

黄栌属种质资源、栽培繁殖、化学成分、叶色调控研究进展

葛雨萱¹, 周肖红¹, 刘 洋^{2,3}, 王亮生^{2,*}

(¹北京市香山公园管理处, 北京 100093; ²中国科学院北方资源植物重点实验室/北京植物园植物研究所, 北京 100093; ³中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 就黄栌属种质资源分布、栽培管理、繁殖及资源利用、化学成分及叶色研究等方面归纳总结了国内外的研究成果, 对黄栌光照、水分、土壤营养等栽培管理条件, 病虫害防治办法及种子繁殖、嫁接、扦插、组织培养等繁殖技术进行了详细总结, 重点对叶色研究、药用成分进行了阐述, 从遗传育种、叶色、化学成分利用等方面对今后的研究方向进行了展望, 指出黄栌新品种选育、叶色人工调控、功能成分研究利用及黄栌枯萎病的防治是黄栌属植物今后研究的重点。

关键词: 黄栌属; 栽培; 育种; 化学成分; 叶色

中图分类号: S 68

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 09-1833-13

Recent Advances in Germplasm, Cultivation, Propagation, Chemical Components and Leaf Color Regulation of *Cotinus*

GE Yu-xuan¹, ZHOU Xiao-hong¹, LIU Yang^{2,3}, and WANG Liang-sheng^{2,*}

(¹Management Department of Beijing Fragrant Hills Park, Beijing 100093, China; ²Key Laboratory of Plant Resources and Beijing Botanical Garden, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ³University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The recent research advances in germplasm resources and distribution, cultivation and management, propagation, chemical components and sustainable utilization of genus *Cotinus* were summarized, especially on the cultivation conditions of light, moisture and soil nutrients, the pest control, and propagation technologies which include semination, grafting, and tissue culture. In the meantime, the leaf color and chemical components of genus *Cotinus* were described in detail. The future directions in genetic breeding, leaf color regulation and utilization of chemical components were prospected. More specifically, the breeding of novel cultivars, leaf color regulation, functional components utilization, and *Verticillium* wilt control are future research focuses of genus *Cotinus*.

Key words: *Cotinus*; cultivation; propagation; chemical component; leaf color

黄栌属 (*Cotinus*) 植物为漆树科 (Anacardiaceae) 落叶灌木或小乔木, 是优良的园林绿化树种, 也可作为荒山造林的先锋树种, 在中国北方常见的为灰毛黄栌 (*C. coggygia* var. *cinerea* Engl.), 著

收稿日期: 2014 - 07 - 16; 修回日期: 2014 - 09 - 09

基金项目: 北京市科技计划项目 (Z12110100610000)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wanglsh@ibcas.ac.cn)

名的北京“香山红叶”即为此变种,叶片秋天变为红色,观赏效果极佳。同时黄栌根、茎、叶中含有多种药用成分,作为民间医药,在美国、土耳其、保加利亚、匈牙利等地被广泛应用;在中国,黄栌在临床上也有一定的应用。但目前中国还少见全面系统的研究,仅李海龙和李端亮(2009)对黄栌属植物的分类、组织培养及化学成分等进行了阐述。本文中对黄栌种质资源分布、栽培管理、引种、繁殖、化学成分及叶色研究、综合利用等方面的研究成果进行了详细归纳,尤其对黄栌的叶色研究及化学成分方面进行了重点阐述,旨在为黄栌的综合研究和利用提供参考。

1 黄栌属种质资源及其分布

黄栌的分布非常广泛,北美、匈牙利、中国等都有丰富的资源。中国的黄栌主要分布在山西、河南、河北、山东、陕西、四川、江苏和浙江等中低海拔山地(中国科学院中国植物志编辑委员会,1980)。

国际上将黄栌属分为4种(Mabberly, 1997; Hillier & Coombes, 2007):美国黄栌(*C. americanus* Nutt., *C. obovatus* Raf.)、绒毛黄栌(*C. velutina* Engl. C. K. Schneid.)、黄栌(*C. coggygia* Scop.)和四川黄栌(*C. szechuanensis* Pénzes),其中黄栌又分为6个变种:小叶黄栌(*C. coggygia* var. *parvifolia* Beck.)、假黄栌(*C. coggygia* var. *pseudocoggygroides* Pénzes)、卵叶黄栌(*C. coggygia* var. *ovalifolia* Pénzes)、巴可内黄栌(*C. coggygia* var. *bakonyensis* Pénzes)、柔毛黄栌(*C. coggygia* var. *pubescens* Engl.)和灰毛黄栌(*C. coggygia* var. *cinerea* Engl.)。

中国早期的《云南植物志》(中国科学院昆明植物研究所, 1979)和《中国高等植物图鉴》(中国科学院植物研究所, 1980)对黄栌进行了分类。《中国植物志》(中国科学院中国植物志编辑委员会, 1980)记录该属植物5种,其中中国有3种:黄栌(*C. coggygia* Scop.)、四川黄栌(*C. szechuanensis* A. Pénzes)和矮黄栌(*C. nana* W. W. Smith)。将黄栌(*C. coggygia* Scop.)分为4个变种,包括原变种黄栌(*C. coggygia* var. *coggygia*)、灰毛黄栌(*C. coggygia* var. *cinerea* Engl.)、粉背黄栌(*C. coggygia* var. *glaucophylla* C. Y. Wu)和柔毛黄栌(*C. coggygia* var. *pubescens* Engl.),其中原变种黄栌产于匈牙利和捷克斯洛伐克,中国无,其余3个黄栌变种中国均有分布。

针对中国黄栌的种质资源,李海龙(2010)进行了较为全面系统的调查,整理出正式发表且有详细记录的黄栌品种14份,包括粉背黄栌、毛黄栌、红叶黄栌、四川黄栌、矮黄栌、金叶黄栌、紫霞、美国红栌、紫叶黄栌、紫叶红栌、垂枝黄栌、四季黄栌、紫晕黄栌和火焰黄栌。在中国还发现6个黄栌新品种,分别为短柄黄栌、中坞黄栌、疏毛黄栌、光叶黄栌、多脉黄栌和长叶黄栌(潘青华等, 2010; 李海龙等, 2012)。

以上黄栌分类体系的划分及新品种的发现主要是依据比较形态学提出的。目前关于黄栌属植物起源、品种分类和亲缘关系分析等研究还比较少,仅Wang等(2014a)以中国暖温带的15个黄栌野生种群为对象利用分子数据和生态位模型进行了遗传多样性和谱系地理学研究,发现除仅有2个个体的小样本种群外,14个种群呈多态性,以黄河为界的南北种群具有明显的区域分化模式。同时,Wang等(2014b)还首次开展了黄栌微卫星标记(SSRs)的研究,可应用于黄栌的遗传多样性分析。

2 黄栌的栽培管理及繁殖

2.1 栽培管理

2.1.1 光照

黄栌喜阳不耐阴,在低光照下生长会受到抑制,导致植株矮小、叶片稀疏,秋季叶片直接由绿色变为黄色,景观效果差(葛雨萱等, 2011b)。于晓南(2007)对不同位置“香山红叶”(灰毛黄

栌)的花青素含量变化进行了研究,发现位于山顶光照充足的植株叶片鲜艳美丽,但叶片掺杂了不同程度的绿色,观赏效果不佳。在园林中复层配置时,黄栌适合处于上层或荫蔽度低的林缘,从而保证其充分吸收阳光,不适合处于下层和林间,如有冠幅大的遮挡树,需要进行必要的修剪,保证黄栌生长环境的透光性,才能使其正常生长,并发挥其彩叶的最佳观赏效果。

2.1.2 水分

黄栌耐干旱但不耐积水。刘刚等(2010)认为黄栌生长适宜的土壤水分应在轻度干旱胁迫(相对含水量 60%~65%)范围内,既可保证黄栌具有较高光合作用水平,又能够较大幅度地降低蒸腾耗水,从而维持最高的叶片水分利用效率。孔艳菊等(2006)的研究表明,在黄栌受到干旱胁迫时,蒸腾速率比净光合速率下降的幅度大,说明黄栌在干旱胁迫下会通过降低蒸腾速率来减少水分消耗、提高水分利用效率,这也说明了黄栌延迟脱水能力即抗旱能力较强。杨吉华等(2002)和招礼军等(2003)的研究表明,黄栌的耐旱能力要优于火炬树、低于栎树和黄连木。周必冬和薛同良(1999)调查了江苏淮阴市林业局引种自北京十三陵苗圃基地的黄栌在当地的表現,发现播种育苗和截杆移栽的成活率均较高,红叶期长达 25 d,但要注意避免水渍和遮荫。Li 等(2011)发现在持续干旱的条件下黄栌的生长量会下降,且全光照下对干旱的敏感性要高于遮荫条件。在日常栽培管理中,新植黄栌的耐干旱能力较弱,连续 3 年内都应适时充足灌溉,土质保水力差的地点,可适当延长灌溉年限;黄栌壮年树在正常年份可不用浇水,在特别干旱时期挖鱼鳞坑适当补水即可;黄栌老树应根据地形地势挖鱼鳞坑,除在雨季蓄积雨水外,在干旱年份的 4—6 月也需适时浇水,以保证正常生长。

2.1.3 土壤

黄栌适宜在土层深厚肥沃、排水良好的沙壤土上生长,同时也耐贫瘠,萌蘖性强,伐后易形成次生林,能够在裸露岩石地面上成林。Nardini 等(2003)对意大利东北部石灰岩地区分布的黄栌的吸水及水压特征的研究间接证明了这一点。安瑞等(2013)在中国鲁南山区土壤贫瘠的石灰岩山地也成功营造了黄栌生态景观林。白淑玉(2009)发现表明黄栌林地地表植物覆盖能有效改善土壤水热状况、养分状况并调节土壤酶活性。吴佳徽(2011)研究了北京香山和延庆以及山东和陕西等的黄栌林土壤微生物类型,发现青霉属、木霉属、曲霉属、粘帚霉属和镰刀菌属是其优势种群。

在土壤肥力方面,当氮、磷、钾等大量元素充足时,适量的微肥(铁、铜、锌、锰等)有利于黄栌的壮苗(周修任和杨鹏鸣,2010)。土壤的肥力状况对彩叶树的叶色形成具有较大影响。土壤中氮肥过多时,会引起植物徒长,叶绿素大量合成并占据主导地位,影响彩叶的显色;适度缺磷、缺氮或二者同时缺少时,都能促进花青素含量的增加,提升叶片色彩的质量(姜卫兵等,2005)。

2.1.4 病虫害

黄栌的主要病害有白粉病和枯萎病。黄栌白粉病主要为害叶片正面,叶面布满白粉,发病严重时,也可侵染枝条,甚至造成叶片提早脱落。北京地区一般在每年的 6 月底开始使用 20% 的三唑酮(粉锈宁)进行化学防治,同时开展黄栌林内清杂、疏剪,以通风透光,创造不利于发病的条件,基本上能够控制白粉病的发生(杜万光,2011a)。黄栌枯萎病(曾称为“黄栌黄萎病”)是一种严重的维管束病害,感病时枝叶萎蔫干枯,病死率高。自 20 世纪 80 年代以来,在北京、山东等地的黄栌发生不同程度的枯萎病(李俊文等,1992;雷增普,1993;李维维,2012;王妍,2012);2003 年时,北京香山的黄栌林也因枯萎病出现了大面积的枯死现象(王建美等,2008)。多年来北京林业大学及香山公园对黄栌枯萎病的致病菌、发病因子、药剂防治方法(游崇娟等,2010;鲍绍文等,2011;Wang et al., 2013; Xiong et al., 2014)等进行了深入研究,但仍未有效控制黄栌枯萎病的发生,给北京的城市森林健康和生态安全带来严重威胁。因此,有效防治黄栌枯萎病显得极为迫切。

黄栌的主要虫害有黄点直缘跳甲和黄栌丽木虱。黄栌黄点直缘跳甲成虫的取食危害使叶片形成孔洞、缺刻、焦黄,严重时会引起枝条干枯,不但影响黄栌生长,更会使秋季的红叶观赏效果变差,

苗木成活率下降。北京地区可以在冬、春季剪除有卵块树枝,减少卵块数量,在4月上旬幼虫孵化盛期喷高渗苯氧威或氯氰菊酯等高效低毒生物农药,在5月中旬人工清理植株周围土层中的土茧进行防治(杜万光,2011b;关玲等,2013)。黄栌丽木虱世代多,数量大,多在当年新生幼芽、嫩叶上为害,能造成枝梢弯曲、变黑,叶片皱缩、生长不良,对其防治可通过人工释放瓢虫、草蛉等天敌,在黄栌林间悬挂黄色捕虫板等方法控制虫害(宋立洲,2009)。其他常见病虫害如黄栌缀叶丛螟、木撩尺蠖、蚜虫等应结合病虫害发生规律适当修剪喷药,对症防治(宋立洲,2008)。

2.2 繁殖与遗传育种

2.2.1 种子繁殖

李海龙等(2010)研究发现,采用 -10°C 储藏与常温贮藏都不能促进种子萌发,而采用 4°C 储藏则可明显提高黄栌种子的发芽率;用 KNO_3 溶液浸种,其浓度为8%时发芽率达到最高(48%)。在华北地区,一般6—7月采收种子,12月前后沙藏,翌年春3月中下旬有1/3种子露白时即可播种(李莹和孙晓月,1996;黄霞等,2010)。一般采用开沟条播,出苗前保证土壤湿度,出苗后调整苗密度,定苗后勤松土、除草。6—7月根据苗长势结合浇水施速效肥,9月控制浇水。黄栌苗须根少,造林前应将苗木根系在清水中浸泡24 h,并对苗干适当短截(王义庆和陈立友,2002)。也可秋播,但发芽率较低。Takos和Efthimiou(2003)报道了黄栌休眠种子在希腊马其顿地区秋播的发芽率为19%,出土时间为4月底5月初。

2.2.2 扦插与嫁接繁殖

Cameron等(2005)对美国红栌(*C. coggygia* 'Royal Purple')进行了扦插繁殖研究,发现扦插苗的生根与季节有关,而芽的活力与光周期有关;在英国,8月采的枝条生根率较高,但在人工短日照处理条件下芽停止生长;9月长日照条件下采集的枝条生根率和芽的生长能力均最高;在离体条件下,生长在16 h光照条件下的扦插苗其生根能力强于生长在8 h光照条件下的扦插苗;不同光质对扦插苗生根也有显著影响,但对芽的生长影响不显著。Cameron(2001)还研究了枝叶保留量对美国红栌品种'Royal Purple'扦插苗生长及生根的影响,发现枝叶保留越多,越有利于生根;减少叶片、去掉侧枝均会大大降低生根量,其中又以去掉侧枝影响更为明显;即使在去掉侧枝部位涂抹外源生长素(吲哚-3-醋酸),也不如带芽侧枝对生根的促进作用明显;枝叶靠影响碳平衡而影响生根,保留枝叶的扦插苗远比不保留的苗生根快。

贺加怀等(2008)研究发现,利用 $400\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的ABT 1号生根剂(中国林业科学院研制生产)处理黄栌半木质化枝条效果最好,生根数量多、根系生长快。刘长命等(2012)利用NAA处理1年生黄栌枝条进行扦插,没有生根成功,而同时处理的月季、金桂等枝条生根率很高,可能由于秋季扦插时间过晚影响生根,也说明黄栌相对其它植物扦插较难。

黄栌繁殖以嫁接为最佳。以黄栌做砧木嫁接红栌的技术很成熟,主要在春、夏季进行,春季利用双舌接和切接等枝接方法成活率较高;夏季则以T型芽接最宜(满昌华等,2005;刘德合等,2009)。

2.2.3 组织培养繁殖

针对美国红栌(*C. coggygia* 'Royal Purple')的组织培养研究较多(刘杰等,2004;李双云等,2005;崔俊茹,2006年;胡相伟等,2006;赵海红等,2009;肖芳,2012),均筛选出了效果较好的培养基。在诱导培养基为 $\text{MS} + \text{NAA } 0.3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} + \text{BA } 0.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,增殖培养基为 $\text{MS} + \text{BA } 1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1} + \text{NAA } 0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,生根培养基为 $1/2\text{MS} + \text{IBA } 0.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的条件下,美国红栌生根率可达到100%(赵海红等,2009)。刘艳芬等(2006)研究了防止紫叶黄栌(*C. coggygia* 'Purpureus')外植体褐变的方法,发现以1月份剪取的休眠枝条经水插培养后抽生的嫩茎作为外植体,经 0.1% HgCl_2 灭菌2~3 min,褐变程度最轻;培养基中添加 $1.0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 维生素C可以有效抑制褐变的发生。

苗青等(2005)以毛黄栌(*C. coggygria* var. *pubescens*)的带芽茎段为外植体研究了黄栌的组培技术,认为以新发芽或嫩枝条为外植体最好;最适分化培养基为 MS + 6-BA $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + NAA $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 3%蔗糖 + 0.7%琼脂;材料的连续多次转接对防止褐化最有效;生根培养基以 1/2 MS + “根太阳”生根剂(广州植物龙生物技术有限公司生产) $3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + 3%蔗糖 + 0.7%琼脂最好。陈书文等(2005)以黄栌当年生嫩枝为外植体进行簇生芽诱导,得出以下结论:最佳诱导簇生芽培养基为 MS + 6-BA $2.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + NAA $0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;继代培养以 MS + 6-BA $1.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + KT $0.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ + NAA $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 为佳;再生苗在 1/2MS + NAA $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 培养基上生长后移至蛭石 + 森林土的基质上生长良好。Pacholczak 等(2005)的研究认为:与 NAA 相比,IBA 更适合改善黄栌茎切片段的生根状况,后期减少环境光强度至 50%可促进插条生根。Peter 等(2007)研究发现 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 吡啶丁酸处理可促进外植体 100%生根,且产生很少的愈伤组织,而 2,4-D 不能诱导生根。

2.2.4 遗传育种

黄栌遗传育种方面的研究报道较少。Huxley(1992)提出应将雌雄树种在一起。Butorina 和 Bogdanova(2004)在研究从前苏联沃罗涅什城引种的黄栌时发现,在恶劣环境影响下,叶分生细胞中出现了非整倍体、单核、双核、多核细胞,在表皮中形成的毛原细胞长达 $40 \mu\text{m}$,细胞核巨大。这对多倍体、单倍体培养有一定启发。

近年来,黄栌在中国城市绿化中的应用不断增多,各地引入了不少新品种,如美国红栌、金叶黄栌、荷兰金栌、日本黄栌等,同时一些近年培育出来的新品种如‘光叶黄栌’、‘长叶黄栌’、‘紫霞’等也进入市场(潘清华 等,2010;北京市园林绿化局,2010)。这些新品种的获得主要是通过引种驯化、自然变异或天然杂交筛选而来的。一般选择叶色、叶形俱佳的植株留种,再从种子实生苗中筛选、培育抗逆性强、观赏性好的品种,这种选育过程比较漫长,自然变异小,且性状不稳定。

3 黄栌的化学成分及叶色研究

3.1 化学成分

基于黄栌叶片的鲜艳色彩,早在 1969 年 Tanchev 和 Timberlake(1969)就对其所含的花青素苷进行了分析,用薄层层析和紫外分光光度法从紫色叶片中分离、鉴定出了飞燕草素 3-半乳糖苷(delphinidin 3-galactoside)、矢车菊素 3-半乳糖苷(cyanidin 3-galactoside)、矮牵牛素 3-葡萄糖苷(petunidin 3-glucoside),以及自然界较少存在的 7 位糖苷:飞燕草素 7-葡萄糖苷(delphinidin 7-glucoside)和矢车菊素 3-葡萄糖苷-7-鼠李糖苷(cyanidin 3-glucoside-7-rhamnoside)。

土耳其、匈牙利等国家在黄栌药用成分上的研究较多,基本弄清了当地黄栌的化学成分,同时也研究了黄栌的药用价值。Tzakou 等(2005)从希腊黄栌叶片中分离出以单萜为主的 49 种挥发油成分。Demirci 等(2003)从土耳其黄栌叶片中分离出 42 种成分,主要为柠檬油精。Westenburg 等(2000)从黄栌中分离出没食子酸及其衍生物、黄槿酯单宁及 3 个橙酮(disulfuretin、硫黄菊素和硫黄菊苷),并发现它们具有较强的抗氧化活性。在中国,黄栌在临床上也有一定的应用,中国学者对其化学成分也进行了初步研究,并从国产黄栌中得到了多个具有抗氧化、抗炎及促进毛发生长等活性的药用成分(陶峰 等,2014)。单书香等(1990)从奉节黄栌叶片中分离出杨梅黄素、槲皮素和山萘酚 3 种黄酮醇苷元。李惠成和田瑄(2006)从毛黄栌枝叶中分离得到 48 种挥发油,含量由高至低依次为萜类化合物、芳香族化合物和其他醇、醛酮和酯类化合物以及长链脂肪烃、酸。以上研究表明,黄栌中含有类黄酮、没食子酸衍生物、单宁和挥发油等多种活性物质,丰富的化学成分是其在医学上广泛应用的基础。

3.2 叶色研究

黄栌叶色具有较高的观赏价值,越来越多的学者开始对黄栌叶片变色机理及影响因素进行研究。Oren-Shamir 和 Levi-Nissim (1997a) 对黄栌品种 ‘Royal Purple’ 的叶色变化做了调查,发现在波长为 300~400 nm 的紫外光照射下,其叶片花青素苷合成量最多,但光照并不是影响黄栌叶色变化的唯一因素,即使没有紫外光的照射,仅有低温黄栌的叶片依然能够很好地成色。在另一组试验中,他们调查了温度对成色、生长速度和光合能力的影响,以及成色过程的可逆性。结果显示,在昼/夜温度为 17℃/9℃ 的循环条件下,黄栌的嫩叶及成熟叶都可以积累高浓度的花青素苷;当黄栌从冷凉处转移到温暖处时,其嫩叶和成熟叶均失去红色;而将其从温暖处转移至冷凉处时,仅有嫩叶能积累花青素苷。由此可知,低温仅能诱导嫩叶而非成熟叶合成花青素苷 (Oren-Shamir & Levi-Nissim, 1997b)。田丽媛 (2012) 研究发现日最低温和平均温是影响黄栌秋叶变色的主要因素,最低温在 10℃ 以下,平均温在 13℃ 以下,超过 2 周,有利于红栌变色,湿度对黄栌变色影响不大。

庞海慧 (2007) 对红叶黄栌红色素的提取方法及稳定性进行了研究,发现用 0.1% 的盐酸提取剂在 31℃ 恒温条件下提取 4 h 效果最好。郝峰鸽等 (2007) 用分光光度法测定了黄栌叶在 5 月生长季内叶绿素、类胡萝卜素和花青素总量的变化。周肖红等 (2009) 对秋季变色期不同叶色类型黄栌的叶片内花青素苷相对含量、可溶性糖含量和 pH 值的变化进行了研究,发现紫红叶片花青素苷含量最高远高于黄色叶片,且同一株树上绿色叶片的 pH 值明显高于红色叶片。喷施 500 mg·L⁻¹ 乙烯利水溶液可延长红叶的观赏期。葛雨萱等 (2011a) 以香山生长在不同海拔高度的黄栌为材料,分析了黄栌叶色与叶片色素组成的关系。结果表明在叶色变化过程中,叶绿素含量的下降,花青素苷含量的增加是黄栌叶片绿色褪去、红色显现的主要原因,并调查了 2007 年秋季香山从 195 m 到 564 m 范围内不同海拔高度黄栌叶色和色素组成的时空变化规律。李海龙等 (2012) 对红叶黄栌、毛黄栌、紫叶黄栌、‘紫霞’ 4 个黄栌变种及品种生长期色素含量进行了比较。郑绪辰等 (2013) 利用 4 年生灰毛黄栌组培苗,通过喷施不同浓度的赤霉素 (GA₃)、水杨酸、柠檬酸和蔗糖水溶液发现赤霉素处理可推迟灰毛黄栌的落叶期,不同浓度的水杨酸处理推迟或提前叶片的观赏期,喷施柠檬酸或蔗糖溶液,都能显著提高其叶片中的花青素苷含量,使叶片更红,其观赏期提前一周以上。

4 黄栌的利用

黄栌作为重要的观赏树种广泛应用于园林中。中国黄栌分布较广,多以群植或片植成林的方式分布于山上。北京香山红叶是世界上少有的拥有深厚文化底蕴的著名景观。红叶制成的艺术卡片及覆叶工艺品也成为旅游留念及馈赠佳品。在西方园林中,黄栌多被丛植于草坪、土丘、山坡或混植于其它树群中作为点缀。黄栌开花后残留于枝头的不孕花花柄呈紫色羽毛状,萦绕于树间犹如万缕轻纱,因而得名“烟树”,为庭院增加了不少秋色。也有不少花卉爱好者将黄栌应用于盆景或制作根雕,别有韵味。

黄栌作为民间医药,在美国、土耳其、保加利亚、匈牙利等地得以研究并广泛应用,其含有的类黄酮、没食子酸衍生物和挥发油等在临床上被证明具有抗菌 (Borchardt et al., 2008)、抗炎 (Demirci et al., 2003; García-Mediavilla et al., 2007)、抗氧化 (Westenburg et al., 2000; Ivanova et al., 2005) 等作用。Stanić 等 (2011) 发现低浓度 (2%) 的黄栌茎甲醇提取物可以减轻诱变剂甲基磺酸乙酯 (EMS) 在雄性黑腹果蝇 X 染色体上产生隐性致死突变的毒害,从而保持黑腹果蝇个体的遗传稳定性,改善生育能力。Matić 等 (2013) 发现以杨梅酮 (Myricetin) 为主效成分的黄栌茎甲醇提取物能够显著降低肝毒剂连苯三酚引起的大鼠血清中谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、碱性磷酸酶 (ALP)

浓度和总胆红素浓度的升高，从而恢复其肝脏的功能。此外，该提取物还能够降低连苯三酚对大鼠肝脏 DNA 的损伤。在中国，黄栌应用于中药始载于《本草拾遗》，而后历代本草亦有记载。黄栌叶的热水提取物蒸发后经硫酸水解，再用乙酸乙酯处理，便得到很好的消炎止泻剂。用叶中提取的总黄酮苷，以 $80 \sim 160 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的剂量给小鼠灌胃，对甲醛引起的小鼠关节炎具有一定疗效（周家永和单书香，1993）。崔恩贤等（2009）发现黄栌药材中以漆黄素为主的总黄酮提取物有抗凝血作用。龙丽辉等（2009）的研究表明黄栌有明显降压作用，降压的同时并不影响心率变化。

黄栌含有许多有色物质，其提取物经适当处理可用作人造纤维和棉纤维的染料，这种染料结合紧密，耐碱、耐光，土耳其黄栌就被作为一种应用广泛、非常重要的天然染料收录于染料植物收集园中（Turkmen & Kirici, 2004）。Ioannis 等（2011）和 Irina 等（2012）利用液相色谱及质谱联用技术在罗马尼亚和希腊的古代纺织品中检测出了天然染料黄栌漆黄素。

黄栌含有丰富的单宁类物质，其叶、根和茎提取物均可作栲胶原料，用于制革工业。黄栌枝叶提取后所产生的废液可再用于与铬（IV）盐发生氧化还原反应，配制成铬鞣液用于皮革工业，既经济又环保（陈武勇 等，2002）。

黄栌对 SO_2 有很强的吸附能力，可作为工厂区净化树种，也可用于风景林及荒山育林。

5 展望

5.1 新品种选育及叶色人工调控

第一，可考虑开展辐射诱变育种工作，加快变异速度及扩大变异范围，从辐射处理苗中筛选、培育抗逆性强、观赏性好的品种。第二，应充分利用黄栌属叶色、叶形差异较大的优质品种资源，如美国红栌、金叶黄栌、长叶黄栌等，通过远缘杂交和杂种胚拯救等技术进行叶色种质创新。第三，随着对植物色素生物合成与代谢途径研究的日益加深，以及分子生物技术的发展，利用基因工程方法改变叶色，培育新品种已经成为可能。Li 等（2005）将玉米花青素调节基因 *Lc* (leaf color) 导入观叶植物花叶芋中，发现在转基因植株叶片、根和茎中的花色素苷积累都有明显增强。Lin 等（2013）通过转录组学分析发现，与普通垂直桦相比，垂直桦品种 ‘Purple Rain’ 上调了 2 467 个基因簇、下调了 2 299 个基因簇，可能因此导致两者之间的叶色差异；此外，花青素苷合成代谢及转录调控途径也发生改变，可能因此导致表型改变。研究黄栌色素的代谢途径和分子调控技术，通过调节花青素苷合成相关的酶和基因从而调控叶片中色素组成及含量变化，甚至人为修饰色素的结构，从而丰富黄栌叶色，创造出新的叶色品种是新品种选育和叶色研究的重点方向。

另外，从外界环境来讲黄栌叶片变色受光照、温度、水分、土壤条件等综合因素影响，虽然在山区开放的风景林中很难控制自然光照和温度，但是可以通过间伐去杂、浇灌补水、群落配置等营林措施改善林区小气候从而创造出有利于黄栌变色的环境条件。同时，在明确黄栌成色机理的基础上，寻找能有效改善其变红效果或能延长观赏期的化学物质及补水周期，也是人工调控黄栌叶色的重要途径。

5.2 功能成分利用

黄栌叶片中含有丰富的黄酮醇类、没食子酸衍生物和挥发油，特别是以非瑟酮（Fisetin）为代表的黄酮醇类应用研究是近年的热点，已经发现对肺癌、气道高反应性等疾病上有明显的治疗作用（Nagaiya et al., 2001; Goh et al., 2012）。今后需要进一步探讨其它黄酮醇类的药用成分、机理及临床应用，并研究其相应成分的提取分离纯化工艺，探索其在药品、功能食品、饮料、化妆品

等行业中的应用价值。随着分析技术包括核磁共振和质谱联用技术的完善,以及药效、药理研究的深入,黄栌叶片中所含有的化学成分的应用范围会更加广泛。

5.3 黄栌枯萎病的防治

对于黄栌风景林而言,黄栌枯萎病的防治应采取以生物防治为主导的综合防治措施,仅依靠某一种类别的药剂防治很难达到理想效果。黄栌枯萎病是典型的土传病害,其病原菌以微菌核的状态可以在病残体中或者土壤中长期存活,如何有效地破坏微菌核的形成、筛选大丽轮枝菌的拮抗菌是今后研究和防治的重点之一。目前有关拮抗菌的筛选主要集中在农业方面,尤其是对感染大丽轮枝菌的棉花、香蕉、瓜类等农作物进行筛选和接种试验,其中以芽孢杆菌和放线菌的研究较多(郝华昆等,2007;张福成等,2012;周登博等,2013;邹立飞等,2013)。然而针对林木枯萎病的拮抗菌筛选试验报道较少。如果能筛选出有效的黄栌枯萎病拮抗菌,并生产出相应的商品菌剂,将是黄栌枯萎病防治的一个重大突破。

在生物防治的同时,严格的植物检疫、良好的栽培管理措施也能减少枯萎病的发生,可以通过合理灌溉、施用有机无机混合肥料、接种土壤有益菌群等联合方式来均衡土壤营养条件,从而提高树势,同时采用药剂防治,控制和减缓发病严重的枯萎病症状。

另外,重视资源的挖掘,培育抗病品种也是黄栌枯萎病防治的重要途径。目前,高抗黄栌枯萎病的资源缺乏,急需采用多种措施筛选和创造高抗枯萎病的资源,从而满足抗黄栌枯萎病育种的需要。

References

- An Rui, Hu Le-qiang, Wang Chuan-wei, Huang Shu-tao. 2013. The Construction and ecological landscape configuration technology of *Cotinus coggygia* in limestone. Chinese Horticulture Abstracts, (7): 224 - 225. (in Chinese)
- 安 瑞, 胡乐强, 王传伟, 黄书涛. 2013. 石灰岩山地黄栌营造及生态景观配置技术. 中国园艺文摘, (7): 224 - 225.
- Bai Shu-yu. 2009. Study on effete of ground covering on soil quality under *Cotinus coggygia* [M. D. Dissertation]. Beijing: Forestry University of Beijing. (in Chinese)
- 白淑玉. 2009. 黄栌林地表植物覆盖对土壤质量影响的研究[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Bao Shao-wen, Tao Wan-qiang, Tian Cheng-ming. 2011. Histopathological response in the interaction between *Cotinus coggygia* and *Verticillium dahliae*. Scientia Silvae Sinicae, 47 (2): 58 - 68. (in Chinese)
- 鲍绍文, 陶万强, 田呈明. 2011. 黄栌与大丽轮枝菌互作的组织病理学变化. 林业科学, 47 (2): 58 - 68.
- Beijing Municipal Bureau of Landscape and Forestry. 2010. The project on the breeding and popularizing of *Cotinus coggygia* 'Zixia' passed acceptance. Practical Forestry Technology, (12): 9. (in Chinese)
- 北京市园林绿化局. 2010. 北京市“‘紫霞’黄栌优新品种繁育推广示范”项目通过验收. 林业使用技术, (12): 9.
- Borchardt J R, Wyse D L, Sheaffer C C, Kauppi K L, Fulcher R G, Ehlke N J, Biesboer D D, Bey R F. 2008. Antimicrobial activity of native and naturalized plants of Minnesota and Wisconsin. Journal of Medicinal Plants Research, 2 (5): 98 - 110.
- Butorina A K, Bogdanova E V. 2004. The function of leaf meristematic cells in *Cotinus coggygia* Scop. Tsitologiya, 46 (2): 172 - 178.
- Cameron R W F. 2001. The influence of branches and leaf area on rooting and development of *Cotinus coggygia* cv. Royal Purple cuttings. Annals of Applied Biology, 139 (2): 155 - 164.
- Cameron R W F, Harrison-Murray R S, Judd H L. 2005. The effects of photoperiod and light spectrum on stock plant growth and rooting of cuttings of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80 (2): 245 - 253.
- Chen Shu-wen, Li Juan-juan, Lei Xin-yan, Zhou Jian-yun. 2005. Study on rapid propagation technic for ornamental of *Cotinus coggygia*. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 33 (9): 117 - 120. (in Chinese)
- 陈书文, 李娟娟, 雷新彦, 周建云. 2005. 观赏植物黄栌快繁技术研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 33 (9): 117 - 120.
- Chen Wu-yong, Yang Bing, Tian Jin-ping. 2002. Treatment of common smoketree leaf hydrolyzed residue by redox, possible use for tanning industry. Leather Science and Engineering, 12 (2): 32 - 35, 40. (in Chinese)
- 陈武勇, 杨 兵, 田金平. 2002. 氧化还原法处理黄栌叶废液制取鞣剂的研究. 皮革科学与工程, 12 (2): 32 - 35, 40.

- Chen You-min. 1990. Landscape dendrology. Beijing: China Forestry Publishing House: 528 - 529. (in Chinese)
- 陈有民. 1990. 园林树木学. 北京: 中国林业出版社: 528 - 529.
- China Botanical Biography Compiling Committee, CAS. 1980. China botanical biography. Vol. 45, Sect. 1. Beijing: Science Press: 96 - 99. (in Chinese)
- 中国科学院中国植物志编辑委员会. 1980. 中国植物志. 45 卷 1 分册. 北京: 科学出版社: 96 - 99.
- Cui En-xian, Long Li-hui, Zhang Hong-wei, Ma Li-xia, Du Xia, Guo Zeng-jun. 2009. The anticoagulant activity parts and compound screening of *Cotinus coggygia*. Journal of Chinese Medicinal Materials, 32 (6): 965 - 967. (in Chinese)
- 崔恩贤, 龙丽辉, 张宏伟, 马丽霞, 杜霞, 郭增军. 2009. 黄栌体内抗凝血活性部位及黄栌复方的筛选研究. 中药材, 32 (6): 965 - 967.
- Cui Jun-ru, Liu Chang-li, Zhao Su-wei, Li Zhi-dan. 2006. Tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Northern Horticulture, (4): 166 - 167. (in Chinese)
- 崔俊茹, 刘长利, 赵素维, 李志丹. 2006. 美国红栌的组织培养和快速繁殖. 北方园艺, (4): 166 - 167.
- Demirci B, Demirci F, Baser K H C. 2003. Composition of the essential oil of *Cotinus coggygia* Scop. from Turkey. Flavour and Fragrance Journal, (18): 43 - 44.
- Du Wan-guang. 2011a. Occurrence and control techniques of powdery mildew on *Cotinus coggygia* in Fragrance Hill Park. The Plant Doctor Journal, 24 (3): 31 - 32. (in Chinese)
- 杜万光. 2011a. 香山公园黄栌白粉病的发生及防治技术. 植物医生, 24 (3): 31 - 32.
- Du Wan-guang. 2011b. Occurrence and control techniques of *Ophrida xanthospilota* on *Cotinus coggygia* in Fragrance Hill Park. Forest Inventory and Planning, 36 (2): 95 - 96, 100. (in Chinese)
- 杜万光. 2011b. 香山公园黄栌黄点直缘跳甲虫害的发生及防治技术. 林业调查规划, 36 (2): 95 - 96, 100.
- Goh F Y, Upton N, Guan Shou-ping, Cheng Chang, Shanmugam M K, Sethi G, Leung B P, Fred Wong W S. 2012. Fisetin, a bioactive flavonol, attenuates allergic airway inflammation through negative regulation of NF-Kb. European Journal of Pharmacology, 679: 109 - 116.
- García-Mediavilla V, Crespo I, Collado P S, Esteller A, Sanchez-Campos S, Tunon M J, Gonzalez-Gallego J. 2007. The anti-inflammatory flavones quercetin and kaempferol cause inhibition of inducible nitric oxide synthase, cyclooxygenase-2 and reactive C-protein, and down-regulation of the nuclear factor kappaB pathway in Chang Liver cells. European Journal of Pharmacology, 557 (2): 221 - 229.
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Zhou Xiao-hong, Gan Chang-qing. 2011a. Correlation between the leaf color and pigments composition of *Cotinus coggygia* Scop. in fragrant hills park and their temporal and spatial variation. Scientia Silvae Sinicae, 47 (4): 38 - 42. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 周肖红, 甘长青. 2011a. 香山黄栌叶色和色素组成的相互关系及时空变化规律. 林业科学, 47 (4): 38 - 42.
- Ge Yu-xuan, Zhao Yang, Gan Chang-qing, Wang Liang-sheng, Du Wan-guang. 2011b. The effects of different light environments on photosynthetic characteristics, growth potential and laves color of *Cotinus coggygia* Scop. Chinese Agricultural Science Bulletin, 27 (19): 19 - 22. (in Chinese)
- 葛雨萱, 赵阳, 甘长青, 王亮生, 杜万光. 2011b. 不同光环境对黄栌光合特性及生长势和叶色的影响. 中国农学通报, 27 (19): 19 - 22.
- Guan Ling, Liu Huan, Tao Wan-qiang, Yuan Fei, Li Tao. 2013. Bionomics of *Ophrida xanthospilota* Baly in Beijing area. Forest Pest and Disease, 32 (4): 9 - 12. (in Chinese)
- 关玲, 刘寰, 陶万强, 袁菲, 李涛. 2013. 北京地区黄栌跳甲生物学特性研究. 中国森林病虫, 32 (4): 9 - 12.
- Hao Feng-ge, Li Bao-yin, Yang Li-feng, Zhou Xiu-mei. 2007. Studies on pigment contents of growing leaves in different color-leaved plants. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 22 (1): 161 - 63. (in Chinese)
- 郝峰鸽, 李保印, 杨立峰, 周秀梅. 2007. 几种彩叶植物生长期色素含量研究. 华北农学报, 22 (1): 161 - 163.
- Hao Hua-kun, Han Jun-hua, Li Wei-min, Niu Tian-gui. 2007. Identification of antagonistic strain B110 and research on the mode of antagonistic action. Plant Protection, 33 (2): 77 - 80. (in Chinese)
- 郝华昆, 韩俊华, 李为民, 牛天贵. 2007. 棉花黄、枯萎病拮抗菌株 B110 的鉴定及其抑菌作用方式. 植物保护, 33 (2): 77 - 80.
- He Jia-huai, Ma Rui-zhen, Zhao Wen. 2008. Effect of different concentrations of rooting agent on rooting softwood cutting of *Cotinus coggygia*. Protection Forest Science and Technology, (6): 20 - 21. (in Chinese)
- 贺加怀, 马睿珍, 赵文. 2008. 不同浓度生根剂对黄栌嫩枝扦插生根情况的影响. 防护林科技, (6): 20 - 21.
- Hillier J, Coombes A J. 2007. Hillier manual of trees & shrubs. Newton Abbot: David & Charles Press: 81 - 82.
- Hu Xiang-wei, Zhang Shou-qi, Li Yi. 2006. The research on tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Journal of Gansu Agricultural University, 41 (2): 59 - 61. (in Chinese)
- 胡相伟, 张守琪, 李毅. 2006. 美国红栌的组织培养与快速繁殖技术研究. 甘肃农业大学学报, 41 (2): 59 - 61.
- Huang Xia, Fan Jun, Li Xiang-rong, Liu Tian-yin, Tan Dao-feng, He Dan-hua. 2010. Breeding techniques of *Cotinus coggygia* Scop. Shanxi Forest Science and Technology, (5): 75 - 77. (in Chinese)

- 黄霞, 樊骏, 李向荣, 刘天印, 谭道锋, 何丹华. 2010. 黄栌育苗技术. 陕西林业科技, (5): 75 - 77.
- Huxley A. 1992. The new RHS dictionary of gardening. London: MacMillan Press.
- Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. 1980. The picture index of senior China plant. Sect. 2. Beijing: Science Press: 639 - 640. (in Chinese)
- 中国科学院植物研究所. 1980. 中国高等植物图鉴. 2 册. 北京: 科学出版社: 639 - 640.
- Ioannis K, Dimitrios M, Paraskevi K, Dimitrios L, Costas P. 2011. Identification of materials in post-Byzantine textiles from Mount Athos. Journal of Archaeological Science, 38: 3217 - 3223.
- Irina P, Ina V B, Ileana C, Florin A, Andrei M. 2012. Identification of natural dyes in historical textiles from Romanian collections by LC-DAD and LC-MS (single stage and tandem MS). Journal of Cultural Heritage, 13: 89 - 97.
- Ivanova D, Geroval D T, Yankova T. 2005. Polyphenols and antioxidant capacity of Bulgarian medicinal plants. Journal of Ethnopharmacology, 96 (1): 145 - 150.
- Jiang Wei-bing, Zhuang Meng, Han Hao-zhang, Dai Mei-song, Hua Guo-ping. 2005. Progress on color emerging mechanism and photosynthetic characteristics of colored-leaf plants. Acta Horticulturae Sinica, 32 (2): 352 - 358. (in Chinese)
- 姜卫兵, 庄猛, 韩浩章, 戴美松, 花国平. 2005. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展. 园艺学报, 35 (2): 352 - 358.
- Kong Yan-ju, Sui Ming-gao, Hu Xue-jian, Miao Hai-xia. 2006. Effects of drought stress on several physiological indexes of *Cotinus coggygia* seedlings. Journal of Central South Forestry University, 26 (4): 42 - 46. (in Chinese)
- 孔艳菊, 孙明高, 胡学俭, 苗海霞. 2006. 干旱胁迫对黄栌幼苗几个生理指标的影响. 中南林学院学报, 26 (4): 42 - 46.
- Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. 1979. Yunnan botanical biography. Vol. 2. Beijing: Science Press: 385 - 387. (in Chinese)
- 中国科学院昆明植物研究所. 1979. 云南植物志. 2 卷. 北京: 科学出版社: 385 - 387.
- Lei Zeng-pu. 1993. The research of *Cotinus coggygia verticillium* wilt pathogen in Beijing. Journal of Beijing Forestry University, 15 (3): 79 - 80, 90 - 92. (in Chinese)
- 雷增普. 1993. 北京地区黄栌黄萎病原菌的研究. 北京林业大学学报, 15 (3): 79 - 80, 90 - 92.
- Li Hai-long. 2010. Studies on the biological characters and DUS testing guideline for *Cotinus coggygia* Scop. [M. D. Dissertation]. Nanjing: Forestry University of Nanjing. (in Chinese)
- 李海龙. 2010. 黄栌生物学特性及 DUS 测试指南研究[硕士论文]. 南京: 南京林业大学.
- Li Hai-long, Li Duan-liang. 2009. Advances in studies on genus *Cotinus* (Tourn.) Mill. Shanxi Forest Science and Technology, (6): 22 - 27. (in Chinese)
- 李海龙, 李端亮. 2009. 黄栌属植物研究进展. 陕西林业科技, (6): 22 - 27.
- Li Hai-long, Wang Xian-rong, Pan Qing-hua. 2010. Research on seed biological characteristics of *Cotinus coggygia*. Northern Horticulture, (12): 39 - 41. (in Chinese)
- 李海龙, 王贤荣, 潘清华. 2010. 黄栌种子生物学特性研究. 北方园艺, (12): 39 - 41.
- Li Hai-long, Pan Qing-hua, Wang Xian-rong. 2012. Comparison on the pigment content of four *Cotinus coggygia* varieties in growth period. China Forestry Science and Technology, 24 (3): 84 - 86. (in Chinese)
- 李海龙, 潘清华, 王贤荣. 2012. 四个黄栌变种及品种生长期色素含量的比较. 林业科技开发, 24 (3): 84 - 86.
- Li Hui-cheng, Tian Xuan. 2006. The research on volatile chemical composition of *Cotinus coggygia* var. *cinerea* branches and leaves. Journal of Henan Normal University: Natural Science Edition, 34 (4): 113 - 117. (in Chinese)
- 李惠成, 田瑄. 2006. 毛黄栌枝叶挥发性化学成分研究. 河南师范大学学报: 自然科学版, 34 (4): 113 - 117.
- Li Jun-wen, Zhang Kun-lun, Ma Su-shuang, Guo Hui-min, Li Kai. 1992. The research of *Cotinus coggygia Verticillium* wilt pathogen. Forestry Science, (1): 21 - 25. (in Chinese)
- 李俊文, 张昆仑, 马素双, 郭会敏, 李凯. 1992. 黄栌黄萎病原菌的研究. 林业科技通讯, (1): 21 - 25.
- Li S J, Deng X M, Mao H Z, Hong Y. 2005. Enhanced anthocyanin synthesis in foliage plant *Caladium bicolor*. Plant cell Reports, 23: 716 - 720.
- Li Shuang-yun, Feng Jian-hua, Liu Cui-lan, Li Li. 2005. Tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Shandong Forestry Science and Technology, (5): 18 - 19. (in Chinese)
- 李双云, 冯建华, 刘翠兰, 李丽. 2005. 美国红栌的组培快繁试验. 山东林业科技, (5): 18 - 19.
- Li Wei-wei. 2012. Genetic diversity analysis of *Verticillium dahliae* population on *Cotinus coggygia* in Beijing region [M. D. Dissertation]. Beijing: Forestry University of Beijing. (in Chinese)
- 李维维. 2012. 北京地区黄栌枯萎病菌群体遗传多样性分析[硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Li Yan, Zhao Hong-xia, Duan Bao-li, Korpelainen H, Li Chun-yang. 2011. Effect of drought and ABA on growth, photosynthesis and antioxidant system of *Cotinus coggygia* seedlings under two different light conditions. Environmental and Experimental Botany, 71: 107 - 113.

- Li Ying, Sun Xiao-yue. 1996. Seedling technology of *Cotinus coggygia*. China Forestry Science and Technology, (2): 38. (in Chinese)
- 李莹, 孙晓月. 1996. 黄栌种子育苗技术. 林业科技开发, (2): 38.
- Liu Chang-ming, Luo Cai-hong, Liu Run-ni, Cao Jian-gang. 2012. The effects of different concentrations of NAA and soaking time on several kinds of garden plant cuttings rooting. Shaanxi Agricultural Science, (6): 23 - 24. (in Chinese)
- 刘长明, 罗彩虹, 刘润妮, 曹建刚. 2012. NAA 不同浓度及浸泡时间处理对几种园林植物扦插生根的影响. 陕西农业科学, (6): 23 - 24.
- Lin Lin, Mu Huai-zhi, Jiang Jing, Liu Gui-feng. 2013. Transcriptomic analysis of purple leaf determination in birch. Gene, 526: 251 - 258.
- Liu De-he, Liu Zhen-huai, Yang Ming-jiang. 2009. The high branch grafting techniques of *Cotinus coggygia* by *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Scientific Cultivation, (10): 19 - 20. (in Chinese)
- 刘德合, 刘振怀, 杨明江. 2009. 利用黄栌高枝嫁接红栌技术. 科学种养, (10): 19 - 20.
- Liu Gang, Zhang Guang-can, Liu Xia. 2010. Responses of *Cotinus coggygia* var. *cinerea* photosynthesis to soil drought stress. Chinese Journal of Applied Ecology, 21 (7): 1697 - 1701. (in Chinese)
- 刘刚, 张光灿, 刘霞. 2010. 土壤干旱胁迫对黄栌叶片光合作用的影响. 应用生态学报, 21 (7): 1697 - 1701.
- Liu Jie, Luo Xiao-fang, Chen Xue-mei. 2004. Tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 19 (1): 63 - 65. (in Chinese)
- 刘杰, 罗晓芳, 陈雪梅. 2004. 美国红栌的组织培养与快速繁殖. 河北林果研究, 19 (1): 63 - 65.
- Liu Yan-fen, Tian Chun-yu, Sun Xiao-mei, Yang Hong-guang, Wang Ya-bin. 2006. Studies on preventing explants from browning in tissue culture of *Cotinus coggygia* 'Purpureus'. Journal of Liaoning Forestry Science and Technology, (4): 14 - 15. (in Chinese)
- 刘艳芬, 田春雨, 孙晓梅, 杨宏光, 王亚斌. 2006. 防止紫叶黄栌组织培养中外植体褐变的研究. 辽宁林业科技, (4): 14 - 15.
- Long Li-hui, Ma Zhuo, Cui En-xian, Han Chao, Zhang Lian-qiang, Zhang Bing. 2009. Research on depressurization effect of *Cotinus coggygia*. Journal of China Laboratory Diagnosis, 13 (3): 330 - 331. (in Chinese)
- 龙丽辉, 马卓, 崔恩贤, 韩朝, 张连强, 张兵. 2009. 黄栌降压作用研究. 中国实验诊断学, 13 (3): 330 - 331.
- Mabberly D J. 1997. The plant-book - A portable dictionary of the vascular plants. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press: 187 - 188.
- Man Chang-hua, Li De-yuan, Hu Lin. 2005. The grafting seedling technique of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, (4): 118. (in Chinese)
- 满昌华, 李德远, 胡林. 2005. 美国红栌的嫁接育苗技术. 河北林业科技, (4): 118.
- Matić S, Stanić S, Bogojević D, Vidaković M, Grdović N, Dinić S, Solujić S, Mihailović M, Stanković N, Mihailović M. 2013. Methanol extract from the stem of *Cotinus coggygia* Scop., and its major bioactive phytochemical constituent myricetin modulate pyrogallol-induced DNA damage and liver injury. Mutation Research, 755: 81 - 89.
- Miao Qing, Qu Bo, Shao Mei-ni, Zhai Qiang, Chen Ying-zhi. 2005. Study on tissue culture of *Cotinus coggygia*. Journal of Liaoning Forestry Science & Technology, (1): 16 - 17. (in Chinese)
- 苗青, 曲波, 邵美妮, 翟强, 陈之应. 2005. 黄栌的组织培养研究. 辽宁林业科技, (1): 16 - 17.
- Nagaiya R, Gopalakrishnan S, Balasubramanian R, Ganesan V S. 2011. Fisetin, a novel flavonol attenuates benzo(a)pyrene-induced lung carcinogenesis in Swiss albino mice. Food and Chemical Toxicology, 49 (5): 1141 - 1147.
- Nardini A, Salleo S, Trifilo P. 2003. Water relations and hydraulic characteristics of three woody species co-occurring in the same habitat. Annals of Forest Science, 60 (4): 297 - 305.
- Oren-Shamir M, Levi-Nissim M A. 1997a. UV-light effect on the leaf pigmentation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Science Horticulture, 71: 59 - 66.
- Oren-Shamir M, Levi-Nissim M A. 1997b. Temperature effect on the leaf pigmentation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Journal of Horticulture, 72 (3): 425 - 432.
- Pacholczak A, Szydl W, Łukaszewska A. 2005. The effect of etiolation and shading of stock plants on rhizogenesis in stem cuttings of *Cotinus coggygia*. Acta Physiologiae Plantarum, 27 (4): 417 - 428.
- Pan Qing-hua, Li Hai-long, Zhang Yu-ping. 2010. Studies on biological characteristic of *Cotinus coggygia* Scop. new cultivars/types. Journal of Hubei University for Nationalities: Natural Science Edition, 28 (4): 368 - 370. (in Chinese)
- 潘青华, 李海龙, 张玉平. 2010. 黄栌新品种(新类型)生物学特征研究. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 28 (4): 368 - 370.
- Pang Hai-hui. 2007. Study on the characteristics of anthocyanin and physiology property with spraying K in the leaves of *Purpureus* [M. D. Dissertation]. Baoding: Agricultural University of Hebei. (in Chinese)
- 庞海慧. 2007. 红叶黄栌叶片色素特性及钾元素对叶片生理特性影响的研究[硕士论文]. 保定: 河北农业大学.
- Peter S R M, Edward C Y, Kamlesh R P, Trevor A T. 2007. *In vitro* rooting of micro shoots of *Cotinus coggygia* Mill, a woody ornamental plant.

- In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant, 43: 119 – 123.
- Shan Shu-xiang, Zhou Jia-yong, Wang Ben-cheng, Wang Ru. 1990. Study on chemical constituents of wild plant *Cotinus coggygia*. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 11 (1): 16 – 22. (in Chinese)
- 单书香, 周家永, 王本成, 王 茹. 1990. 植物化学成分研究: 野生植物黄栌化学成分研究. 四川林业科技, 11 (1): 16 – 22.
- Song Li-zhou. 2008. The maintenance and management of *Cotinus coggygia* in Xiangshan Park. Beijing Landscape Architecture, 24 (4): 44 – 49. (in Chinese)
- 宋立洲. 2008. 香山公园黄栌养护和管理浅议. 北京园林, 24 (4): 44 – 49.
- Song Li-zhou. 2009. The preliminary research on occurrence regularity of *Calophya rhois* Low on *Cotinus coggygia*. Beijing Landscape Architecture, 24 (4): 33 – 37. (in Chinese)
- 宋立洲. 2009. 黄栌丽木虱发生规律的初步研究. 北京园林, 25 (2): 33 – 37.
- Stanić S, Matic S, Đelić G, Mihailović M, Bogojević D, Solujić S. 2011. Study of genotoxicity and antigenotoxicity of the *Cotinus coggygia* Scop. methanol extract by *drosophila melanogaster* sex-Linked recessive lethal test. Russian Journal of Genetics, 47 (7): 770 – 774.
- Takos I A, Efthimiou G S. 2003. Germination results on dormant seeds of fifteen tree species autumn sown in a Northern Greek nursery. Silvae Genetica, 52 (2): 67 – 71.
- Tanchev S S, Timberlake C F. 1969. Anthocyanins in leaves of *Cotinus coggygia*. Phytochemistry, (8): 2367 – 2369.
- Tao Feng, Yan Ren-jie, Zhou Hai-feng, Wu Tong. 2014. Chemical constituents of *Cotinus coggygia* Scop. and their pharmacological activities. World Clinical Drugs, 35 (2): 109 – 112. (in Chinese)
- 陶 峰, 颜仁杰, 周海凤, 吴 彤. 2014. 黄栌化学成分与药理活性研究进展. 世界临床药物, 35 (2): 109 – 112.
- Turkmen N, Kirici S. 2004. An investigation of dye plants and their colourant substances in the eastern Mediterranean region of Turkey. Botanical Journal of the Linnean Society, 146 (1): 71 – 77.
- Tian Li-yuan. 2012. The impact of temperature and humidity on five kinds of fall-color trees' color changing in autumn of Beijing [M. D. Dissertation]. Beijing: Forestry University of Beijing. (in Chinese)
- 田丽媛. 2012. 温湿度对北京 5 种秋色叶树种秋叶变色的影响 [硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Tzakou O, Bazos I, Yannitsaros A. 2005. Essential oils of leaves, inflorescences and infructescences of spontaneous *Cotinus coggygia* Scop. from Greece. Flavour and Fragrance Journal, 20: 531 – 533.
- Wang Jian-mei, Cai Yu-shi, Tao Wan-qiang, Tian Cheng-ming, He Wei, Song Li-zhou. 2008. Pathogenicity of different fungus strains on *Cotinus coggygia*. Forest Pest and Disease, 27 (3): 1 – 6. (in Chinese)
- 王建美, 才玉石, 陶万强, 田呈明, 贺 伟, 宋立洲. 2008. 不同真菌菌株对黄栌的致病性研究. 中国森林病虫, 27 (3): 1 – 6.
- Wang W, Tian C Y, Li Y H, Li Y. 2014a. Molecular data and ecological niche modelling reveal the phylogeographic pattern of *Cotinus coggygia* (Anacardiaceae) in China's warm-temperate zone. Plant Biology, doi: 10.1111/plb.12157.
- Wang W, Li Zh, Li Y. 2014b. Isolation and characterization of microsatellite markers for *Cotinus coggygia* Scop. (Anacardiaceae) by 454 pyrosequencing. Molecules, 19 (3): 3813 – 3819.
- Wang Yan. 2012. Infection characteristics of *Verticillium dahliae* on smoke-tree and its quantitative detection research [M. D. Dissertation]. Beijing: Forestry University of Beijing. (in Chinese)
- 王 妍. 2012. 大丽轮枝菌对黄栌植株的侵染特点及其定量检测研究 [硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Wang Yi-qing, Chen Li-you. 2002. Seedling technology of *Cotinus coggygia*. Practical Forestry Technology, (11): 38. (in Chinese)
- 王义庆, 陈立友. 2002. 红叶黄栌育苗技术. 林业实用技术, (11): 38.
- Wang Yong-lin, Xiao Shu-xiao, Xiong Dian-guang, Tian Cheng-ming. 2013. Genetic transformation, infection process and qPCR quantification of *Verticillium dahliae* on smoke-tree *Cotinus coggygia*. Australasian Plant Pathology, 42 (1): 33 – 41.
- Westenburg H E, Lee K J, Lee S K, Fong H H, Van-Breemen R B, Pezzuto J M, Kinghorn A D. 2000. Activity-guided isolation of antioxidative constituents of *Cotinus coggygia*. The Journal of Natural Products, 63 (12): 1696 – 1698.
- Wu Jia-hui. 2011. Study on soil microorganism diversity of *Cotinus coggygia* forest [M. D. Dissertation]. Beijing: Forestry University of Beijing. (in Chinese)
- 吴佳徽. 2011. 黄栌林土壤微生物多样性研究 [硕士论文]. 北京: 北京林业大学.
- Xiao Fang. 2012. The research on tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 35 (6): 31 – 32, 34. (in Chinese)
- 肖 芳. 2012. 美国红栌组培快繁研究. 内蒙古林业调查设计, 35 (6): 31 – 32, 34.

- Xiong Dian-guang, Wang Yong-lin, Ma Jie, Klosterman S J, Xiao Shu-xiao and Tian Cheng-ming. 2014. Deep mRNA sequencing reveals stage-specific transcriptome alterations during microsclerotia development in the smoke tree vascular wilt pathogen, *Verticillium dahliae*. BMC Genomics, 15: 324 - 343.
- Yang Ji-hua, Zhang Yong-tao, Wang Gui-xia, Li Hong-yun, Xia Jiang-bao. 2002. Study on moisture physiological and ecological characters of several tree species. Journal of Soil and Water Conservation, 16 (4): 152 - 154, 158. (in Chinese)
- 杨吉华, 张永涛, 王贵霞, 李红云, 夏江宝. 2002. 栎树、黄连木、黄栌水分生理生态特性的研究. 水土保持学报, 16 (4): 152 - 154, 158.
- You Chong-juan, Wang Jian-mei, Tian Cheng-ming. 2010. Changes in bioelectrical indexes of *Cotinus coggygia* var. *cinerea* inoculated with different fungus strains. Forest Research, 23 (4): 581 - 586. (in Chinese)
- 游崇娟, 王建美, 田呈明. 2010. 接种不同真菌菌株后黄栌生物电指标的变化. 林业科学研究, 23 (4): 581 - 586.
- Yu Xiao-nan. 2000. Study and analysis of anthocyanin in leaves of plants. Modern Instruments, (4): 37 - 38. (in Chinese)
- 于晓南. 2000. 植物叶片中花青素的分析与研究. 现代仪器, (4): 37 - 38.
- Zhang Fu-cheng, Zhang Wen-ting, Chen Jin-feng, Zong Zhao-feng. 2012. Screening of advantage actinomycetes against *Fusarium oxysporum* and *Verticillium dahliae*. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 21 (11): 191 - 196. (in Chinese)
- 张福成, 张文婷, 陈金凤, 宗兆锋. 2012. 防治植物枯、黄萎病的优良放线菌株筛选. 西北农业学报, 21 (11): 191 - 196.
- Zhao Hai-hong, Shi Xi-bing, Zhang Xiao-shen, Wang Hui-yu, Li Xiao-qing. 2009. The research on tissue culture and rapid propagation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. Modern Agricultural Science and Technology, (19): 221 - 223. (in Chinese)
- 赵海红, 史喜兵, 张晓申, 王慧瑜, 李晓青. 2009. 红栌组培快繁技术研究. 现代农业科技, (19): 221 - 223.
- Zhao Li-jun, Li Ji-yue, Yu Jie-fen, Sophie Bertin. 2003. Daily variation in transpiring water-consumption rates of seedlings in different drought stress. Journal of Beijing Forestry University, 25 (3): 42 - 47. (in Chinese)
- 招礼军, 李吉跃, 于界芬, Sophie Bertin. 2003. 干旱胁迫对苗木蒸腾耗水日变化的影响. 北京林业大学学报, 25 (3): 42 - 47.
- Zheng Xu-chen, Ge Yu-xuan, Wang Li-jin, Yuan Ru-yu, Zhao Yang, Zhou Xiao-hong, Wang Liang-sheng. 2013. The effects of several chemicals on leaf color changes of *Cotinus coggygia* var. *cinerea*. Acta Horticulturae Sinica, 40 (11): 2199 - 2206. (in Chinese)
- 郑绪辰, 葛雨萱, 王丽金, 袁茹玉, 赵 阳, 周肖红, 王亮生. 2013. 赤霉素、水杨酸、柠檬酸和蔗糖对灰毛黄栌叶色变化的影响. 园艺学报, 40 (11): 2199 - 2206.
- Zhou Deng-bo, Jing Tao, Tan Xin, Zhang Xi-yan, Fu Liang-xian, Gao Zhu-fen, Huang Xiao, Liu Xiao-yu. 2013. Effects of six substrates of fermentation fluid with antagonistic on banana wilt disease and disease resistance related enzymes. Chinese Journal of Tropical Crops, 34 (5): 947 - 951. (in Chinese)
- 周登博, 井 涛, 谭 昕, 张锡炎, 符良贤, 高祝芬, 黄 霄, 刘小玉. 2013. 6 种基质拮抗菌发酵液对香蕉枯萎病及相关防御酶的影响. 热带作物学报, 34 (5): 947 - 951.
- Zhou Bi-dong, Xue Tong-liang. 1999. Introduction experiment of red leaves (*Cotinus coggygia*). China Forestry Science and Technology, (1): 48. (in Chinese)
- 周必冬, 薛同良. 1999. 红叶观赏树——黄栌引种试验. 林业科技开发, (1): 48.
- Zhou Jia-yong, Shan Shu-xiang. 1993. Research profile in chemical composition and utilization of *Cotinus coggygia*. Sichuan Forestry Science and Technology, 14 (1): 41 - 46. (in Chinese)
- 周家永, 单书香. 1993. 黄栌化学成分及其应用研究概况. 四川林业科技, 14 (1): 41 - 46.
- Zhou Xiao-hong, Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Gan Chang-qing. 2009. Physiological changes and effects of growth regulators during leaf color change in *Cotinus coggygia* Scop. Scientia Silvae Sinicae, 45 (7): 59 - 62. (in Chinese)
- 周肖红, 葛雨萱, 王亮生, 甘长青. 2009. 黄栌叶色变色期生理变化及植物生长调节剂对叶色的影响. 林业科学, 45 (7): 59 - 62.
- Zhou Xiu-ren, Yang Peng-ming. 2010. Effects of different fertilizer on seedlings of *Cotinus coggygia* var. *cinerea*. Journal of Northwest Forestry University, 25 (6): 99 - 101. (in Chinese)
- 周修任, 杨鹏鸣. 2010. 不同施肥对黄栌幼苗的影响. 西北林学报, 25 (6): 99 - 101.
- Zou Li-fei, Hou Xian-wen, Li Guang-yi, Zou Yu-kun, Li Qin-fen. 2013. Screening of a strain of antagonistic bacteria against muskmelon *Fusarium* wilt and a preliminary report of the control effect. Guangdong Agricultural Sciences, (1): 72 - 75. (in Chinese)
- 邹立飞, 侯宪文, 李光义, 邹雨坤, 李勤奋. 2013. 一株甜瓜枯萎病原拮抗菌的筛选与防治效果初报. 广东农业科学, (1): 72 - 75.