

文章编号:1001-7380(2020)04-0039-06

美国红枫引种及研究应用进展

荣 浩,徐立安*

(南京林业大学林学院,江苏 南京 210037)

摘要:美国红枫(*Acer rubrum* L.),属于槭树科槭树属高大落叶乔木,原产美国、加拿大等地区。美国红枫适应性强,耐寒、耐旱、耐湿,生长迅速,秋季叶色优美,具有很高的观赏价值。相对于槭树属其他观赏树种的引进,美国红枫规模化引种起步晚,进展快,为使美国红枫在我国的引种健康发展,就近年来对美国红枫引种、栽培、繁育和推广等相关领域取得的进展进行综述,总结近年来取得的进步以及存在的不足之处,期望为今后美国红枫的进一步引种与推广应用提供参考。

关键词:美国红枫;引种;应用;品种选育;繁殖

中图分类号:S722;S792.35

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2020.04.010

Study reviews of *Acer rubrum* L. introduction and application

Rong Hao, Xu Li'an*

(College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: Red maple (*Acer rubrum* L.), which belongs to Genus *Acer* Linn of the Aceraceae, is a tall deciduous tree and native to the United States and Canada. Red maple has strong adaptability, cold, drought and humidity resistance, rapid growth, beautiful autumn leaves, with high ornamental value. Compared with other ornamental tree species of Genus *Acer* introduced, the large-scale introduction of red maple started late but made rapid progress. In order to make the introduction of red maple develop healthily in China, the progress in introduction, cultivation, breeding and popularization of red maple in recent years is reviewed in this paper. And existing shortcomings in relevant aspects are also summarized. It could provide a reference for the introduction and application in the future.

Key words: *Acer rubrum* L.; Introduction; Application; Variety breeding; Propagation

美国红枫(*Acer rubrum* L.)属槭树科(Aceraceae)槭树属,又名红花槭,北方红枫,北美红枫,加拿大红枫,红糖槭,猩红枫,沼泽槭等^[1],是近年来我国引进的优良观赏树种,具很高观赏价值。

美国红枫与中国红枫和日本红枫相比,其树干通直,树姿优美;秋季红叶鲜艳且持续时间长,叶色丰富;适应性强,耐污染,可作为防污染绿化树种,也是目前一类可以用作行道树的最重要彩叶树种之一^[1-8]。

美国红枫最初由国内各大科研院所、高校引种

栽培。因其观赏价值高、适应性强、生长速度快等优点,很快吸引了各地大型苗木基地、园林公司等也开始美国红枫的引种育苗工作,部分地区的育苗规模已达上千亩。美国红枫作为园林应用树种也在国内各地区推广开来。其中,上海地区对于美国红枫的园林造景应用比较多,如上海陆家嘴的世纪大道利用美国红枫和银杏设计了季相变化明显的景观大道,以及在建的上海中央绿轴公园中长约1 000 m的枫叶大道等。美国红枫已逐渐成为国内引种的重要观赏乔木。

收稿日期:2020-05-04;修回日期:2020-05-29

基金项目:江苏省重点研发计划(现代农业)“六大珍贵彩色树种培育关键技术与创新应用示范”(BE2017375)

作者简介:荣 浩(1994-),男,山东济宁人,博士研究生。主要研究方向为林木遗传育种。E-mail:ronghao@njfu.edu.cn。

* 通信作者:徐立安(1957-),男,江苏扬州人,教授,博士。主要从事技术遗传育种相关研究。E-mail:laxu@njfu.edu.cn。

由于国内美国红枫的引种时间晚,栽培时间短,在品种繁育、推广应用等方面和国外还有较大差距。为此,针对国内美国红枫的引种及繁育推广现状和近年来在相关领域内取得的进展和不足进行了概述,期望为今后美国红枫的推广研究工作提供参考。

1 生物学特性

1.1 地理分布

美国红枫原产于美国东海岸^[9],主要分布于美国北部以及加拿大部分地区。目前,我国华北、西部以及长江流域等地区均有引种。

1.2 形态特征

美国红枫属大型乔木,树干通直,树高 12—18 m,最高可达 30 m,冠幅 12 m,生长速度快,树高每年生长 0.6—1 m,胸径每年生长 2 cm,树龄在 100 a 左右;单叶对生,掌状 3—5 裂,表面光滑,背面部分有白色绒毛,叶缘有不规则锯齿,叶柄与叶片近等长,叶色丰富,有橙色、红色和紫色等多种颜色,部分品种春季新叶红色,入夏后转为绿色,秋季又变为红色;花红色,稀带黄色,先花后叶,花期 3 月至 4 月初;翅果红色,长约 2 cm,5—6 月成熟,成熟后逐渐转为褐色。

1.3 生长习性

美国红枫适应性强,耐寒(在 -35℃ 可以安全越冬)、耐旱、耐湿,喜潮湿肥沃的土壤,喜阳树种,对土壤 pH 的忍受范围广,在微酸性的环境中可以使秋季叶色更加艳丽,对臭氧和二氧化硫的抗性极强,还可吸收氯气。

2 美国的品种选育

美国红枫品种繁多,美国将这些品种分为种内品种和杂交品种。据不完全统计,美国红枫目前至少有 90 个品种。国内引种将美国红枫分为传统种质资源和杂交种质资源。传统种质资源是从美国红枫中根据秋季叶色的变化选育出的一系列品种。主要包括‘十月光辉’(October Glory)、“夕阳红”(Red Sunset)、“秋华”(Autumn Glory)、“秋实”(Autumn Spire)、“秋艳”(Autumn Flame)、“红贝利”(Burgundy Belle)等。‘十月光辉’变色期较晚,红叶期长且叶色稳定,是美国最受欢迎的美国红枫品种之一^[10],该品种曾获得英国皇家园艺协会的嘉奖。

杂交种质资源也称为美国改良红枫。早在 20

世纪 40 年代,Freeman 就开始了美国红枫的杂交育种工作,并选育出‘自由人槭’,该品种是在红花槭和银白槭的杂交子代中筛选和培育出的^[11-12],综合了红花槭观赏性和银白槭的广泛适应性,后来逐渐发展为一系列品种,称之为‘自由人’系列。主要包括:‘自由人槭’(Acer × freemanii ‘Autumn Blaze’)、“秋火焰”(Acer × freemanii ‘Jeffersred’ Autumn Blaze)、“艳阳天”(‘Autumn Fantasy’)等。其中,‘秋火焰’秋季叶色从橙红色转为大红色,且变色率高达 100%,观赏价值很高。

3 引种历史与现状

起初,槭属植物是作为糖材两用的经济树种引入我国。槭树属植物中的红糖槭、糖槭、黑糖槭和银糖槭含糖量最高。1927 年辽宁省熊岳树木园引进的银槭,其引种方式不详^[13];1948 年庐山植物园从加拿大引进的半磅糖槭(Acer saccharum var Conicnm Fern.)种子,引种之后,一半在当年春播(发芽率 20%),另一半在当年秋播(发芽率 10%),植株经栽植后,长势良好,1952 年又进行了糖槭的扦插试验,其生根成活率在 90% 以上^[14];1979 年浙江省从加拿大不列颠哥伦比亚大学林学系和美国哈佛大学阿诺德植物园引进红糖槭的种子和枝条,然后于 1980 年进行育苗试验,糖槭种子成活率在 1%^[13];1973 年,武汉地区为了研究北美槭属产糖种引种驯化的需要,将红糖槭、糖槭原产地生态条件和国内相关地区的生态条件进行对比,结果证明其原产地的生境和长江中下游地区、华北、东北广大地区相类似,其中,长江中下游部分山区与原产地生态环境非常相近,神农架地区在雨量、气温、生长期、森林分布以及伴生植物方面接近与其原产地集中分布区的南部,证实我国具有引种驯化的客观条件^[15];1981 年,上海市植物园建立了槭树园,开展了槭属植物资源的挖掘、保存和利用,截至到 1984 年底,收集到 78 种槭属植物,园艺品种 30 多个,部分种已经产生子代,8 种槭树越夏生长良好,已经推广应用,槭属植物的研究取得较大进展^[16];昆明植物园自 1989 年开始,收集国内外槭属植物种子 75 种,并筛选出 21 种进行推广应用。

20 世纪 90 年代之前,国内对于美国红枫这一观赏树种的关注较少。之后,槭属植物的研究工作进入到了一个黄金阶段^[17],国内各大植物园对于槭属植物的引种和种质资源保存工作均取得较好的

进展。槭属植物的研究工作从开始作为经济树种的引种,到种质资源收集,逐步过渡到作为园林绿化美化彩叶树种引进到我国。引种的重心开始从各大科研院所、高校、植物园等逐步过渡到国内各大园林机构。美国红枫作为槭属植物种较为进化的种^[18],具有很高的观赏价值。这一时期,国内各大园林公司从国外大量引进美国红枫品种,培育成品苗木。‘红点’(Red Point)、“秋火焰”(Autumn Blaze)、“夕阳红”(Red Sunset)、“十月光辉”(October Glory)等诸多品种都是在此之后被引入我国的。

引种、栽培和推广等试验证实,美国红枫适应性强,可在我国北京、河北、山东、辽宁、吉林、河南、陕西、安徽、江苏、上海、浙江、江西、湖南、湖北、云南、四川、新疆等地区正常生长,但不同地区的生长状态不尽相同。辽宁省的美国红枫引种栽培试验,在凤城地区,植株长势良好,叶色优美;沈阳地区引种的美国红枫却存在越冬困难的问题,1年生‘自由人槭’表现出较强的抗寒性,3年生美国红枫的抗寒性远不如1年生植株,4年生美国红枫经人工冷冻处理后可在沈阳地区安全越冬^[19];2005年,山东省引种10个美国红枫优良品种并在泰安进行栽培试验,试验结果表明,‘秋焰’和‘冷俊’2个品种生长迅速,秋季红叶鲜艳,红叶期长,可在山东及周边地区推广栽培,且这2个品种具有较强的抗寒性,可以继续向北引种试栽^[20];四川地区经过10a的引种栽培试验证明,美国红枫在四川地区的生长量与原产地相似,适应性强,速生性好,可以作为园林绿化美化树种进行推广^[21];青岛地区从美国俄勒冈州引进12个美国红枫品种进行引种试验,通过综合观察其生长状况、叶色、抗寒、抗旱以及病虫害等,筛选出适合推广应用的‘夕阳红’‘十月光辉’以及‘红点’3个优良品种。

4 繁育研究进展

植物繁殖方式分为有性繁殖和无性繁殖。目前,美国红枫的繁殖方式主要有种子繁殖、扦插繁殖、组织培养繁殖等方式。

4.1 种子繁殖

利用种子繁殖,可在短时间内获得大量子代,其繁殖速度快、操作简单、便于运输、子代适应性强等优点。但种子繁殖的子代会出现性状分离现象,导致亲本优良性状难以保存;种子繁殖是筛选和培

育新品种的重要途径。发芽率是限制种子繁殖的一个重要因素,种子休眠、外界环境的影响^[22]等是影响发芽率的重要因素。种子繁殖必须提高种子发芽率,保证播种育苗的整齐性。

美国红枫3月左右开花,翅果6月成熟。国内对于美国红枫的引种时间较短,目前红枫种子主要从美国、加拿大等地进口。干燥的美国红枫种子具有休眠性^[23],王白坡等利用美国和加拿大的红糖槭种子进行播种繁殖,其成苗率还不到1%^[13]。由此可见,提高种子发芽率,保证美国红枫的成苗率显得十分重要。赵之峰等在国内率先使用美国红枫种子开展工厂化育苗技术研究,美国红枫能适应多种基质类型,并初步总结出美国红枫工厂化育苗技术体系^[24];桂勇武等在研究美国红枫播种育苗技术中发现,种子在浸泡、消毒并在2—5℃冷藏后,其发芽率可达到67%,与之前不到1%的成苗率相比,取得很大进步^[25];李家孔等利用0.5%高锰酸钾浸泡1.5—2h,43℃温水浸种24h,1—5℃冷藏处理20—30d,再经催芽到种子开裂30%左右进行播种,可保证较高成活率^[23];不同培养环境同样影响种子萌发率,室温培养下的种子发芽率和发芽指数低于光照培养箱(温度25℃,光照时间12h,光照强度4000lx)培养^[26]。

目前,国内在美国红枫种子育苗方面取得很大进展,明显地提高了发芽率和发芽指数。国内引种美国红枫,虽然部分引种已经进入结实期,但其产量、质量远远满足不了国内对于苗木的需求,但进口种子运输距离远,育苗成本高,从长远来看,不利用美国红枫的推广应用。

4.2 扦插繁殖

在国外,美国红枫繁殖以种子为主。国内繁殖依赖从国外进口种子,育苗成本高,苗木价格居高不下,因此发展无性繁殖育苗技术迫在眉睫。

早期引种美国红枫、银白槭等除了以种子育苗外,还采用枝条进行扦插繁殖。国内早期栽培和推广也是利用枝条进行扦插^[13]。影响美国红枫扦插成功率的主要因素是扦插枝条的质量,最适扦插的枝条为去顶芽嫩枝,嫩枝薄壁细胞多,分生能力强,有利于生根^[27-28]。李幼平进行美国红枫嫩枝扦插试验,在6月下旬至7月中旬进行扦插,这一时期温度适宜,有利于分生细胞活动,20d左右即可生根,生根时间短,成活率高^[29];ABT生根粉在嫩枝扦插的效果较NAA和IAA好,100mg/L的ABT浸泡6h

后用于扦插,30 d 左右的生根率可超过 66%^[30]。硬枝扦插以 1 年生下部枝条,在腋芽尚未萌动之前扦插为宜,这一时期的组织相对幼态,有利于生根^[31-33];ABT 和 IAA 对于硬枝扦插生根效果较好,吴雅琼等(2016)利用在 200 mg/L 的 ABT 溶液中浸泡 0.5 h 后的枝条进行扦插,其生根率可达 83.3%;郝木征等利用 2 000 mg/L 的 IAA 溶液对‘红点’枝条浸泡 0.5 h 后扦插,生根率可达 76.3%^[34]。此外,不同基质配比、不同品种、采穗母株的树龄等因素均会对生根造成影响^[35-36]。

美国红枫的软枝和硬枝扦插均取得突破,大幅度提高了扦插的生根率,不仅保留了原有植株的优良性状,克服种子因休眠导致的不能发芽的问题^[37],而且缓解了国内对于美国红枫苗木的需求,对于美国红枫的推广起到了重要作用。

4.3 组织培养

采用组织培养繁殖美国红枫,可以保留植株的优良性状,避免种子繁殖带来的性状分离问题,对于扦插难以生根的品种,利用组织培养可在短期内获得大量幼苗。

早期引种的美国红枫,因数量少,难以展开常规的引种驯化试验,1985 年傅萼辉率先在国内展开红糖槭的茎段离体培养研究,最终在 52 种培养基中筛选出适合红糖槭组织培养的培养基配方,发现 0.5 mg/L 的 IBA 对于诱导幼苗生根的效果最佳^[38];王振龙等在对美国红枫种胚进行愈伤诱导的过程中证明,低浓度的无机盐对于愈伤组织的诱导有促进作用^[39];宗树斌等以美国红枫实生苗叶片和嫩茎段为外植体进行研究,发现腋芽发育启动培养的取材时期以 4—5 月最佳,其最高萌动率超过 90%^[40];李莹等的外植体消毒、褐化以及外植体启动试验表明,以半木质化茎段为外植体,用 1% 次氯酸钠灭菌 4 min,外植体的成活率最高为 82.22%,培养初期每 3 d 转移至新鲜培养基中,重复 2—3 次即可彻底去除褐化^[41];曹受金等发现 NAA,IAA 及 6-BA 等激素组合对美国红枫不定芽诱导、增殖和丛生芽生根培养有较大的影响^[42];吴雅琼等以美国红枫腋芽茎段为外植体,最佳消毒方式为以 70% 酒精浸泡 30 s,1% 升汞消毒 6 min,成活率和抽芽率最高^[43]。

目前,国内对于美国红枫组织培养的研究取得了较好成绩,已经筛选出适合进行组织培养的外植体以及培养基配方。此外,通过 MS 培养基培养带腋芽茎段的方式获得无菌外植体,添加 PVP、维生

素 C 减轻外植体褐化现象,优化光照减轻组织培养苗的应激症状^[44-46],可以进一步改善美国红枫组织培养体系,提高成活率。

5 不足与建议

彩叶植物在园林应用中具有重要地位,其丰富的色彩,多样的园林应用方式,备受人们喜爱。国外在彩叶植物的品种选育、栽培和推广应用方面做了大量工作,相比之下,国内在彩叶植物方面的研究起步晚,但发展迅速。

美国红枫作为最重要的行道树彩叶树种之一,观赏价值高,适应性强,应用广泛,备受北美人民的喜爱^[7]。国内引种之后,美国红枫幼苗价格曾一度居高不下,究其原因无外乎 2 个方面,其一是优良的观赏价值和较强的适应性,其二是苗木数量难以满足国内市场需求。引种和栽培试验证明,可在至少 17 个省进行推广应用,东、北自吉林、辽宁,西到新疆,南到云南,其适应性不言而喻。尽管美国红枫在国内进行了大范围推广应用,但和国内引种的数量相比,部分地区的推广应用品种较为单一。其原因在于,2000 年后引种工作以园林公司和育苗基地为主,引种和驯化方面的研究尚未形成体系。一方面限制了美国红枫多品种大范围的推广,另一方面造成了自身的经济损失。

近年来,美国红枫在我国还是以种子繁殖为主。种子繁殖数量大、成本低,和扦插苗及组织培养苗相比,实生苗根系发达,生长健壮,抵御外界不良环境的能力强,此外种子繁殖还是品种选育的重要途径。但国内尚未建成可用于生产大量优质红枫种子的种子生产基地,通过种子繁殖获得大量苗木,还是需要依靠从美国、加拿大等地区进口种子。目前,美国红枫优良品种主要通过嫁接和扦插进行扩繁。组织培养体系的建立,可在短期内获得大量性状优良的幼苗,但距离规模化生产还有较长的路要走。总体上讲,无性繁殖技术可以缓解国内市场对于苗木的需求,从长远来看,不利于国内展开美国红枫的品种选育工作。

综上所述,鉴于美国红枫引种的现状,为了更好地推广应用,提出以下建议。首先是国外优良品种的进一步引进。美国红枫品种至少有 90 个,目前我国引种的仅占 1/5—1/4,可供国内引进的美国红枫品种还有很大的空间,对丰富园林绿化树种以及育种材料意义重大。其次,引种时要注重原产地的

选择。北方引种美国红枫应尽可能在美洲高纬度地区引种,以减少对寒冷适应性的风险,而长江流域及以南地区引种,应从美洲低纬度引种,更易保持色彩的稳定性。再者,还应注重砧木的试验筛选。由于美国红枫为乔木,也适合以美国红枫的实生苗作砧木,而砧木的适应性(对寒冷、高温、干旱、水湿等)必然影响品种的生长。最后,从长远考虑,必须开展美国红枫的新品种选育研究,既可从种子繁殖的苗木中选择,还应考虑人工杂交选育。引种的过程也是一个不断选育的过程,充分利用引种材料开展种内的良种选育工作,并在此基础上进行种内不同品种间或种间的杂交选育工作,还可以尝试美国红枫与国内已有红枫进行种间杂交选育工作。

参考文献:

- [1] INMAN W. Hydraulic resistance: a determinant of short term stomatal conductance signaling in disparate xylem anatomy of red maple (*Acer rubrum* L.) and shumard oak (*Quercus shumardii* Buckl.) [J]. Dissertations & Theses, Gradworks, 2006, 41(4): 1058.
- [2] BAUERLE W L, BOWDEN J D, WANG G G. The influence of temperature on within-canopy acclimation and variation in leaf photosynthesis: spatial acclimation to microclimate gradients among climatically divergent *Acer rubrum* L. genotypes [J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58(12): 3285-3298.
- [3] TANENTZAP F M, RYSER P. Decreased resistance to embolism in red maple (*Acer rubrum* L.) saplings within a heavy metal contaminated region [J]. Environmental & Experimental Botany, 2015, 109: 40-44.
- [4] O'NEILL E G, JOHNSON D W, LEDFORD J, et al. Acute seasonal drought does not permanently alter mass loss and nitrogen dynamics during decomposition of red maple (*Acer rubrum* L.) litter [J]. Global Change Biology, 2003, 9(1): 117-123.
- [5] WHEELER J A, GONZALEZ N M, STINSON K A. Red hot maples: *Acer rubrum* first-year phenology and growth responses to soil warming [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2016, 47(2): 159-165.
- [6] CARLSON R W. Reduction in the photosynthetic rate of *Acer*, *Quercus* and *Fraxinus* species caused by sulphur dioxide and ozone [J]. Environmental Pollution, 1979, 18(2): 159-170.
- [7] CHEN Z, LU X Y, XUAN Y, et al. Transcriptome analysis based on a combination of sequencing platforms provides insights into leaf pigmentation in *Acer rubrum* [J]. BMC Plant Biology, 2019, 19.
- [8] DEFOREST J L, MCCARTHY B C. Diminished soil quality in an old-growth, mixed mesophytic forest following chronic acid deposition [J]. Northeastern Naturalist, 2011, 18(2): 177-184.
- [9] DUFFIELD J. W. Atlas of United States Trees. Volume 1. Conifers and Important Hardwoods [J]. Economic Botany, 1972, 18(1): 97-98.
- [10] DIRR M A, STEPHAN M. Manual of woody landscape plants: their identification, ornamental characteristics, culture, propagation and uses [M]. Champaign, IL: Stipes Publishing Co, 1990: 1007.
- [11] FREEMAN O M. A red maple, silver maple hybrid [J]. Journal of Heredity, 1941(1): 1.
- [12] MCNAMARA S, ZUZUK K, ROSE N, et al. 'Firefall' (TM) freeman maple [J]. Hortscience, 2005, 40(1): 269-271.
- [13] 王白坡, 刘洪涛, 钱银才. 糖槭树的引种栽培试验 [J]. 浙江林学院学报, 1986(2): 121-123.
- [14] 王秋圃. 加拿大糖槭的引种试验 [J]. 林业科学, 1957(3): 147-148.
- [15] 钱敏之, 傅萼辉. 银糖槭引种驯化的研究 [J]. 林业科学, 1980(4): 313-317.
- [16] 冯燮舟, 刘钢. 槭属植物的引种 [J]. 上海农业科技, 1987(2): 34-35.
- [17] 胥明. 三种槭属植物的适应性栽培的研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2014.
- [18] 徐廷志. 槭属的一个系统 [J]. 云南植物研究, 1996(3): 277-292.
- [19] 陆秀君, 曹婷, 梅梅, 等. 美国红枫幼树在沈阳地区的抗寒性比较 [J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(10): 28-30, 45.
- [20] 尹燕雷, 苑兆和, 冯立娟, 等. 国外枫树优良品种引种试验初报 [J]. 山东林业科技, 2009, 39(2): 18-21.
- [21] 谢瑛, 曾虹. 美国红枫引种栽培初报 [J]. 四川林业科技, 2016, 37(3): 142-144.
- [22] 张明宏, 叶景丰, 金山, 等. 影响树木播种和扦插繁殖的因素研究 [J]. 安徽农业科学, 2014, 42(1): 135-136.
- [23] 李家孔, 王玉英, 曾德禄, 等. 美国红枫种子育苗技术 [J]. 西南园艺, 2006(4): 45-46.
- [24] 赵之峰, 刘启虎, 魏明亮, 等. 北美鹅掌楸和北美红花槭工厂化大批量育苗主要技术环节对育苗效果的影响 [J]. 山东林业科技, 2004(6): 26-27.
- [25] 桂勇武, 郭成宝, 高年春. 4种引进彩叶树种的播种育苗技术研究 [J]. 江苏农业科学, 2006(6): 271-272.
- [26] 李玉娟, 张健, 李敏, 等. 影响美国红枫种子发芽因子的研究与分析 [J]. 黑龙江农业科学, 2012(11): 81-83.
- [27] 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.
- [28] 任永兰. 银糖槭扦插育苗与几个因子的关系 [J]. 湖南林业科技, 1983(2): 32-33.
- [29] 李幼平. 美国红枫嫩梢扦插育苗技术 [J]. 防护林科技, 2014(1): 119-120.
- [30] 刘争. 美国红枫扦插繁育技术研究 [J]. 安徽农学通报, 2013, 19(12): 90-91.
- [31] 何素芬, 吴戎, 顾大勤. 美国红枫硬枝扦插育苗试验研究 [J]. 四川林业科技, 2014, 35(1): 61-62, 88.
- [32] 吴雅琼, 刘婧, 汪贵斌, 等. 美国红枫硬枝扦插技术研究 [J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(6): 926-931.
- [33] PARANI M, RUDRABHATLA S, MYERS R, et al. Microarray analysis of nitric oxide responsive transcripts in *Arabidopsis* [J].

- Plant Biotechnology Journal, 2004, 2(4):359-366.
- [34] 郝木征,王甜甜,李 萍,等.美国红枫‘红点’硬枝扦插繁殖技术研究[J].园林科技,2017(1):8-12.
- [35] MCNAMARA S, PELLETT H. *Acer rubrum* ‘Autumn Spire’[J]. Journal of Environmental Horticulture, 1993, 11(3): 147-148.
- [36] 陆秀君,洪晓松,刘景强,等.扦插基质及生根促进剂对美国红枫扦插繁殖的影响[J].西北林学院学报,2015, 30(5): 138-142.
- [37] 翟大才.林木无性繁殖及其在林业生产中的应用进展[J].江苏林业科技, 2003,30(5):46-49.
- [38] 傅萼辉,徐惠珠,陈建国.红糖槭(*Acer rubrum* L.)茎段离体培养研究[J].武汉植物学研究,1989,7(2):173-178,211.
- [39] 王振龙,张 雷,翟玉敏,等.美国红枫种胚愈伤组织诱导、增殖培养技术研究初报[J].辽宁农业职业技术学院学报,2005, 7(4):6-7.
- [40] 宗树斌,周春玲,牛立军,等.美国红枫的组织培养研究[J].山东林业科技,2006(1):1-3.
- [41] 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.
- [42] 曹受金,刘辉华,田英翠.美国红枫组织培养与快繁技术的研究[J].湖北农业科学,2010,49(11):2643-2645.
- [43] 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.
- [44] ZHAO X Q, YUAN Z H, YIN Y L, et al. The influence of thidiazuron on proliferation of *Acer × freemanii* in vitro[J]. Acta Horticulturae, 2012, 937(937):143-147.
- [45] WATMOUGH S A, HUTCHINSON T C. Metal resistance in red maple (*Acer rubrum*) callus cultures from mine and smelter sites in Canada [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1997, 27(5): 693-700.
- [46] SINGH A S, JONES A M P, SHUKLA M R, et al. High light intensity stress as the limiting factor in micropropagation of sugar maple (*Acer saccharum* Marsh.) [J]. Plant Cell Tissue and Organ Culture, 2017, 129(2): 209-221.

(上接第 23 页)

林间达到一定数量和形成优势种群,因此要建立持续长效机制,连续多代(几年)释放。在释放天敌昆虫前,需要重视虫情调查和预测预报,准确掌握害虫发育进度,选择最佳时机释放天敌昆虫,以提高生物防治的效率。

参考文献:

- [1] 彭方仁,李永荣,郝明灼,等.我国薄壳山核桃生产现状与产业化发展策略[J].林业科技开发,2012, 26(4): 1-4.
- [2] 李晓储,陈厚照.薄壳山核桃资源在华东地区开发利用的调查研究[J].江苏林业科技,2013, 40(1): 1-5,15.
- [3] 刘广勤,张 俊,张 勇,等.江苏薄壳山核桃种植现状及发展策略[J].安徽农业科学,2007, 35(35):11458-11459.
- [4] 仲 磊,董筱昀.江苏薄壳山核桃和油用牡丹发展现状与对策[J].江苏林业科技,2018, 45(3): 46-50.
- [5] 何海洋,彭方仁,李小飞,等.薄壳山核桃果园虫害调查分析[J].江苏林业科技,2015, 42(2): 10-14,38.
- [6] 巨云为,赵盼盼,黄 麟,等.薄壳山核桃主要病害发生规律及防控[J].南京林业大学学报(自然科学版),2015, 39(4): 31-36.
- [7] 焦晓旭,陈 鹏,苏 一,等.薄壳山核桃八角主要害虫的天敌类群及其分布[J].林业调查规划,2011,36(4): 52-54,57.
- [8] 姚万军,杨忠岐.利用管氏肿腿蜂防治光肩星天牛技术研究[J].环境昆虫学报,2008, 30(2): 127-134.
- [9] 魏建荣,姜 莉,牛艳玲.天牛的重要天敌——花绒寄甲的研究[C]//第三届中国森林保护学术大会论文摘要集,2010: 228-229.