

张蕊,李艺,高巨,等.周楸腋芽离体培养快繁技术研究[J].江苏农业科学,2020,48(17):65-69.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.17.011

周楸腋芽离体培养快繁技术研究

张蕊¹,李艺¹,高巨¹,孙凌玲¹,张磊²

(1.周口职业技术学院农牧工程学院,河南周口 466000; 2.河南花博士花卉有限公司,河南周口 466000)

摘要:为研究周楸组织培养快繁技术,以周楸 2 号为材料,对带腋芽茎段离体培养不同阶段培养基中萘乙酸(NAA)、6-苄基腺嘌呤(6-BA)浓度分别设计 4 个水平,通过研究 NAA 和 6-BA 主效应及交互作用对腋芽诱导率、无菌苗增殖系数和 NAA 对无菌苗生根率的影响,以期明确周楸腋芽离体培养时最适激素条件。研究表明,周楸 2 号带腋芽茎段离体培养诱导培养基适宜的激素水平为 NAA 0.010~0.015 mg/L,6-BA 0.6~1.2 mg/L;增殖培养基适宜的激素水平为 NAA 0.15~0.20 mg/L,6-BA 0.8~1.6 mg/L;生根培养基适宜的激素水平为 NAA 1.0~1.5 mg/L。

关键词:周楸 2 号;腋芽;离体培养;NAA;6-BA;组织培养

中图分类号: S723.1⁺32.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)17-0065-05

楸树(*Catalpa bungei* C. A. Mey.)为紫葳科落叶乔木^[1],其材质优良、生长快、寿命长、适应能力强,是常用的植树造林树木之一;同时楸树枝叶繁茂、花开锦簇,景观效果独具特色,因此楸树亦被广泛应用于沿路、沿河、沿水和园林绿化。随着社会环保意识的增强和环境保护措施的不断落实,在大规模乡村和城市绿化中,政府大力倡导以选用优良本土树种为主,楸树为河南省周口市城乡绿化首选天然分布树种之一,目前,楸树产业迎来巨大发展

空间和机遇。

近年来,楸树组织培养技术研究得了人们的重视,楸树组织培养(组培)育苗克服了传统育苗生产中存在的常见问题(种子量少^[2]、育苗周期长、苗木生长性状一致性差、苗木数量和质量难以满足生产要求、嫁接苗由于插穗和砧木对水分需求不一致易导致“小脚”病、埋根影响母树生长^[3]、扦插生根率低^[4]等)。近年来有关楸树组织培养(组培)育苗的报道较多,范国强等对金丝楸幼嫩茎段进行离体培养,初次探讨金丝楸组培不同阶段适合的培养基和激素组合^[5]。李艳敏等以金丝楸为试材,采用改变继代培养方式、将增殖和壮苗培养相结合、添加对活性炭等措施,使金丝楸组培工厂化生产顺利进行^[6]。王爱芝对花楸的幼胚等 5 种不同外植体进行研究,指出适合花楸茎段和片叶的诱导与增殖培养条件^[7]。韩创举对豫楸一号扦插、嫁接、组织培

收稿日期:2020-05-04

基金项目:河南省重点研发与推广专项(科技攻关)(编号:202102110170);周口职业技术学院院级重点科技攻关课题(编号:Zzy1810)。

作者简介:张蕊(1978—),女,河南扶沟人,硕士,副教授,主要从事植物生理生化、园林植物栽培及应用技术的教学和研究。
E-mail:522652203@qq.com。

signals;MAPK cascades in plant growth and defense[J]. Current Opinion in Plant Biology,2018,45:1-10.

[8]段志坤,秦晓惠,朱晓红,等.解析植物冷信号转导途径:植物如何感知低温[J].植物学报,2018,53(2):149-153.

[9]唐仕云,杨丽涛,李杨瑞.低温胁迫下不同甘蔗品种的转录组比较分析[J].生物技术通报,2018,34(12):116-124.

[10]Fujita Y, Fujita M, Satoh R, et al. AREB1 is a transcription activator of novel ABRE-dependent ABA signaling that enhances drought stress tolerance in *Arabidopsis* [J]. The Plant Cell,2005,17(12):3470-3488.

[11]Fujita Y, Nakashima K, Yoshida T, et al. Three SnRK2 protein kinases are the main positive regulators of abscisic acid signaling in response to water stress in *Arabidopsis* [J]. Plant and Cell

Physiology,2009,50(12):2123-2132.

[12]洪岚,刘旭,李玲.植物 AREB/ABF 转录因子及其参与的 ABA 信号转导[J].植物生理学报,2011,47(3):211-217.

[13]丁红映,王明,谢洁,等.植物低温胁迫响应及研究方法进展[J].江苏农业科学,2019,47(14):31-36.

[14]魏强,李静,刘艺,等. MAPK 信号转导通路在人参多糖诱导白血病 K562 细胞凋亡中的作用[J].中草药,2013,44(2):193-198.

[15]李悦鹏,谢晓兰,于雷,等. MAPK 级联途径激酶结构特点及其信号转导途径在园艺作物逆境中的作用[J].植物生理学报,2018,54(8):1305-1315.

[16]伍静辉,谢楚萍,田长恩,等.脱落酸调控种子休眠和萌发的分子机制[J].植物学报,2018,53(4):542-555.

养等无性繁殖技术参数进行研究,指出芽接是常规苗木生产中简单易行的育苗方法,并且对楸树组织培养条件进行探讨^[8]。王改萍等对圆基长果楸、豫楸 1 号、豫楸 2 号、梓树 4 个品种试验材料的研究表明,初代培养基最适激素水平为 N6 + 6 - 苄基腺嘌呤 (6 - BA) 1.5 mg/L + 萘乙酸 (NAA) 0.01 mg/L^[9]。杨燕等通过对圆基长果楸和灰楸的 5 种不同外植体,采用 11 种不同灭菌处理方法,5 种不同培养基及不同生长素、细胞分裂素、琼脂浓度和蔗糖组合进行试验研究,为楸树组培育苗进一步研究提供了完整的技术参考^[10-11]。刘小云对圆基长果楸组织培养各项技术进行了全面研究^[12]。翟晓巧等对灰楸茎段诱导成苗进行研究^[13]。姜何对新品种鲁楸 1 号的组培育苗进行综合研究,分别建立了圆基长果楸、灰楸、鲁楸 1 号的最适培养体系^[14]。张烨然等以楸树 (QS2) 和滇楸 (DQ72) 的优良单株为试材,对其茎段进行初代与增殖培养,提出 QS2 和 DQ72 适宜的初代培养基激素水平为 DKW + 6 - BA 1.0 mg/L + 吲哚丁酸 (IBA) 0.1 mg/L,增殖培养阶段适宜激素水平为 DKW + 6 - BA 3.0 mg/L + NAA 0.2 mg/L + IBA 0.1 mg/L^[15]。而关于周楸系列的组培研究尚未见报道。周楸 2 号原产于河南省周口市,具有喜光、深根、速生等特点,其生长特性表现优良,在园林绿化、固沙保土、家具用材及用药等领域被广泛应用,有较大的发展前景,目前市场对其苗木需求大,优质苗木供需矛盾突出。本试验对周楸 2 号进行离体培养快繁技术研究,以期探讨出周楸组培快繁不同阶段适合的激素组合,为楸树产业化育苗技术研究提供支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为周楸 2 号,引自河南花博士花卉有限公司楸树种植基地。

1.2 试验方法

供试基本培养基为 N6,蔗糖、琼脂用量参考杨燕的研究结果^[10],光照及温度条件参考王改平等的研究结果^[9,16]。诱导、增殖和生根培养每培养瓶中接种 3 个芽点,每个处理接种 5 瓶,重复 5 次,随机区组排列。

1.2.1 试验材料获取与消毒 于 2019 年 3 月 21 日上午采集周楸 2 号当年生长充实的枝条,并将采集枝条带回实验室,剪成长 15 cm 带腋芽枝段,采用

1/2 Hogland's 营养液进行培养,培养过程中 24 h 更换 1 次培养液,共培养 10 d^[8]。将顶芽和腋芽新萌发芽点切割成 2 cm 长茎段,带腋芽茎段的消毒灭菌依据杨燕的研究^[10]。

1.2.2 楸树无菌苗获取 在 N6 培养基上,NAA 浓度设 A1 (0.005 mg/L)、A2 (0.010 mg/L)、A3 (0.015 mg/L)、A4 (0.020 mg/L) 4 个水平;6 - BA 浓度设 B1 (0.6 mg/L)、B2 (0.9 mg/L)、B3 (1.2 mg/L)、B4 (1.5 mg/L) 4 个水平。将消毒后带芽点茎段,分别接种至上述 16 组不同处理的诱导培养基中,培养 35 d 后,统计发芽腋芽茎段数量,计算诱导率^[10]。

1.2.3 楸树无菌苗继代培养 在 N6 培养基上,NAA 浓度设 C1 (0.05 mg/L)、C2 (0.10 mg/L)、C3 (0.15 mg/L)、C4 (0.20 mg/L) 4 个水平;6 - BA 浓度设 D1 (0.8 mg/L)、D2 (1.2 mg/L)、D3 (1.6 mg/L)、D4 (2.0 mg/L) 4 个水平。选取无污染、生长健康、经过 35 d 培养的楸树无菌苗进行增殖培养,将无菌楸树苗切成长 1.5 cm 的带腋芽茎段,分别接种至上述 16 组不同处理的增殖培养基中,培养 35 d 后,统计再生芽个数,计算增殖系数^[10]。

1.2.4 楸树组培苗生根培养 在 N6 培养基上,NAA 浓度设 0.5、1.0、1.5、2.0 mg/L 4 个水平,然后选取经过增殖培养的无菌苗,分别接种至上述不同 NAA 水平的生根培养基中培养 30 d 后,统计生根无菌苗数量,计算生根率^[10]。

1.3 数据分析

试验数据用 SPSS 22.0 进行统计分析,双因素方差分析以及用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 诱导培养基不同激素浓度对诱导率的影响

从表 1 可以看出,NAA 和 6 - BA 2 因素交互对周楸 20 号诱导率作用显著 ($P = 0.004 < 0.05$)。从表 2 可以看出,诱导培养基 NAA 浓度为 0.015 mg/L 时,0.9 mg/L 6 - BA 与 0.6、1.2、1.5 mg/L 等其他 3 个浓度水平相比,差异均达显著水平;A3B2 处理对腋芽诱导率的影响优于其他浓度激素组成。

从表 1 可以看出,对楸树腋芽诱导率的影响 6 - BA 显著 ($P = 0.000 < 0.05$),而 NAA 不显著 ($P = 0.303 > 0.05$)。从表 3 可以看出,楸树腋芽诱导率的影响因素以 6 - BA 为主,其次为 NAA。不同浓度 NAA 处理下,A3 水平 NAA 对应的楸树腋芽诱

表 1 不同激素对周楸 20 号腋芽诱导率的影响

变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
NAA	51.548 0	3	17.183	1.264	0.303
6-BA	425.866	3	141.955	10.440	0.000
NAA×6-BA	437.676	9	48.631	3.576	0.004
误差	435.126	32	13.598		
总计	1 350.216	47			

表 2 不同激素浓度对周楸 2 号腋芽诱导率的影响

NAA 浓度 (mg/L)	不同 6-BA 浓度下的诱导率(%)			
	0.6 mg/L	0.9 mg/L	1.2 mg/L	1.5 mg/L
0.005	11.67 ± 1.67ab	16.11 ± 5.85a	13.89 ± 5.36ab	7.78 ± 2.55b
0.010	19.44 ± 3.47a	15.00 ± 6.01a	16.11 ± 5.09a	8.89 ± 4.19b
0.015	15.00 ± 2.89b	23.33 ± 1.67a	13.33 ± 1.67b	7.78 ± 2.55c
0.020	12.78 ± 1.92b	10.55 ± 2.55b	21.11 ± 4.19a	11.67 ± 1.67b

注:同行数据后不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。表 6 同。

表 3 不同激素浓度对周楸 2 号腋芽诱导率的影响

NAA 浓度 (mg/L)	诱导率(%)		6-BA 浓度 (mg/L)	诱导率(%)	
	平均数	标准误		平均数	标准误
0.005	12.362	1.064	0.6	15.140	1.064
0.010	14.861	1.064	0.9	16.250	1.064
0.015	14.862	1.064	1.2	16.113	1.064
0.020	14.445	1.064	1.5	9.027	1.064

表 4 不同激素浓度对周楸 2 号诱导率的影响

NAA 浓度 (mg/L)	6-BA 浓度 (mg/L)	诱导率(%)	
		平均数	标准误
0.005	0.6	11.667	1.665
	0.9	16.113	5.855
	1.2	13.090	5.357
	1.5	7.777	2.546
0.010	0.6	19.443	3.467
	0.9	15.000	6.012
	1.2	16.113	5.092
	1.5	8.887	4.193
0.015	0.6	15.003	2.887
	0.9	23.333	1.665
	1.2	13.333	1.665
	1.5	7.777	2.546
0.020	0.6	14.447	2.546
	0.9	14.447	2.546
	1.2	21.113	4.193
	1.5	11.667	1.665

对楸树腋芽诱导率影响最大,其他设计方案中较优组合有 A4B3、A2B1。

诱导率平均数最大,对楸树腋芽诱导率影响最大,不同浓度 NAA 对楸树腋芽诱导率影响顺序依次为 A3>A2>A4>A1;同理可以得出,不同浓度 6-BA 对楸树腋芽诱导率影响顺序依次为 B2>B3>B1>B4;即处理 A3B2 对腋芽诱导率的影响优于其他试验设计方案,与简单分析结果一致。从表 4 可以看出,在 NAA 和 6-BA 交互作用影响下,处理 A3B2

2.2 增殖培养基不同激素浓度对增殖系数的影响
从表 5 可以看出,NAA 和 6-BA 2 因素交互对周楸 20 号增殖系数的作用不显著($P=0.358>0.05$);NAA 和 6-BA 对楸树无菌苗增殖系数的影响显著($P=0.005<0.05$ 、 $P=0.001<0.05$),其中 6-BA 为主要影响因素,NAA 次之。从表 6 可以看出,当激素浓度组成为 C3D1 和 C4D2 时,腋芽增殖系数优于其他激素浓度组成。

表 5 不同激素对周楸 2 号增殖系数的影响

变异来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
NAA	21.938	3	7.313	4.776	0.005
6-BA	30.437	3	10.146	6.626	0.001
NAA×6-BA	15.512	9	1.724	1.126	0.358
误差	98.000	64	1.531		
总计	165.887	79			

从表 7 可以看出,不同浓度 NAA 对楸树无菌苗再生的影响顺序依次为 C4>C3>C2>C1,C4 对应的增殖系数平均数最大;不同浓度 6-BA 对楸树无菌苗增殖系数影响顺序依次为 D2>D3>D1>D4。在 NAA 和 6-BA 的交互作用影响下,从表 8 可以看出,试验设计方案 C3D1 和 C4D2 对楸树腋芽增殖系数影响最大,而其他设计方案中较优组合有 C3D2、C4D3。

2.3 生根培养基中不同 NAA 浓度对生根率的影响
从表 9 可以看出,1.0、1.5 mg/L NAA 与 0.5、2.0 mg/L 相比,生根率分别提高 71.42%、57.12%,差异达显著水平。

表 6 不同激素浓度对周楸 2 号无菌苗增殖系数的影响

NAA 浓度 (mg/L)	不同 6-BA 浓度下的增殖系数			
	0.8 mg/L	1.2 mg/L	1.6 mg/L	2.0 mg/L
0.05	2.20 ± 0.40a	3.20 ± 0.75a	2.60 ± 1.02a	2.00 ± 1.10a
0.10	3.00 ± 0.63ab	3.80 ± 1.41ab	4.00 ± 0.63a	2.40 ± 1.02b
0.15	4.80 ± 1.33a	4.40 ± 1.36ab	3.00 ± 1.26b	2.60 ± 0.49b
0.20	3.80 ± 1.17ab	4.80 ± 2.04a	4.40 ± 0.80a	2.40 ± 1.20b

表 7 不同激素对周楸 2 号无菌苗增殖系数的影响

NAA 浓度 (mg/L)	增殖系数		6-BA 浓度 (mg/L)	增殖系数	
	平均数	标准误		平均数	标准误
0.05	2.500	0.277	0.8	3.450	0.277
0.10	3.300	0.277	1.2	4.050	0.277
0.15	3.700	0.277	1.6	3.500	0.277
0.20	3.850	0.277	2.0	2.350	0.277

表 8 不同激素浓度对周楸 2 号无菌苗增殖系数的影响双因素统计量

NAA 浓度 (mg/L)	6-BA 浓度 (mg/L)	增殖系数	
		平均数	标准误
0.05	0.8	2.200	0.447
	1.2	3.200	0.837
	1.6	2.600	1.140
	2.0	2.000	1.225
0.10	0.8	3.000	0.707
	1.2	3.800	1.483
	1.6	4.000	0.707
	2.0	2.400	1.140
0.15	0.8	4.800	1.483
	1.2	4.400	1.517
	1.6	3.000	1.414
	2.0	2.600	0.548
0.20	0.8	3.800	1.303
	1.2	4.800	2.280
	1.6	4.400	0.894
	2.0	2.400	1.342

表 9 不同浓度 NAA 对生根率的影响

NAA 浓度 (mg/L)	生根率 (%)
0.5	46.67 ± 16.33a
1.0	80.00 ± 16.33b
1.5	73.33 ± 24.95b
2.0	46.67 ± 16.33a

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

3 讨论与结论

在植物组织培养育苗技术研究中,植物生长调节剂是影响植物离体形态发生的最关键因素^[17]。目前关于楸树组织培养的培养基中不同激素组合对不同外植体诱导分化、增殖和生根影响的研究报道较多,试验所采用楸树品种、外植体、取材时间等不同,最适基本培养基类型、植物生长调节剂种类及浓度等条件不同^[5-15,18-23]。本试验初次通过分析 NAA 和 6-BA 主效应及其交互作用对周楸带腋芽茎段诱导率、无菌苗增殖系数的影响,以及 NAA 不同浓度与生根率的关系,研究周楸腋芽离体培养不同阶段的最适 NAA 和 6-BA 水平。

本试验分析诱导培养基中不同浓度水平 NAA 和 6-BA 对楸树腋芽诱导率的影响,结果发现,6-BA 主效应和 NAA 与 6-BA 之间交互作用显著;对试验数据进行分析认为,诱导培养基中 NAA 和 6-BA 最优组合为 A3B2;在 NAA 4 个浓度水平中,A3 处理周楸 2 号腋芽诱导率平均值最大;而在不同 6-BA 浓度中 B2 处理周楸 2 号腋芽诱导率平均值最大,诱导培养基中最优处理组合为 A3B2。最优处理组合 A3B2 的周楸 2 号腋芽诱导率平均数为 23.333%;其次为 A4B3、A2B1,这 2 个处理周楸 2 号腋芽诱导率平均数分别为 21.113%、19.443%;再其次为 A1B2、A2B3、A3B1、A2B2、A4B1、A4B2,周楸 2 号腋芽诱导率平均数分别为 16.113%、16.113%、15.003%、15.000%、14.447%、14.447%;处理组合中周楸 2 号腋芽诱导率平均数较高的前 3 个组合为 A3B2、A4B3、A2B1,培养基中 NAA 浓度与 6-BA 浓度的比值均为 0.017,而处理组合 A1B2、A2B3、A3B1、A2B2、A4B1、A4B2 中培养基中 NAA 浓度与 6-BA 浓度的比值均分别为 0.006、0.008、0.025、0.011、0.033、0.022。因此可以认为,诱导率不仅与培养基中 NAA 和 6-BA 的浓度有关,与 NAA 浓度/6-BA 浓度也有一定关系,

且 6-BA 对诱导率的影响较大,因此依据综合分析初步认为,诱导培养基合适的激素水平是 NAA 浓度范围为 0.010 ~ 0.015 mg/L;6-BA 浓度范围为 0.6 ~ 1.2 mg/L。而 NAA 和 6-BA 2 因素主效应和交互作用对诱导率的影响机制有待进一步研究阐明。

增殖培养基中 NAA 和 6-BA 对无菌苗再生的主效应显著,其交互作用对楸树增殖系数的影响不显著;在 NAA 4 个浓度水平中,C3 处理楸树无菌苗增殖系数最高;在 6-BA 4 个浓度水平中,D2 处理楸树无菌苗增殖系数最高,因此可以认为,增殖培养基在 NAA 和 6-BA 主效应影响下,最优处理组合为 C3D2。但在 NAA 和 6-BA 交互作用下,C3D1、C4D2 处理楸树腋芽增殖系数平均数最大,为 4.8,为最优处理组合;其次为 C3D2、C4D3 处理组合,楸树腋芽增殖系数平均数为 4.4;C3D1 和 C4D2 处理组合中 NAA 与 6-BA 的浓度比值分别为 0.188 和 0.167,C3D2 和 C4D3 处理组合中 NAA 与 6-BA 的浓度比值均为 0.125,初步认为增殖培养基合适的激素水平是 NAA 浓度范围为 0.15 ~ 0.20 mg/L;6-BA 浓度范围为 0.8 ~ 1.6 mg/L。培养基中 NAA 和 6-BA 的浓度及其比值不仅影响楸树茎段腋芽诱导,对无菌苗再生增殖也存在一定影响,NAA 和 6-BA 2 因素主效应和交互作用对楸树茎段无菌苗增殖系数的影响机制有待进一步研究阐明。

生根培养基中,NAA 浓度为 1.0 mg/L 和 1.5 mg/L 时,培养 3 d 后有根源基凸起,培养 30 d 后须根长 5 cm,NAA 浓度为 1.0 mg/L 时须根生长快,且须根较多;当 NAA 浓度为 2.0 mg/L 时,生根率反而下降,表明高浓度 NAA 不利于根源基形成和幼根生长。

周楸 2 号带腋芽茎段离体培养不同阶段,对 NAA 和 6-BA 的浓度及其比值需求不同。在诱导培养阶段,需要较低浓度的 NAA 和较高浓度的 6-BA,NAA 与 6-BA 的浓度比值为 0.017 时诱导率较高,这可能与腋芽本身所含 NAA 水平较高有关;在增殖培养阶段,需要较高浓度的 NAA 和 6-BA,NAA 与 6-BA 的浓度比值为 0.167 左右时增殖系数较高;生根培养基阶段根源基的诱导需要一定浓度的 NAA,但过高浓度 NAA 会抑制幼根生长。

参考文献:

- [1] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:683.
- [2] 郭从俭,张新胜. 楸树开花结实习性观察研究[J]. 河南林业科技,1991,11(2):1-4,18.
- [3] 徐森,刘佃池. 楸树扦插试验报告[J]. 江苏林业科技,1983,10(1):21-26.
- [4] 仝伯强,赵永军,杨海平,等. 我国北方楸树资源(Sect. *Sinocatalpa*)繁育技术研究进展[J]. 安徽农业科学,2019,47(14):1-3,17.
- [5] 范国强,翟晓巧,毕会涛,等. 金丝楸的离体培养和植株再生[J]. 植物生理学通讯,2002,38(4):359.
- [6] 李艳敏,王利民,师曼,等. 金丝楸组培工厂化育苗技术研究[J]. 河南科技学院学报(自然科学版),2019,47(6):10-15.
- [7] 王爱芝. 花楸不同外植体的茎丛增生和愈伤组织诱导及植株再生[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2004.
- [8] 韩创举,杨培华,樊军锋,等. 楸树组培技术研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(1):80-81.
- [9] 王改萍,杨燕,祁丽丽,等. 楸树的初代培养研究[J]. 江苏林业科技,2007,34(6):7-11.
- [10] 杨燕. 楸树组织培养研究[D]. 南京:南京林业大学,2008.
- [11] 杨燕,彭方仁,岑显超,等. 楸树腋芽增殖快繁技术研究[J]. 林业科技开发,2008,22(5):65-68.
- [12] 刘小云. 楸树优良类型——圆基长果楸组织培养技术的研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010.
- [13] 翟晓巧,聂琳,张晓申. 灰楸体外植株再生体系建立[J]. 江西农业学报,2011,23(3):17-19.
- [14] 姜何. “鲁楸 1 号”楸树组培快繁体系的建立[D]. 泰安:山东农业大学,2019.
- [15] 张烨然,彭言劼,马勤,等. 楸树与滇楸组培快繁技术[J]. 东北林业大学学报,2016,44(11):5-9,51.
- [16] 朱跃珍,杨宝明,刘芳,等. 中山杉组培快繁技术研究[J]. 西部林业科学,2013,42(2):107-109.
- [17] 王蒂. 植物组织培养[M]. 北京:中国农业出版社,2004:53.
- [18] 李小艳,武新琴,潘亚,等. 楸树外植体灭菌和初代培养的研究[J]. 农业技术与装备,2019,355(7):79-80,83.
- [19] 高晗,陈发菊,王毅敏,等. 楸树胚性细胞悬浮系的建立和植株再生[J]. 基因组学与应用生物学,2018,37(2):895-899.
- [20] 孟永红,李燕玲,杜克久. 楸树植株再生体系的建立[J]. 河北林果研究,2004,19(2):101-104.
- [21] 傅玉兰,费鹏飞,刘小云. 楸树组培初代培养技术[J]. 林业科技开发,2009,23(4):88-91.
- [22] 费鹏飞. 楸树组织培养体系的研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2007.
- [23] 周蓉,谢焕松,刘鑫燕,等. 楸树组培与快繁技术初探[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):15715-15716,15794.