

美国红枫“秋火焰”组培快繁体系的研究

许 栩, 廖忠兴, 张新玉, 张洪伟

北京安海之弋园林古建工程有限公司, 北京

收稿日期: 2022年9月20日; 录用日期: 2022年10月18日; 发布日期: 2022年10月25日

摘 要

以美国红枫“秋火焰”带腋芽嫩枝茎段为材料, 进行了不同外植体采集时期、不同消毒方法、适宜启动培养基、增殖培养基、生根培养基、壮苗培养基及炼苗的研究, 建立了美国红枫“秋火焰”的组培快繁体系。结果表明: 1) 外植体在4、5月份取材较佳, 最佳消毒方案是先用4%次氯酸钠消毒4 min, 无菌水清洗1遍, 再用2%次氯酸钠消毒4 min, 污染率为11.11%。2) 适宜的启动培养基为: MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA + 150 ml/L椰子水, 抽芽率为19.44%。3) 最佳增殖培养基为: MS + 0.005 mg/L TDZ + 0.1 mg/L GA7, 增值系数为3.14。4) 最佳壮苗培养基为: MS + 0.1 mg/L 6-BA + 0.1 mg/L GA7。5) 最佳的生根培养基为: MS + 0.2 mg/L IBA, 生根率为100%。本快繁体系为规模化生产美国红枫“秋火焰”奠定了基础。

关键词

美国红枫“秋火焰”, 组织培养, 快速繁殖

Study on Tissue Culture Technology of *Acer rubrum* “Autumn Blaze”

Xu Xu, Zhongxing Liao, Xinyu Zhang, Hongwei Zhang

Beijing Anhaizhiyi Garden Engineering Co. Ltd., Beijing

Received: Sep. 20th, 2022; accepted: Oct. 18th, 2022; published: Oct. 25th, 2022

Abstract

Taking the stem segments with axillary buds of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” as materials, different explants collection periods, different disinfection methods, suitable starting medium, prolife-

ration medium, rooting medium, strong seedling medium and acclimatization were studied, and the tissue culture rapid propagation system of *Acer rubrum* "Autumn Blaze" was established. The results showed that: 1) The best time to draw the material from the "Autumn Blaze" was April and May. And the best disinfection scheme is to disinfect with 4% NaClO for 4 min, wash with sterile water once, and then disinfect with 2% NaClO for 4 min, and the pollution rate was 11.11%. 2) The starting medium formula was MS + 0.1 mg·L⁻¹ NAA + 1.0 mg·L⁻¹ 6-BA + 150 ml·L⁻¹ Coconut water, and the germination rate was 19.44%. 3) The optimal multiplication medium was: MS + 0.005 mg·L⁻¹ TDZ + 0.1 mg·L⁻¹ GA7, and the propagation ratio was 3.14. 4) The optimal strong seedling culture medium was: MS + 0.1 mg·L⁻¹ 6-BA + 0.1 mg·L⁻¹ GA7. 5) The optimal rooting medium was: MS + 0.2 mg·L⁻¹ IBA, and the rooting rate was 100%. This rapid propagation system has laid the foundation for the large-scale production of *Acer rubrum* "Autumn Blaze".

Keywords

Acer rubrum "Autumn Blaze", Tissue Culture, Rapid Propagation

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

美国红枫“秋火焰”(*Acer rubrum* “Autumn Blaze”), 以下简称“秋火焰”, 是美国红枫同银白槭杂交而来[1] [2], 它耐寒、耐旱, 适应性强, 秋季叶片颜色橙红、大红色, 具有较高观赏价值, 是我国北方地区良好的城市园林绿化彩叶树种。秋火焰为单性雌株, 不结实, 扩繁方法仅能以无性繁殖进行, 但目前嫁接、扦插等无性繁殖的效率无法满足生产需求[3]。有关秋火焰的快速繁殖研究主要集中在嫩枝扦插技术方面[4] [5] [6] [7], 国内外对美国红枫组织培养的研究已取得一定成果[3], 但是对美国红枫秋火焰品种的组培研究鲜有报道。2021年笔者在北京安海之弋花卉园艺中心组培实验室对秋火焰进行了组织培养方面研究, 取得了满意的研究成果, 建立了一套从外植体采集与消毒、启动培养、增殖培养、壮苗培养、生根培养与炼苗移植在内的秋火焰组培快繁体系, 期望对秋火焰的生产繁殖有所帮助。

2. 材料与方法

2.1. 材料

外植体采集于北京安海之弋园林古建工程有限公司苗圃5年生秋火焰植株上。

2.2. 外植体的采集与消毒

在2021年4、5月份采集秋火焰有3个茎节且节间较长的新萌发嫩枝作为外植体(图1), 在7、8月份采集当年生嫩枝, 顶芽下(含顶芽)2~3个茎节作为外植体。

将外植体叶片去除先用软毛刷蘸取洗洁精水刷洗干净, 再在流水下冲洗30 min, 然后将其剪切成3~5 cm带腋芽的茎段, 转入超净台用75%乙醇浸泡30 s后按试验设计的次氯酸钠消毒方案(表1)进行消毒, 最后用无菌水清洗3遍, 剪成1 cm带腋芽小段接种于启动培养基中。初代培养环境条件为温度23℃ ± 2℃, 光照时间为12 h/d, 光照强度控制为2000 lx。每个消毒处理接种12个外植体, 重复3次, 20 d后统计外植体发芽率。



Figure 1. Status of explant collection
图 1. 外植体取材状态

Table 1. Design of experiment of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explant disinfection

表 1. 秋火焰外植体消毒试验设计

编号	消毒时间 (min)	次氯酸钠浓度 (%)
1	4	1
2	8	1
3	12	1
4	4	2
5	8	2
6	12	2
7	4	4
8	8	4
9	8	先用 4% 次氯酸钠消毒 4 min, 无菌水清洗 1 遍, 再用 1% 次氯酸钠消毒 4 min
10	8	先用 4% 次氯酸钠消毒 4 min, 无菌水清洗 1 遍, 再用 2% 次氯酸钠消毒 4 min

2.3. 外植体启动培养

试验设置了 4 种启动培养基(表 2)。每种培养基接种 30 个外植体, 重复 3 次, 40 d 后统计抽芽率。
发芽率(%) = 腋芽萌发外植体个数/未污染外植体个数 × 100。

Table 2. Design of starting medium for *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explants

表 2. 秋火焰外植体启动培养基设计

编号	培养基
A1	MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA
A2	NN69 + 0.1 mg/L NAA + 0.3 mg/L TDZ
A3	WPM + 0.5 mg/L IBA + 1.0 mg/L 6-BA
A4	MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA + 150 ml/L 椰子水

2.4. 增殖培养

Table 3. Design of experiment of multiplication medium

表 3. 秋火焰增殖培养基设计

编号	基础培养基	TDZ (mg/L)	NAA (mg/L)	GA7 (mg/L)
B1	NN69	0.3	0.1	-
B2	NN69	0.01	0.1	-
B3	NN69	0.005	0.1	-
B4	NN69	0.01	-	0.1
B5	NN69	0.005	-	0.1
B6	WPM	0.01	-	0.1
B7	MS	0.01	-	0.1
B8	MS	0.005	-	0.1
B9	1/2MS	0.005	-	0.1

在木本类植物组培过程中 TDZ 以微小的浓度即可达到有效的增殖效果因而被普遍使用[8], 特别是在槭树科植物组培增殖过程中使用普遍[9] [10]。因此本文在增殖培养过程中以 TDZ 作为主要激素对秋火焰增殖培养基进行了设计(表 3)。当启动培养基中萌发的小芽长至 2~3 cm 高时, 按茎节剪成带腋芽小段, 接种于不同增殖培养基中, 每种增殖培养基接种 10 瓶, 每瓶接种 5 个带腋芽小段, 共 50 个带腋芽小段。25 d 后统计诱导发芽数, 计算增殖系数。增殖系数 = 诱导产生芽的总数/接种带芽小段的总数。

2.5. 壮苗培养

当增殖培养基中的小苗长至 1 cm 时, 将其截取下来接种于壮苗培养基中(表 4), 每种壮苗培养基接种 10 瓶, 每瓶接种 5 个小苗, 共 50 个小苗。30 d 后观察小苗生长状况。

Table 4. Design of experiment of acclimatizing medium

表 4. 壮苗培养基设计

编号	基础培养基	6-BA (mg/L)	IBA (mg/L)	GA7 (mg/L)
C1	WPM	0.5	0.02	-
C2	NN69	0.5	0.02	-
C3	MS	0.5	0.02	-
C4	MS	0.1	0.02	-
C5	MS	0.1	-	0.1

2.6. 生根培养与炼苗移植

将经过壮苗培养的小苗选取高 2~3 cm 的健壮苗转入生根培养基中(表 5)。每种生根培养基接种 10 瓶, 每瓶接种 5 个小苗。20d 后观察小苗生根情况, 计算生根率。生根率(%) = 生根小苗数/接种小苗数。

待经过生根培养的小苗长至 4 cm 高时, 将组培苗转入温室大棚进行炼苗, 先闭瓶炼苗 6 d, 光照强度 3000~5000 lx, 光照过强时采用纱布遮盖; 第 7 d 打开瓶盖, 给予光照强度在 5000~10,000 lx。第 8 d 取出瓶内小苗, 去除根部残留的培养基, 并配制混合基质(草炭土:蛭石:珍珠岩 = 2:2:1)将小苗进行移栽

[11]。移栽后,以喷雾加湿方式保证空气湿度不低于 90%并持续 7 d 且光照强度不超过 10,000 lx,维持温室温度在 20℃~25℃范围,7 d 后逐步恢复空气湿度及光照强度至正常养护管理水平。

Table 5. Design of experiment of rooting medium

表 5. 生根培养基设计

编号	基础培养基	IBA (mg/L)
D1	NN69	0.2
D2	WPM	0.2
D3	MS	0.2
D4	MS	0.5

2.7. 数据处理

采用 SPSS 25.0 和 Excel 2019 对数据进行统计处理。

3. 结果与分析

3.1. 不同消毒方式及取材时间段对秋火焰外植体污染率的影响

3.1.1. 不同取材时间段对秋火焰外植体污染率的影响

本试验分别在 4、5 月份和 7、8 月份两个时间段采集秋火焰外植体进行消毒处理,试验结果详见表 6。

Table 6. Contamination rate of explants at different collection times

表 6. 不同外植体采集时间的污染率

编号	外植体采集时间(月)	外植体数(个)	污染率(%)
1	4~5	30	38.89b
2	7~8	30	66.88a

注:表中同列小写字母为 0.05 水平上的显著性差异。其余表同。

表 6 显示:两个时间段采集的秋火焰外植体污染率存在显著差异,在 4、5 月份取材较好,平均污染率为 38.89%。

3.1.2. 不同消毒方式对秋火焰外植体污染率的影响

从表 7 中可以看出秋火焰外植体经不同消毒处理方式后污染率有明显差异。在次氯酸钠浓度相同的消毒处理下,随着消毒时长的增加,秋火焰外植体平均污染率降低。当消毒时长一致时,随着次氯酸钠浓度提高,外植体污染率减小。对比试验处理 5、8 和 10,当总消毒时长相同时,采用分段式消毒(先用 4%次氯酸钠消毒 4 min,无菌水清洗 1 遍,再用 2%次氯酸钠消毒 4 min)能显著降低外植体污染率,污染率为 11.11%。

Table 7. Effect of different disinfection methods on the contamination rate of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explants

表 7. 不同消毒方式对秋火焰外植体污染率的影响

编号	次氯酸钠浓度(%)	消毒时间(min)	污染率(%)
1	1	4	66.67a
2	1	8	52.78b
3	1	12	29.86f

Continued

4	2	4	41.67c
5	2	8	38.89d
6	2	12	27.08g
7	4	4	33.33e
8	4	8	25h
9	先用 4%次氯酸钠消毒 4 min, 无菌水清洗 1 遍, 再用 1%次氯酸钠消毒 4 min	8	23.61i
10	先用 4%次氯酸钠消毒 4 min, 无菌水清洗 1 遍, 再用 2%次氯酸钠消毒 4 min	8	11.11j

3.2. 不同启动培养基对秋火焰外植体发芽率的影响

通过分析不同启动培养基秋火焰外植体发芽率(表 8), 在 4 种启动培养基中外植体的抽芽情况都不理想, 对比启动培养基 A1 和 A4, 发现在启动培养基中添加椰子水能显著提高抽芽率, 抽芽率由 3.1% 提高到 19.44%, 芽生长状况详见图 2。

Table 8. Effect of different Starting medium on the Germination Rate of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explants
表 8. 不同启动培养基对秋火焰外植体发芽率的影响

编号	培养基	发芽率(%)
A1	MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA	3.1d
A2	NN69 + 0.1 mg/L NAA + 0.3 mg/L TDZ	18.83b
A3	WPM + 0.5 mg/L IBA + 1.0 mg/L 6-BA	4.6c
A4	MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA + 150 ml/L 椰子水	19.44a



Figure 2. Start cultivation

图 2. 启动培养

3.3. 不同培养基及激素对秋火焰外植体增殖的影响

如表 9 所示, 降低细胞分裂素 TDZ 的浓度可以减少愈伤组织的形成, 减轻增殖小芽的玻璃化情况。

比较不同配方培养基 B3 和 B5 发现,添加赤霉素 GA7 与添加生长素 NAA 相比增值系数更大。对比 NN69、WPM、MS、1/2MS 培养基发现仅 MS 中增殖小芽长得粗壮,生长良好。9 组增殖培养基配方中 B4 的增值系数最高为 4.2,但是小芽玻璃化情况较重。比较分析得出秋火焰外植体增殖培养的最佳培养基配方为:MS + 0.005 mg/L TDZ + 0.1 mg/L GA7,增值系数较高为 3.14,小芽长得粗壮生长良好(图 3)。

Table 9. Effect of different media and hormones on the multiplication of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explants
表 9. 不同培养基及激素对秋火焰外植体增殖的影响

编号	基础培养基	TDZ (mg/L)	NAA (mg/L)	GA7 (mg/L)	增值系数	生长状况	
						基部愈伤	芽
B1	NN69	0.3	0.1	-	0	大量	未产生芽
B2	NN69	0.01	0.1	-	0	大量	未产生芽
B3	NN69	0.005	0.1	-	2.16c	较多	嫩绿色、矮小、部分玻璃化
B4	NN69	0.01	-	0.1	4.20a	少量	嫩绿色、矮小、部分玻璃化
B5	NN69	0.005	-	0.1	3.25b	少量	嫩绿色、矮小、少部分玻璃化
B6	WPM	0.01	-	0.1	2.34c	少量	嫩绿色、矮小、生长缓慢
B7	MS	0.01	-	0.1	2.95b	大量	嫩绿色、粗壮、部分玻璃化
B8	MS	0.005	-	0.1	3.14b	少量	嫩绿色、粗壮
B9	1/2MS	0.005	-	0.1	2.50c	少量	黄绿色,矮小,部分叶片掉落



Figure 3. Multiplication culture
图 3. 增殖培养

3.4. 不同培养基及激素对秋火焰壮苗培养的影响

秋火焰增殖小苗经过 30 d 的壮苗培养,试验效果显著。如表 10 所示,对比 3 个培养基 WPM、NN69 和 MS,小苗在 MS 培养基中更为粗壮。在培养基中添加赤霉素 GA7 与添加生长素 IBA 相比,其对小苗伸长生长的促进作用明显。壮苗培养基配方 C5: MS + 0.1 mg/L 6-BA + 0.1 mg/L GA7,其中小苗(图 4)长势最好,小苗粗壮且茎伸长明显,叶片舒展。

Table 10. Effect of different Medium and hormones on strong seedling of *Acer rubrum* “Autumn Blaze” explants
表 10. 不同培养基配方对秋火焰组培苗壮苗培养的试验效果

编号	基础培养基	6-BA (mg/L)	IBA (mg/L)	GA7 (mg/L)	生长状况
C1	WPM	0.5	0.02	-	茎未见明显伸长、较细弱，大部分小苗玻璃化，茎秆处产生愈伤
C2	NN69	0.5	0.02	-	茎未见明显伸长，小苗矮小，大部分小苗玻璃化
C3	MS	0.5	0.02	-	茎未见明显伸长，小苗粗壮，大部分苗玻璃化，茎秆处产生愈伤
C4	MS	0.1	0.02	-	茎未见明显伸长，小苗粗壮，部分小苗叶片发皱生长缓慢。
C5	MS	0.1	-	0.1	茎明显伸长，小苗粗壮，叶片舒展



Figure 4. Strong seedling culture
图 4. 壮苗培养

3.5. 生根培养与炼苗移植

3.5.1. 不同培养基对秋火焰组培小苗生根的影响

经过 7 d 的生根培养，以 NN69 为基础的生根培养基中小苗可见根点长出。以 WPM 为基础的生根培养基中小苗经 10 d 生根培养可见根点长出。以 MS 为基础的生根培养基中小苗生根最晚，经 15 d 生根培养可见根点长出。

经 20 d 生根培养，4 种生根培养基中秋火焰组培小苗生根率都达到了 100% (详见表 11)。对比 D3 与 D4 培养基配方发现，过高的生长素 IBA 浓度会引起根部产生愈伤、根系生长畸形。综合分析得出秋火焰最佳生根培养基为：MS + 0.2 mg/L IBA，虽然以 MS 为基础的培养基中小苗生根最晚，但是小苗(图 5)长势最好、根系粗壮(图 6)。

Table 11. Effect of different rooting media on rooting
表 11. 不同培养基对秋火焰组培小苗生根的影响

编号	基础培养基	IBA (mg/L)	生根率(%)	生长状况
D1	NN69	0.2	100	小苗长势差，根系细弱
D2	WPM	0.2	100	小苗长势一般，根系较粗
D3	MS	0.2	100	小苗长势良好，根系粗壮
D4	MS	0.5	100	小苗长势一般，根系粗壮，根基部产生愈伤，部分根生长畸形



Figure 5. Rooting culture
图 5. 生根培养

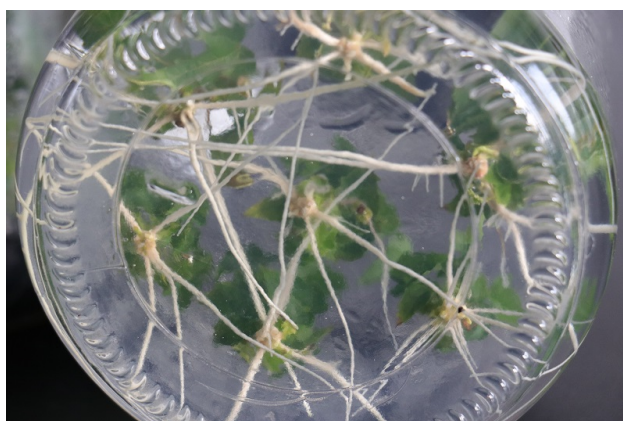


Figure 6. Root growth state
图 6. 根系生长状态

3.5.2. 组培生根苗炼苗移植

当经过生根培养的小苗长至 3~4 cm 高时，将组培苗转入温室大棚经 7 d 炼苗(图 7)后，栽入草炭土、蛭石与珍珠岩的混合基质中并维持一定的温度、湿度和光照条件。秋火焰组培小苗的移栽成活率不低于 90%。



Figure 7. Acclimatization in greenhouse
图 7. 温室炼苗

4. 讨论

4.1. 外植体的采集与消毒

以美国红枫“秋火焰”嫩枝带芽茎段为外植体时,在4、5月份取材较佳,这与于传等人的研究结论相一致[12] [13]。本文用次氯酸钠以不同消毒方式对秋火焰外植体进行消毒,发现次氯酸钠浓度在1%、2%和4%条件下提高浓度能降低外植体污染率,同时在次氯酸钠浓度一致时,不同消毒时长4 min、8 min和12 min条件下延长消毒时间能降低外植体污染率,这与闫洋洋等人对美国红枫外植体消毒结论相同[14] [15]。本文还发现在消毒总时长一致时,采用不同浓度的次氯酸钠分段消毒比使用单一浓度消毒效果好。最佳消毒方式为:先用4%次氯酸钠消毒4 min,无菌水清洗1遍,再用2%次氯酸钠消毒4 min,污染率为11.11%。

4.2. 启动培养

在李莹、吴雅琼和李源等人的研究中[16] [17] [18],启动培养基:MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA、NN69 + 0.1 mg/L NAA + 0.3 mg/L TDZ 和 WPM + 0.5 mg/L IBA + 1.0 mg/L 6-BA 的发芽率可达92.2%、83.20%和73.3%,而在本文中仅表现为3.1%、18.83%和4.6%,这可能是因为美国红枫不同品种间存在较大差异。本试验发现在启动培养基中添加一定量的椰子水能有效提高发芽率,发芽率较高的启动培养基配方为:MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA + 150 ml/L 椰子水,发芽率为19.44%。秋火焰启动培养基的配方还有待于进一步研究。

4.3. 增殖与壮苗培养

本试验增殖培养中,降低细胞分裂素TDZ的浓度能减轻增殖小芽的玻璃化情况,此结论与叶景丰等人的研究结果相同[19]。在增殖培养及壮苗培养过程中,比较MS、NN69和WPM培养基中小苗生长状况,发现小苗在高盐的MS培养基中比在低盐的NN69和WPM中更粗壮长势更好,这可能是高盐的MS培养基提供的养分更充足。在壮苗培养过程中发现添加赤霉素GA7后小苗伸长明显,赤霉素能促进植物茎伸长[20] [21]。最佳增殖培养基为:MS + 0.005 mg/L TDZ + 0.1 mg/L GA7,增值系数较高为3.14。最佳壮苗培养基为:MS + 0.1 mg/L 6-BA + 0.1 mg/L GA7,小苗粗壮长势良好,茎伸长明显,叶片舒展。



Figure 8. Seedlings transplanted in pots
图8. 六盘移栽小苗

4.4. 生根与炼苗移栽

本试验发现秋火焰组培小苗在低盐的 NN69 和 WPM 培养基中, 其生根要早于在高盐的 MS 培养基, 究其原因可能是 NN69 和 WPM 与 MS 相比营养元素相对缺乏, 从而促进了根系的生长以吸收更多养分。但是也正因为 MS 培养基养分更充足, 所以小苗在其中长势更好。秋火焰组培苗最佳的生根培养基为: MS + 0.2 mg/L IBA, 生根率为 100%, 小苗长势良好, 根系粗壮。秋火焰组培生根小苗在温室大棚经炼苗再移栽后其成活率不低于 90% (图 8)。

5. 结论

在美国红枫“秋火焰”组培快繁体系的研究中发现, 以嫩枝带芽茎段为外植体时, 在 4、5 月份取材较佳。在无菌体系建立过程中发现, 先用 4% 次氯酸钠消毒 4 min, 无菌水清洗 1 遍, 再用 2% 次氯酸钠消毒 4 min, 消毒效果最佳, 污染率为 11.11%。最佳的启动培养基配方为: MS + 0.1 mg/L NAA + 1.0 mg/L 6-BA + 150 ml/L 椰子水。在继代增殖时筛选的最佳增殖培养基为: MS + 0.005 mg/L TDZ + 0.1 mg/L GA7, 增值系数较高为 3.14。最佳壮苗培养基为: MS + 0.1 mg/L 6-BA + 0.1 mg/L GA7。最佳的生根培养基为: MS + 0.2 mg/L IBA, 生根率为 100%, 组培生根小苗在温室大棚经 7 d 炼苗后再移栽其成活率不低于 90%。

参考文献

- [1] 尹新彦, 储博彦, 李金霞, 等. 美国红枫“秋火焰”扦插繁殖技术的优化[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(5): 1411-1412, 1437.
- [2] 荣浩, 徐立安. 美国红枫引种及研究应用进展[J]. 江苏林业科技, 2020, 47(4): 39-44.
- [3] 邓正正. 美国红枫组织培养研究进展[J]. 农业科技与装备, 2018(1): 16-17, 20.
- [4] 赵文玲. 美国红枫“秋火焰”引种及栽培技术探析[J]. 防护林科技, 2021(6): 62-63.
- [5] 卞婧. 美国红枫“秋火焰”在铁岭地区的引种表现及嫩枝扦插繁育技术研究[J]. 黑龙江科学, 2020, 11(4): 45-47.
- [6] 刘兴. 美国红枫“秋火焰”嫩枝扦插繁育技术试验[J]. 河南林业科技, 2017, 37(3): 55-56.
- [7] 洪泽源, 张新芳, 王红, 等. 长春地区美国红枫引种及嫩枝扦插研究[J]. 热带农业工程, 2019, 43(6): 99-101.
- [8] Huettelman, C.A. and Preece, J.E. (1993) Thidiazuron: A Potent Cytokinin for Woody Plant Cell Tissue Culture. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **33**, 105-121. <https://doi.org/10.1007/BF01983223>
- [9] 胡选萍, 蒋景龙. 槭属(*Acer L.*)植物组织培养技术的研究进展[J]. 分子植物育种, 2021, 19(22): 7561-7569.
- [10] 张娟, 孙艳, 杨志恒. 我国槭树繁育技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(3): 11-14.
- [11] 张新玉, 许栩. “酒红”矾根离体快繁技术研究[J]. 花卉, 2021(6): 6-8.
- [12] 于传. 美国红枫(*Acer rubrum*)的组织培养技术体系研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [13] 徐榕. 自由人槭(*Acer × freemanii*)组培快繁技术体系的构建[D]: [硕士学位论文]. 泰安: 山东农业大学, 2010.
- [14] 闫洋洋. 北美红枫“十月光辉”无性快繁体系的建立[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2018.
- [15] 杨菲红, 杨一鹏, 刘芳, 等. 耐寒美国红枫的组织培养探究[J/OL]. 分子植物育种, 1-7. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/46.1068.S.20210616.1610.020.html>, 2021-10-16.
- [16] 李莹, 罗晓芳, 蒋湘宁. 美国红枫外植体选择及启动培养研究[J]. 黑龙江农业科学, 2010(8): 6-9.
- [17] 吴雅琼, 刘婧, 汪贵斌, 等. 美国红枫的组织培养与快繁技术[J]. 北方园艺, 2016(20): 97-102.
- [18] 李源, 何丙辉, 于传, 等. 美国红枫“白兰地”的组织培养与快繁技术[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2014, 39(8): 36-42.
- [19] 叶景丰, 尤文忠, 马冬菁, 等. 美国红枫组织培养技术研究[J]. 辽宁林业科技, 2014(4): 35-36.
- [20] 石鹏, 王永, 张大鹏. 赤霉素调控林木生长发育的研究进展[J]. 江西农业学报, 2021, 33(2): 33-41.
- [21] 杨菲红, 刘芳, 石德喜, 等. 美国红枫组培苗壮苗和生根培养基的优化[J]. 现代园艺, 2021, 44(21): 8-9.