3 d,根原基细胞继续分裂增多,在束中形成层处可明显观察到一团无规则排列的根原基细胞(图3-C);

扦插后5 d,根原基细胞继续分裂,根原基膨大、突起(图3-D);扦插后7 d,根原基突破表皮,形成肉眼可见的不定根(图3-E)。飞机草的不定根形成过程中,未发现有愈伤组织产生。

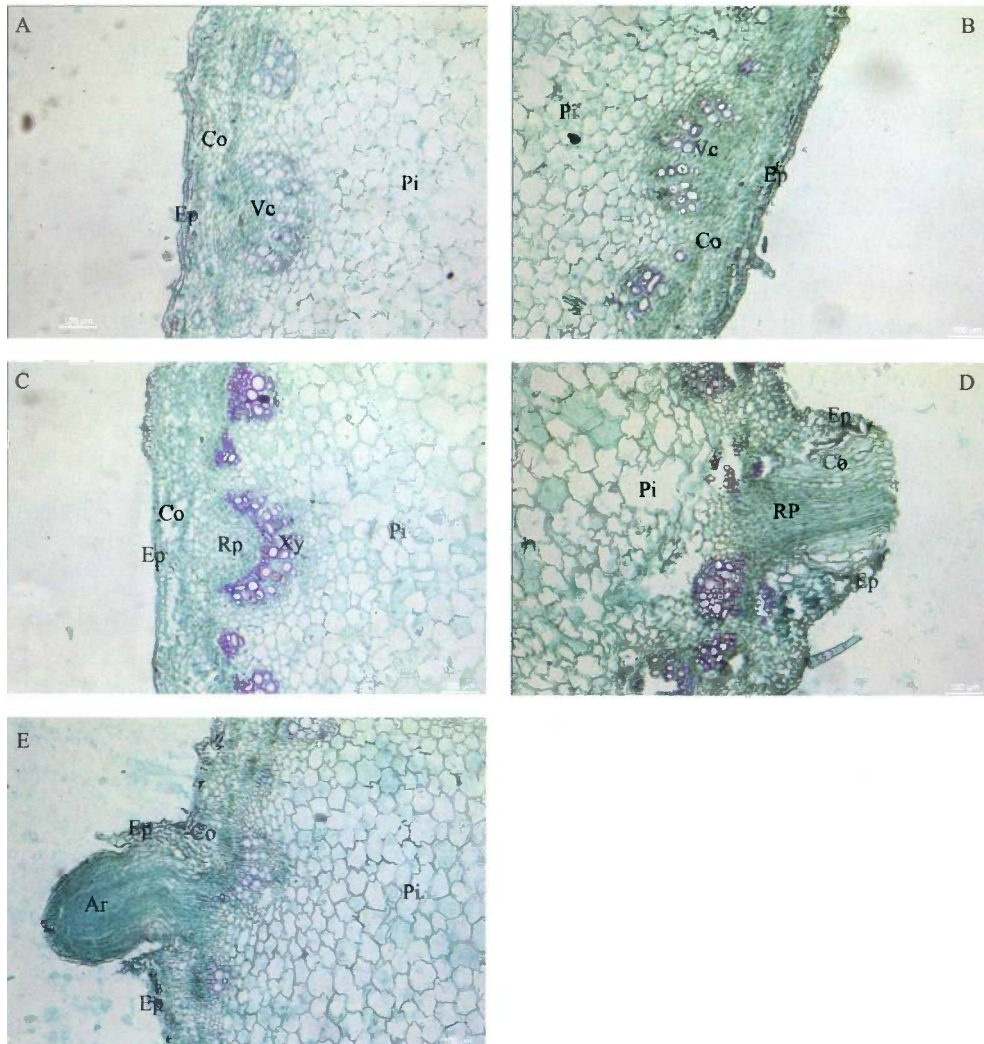


图 3 飞机草扦插不同阶段茎段横切面结构(100×)

Fig.3 Transverse structure of *C. orodata* stem at different stages after cutting(100×)

A: 扦插前; B: 扦插1 d; C: 扦插3 d; D: 扦插5 d; E: 扦插7 d. Ar: 不定根; Co: 皮层; Ep: 表皮; Pi: 髓部; Rp: 根原基; Vc: 维管束; Xy: 木质部
A: Before cutting; B: 1 day after cutting; C: 3 days after cutting; D: 5 days after cutting; E: 7 days after cutting. Ar: Adventitious root; Co: Cortex; Ep: Epidermis; Pi: Pith; Rp: Root primordia; Vc: Vascular bundle; Xy: Xylem

2.4 飞机草不定根形成过程中内源激素的变化

从表3可以看出,不同种类激素含量及其比值在飞机草生根过程中的变化趋势各异,且在各扦插天数处理间的差异均达极显著水平。IAA含量在飞机草生根过程中总体呈上升—下降—上升的变化趋势;离体扦插后1 d,IAA含量急剧上升,达生根过程中的最高值(5.82 $\mu\text{g/g}$);扦插后3 d(根原基形成期),插穗基部的IAA含量又急剧下降至最低值(1.91 $\mu\text{g/g}$),随后IAA含量逐渐上升,扦插后7 d(不定根伸长的阶段)的IAA含量超过未扦插时的含量。ABA含量在飞机草不定根形成过程中整体呈下降趋势;未扦插时,ABA含

量最高,达12.58 $\mu\text{g/g}$;扦插后1 d,其含量迅速下降到7.61 $\mu\text{g/g}$,至扦插后3 d时略有上升,随后又缓慢下降。ZT的含量在未扦插时和扦插后1 d均较低,至扦插3 d的根原基分化期,ZT含量迅速升高,达到整个生根过程的最大值(5.40 $\mu\text{g/g}$),随后逐渐下降,并维持在比扦插后1 d稍高的水平。IAA/ABA的峰值出现在扦插后1 d,达0.76,而在扦插后3 d跌至最低值0.21,其变化规律与IAA含量的变化规律一致。IAA/ZT在未扦插时和扦插后1 d均比较高,分别为4.24和4.83,扦插后3~5 d,降至0.86以下,随后又有所上升。

表 3 飞机草不定根形成过程中内源激素的变化

Tab.3 Change of endogenous hormone content during adventitious root formation of *C. odorata*

扦插后天数(d) Days after cutting	IAA(μg/g)	ABA(μg/g)	ZT(μg/g)	IAA/ABA	IAA/ZT
0	3.76±0.11cC	12.58±0.10aA	0.90±0.12eE	0.30±0.01dD	4.24±0.59bB
1	5.82±0.08aA	7.61±0.13eE	1.21±0.11dD	0.76±0.14aA	4.83±0.44aA
3	1.91±0.17eE	9.22±0.07bB	5.40±0.10aA	0.21±0.19eE	0.36±0.04eE
5	2.97±0.14dD	8.95±0.12cC	3.46±0.18bB	0.33±0.16cC	0.86±0.06dD
7	4.34±0.13bB	7.77±0.09dD	2.38±0.14cC	0.56±0.16bB	1.83±0.12cC

2.5 飞机草不定根形成过程中POD活性及黄酮含量的变化

从图4可以看出,飞机草茎段的POD活性在扦插过程中的变化极显著。未扦插时和扦插后1 d,POD活性较低,不足500.00 mg/g·min;扦插后3 d(根原基形成阶段),POD活性急剧上升,达4395.76 mg/g·min;随后的不定根形成阶段,POD活性有所下降,但依然保持在较高水平。黄酮含量在飞机草不定根形成过程中总体呈下降趋势,未扦插时黄酮含量较高,扦插后的黄酮含量显著下降,但扦插后生根阶段之间的差异并不显著($P>0.05$)(图5)。

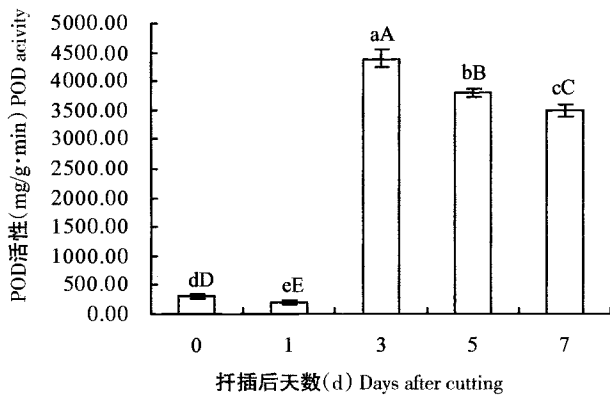


图 4 飞机草扦插过程中POD活性的变化

Fig.4 Change of POD activity in the process of cutting *C. odorata*

图柱上不同大、小写字母分别表示在0.01和0.05水平下差异极显著或显著。下同

Different capital and lowercase alphabets on the bars represented significant difference at 0.01 and 0.05 levels, respectively. The same was applied in subsequent figure

3 讨论

适宜的水分及土壤环境是植物生根的重要条件。本研究发现,飞机草在多种不同通气性、质地及肥力的基质中均能迅速产生不定根,且根数较多、根长较长;其不定根的形成对水分的要求不太严格,除极度干燥或浸水,土壤中只需少量水分,飞机草便能迅速长出根并形成完整植株,在潮湿的地方其繁殖速度更快。对不同环境有着极强的适应性,是飞机草具有强入侵性的一个重要特征。因此,在使用机械铲除飞机草时,断落的枝条应放在太阳下暴晒,使其迅速

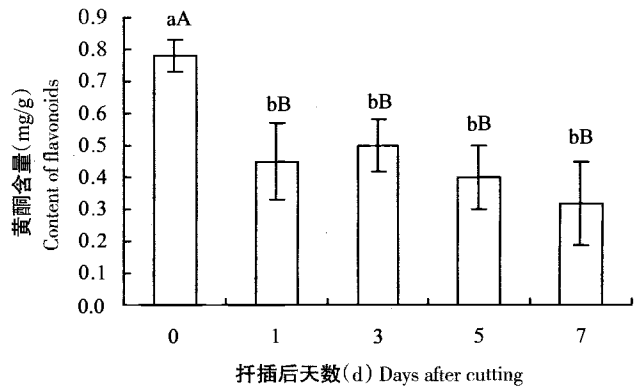


图 5 飞机草扦插过程中总黄酮含量的变化

Fig.5 Change of flavonoid content in the process of cutting *C. odorata*

干枯,防止其接触有水分的土壤而形成新的植株。

植株扦插时是否容易生根,还与其细胞结构紧密相关,大量研究表明(王涛,1989;刘卫东等,1997;易咏梅等,2000),植物不定根产生的难易与皮层内是否有环状厚壁组织有关,具有环状厚壁细胞的植物材料很难产生不定根,反之,没有厚壁细胞或厚壁细胞不成环状时则容易生根。王中英等(1986)研究指出,葡萄枝条扦插时容易生根的原因是其枝条的皮比较薄且髓部较大。本研究对飞机草茎段的解剖结构进行观察,在皮层内未观察到环状的厚壁组织,且其皮层较薄、髓部较大,这些解剖特征符合前人已报道的容易生根的植物细胞学特征。

内源激素在植株扦插中起着重要作用。一般认为,扦插后不定根原基形成前需要大量的生长素诱导,在这个时期会出现一个峰值;在不定根原基形成期,生长素会抑制根原基的形成,其浓度在这个时候会降到低谷;根原基形成后,生长素又缓慢积累以促进根的伸长(Weigel et al., 1984; Moncousin et al., 1988; Blakesley et al., 1991; 董胜君等, 2013)。本研究结果表明,飞机草扦插过程内源生长素含量先上升至峰值后又急剧下降,随后又逐渐上升,其变化与已报道的其他植物扦插中生长素的变化规律相似。离体扦插后1 d,飞机草体茎段基部的生长素含量能迅速上升到峰值,将有利于不定根原基的诱导,是飞机草容易产生不定根的一个生理特征。刘涛等(2009)和马振华等(2013)研究认为,ABA在不定根形成过程中与生长素属此消

彼长的关系,可用IAA/ABA比值来表示植物不定根形成的能力。本研究结果表明,在飞机草根原基诱导阶段,生长素达到峰值时,ABA含量跌至最低;而在根原基形成阶段,生长素开始下降时,ABA含量则又迅速上升,IAA/ABA与IAA变化趋势一致。这与前人研究结果相符,也与其他容易生根植物扦插过程中插穗内ABA含量的变化趋势相似(董胜君等,2013)。飞机草不定根形成过程中的IAA/ABA峰值出现在根原基诱导期,说明这个时期的IAA比例相对较高,更容易诱导不定根的形成。细胞分裂素抑制根原基的分化与形成(王乔春,1992),但一旦根原基诱导后,细胞分裂素通过促进细胞分裂、增加细胞数,对根原基生长起促进作用。李永欣等(2010)研究表明,光皮树在扦插中后期,ZR浓度开始升高,说明高浓度的ZR能够促进光皮树不定根的生长;宋鹏飞等(2014)在测定兔眼蓝浆果嫩枝扦插过程中ZT含量变化时得出降低—升高—再降低的结论。与之相似,本研究结果表明,飞机草不定根扦插过程中ZT含量的峰值出现在根原基形成期,而此时IAA/ZT比值则降为最低值,说明ZT含量在这个时期的比例较大,对促进细胞分裂、迅速形成根原基起积极作用。不定根伸长后ZT的含量有所下降,但比扦插前明显升高,维持一定的量可满足不定根伸长过程中对细胞分裂素的需要。

氧化酶(POXs)包括过氧化物酶(POD)等的活性与不定根的形成有极大关系,在根原基产生过程的诱导、形成和伸长阶段起调节作用。Kose等(2011)研究表明,容易生根植物的氧化酶含量要比难生根的高,原因是难生根植物在生根前不能把氧化酶的浓度提升到足够的量。飞机草茎段在扦插后的根原基形成期,POD活性能够迅速升高,然后维持在一定水平,也反映出飞机草容易生根的生理基础。类黄酮能够抑制生长素的运输(Fischer et al.,1997),飞机草不定根形成过程中总黄酮含量呈下降趋势,将减少对生长素运输的抑制作用,有利于生长素的积累,从而促进不定根的形成。

4 结论

本研究结果表明,飞机草不定根形成具有极强的环境适应性,仅需少量水分便可在不同类型基质中生根并形成完整植株;其茎段解剖结构中无环状厚壁组织,皮层薄且髓部较大;扦插过程中内源激素含量变化符合易生根植物特征。

参考文献:

陈进军,黎秋旋,肖俊梅. 2005. 飞机草在广东的分布、危害及化学成分预试[J]. 生态环境,14(5):686-689.

- Chen J J, Li Q X, Xiao J M. 2005. Distribution, mischief and preliminary chemical analysis of *Eupatorium odoratum* Linn in Guangdong[J]. Ecology and Environment, 14(5):686-689.
- 董胜君,刘明国,戴菲,吴月亮,单守田,丁瑞军. 2013. 山杏嫩枝扦插生根过程中插穗内源激素含量的变化[J]. 经济林研究,31(4):108-114.
- Dong S J, Liu M G, Dai F, Wu Y L, Shan S T, Ding R J. 2013. Variation of endogenous hormone contents in softwood cuttings of *Armeniaca sibirica* during adventitious root formation[J]. Nonwood Forest Research, 31(4):108-114.
- 郭敏敏,王清连,胡根海. 2009. 利用高效液相色谱法分离和测定棉花组织培养过程中4种内源激素[J]. 生物技术通讯,20(2):213-216.
- Guo M M, Wang Q L, Hu G H. 2009. Separation and determination of four plant hormones during somatic embryogenesis of *Gossypium hirsutum* L. with HPLC[J]. Letters in Biotechnology, 20(2):213-216.
- 勒栋梁,董凤祥,李宝,王贵禧. 2009. 杂交榛不同枝段绿枝扦插生根特性及相关氧化酶活性变化[J]. 林业科学研究,22(4):526-532.
- Le D L, Dong F X, Li B, Wang G X. 2009. The characteristics of rooting and change of oxidases in different portions of softwood cuttings of hybrid hazelnut[J]. Forest Research, 22(4):526-532.
- 李永欣,曾慧杰,王晓明,蔡能. 2010. 光皮树扦插过程中内源激素变化[J]. 中国农学通报,26(15):247-251.
- Li Y X, Zeng H J, Wang X M, Cai N. 2010. Changes of endogenous hormones during *Swida wilsoniana* wanger cutting[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 26(15):247-251.
- 李增富,吴荣锋. 2008. 葛根总黄酮的提取研究[J]. 应用化工,37(11):1353-1358.
- Li Z F, Wu R F. 2008. Study on extracting total puerarin flavonoids[J]. Applied Chemical Industry, 37(11):1353-1358.
- 刘金海,黄必志,罗富成. 2006. 飞机草的危害及防治措施简介[J]. 草业科学,23(10):73-77.
- Liu J H, Huang B Z, Luo F C. 2006. The damage and control measures of *Eupatorium odoratum* [J]. Pratacultural Science, 23(10):73-77.
- 刘涛,张华新,庞晓慧. 2009. 翅果油树年龄与内源激素含量及嫩枝扦插生根率的关系[J]. 经济林研究,27(4):26-30.
- Liu T, Zhang H X, Pang X H. 2009. Correlation between rooting rate of green-wood cutting, ages and endogenous hormone contents of stock tree in *Elaeagnus mollis* [J]. Nonwood Forest Research, 27(4):26-30.
- 刘薇,贺艺瑶,唐晶晶. 2007. 飞机草处理含铅废水的应用研究[J]. 环境科学导刊,26(6):58-60.
- Liu W, He Y Y, Tang J J. 2007. Application of *Eupatorium adenophorum* treating lead-containing waste water[J]. Environmental Science Survey, 26(6):58-60.
- 刘卫东,万朝琨,饶龙兵,沈中翰. 1997. 桉树扦插生根的解剖学研究[J]. 中南林学院学报,17(4):32-36.
- Liu W D, Wan C K, Rao L B, Shen Z H. 1997. Anatomical studies of the rooting of cutting *Eucalyptus* [J]. Journal of Central South Forestry University, 17(4):32-36.

- 马振华,王吉斌,周贵平,刘友林,赵忠. 2013. 四倍体刺槐嫩枝扦插生根过程中内源激素的变化[J]. 西北林学院学报, 28(5): 18-23.
- Ma Z H, Wang J B, Zhou G P, Liu Y L, Zhao Z. 2013. Studied on changes hormone in the periods of making roots in the softwood of *Robinia pseudoacacia*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 28(5): 18-23.
- 宋鹏飞,陈华江,姜燕琴,韦继光,李建华. 2014. IBA对兔眼蓝莓果嫩枝扦插生根及内源激素变化的影响[J]. 中国农学通报, 30(16): 117-122.
- Song P F, Chen H J, Jiang Y Q, Wei J G, Li J H. 2014. Effect of IBA on adventitious root formation and endogenous hormones dynamics in softwood cutting of rabbiteye blueberry [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 30(16): 117-122.
- 王乔春. 1992. 植物激素与插条不定根的形成[J]. 四川农业大学学报, 10(1): 33-39.
- Wang Q C. 1992. Plant hormones and adventitious root formation in cuttings[J]. Journal of Sichuan Agriculture University, 10(1): 33-39.
- 王涛. 1989. 植物扦插繁殖技术[M]. 北京: 科学技术出版社: 57-58.
- Wang T. 1989. Cutting Propagation Technology of Plant[M]. Beijing: Science and Technology of China Press: 57-58.
- 王中英,解思敏,杨佩芳,古润泽. 1986. 葡萄的组织解剖构造研究[J]. 果树科学, 3(4): 26-28.
- Wang Z Y, Xie S M, Yang P F, Gu R Z. 1986. Studies on the anatomical structures of grapevine[J]. Journal of Fruit Science, 3(4): 26-28.
- 吴邦兴. 1982. 滇南飞机草群落的初步研究[J]. 云南植物研究, 4(2): 177-184.
- Wu B X. 1982. The primary studies on *Eupatorium odotatum* community in southern Yunnan[J]. Acta Botanica Yunnanica, 4(2): 177-184.
- 易咏梅,罗世家,李鑫,王利松,徐伟声. 2000. 珙桐茎的解剖构造及愈伤组织形成的研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版), 18(3): 4-6.
- Yi Y M, Luo S J, Li X, Wang L S, Xu W S. 2000. Studies on anatomical structure of dove tree stem and its formation of the callus[J]. Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Science), 18(3): 4-6.
- 于晓刚,张文忠,韩亚东,李婧,徐海,赵明辉,高东昌,徐正进,陈温福. 2010. 粳稻颖果石蜡切片中染色时间的摸索及其解剖结构的观察[J]. 作物杂志, (5): 80-83.
- Yu X G, Zhang W Z, Han Y D, Li J, Xu H, Zhao M H, Gao D C, Xu Z J, Chen W F. 2010. Research on the dyeing time of the caryopsis of Japonica rice in paraffin section and its anatomical structure[J]. Crops, (5): 80-83.
- 郑科,郎南军,曹福亮,向振勇,袁瑞玲. 2010. 麻疯树枝条扦插生长中多酚氧化酶、过氧化物酶的活性变化[J]. 贵州农业科学, 38(4): 177-180.
- Zheng K, Lang N J, Cao F L, Xiang Z Y, Yuan R L. 2010. Study on the changes of POD and PPO activity during cutting propagation for *Jatropha curcas*[J]. Guizhou Agriculture Sciences, 38(4): 177-180.
- Blakesley D, Weston G D, Hall J F. 1991. The role of endogenous auxin in root initiation[J]. Plant Growth Regulation, 10(4): 341-353.
- Fischer C, Speth V, Fleig-Eberenz S, Neuhaus G. 1997. Induction of zygotic polyembryos in wheat: influence of auxin polar transport[J]. Plant Cell, 9(10): 1767-1780.
- Hall J B, Kumar R, Enti A A. 1972. The obnoxious weed *Eupatorium odoratum*(Compositae) in Ghana[J]. Ghana Journal of Agricultural Science, 5(1): 75-78.
- Kose C, Erdal S, Kaya O, Atici O. 2011. Comparative evaluation of oxidative enzyme activities during adventitious rooting in the cuttings of grapevine rootstocks[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 91(4): 738-741.
- Liu J, Dong M, Miao S L, Li Z Y, Song M H, Wang R Q. 2006. Invasive alien plants in China: role of clonality and geographical origin[J]. Biological Invasions, 8(7): 1461-1470.
- Moncousin C, Favre J M, Gaspar T. 1988. Changes in peroxidase activity and endogenous IAA levels during adventitious root formation in vine cuttings[M]. The Hague: SPB Academic Publishing: 331-338.
- von Senger I, Barker N P, Zachariades C. 2002. Preliminary phylogeography of *Chromolaena odorata*: finding the origin of a South African weed[C]//Zachariades C, Muniappan R, Strathie L W. Proceedings of the Fifth International Workshop on Biological Control and Management of *Chromolaena odorata*. Durban, South Africa: ARC-Plant Protection Research Institute: 90-99.
- Weigel U, Horn W, Hock B. 1984. Endogenous auxin levels in terminal stem cuttings of *Chrysanthemum moriflorum* cultivar Yellow-galaxy during adventitious rooting[J]. Physiologia Plantarum, 61(3): 422-428.
- Witkowski E T F, Wilson M. 2001. Changes in density, biomass, seed production and soil seed banks of the non-native invasive plant, *Chromolaena odorata*, along a 15 year chronosequence[J]. Plant Ecology, 152(1): 13-27.
- Ye W H, Mu H P, Cao H L, Ge X J. 2004. Genetic structure of the invasive *Chromolaena odorata* in China[J]. Weed Research, 44(2): 129-135.

(责任编辑 王 晖)