

榆树种质资源的研究进展

赵思思, 梁海永, 王晓叶, 兰济艳, 魏佳慧, 赵燕琴

(河北农业大学 林学院, 河北 保定 071000)

摘要: 榆树是我国北方的常见树种。结合国内外情况主要对榆树种质资源概况、繁殖技术、种质资源收集与育种、诱变育种与良种选育、应用价值及其展望等几个方面的研究进行综述, 详细介绍了各个方面的近些年来研究成果, 并展望了榆树种质资源的研究、开发和利用前景, 讨论了榆树种质资源研究、收集、保存和利用中存在的问题以及改进途径。

关键词: 榆树; 种质资源; 研究进展; 展望

中图分类号: S 792.19

文献标志码: A

A study on the research progress of elm germplasm resources

ZHAO Sisi, LIANG Haiyong, WANG Xiaoye, LAN Jiyan,

WEI Jiahui, ZHAO Yanqin

(College of Forestry, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China)

Abstract: Elm is a common tree species in northern China. This paper combines the domestic and foreign research on the elm germplasm resources, reproductive technology, germplasm collection and breeding, mutagenic breeding and seed selection, application value and its outlook and so on. It reviewed the research achievements in recent years, and looked ahead to the prospect of elm germplasm research, development and utilization. The existing problems in the research, collection, preservation and utilization of elm germplasm resources were discussed and the improvement methods were also provided.

Key words: *Ulmus* L.; germplasm resources; research progress; prospect

榆树(*Ulmus* L.)为榆属植物的总称,约有 40 余种,中国有 24 种,南北均产。榆树喜光,耐旱,对气候、土壤适应性强,而且全身是宝,榆叶、榆皮、榆钱、榆根皮等都具有很高的食用和药用价值^[1]。榆树木材坚韧,耐朽力强,是优良速生的用材树种和干旱地区、盐碱地造林的优良树种。近些年,随着社会不断进步和生活水平的不断提高,对榆树园林绿化观赏、食用、药用、饲用、用材等方面的利用也越来越广泛。

榆树历来是我国北方五大阔叶造林树种之一,也是河北主要的乡土树种之一,具有良好的耐旱、耐寒、耐盐碱和抗风能力,是我国北方广大平原、干旱草原、滨海盐碱地、沙荒地营造用材林和防护林的重要树种。随着社会经济的发展、人类活动的影响,自然植被遭到破坏,天然的榆属树种资源存活量急剧减少甚至处于濒危的状态^[2]。目前,除了少数地区外,大规模榆林已不多见。

但近年来在科研和生产方面榆树都未受到应有

收稿日期:2017-01-09;修回日期:2017-03-31

第一作者:赵思思(1991-),女,河北石家庄人,在读硕士研究生,研究方向为林木遗传育种。

通讯作者:梁海永(1973-),男,河北保定人,大学本科,副教授,主要从事林业生物技术等研究工作。

的重视。人们对这个树种的优良特性认识不足,没能充分挖掘其树种优势。另外,白榆(*Ulmus pumila* L.)的抗虫性较差,在一定程度上影响了榆树总体的发展和利用。国家在“六五”到“八五”期间选育出的一批速生白榆优质无性系,虽然在一些地区具有较好的适生性和抗虫性^[3-4],但是在广阔地区榆树仍受到上述主要问题的严重影响。由于在“九五”期间榆树育种项目的中断,目前榆树的研究处于低谷,榆树种质资源急剧减少,需要根据国内外榆树种质研究发展利用的现状,调整榆树研究方向,使这一重要的树种资源得到科学的研究、开发和利用。为此,拟结合国内外情况对榆树种质资源概况、繁育技术、种质资源收集与育种、应用研究进行综述,并就存在问题和改进途径进行探讨和展望。

1 树种种质资源概况

榆科榆属植物约有 40 余种,主产地位于北温带。中国有 24 种,分布几乎遍布全国,如北方有白榆、黑榆(*U. davidiana* Planch.)、大果榆(*U. macrocarpa* Hance)、榔榆(*U. parvifolia* Jacq.)等;南方有台湾榆(*U. uyematsui* Hayata)、多脉榆(*U. castaneifolia* Hemsl.)、杭州榆(*U. changii* Cheng)等;西南有昆明榆[*U. changii* Cheng var. *kunmingensis* (Cheng) Cheng et L. K. Fu]、小果榆(*U. microcarpus* L. K. Fu)等。我国榆属植物主要分布在东北、西北、华北、华东等地,多生于海拔 1 000 m 以下河流两岸、山麓和田边。

2 榆树繁育技术研究

榆树的繁殖方式主要分为有性生殖和无性生殖 2 种。

姜翠对营养钵苗和直播造林的白榆种子进行了发芽试验和营养育苗技术的研究,结果表明:当白榆土壤含水量小于 17% 或含盐量大于 0.3% 时,种子不能完成较好的萌发,发芽率低^[5]。李荫贵对裂叶榆[*U. laciniata* (Trautv.) Mayr] 种子进行研究,结果表明,裂叶榆采种困难,育苗技术性强,种子虽属短期休眠,但不经催芽,在自然条件下很难萌发^[6]。赵永春通过对榆树 1 a 生苗进行植物生长素喷施试验,结果表明,植物生长素不仅能够促进榆树幼苗的苗高、地径生长,同时更能增加苗木的重量,使苗木

达到优质壮苗的要求^[7]。马军建等通过将榆树种子去翅机械播种来缩短育苗周期,发现这种繁殖技术是解决传统的榆树育苗 2 a 出圃为 1 a 壮苗出圃的有效方法^[8]。

都然等研究榆树的嫩枝扦插繁殖技术,探讨不同浓度的生根粉、基质以及环境因子对插穗生根的影响,结果表明,以浓度为 $1\ 000 \times 10^{-6}$ g/L 生根粉 ABT 1 混合滑石粉做促根处理生根率最高,达到 91.33%^[9]。马传广选择木栓榆(*U. thomasi* Sarg.)、厚叶榆(*U. crassifolia* Hemsl.)进行了石灰岩山区扦插育苗和造林试验,结果表明:插穗粗度以大于 0.6 cm 为宜;用 ABT 1 号生根粉处理插穗可提高成活率,浓度以 500 mg/L 效果最为理想^[10]。嫁接技术是影响榆树良种繁育的重要因素。付彦秋以白榆、山榆(*Ulmus davidiana* Planch. var. *japonica* Nakai)作砧木,采用劈接、皮下接、嵌芽接的方法对金叶榆(*U. pumila* cv. Jinye)进行嫁接,结果表明:以白榆和山榆作砧木均可,嫁接方法以皮下接为最佳^[11]。王义祥等以大果榆嫁接金叶榆也获得了成功,成活率较高^[12]。王承禄采用插皮接、劈接和腹接,采用 0.8 cm 粗的接穗,并涂刷果树专用保湿剂,用白榆砧木原地砧苗嫁接或植砧后第 40 天嫁接,嫁接效果良好,成活率均达到 92% 以上;用质量浓度为 100 mg/L 的 IBA 溶液处理硬枝,插穗的生根率只有 13%,其他激素处理生根效果更差^[13]。

3 榆树种质资源收集与育种研究

榆树是我国北方重要的乡土树种之一,其生长的自然生态环境复杂多样。经过长期的自然选择和人工培育,榆树种质资源非常丰富。然而,由于人类活动的影响,自然植被受到严重损害,天然榆树资源急剧减少,现在处于濒危状态。目前,除了森林公园、林场、寺庙、村庄周围的风水林有少量天然榆树仍然保存下来,大片的天然榆树林已不多见。目前,村庄道路两旁虽有榆树成长,但是缺乏管理,而榆树又是很好的饲料,牲畜破坏严重,难以长成大树。再加上多年来各地对旧城镇进行改造和开发,导致很多古老的榆树被砍伐^[14]。榆树种质资源收集与育种研究变得十分迫切。

3.1 榆树引种驯化研究

引种驯化是增加本地树木种类,丰富本地种质

资源,进行良种选育,实现林木良种化,解决林业生态建设尤其是人工林树种单一等问题,提高林地生产效率的有效途径^[15]。

夏尚光在温室条件下对白美国引种的岩榆(*U. thomasi* Sarg.)、乡土树种白榆和南方岩榆3种1a生榆树幼苗进行盐分和水胁迫试验,通过测量耐盐耐旱的生理生化指标,对它们的耐盐耐旱性进行了综合评定。结果表明:美国岩榆、白榆和南方岩榆都有较强的耐旱、耐盐性,美国岩榆的耐盐性、耐旱性最强,南方岩榆次之,白榆最低。经过研究,美国岩榆、南方岩榆适宜引种栽培,可以作为石灰岩山区植被恢复中首选的参考树种^[16]。刘喜仁通过大叶榆(*Ulmus laevis* Pall.)引种繁育及山地造林试验,发现大叶榆在引种区表现出较强的适应性和抗性,6a没有冻害及病虫害发生^[17]。夏尚光在我国北亚热带安徽滁州琅琊山林场进行美国岩榆和南方岩榆引种育苗试验,旨在验证其对当地土壤和气候条件的适应程度^[18]。刘迎彩在临沂地区对圆冠榆(*Ulmus densa* Litw.)进行引种繁育试验,对圆冠榆的物候期、分枝习性、冠形特点及其抗寒和抗虫能力进行了观测,结果表明,圆冠榆生长良好,抗寒、抗虫能力较强,在临沂地区适应性较强,对抗榆紫金花虫和榆毒蛾能力均优于白榆,而且没有受到冻害的影响^[19]。

3.2 资源保存与评价研究

目前,我国的种质资源保存分为原生境保存、非原生境保存和设施保存3种。张建国、刘以华等为了保存对自然选择和逆境适应能力特别强的优良基因资源,在全国开展了白榆种源试验、优树选择和良种的选育工作,还收集了白榆优良基因资源,进行了保存利用工作;采用“非原生境保存”法对白榆优良基因资源进行收集,并展开了白榆无性系测定、子代测定、杂交育种和种子园建设的工作^[20]。种子保存主要是以种子繁殖为主的方式。种子保存中的关键是将种子含水量控制在一定范围(4%~6%),这样可以安全保存30a以上。榆树种子经过常规干燥以后就可以进行超低温保存,比如用液氮保存种子。但是,采用液氮保存时由于大多数的种子在干燥过程中往往会发生脱水,致使种子活力降低,影响保存效果。

榆次县林业局对白榆种子隔年贮藏试验证明,

种子放至翌年播种,因其寿命短,极易丧失发芽能力,通过低温贮藏可以显著提高发芽率^[21]。程红焱用 Van't Hof 和 D'Acry/wat 热力学分析方法对榆树种子水分的热力学吸附特征进行了分析,发现对超干处理较敏感的榆树种子的热力学参数比耐干种子的 K 与 K' 值较小,即在低的相对湿度环境中,耐干种子对水分的吸附力量和吸附位点数目都比较强^[22]。

3.3 诱变育种与良种选育研究

3.3.1 诱变育种研究 庞金瑄1972年开始对榆树进行种间杂交育种,并先后利用十几个品种进行了近30个杂交组合试验,在后期利用杂种做亲本进行了复交,并建立了无性系对比试验林^[23]。张兴调查了黑龙江省、山东省、浙江省和甘肃省的榆树植物资源,通过形态学标记和 ISSR 分子标记研究榆树属资源之间的遗传关系,并且研究利用 $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射白榆的种子,检测白榆的形态、生理和分子生物学指标,以期获得观赏性良好且抗性强的榆属植物资源,为新品种选育和应用奠定基础^[24,25]。Lineberger 等则通过原生质体再生得到的植株杂种和离体筛选关于 DED 的美国榆愈伤突变体3种方式进行了榆树种质改良研究^[26]。

3.3.2 良种选育研究 国内外对榆树资源的开发利用较早,并进行了大量的研究工作。王连洲等在沧州盐山地区进行了选育白榆品种优良无性系的研究,选育出的“盐山1号”对环境有较强的适应能力^[27]。张均营、黄印冉在河北省辛集市绿森苗木场致力于彩叶植物的研究培育工作。经过多年种内杂交和实生苗选育试验,在淘汰了若干性状表现不理想的品系后,一种新的榆树品种——金叶榆,于2000年春季培育成功^[28]。上海杉一植物科技有限公司利用组织培养技术,选育出有一定抗盐碱能力的速生榆树品种。德馨研究发现,速生榆的叶比普通白榆叶大,最大可达12cm;此外,速生榆比普通白榆干性强,侧枝更丰富、树皮也比普通白榆更光滑^[29]。Lindstrom 等对6个榔榆品种进行了抗冻性研究,希望选育出能代替广泛栽植的美国榆树的优良品种^[30]。

3.4 榆树杂交育种研究

优良的榆树新品种是获得优质林木价值的基础,杂交育种是非常重要的育种手段,在榆树整个育

种中也取得了显著的成效。我国榆属植物有丰富的树种资源可作为杂交选用。国内也有过不少学者致力于榆树种间、种内的杂交^[27]。但是做得最多、成效最好的仍然是种间杂交和实生选育^[31]。国外从 20 世纪 30 年代就开始研究榆树杂交。Townsend 等选用 5 个抗病的榆树无性系,通过控制授粉,获得了 686 株抗病榆树苗木;对苗木接种 DED 病原菌,经过观察测定,选出了 10 个抗病害且具有观赏性状的无性系;而且,通过进行田间试验得出了在决定 DED 抗性方面特殊配合力和一般配合力均很重要的结果^[32]。朱延林等研究选育了生长比较迅速、干型优良、对榆蓝叶甲(*Pyrrhalta aenescens*)有一定抗性的优良无性系 65212^[33-34]。董绪曾等通过自然选择对具有榆蓝叶甲抗性的优良白榆单株,通过嫁接的繁殖方式获得优良无性系,结果表明:“肃抗 1 号”与普通白榆比较,其幼虫死亡率显著高于普通白榆,并且树木年平均直径生长量和年平均树高生长量均高于普通白榆,最终选出了“肃抗 1 号”的白榆优良无性系,并广泛应用于生产^[35]。Santamour 报道了在秋天开花的榔榆、9 月开花的秋榆(*U. parri-folia* Jacq.)和其他春季开花的二倍体榆树种之间杂交并结实的研究,结果表明这些杂交组合后代产生的种子生命力比较低、适应性差甚至得不到有生命力的健康种子,但这些杂交后代能够产生健壮的花粉^[36]。国内的榆树杂交育种工作起步比较晚,与国际上先进水平相比,在试验规模、观测时间、多点区域化试验及量化评价等方面仍存在一定差距,尤其是缺少长期持续的育种工作^[37]。

4 应用研究

4.1 食用价值研究

胡雪原、闫福林等用原子吸收分光光度法测定了榆钱中 6 种微量元素,发现榆钱中 Fe、Zn 的含量较高,不仅可以食用,而且具有一定的营养价值和药用价值^[38]。樊金玲等用丙酮提取榆树叶类胡萝卜素,采用高效液相色谱与二极管阵列检测器和液质谱联用技术分析类胡萝卜素组分的结构和含量,研究结果表明:榆树叶中主要的类胡萝卜素组分为叶黄素和 β -胡萝卜素,其在叶片中的含量因采集时间不同会出现差异;干叶片中叶黄素含量范围为 880.2~1 385.4 $\mu\text{g/g}$, β -胡萝卜素含量范围为 142.8~

364.2 $\mu\text{g/g}$;榆树叶因此有望成为叶黄素开发利用的食品新资源^[39]。于淑玲对榆树的食用价值进行研究表明,榆钱果实中铁的含量大约是菠菜的 1 倍,钙含量是菠菜的 3 倍左右,而且榆钱中不含草酸,钙、铁进入人体后很容易被吸收利用。因此,榆钱可促进儿童的生长发育,对骨折愈合具有治疗价值^[40]。

4.2 药用价值研究

榆钱中含有烟酸、抗坏血酸等,还含有大量的无机盐分,可以健脾胃和有效治疗食欲不振;其中,钙和磷含量更丰富,有舒缓神经,治疗神经衰弱、失眠等功效^[1]。王东发现榆树皮中含有多种化合物,并鉴定出了主要的化合物:倍半萜、三萜、香豆素和齐墩果酸等;在研究中发现三萜类化合物具有较强的抗突变、抗肿瘤能力,而齐墩果酸化合物具有抗炎作、抗病毒、护肝、解肝毒和抗皱纹抗紫外的能力,树皮、叶及翅果均有药用效果,具有安神、补肺止咳、利小便的作用^[41]。李世东探讨了复方榆树皮软膏对皮肤刺激性大小及其对临床乳腺癌术后因放疗所致放射性皮肤损伤的防治作用,结果表明复方榆树皮软膏对家兔皮肤有轻度刺激性;对临床乳腺癌术后因放疗所致放射性皮肤损伤有较好的防治效果^[42]。李静对榆荚仁的药用价值进行研究发现,微量元素参与了人体 50%~70% 酶组分以及人体各种生理生化过程;而且榆荚仁锌元素与铜元素的比值为 3.15,对人体也是有利的;榆荚仁还含有较丰富的不饱和脂肪酸,为其新的药用价值的开发利用提供了一定的依据^[43]。

4.3 绿化、观赏应用研究

自 18 世纪以来,榆树在欧洲和北美洲作为街道美化绿化树种被广泛种植。榆树树干高大,树冠伸展宽阔,可以形成“榆树绿色隧道”的感觉。北美洲最常见的榆树种类为美洲榆树,具有生长速度快、适应力强、韧性好能经受强风吹袭、不用时常修剪的优点,曾经是街道绿化树种的首选。现在纽约市华盛顿广场公园西北角生长的“吊人榆”,就是一棵约在 1679 年开始生长的英格兰榆(*U. minor* var. *vulgaris*)。在 1850 年至 1920 年间,最知名的榆树品种是苏格兰榆树,一种经培育得到的“变种无毛榆”嫁接到纯种无毛榆的树干而成的榆树,其树型可改造成类似喷泉状。在当时的很多大花园里都利用这

种榆树作装饰树种。20世纪,英国殖民者在开发澳大利亚时,带了大量英格兰榆到那里种植,并在澳大利亚落地生根,而且由于地缘关系,避过了在欧洲发生的榆树荷兰病。现在的墨尔本街道上仍有英格兰榆树巍然屹立。

金叶垂榆具有较强的耐旱、耐寒和耐盐能力,对土壤的要求不严,叶片颜色金黄,树形呈伞形或球形、垂枝,是优良的景观树种^[44]。杨旭东以乌鲁木齐栽植的榆树为研究对象,得出以下结论:首先,榆树作为乡土树种,生命力相当顽强,所以养护管理较为粗放;应用范围较广,榆树都大量栽植在公共绿地、庭院绿地等;而且,榆树栽培种类较多,主要有金叶榆、圆冠榆、裂叶榆、大叶榆等几大类;此外,榆树的应用方式多样化,可作为风景园林树种、行道树或绿篱等;榆树修剪类型多样,可以根据榆树的生长特点做成圆柱形、圆球形或各种绿色雕塑等多种造型。白榆作为孤植树使用通常位于街心绿岛或者小庭院绿化孤植造景应用中,一般造型形式为伞形或者层片形,以突出其优美的树姿,起到视线焦点的作用^[45]。榆树在造景中不仅可以孤植,还可以设计成对植、列植、篱植和丛植等,有很大的观赏价值^[46]。杨广乐研究的是一位老农发现的芽变品种——金叶垂榆,是我国乡土品种垂榆的变种。金叶垂榆是园林绿化栽植的优良观赏树种,随季节的变化而展现不同的颜色,自然造型好,可作为行道树、景观树^[47]。

5 问题与展望

榆树曾是我国北方五大阔叶造林树种之一,但近年来,由于对这个树种的优良特性认识不足,加上受榆蓝叶甲等昆虫的危害,防治措施不得力,效果较差。在科研和生产方面未受到应有的重视。尤其是在种质资源的收集保存和开发利用上明显落后。在新品种的选育、自根苗繁殖和利用方面更是远远落后于杨、柳等树种。然而,榆树又是传统的药食两用的树种。在饥荒年代,榆树在恶劣环境条件下表现出来的抗寒、抗旱、抗盐碱等优良特性更是其他树种所不能替代的,曾经是老百姓非常重要的粮食树种,也是老百姓的铁杆庄稼。而且它的材质是其他几个主要造林树种无法相比的。特别是在当前绿化太行、再造3个塞罕坝等宏伟的造林工程中,榆树也应

该作为重要树种被深入研究、开发利用。

榆树种质资源的收集、保存和评价工作对于长期的育种研究是非常重要的。大量收集榆树种质资源进行异地保存研究,通过分子标记手段对种质的基因多样性水平进行评价,长期保存核心种质资源,不但可以作为育种材料,也可以节省大量劳力和土地,而且对榆树分类学、生理学及分子遗传学研究都具有十分重要的价值。因此,国外十分重视对榆树基因资源的引种及繁殖研究。中国的榔榆、白榆一直被用作培育抗榆树荷兰病杂种的亲本材料。美国威斯康星州立大学从1958年开始进行榆树种质资源的收集和保存工作。河南、河北、山东等省区曾经收集了国内的白榆资源,并营造了小型资源收集圃。但是,由于多种原因,很小的收集圃又遭到破坏,大量原本属于榆树植被类型的丘陵地和沙地遭到严重的滥垦、过牧等人为破坏,致使榆树的分布面积和种质资源正在逐年减少。所以,榆树基因资源的完全保存、合理开发利用以及深入研究,对中国榆树资源遗传多样性的保护和资源持续利用,乃至对世界榆树遗传育种研究都具有重要的意义。

榆树作为一种传统的野菜资源,嫩叶、果实、树皮营养丰富,口感、风味独特,同时又具有重要的保健作用,榆树根又是传统的中草药。而目前在榆树食品、药品方面的研究开发缓慢,所以榆树有着广阔的开发利用前景。在园林绿化方面,金叶榆得到了很好的开发和利用,英格兰榆树造型、国内榔榆盆景越来越受到重视。榆树种类繁多、筛选出不同品系的榆树品种,并对其加以合理配置,延长叶色变化的观赏期,可以大大丰富植物的色彩景观及立体景观。所以,榆树不仅是综合利用价值很高的树种,而且是适宜北方发展的城乡绿化和防护林重要树种。

参考文献:

- [1] 于淑玲. 榆钱的营养与保健的探讨[J]. 中国食物与营养, 2009(9):60-61.
- [2] 刘新民,赵哈林,赵爱芬. 科尔沁沙地风沙环境与植被[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [3] 朱延林,董铁民,茹桃勤. 白榆速生、高抗榆蓝叶甲优良无性系65212选育研究[J]. 林业科学,1997,33(专刊1):39-46.
- [4] 朱延林,李培菊. 白榆优良无性系选择的新方法[C]. //涂忠虞,黄敏仁. 主要速生丰产树种良种选育文集:阔叶树遗传改良. 北京:科学技术文献出版社,1991:271-275.
- [5] 姜翠. 新疆两种常见造林树种种子萌发耐性试验及营养钵苗培

- 育技术研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2011:17-18.
- [6] 李荫贵. 裂叶榆种子催芽技术的研究[J]. 辽宁林业科技,1987(4):10-14.
- [7] 赵永春. 植物生长素在榆树育苗中的应用[J]. 林业勘查设计,2014(3):55-57.
- [8] 马军建,杨耀民. 榆树种子去翅机械播种育苗技术[J]. 新疆农垦科技,2009(6):14-15.
- [9] 都然. 智能温室控制环境下楸树和榆树嫩枝扦插繁殖技术的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008:19-22.
- [10] 马传广. 石灰岩山区 2 种榆树扦插育苗和造林试验初报[J]. 现代农业科技,2008(16):36.
- [11] 付彦秋,王红,罗娜. 中华金叶榆嫁接繁殖技术[J]. 吉林林业科技,2009(3):45.
- [12] 王义祥,王宇飞,成珊珊. 大果榆嫁接金叶榆培育方法[J]. 吉林农业,2014(10):63.
- [13] 王承禄,刘军,王承柱,等. 中华金叶榆硬枝低接和扦插繁殖试验[J]. 吉林林业科技,2008(5):11-15.
- [14] 徐作新. 关注榆树[J]. 内蒙古林业,2004(3):45.
- [15] 施文. 林木引种与驯化[C/OL]. //山西省林学会. 小康林业建设研究. [2017-02-03]. <http://cfd.cnki.com.cn/article/cpedt-otal-sxly/2005/000/055.htm>.
- [16] 夏尚光. 两种美国岩榆的资源培育及抗逆性研究[D]. 南京:南京林业大学,2008:73-83.
- [17] 刘喜仁,王继志,钟万里,等. 大叶榆引种驯化试验[J]. 北华大学学报:自然科学版,2008(2):152-156.
- [18] 夏尚光. 美国岩榆的引种育苗技术与耐盐耐旱特性研究[D]. 南京:南京林业大学,2005:19-38.
- [19] 刘迎彩,李观和,王国娟,等. 新疆圆冠榆引种试验研究[J]. 山东林业科技,2010(4):54-56.
- [20] 张建国,刘以华,宋福贤,等. 白榆优良基因资源的收集保存和利用的研究[J]. 林业科技通讯,1992(1):12-14.
- [21] 榆次县林业局. 白榆种子隔年贮藏试验[J]. 山西林业科技,1982(3):23-24.
- [22] 程红焱,郑光华,秦红,等. 种子的耐干性及其超干贮藏下的水分热力学分析[J]. 中国农业科学,1996(6):66-74.
- [23] 庞金瑄. 榆树杂交育种研究报告[J]. 山东林业科技,1984(4):1-12.
- [24] 张兴. 榆树辐射诱变育种的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2003:6-10.
- [25] 张兴. 部分榆属种质资源亲缘关系及白榆辐射诱变的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2012:105-106.
- [26] Lineberger R D,Sticklen M B,Pijut P M, *et al.* Use of protoplast, cell, and shoot tip culture in and elm germplasm improvement program[J]. *Acta Horticulture*,1990,280:247-253.
- [27] 王连洲,赵思思,纪清巨,等. “盐山 1 号”白榆选育研究[J]. 河北林业科技,2016(2):20-22.
- [28] 张均营,黄印冉. 彩叶植物新品种——金叶榆[J]. 中国花卉园艺,2003(19):35.
- [29] 德馨. 榆树佳品——速生榆[J]. 花木盆景:花卉园艺,2014(4):10.
- [30] Lindstrom O M,Dirr M A. Cold hardiness of six cultivars of Chinese elm[J]. *Hort Science*,1991,26(3):290-292.
- [31] 张敦论,林新福,王铁章,等. 白榆[M]. 北京:中国林业出版社,1984:21.
- [32] Townsend A M, Douglas L W. Variation in growth and response to *Ophiostoma ulmi* among advanced-generation progenies and clones of elms[J]. *J Environ Hort*,1996,14(3):150-154.
- [33] 朱延林,董铁民,茹桃勤. 白榆速生、高抗榆蓝叶甲优良无性系 65212 选育研究[J]. 林业科学,1997,33(专刊 1):39-46.
- [34] 朱延林,李培菊. 白榆优良无性系选择的新方法[C]. //涂忠虞,黄敏仁. 主要速生丰产树种良种选育文集:阔叶树遗传改良. 北京:科学技术文献出版社,1991:271-275.
- [35] 董绪曾,牛鸿鑫,林新福,等. 抗榆蓝叶甲白榆优良无性系的研究[J]. 河北林业科技,1990(4):5-9.
- [36] Santamour F S. interspecific hybridization within fall-and spring flowering elms[J]. *For Sci*,1972,18:283-289.
- [37] Santamour F S. Flowering and fertility of hybrids between spring and fall-flowering elms[J]. *Hort Science*,1989,24:139-140.
- [38] 胡雪原,闫福林,李聪辉. 榆钱 6 种微量元素测定及药用价值分析[J]. 微量元素与健康研究,2000(4):54-69.
- [39] 樊金玲,杨睿,孙晓菲,等. 榆树叶中类胡萝卜素的组成和含量[J]. 食品科学,2015(2):155-159.
- [40] 于淑玲. 榆钱的营养与保健的探讨[J]. 中国食物与营养,2009(9):60-61.
- [41] 王东. 榆树根皮的化学成分[J]. 沈阳药科大学学报,2004,21(6):426-429.
- [42] 李世东. 复方榆树皮软膏的制备及对乳腺癌术后放射性皮肤损伤疗效观察[J]. 药学研究,2014(1):52-54.
- [43] 李静,唐纪琳,董义华,等. 榆仁化学成分的研究(I)[J]. 中草药,1999(2):94-95.
- [44] 彩叶树家族的明珠——金叶垂榆[J]. 花木盆景:花卉园艺,2014(8):18-19.
- [45] 杨旭东. 榆树在乌鲁木齐市的应用及其虫害调查分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013:17-19.
- [46] 高巍,杨义波. 白榆栽培管理与造型造景应用的研究[J]. 长春大学学报,2013(6):705-708.
- [47] 杨广乐,丁岩,杨齐红. 金叶垂榆寒地繁殖技术及园林应用[J]. 中国林副特产,2009(6):45-46.

(编辑 潘秀华)