

# 全球重要树木鸟瞰与解读: 栎属

方炎明\* 李焱 李璇

(南京林业大学生命科学学院, 南方现代林业协同创新中心, 国家林业和草原局亚热带森林生物多样性保护重点实验室,  
江苏南京 210037)

**摘要:** 栎属 *Quercus* L. 是一个庞大的木本植物类群, 包含约 423 个种。作为北半球森林的骨干树种, 栎树不仅具有碳汇、水土保持和维系动物生境等重要生态价值, 还具备用材、薪炭和提供工业原料等经济价值。近年来, 栎树相关研究备受关注。尽管已有不少综述论文, 但大多为区域性或科学问题导向的综述, 鲜有从全球尺度展开的综合性报道。文章对栎属的分类、地理分布、树种与森林资源、生态与实用价值, 以及多样性保护等方面进行了全面综述。主要贡献如下: 1) 首次梳理了栎属在东、西半球的纬度分布范围, 分别为 0°~60°N 和 1°~50°N; 2) 首次提供了 39 种全球重要栎树分布区的年均温和年降水数据; 3) 系统地呈现了全球栎树资源、价值和产业方面的科学数据; 4) 重点强调了栎树基因组、古树资源、物种和生态系统红色名录及其保护对策。该综述不仅能为从事栎林培育、保护与利用的一线工程技术人员提供重要参考, 也可为不同学科专业人员提供有益帮助。

**关键词:** 栎属; 分类; 地理分布; 森林资源; 林产品; 保育

中图分类号: S792.18 文献标识码: A 文章编号: 2097-5279(2025)03-0001-15

## A Synopsis and Annotation of Globally Important Trees: *Quercus* L.

FANG Yanming\* LI Yao LI Xuan

(College of Life Sciences, Nanjing Forestry University, Co-Innovation Center for Sustainable Forestry in Southern China, Key Laboratory of State Forestry and Grassland Administration on Subtropical Forest Biodiversity Conservation, Nanjing 210037, China)

**Abstract:** *Quercus* L. is a huge woody genus with about 423 species. As the backbone tree species of forests in the northern hemisphere, oak trees have important ecological values such as carbon sequestration, water conservation, and animal habitats, as well as utility values such as timber, firewood, and industrial raw materials. In recent years, research on oaks has been exceptionally active, with many review papers, but mostly are regional or scientific problem oriented reviews, and there are few comprehensive reviews at a global scale. This review provides a synopsis and annotation of oak classification, geographical distribution, tree species and forest resources, ecological and utility value, and the diversity conservation. The main contributions are listed as follows: the latitude distribution range of the genus in the eastern and western hemisphere was sorted out to be 0~60°N and 1~50°N, respectively; The data of annual mean temperature and precipitation in the distribution areas for 39 important oak species worldwide were provided; Scientific data on global oak forest resources, value, and industry were thoroughly provided here; Emphasis was placed on oak genomes, ancient tree resources, species and ecosystem red lists, as well as the conservation strategies. This review provides important references for frontline engineering and technical personnel engaged in the cultivation, protection, and utilization of oak forests, as well as assistance for professionals from different disciplines.

**Keywords:** *Quercus* L.; classification; geographic distribution; forest resources; forest products; conservation

栎属 *Quercus* L. 植物具有极高的生态价值, 以其为建群种的森林是重要的“碳库”和“水库”, 同时也为众多动物提供了理想栖息地 (Tietje et al., 2005; Diao et al., 2022; 党毅等, 2022)。此外, 栎属植物还具有重要经济价值, 可用于定向培育珍贵用材林、薪炭林、菌材林、柞蚕矮林、橡子淀粉经济林以及橡木桶

和软木工业原料林等 (Gil, 2014; 李春风等, 2016; 尤禄祥等, 2017; 张家兴等, 2023; Inácio et al., 2024)。依据最新的分子分类系统, 栎属被划分为 2 亚属 8 组, 我国拥有其中 4 组: 麻栎亚属 Subgenus *Cerris* 下的青冈栎组 Section *Cyclobalanopsis*、冬青栎组 Section *Ilex* 和麻栎组 Section *Cerris*, 以及栎亚属 Subgenus *Quercus*

收稿日期: 2025-04-25; 修回日期: 2025-06-23。

\* 通信作者: 方炎明 (E-mail: jwu4@njfu.edu.cn), 教授。

的白栎组 Section *Quercus* (Denk et al., 2017)。我国是全球栎属物种多样性极为丰富的地区之一 (Carrero et al., 2020), 多达 100 余种; 天然栎林分布广泛, 面积达 1 610 万  $\text{hm}^2$ , 蓄积量达 12.81 亿  $\text{m}^3$ , 分别占全国森林总面积和总蓄积量的 13.70% 和 10.42% (侯元兆等, 2017)。

鉴于栎属植物在生态、经济等多方面的重要地位, 其相关研究近年来备受关注。在 Web of Science 平台 (<https://webofscience.clarivate.cn/>) 上检索 2016 年至 2025 年的文献, 篇名中有 “oak” 或 “*Quercus*” 的英文论文分别为 5 444 篇和 3 169 篇。在中国知网上的同期检索显示, 篇名中有 “栎” 或 “*Quercus*” 的中文论文分别为 2 245 篇和 1 518 篇。这表明近十年来平均每年发表的栎属相关英文论文超过 500 篇, 中文论文超过 200 篇。研究主题极为丰富, 限于篇幅无法详述, 仅列举部分综述: 英文论文涉及适应性进化 (Kremer et al., 2020)、病害鉴定与防控 (Bene et al., 2025) 及橡子淀粉利用 (Szabłowska and Tańska, 2024) 等; 中文论文则涵盖蛀干害虫及天敌 (曹亮明等, 2019)、红栎资源园林应用 (尤禄祥等, 2020)、基因组与生物学 (方炎明等, 2022) 和天然林经营 (刘建锋等, 2024) 等。

综观现有文献, 针对栎树的科学研究趋于细化到群体或个体的基因、蛋白、化学物质等微观水平, 而从宏观角度系统综述其背景知识的报道相对缺乏, 尤其能为从事栎林培育、保护与利用的一线工程技术人员提供参考的综合性综述较少。同时, 栎树研究涉及人文与科学、管理与技术研发、数理科学与生物科学等多个领域, 不同学科的研究者可能需要综合性、普及性的栎树知识。随着中国国际地位的提升及科学、教育、经济、文化等领域国际合作的纵深发展, 特别是在 “一带一路” 倡议和全球生物多样性保护的背景下, 栎树相关的研究、开发与交流亟需更开阔的国际视野。基于以上目的, 本文旨在对全球栎属进行综合解读。

## 1 系统位置与分类

根据被子植物 APG IV 分类系统, 栎属隶属于蔷薇超目 Rosanae、壳斗目 Fagales、壳斗科 Fagaceae, 常归入非正规名称豆分支 Fabids (Chase and Reveal, 2009; Byng et al., 2016)。该属学名 *Quercus* 最早由林奈于 1753 年在其著作《植物种志》中提出, 1867 年 Oersted 建立了青冈属 *Cyclobalanopsis* Oerst., 而 Camus 将全球栎属划分为青冈亚属 Subgenus *Cyclobalanopsis* 和栎亚

属 Subgenus *Euquercus*, 《中国植物志》及《中国树木志》主张将青冈属与栎属分立。然而, 最新的分子系统学研究支持广义栎属概念, 将青冈属并入栎属 (Denk et al., 2017), 这一观点得到了多项研究的佐证 (Oh and Manos, 2008; Hubert et al., 2014; Deng et al., 2018; Hipp et al., 2020)。栎属是一个物种丰富的木本植物类群, 包含约 423 种 (Denk et al., 2017) 或 430 种 (Carrero et al., 2020), 但其多样性仍低于蒲桃属 *Syzygium* Gaertn. (1 069 种)、番樱桃属 *Eugenia* L. (884 种)、桉属 *Eucalyptus* L'Hér. (747 种)、榕属 *Ficus* L. (727 种)、柿属 *Diospyros* L. (726 种) 和杜英属 *Elaeocarpus* L. (468 种) 等大型木本属 (Beech et al., 2017)。该属现被划分为 2 个亚属和 8 个组 (Denk et al., 2017)。

### 1.1 栎亚属 Subgenus *Quercus*

又称为 “新大陆分支”。成熟花粉纹饰被受体非依赖性孢粉素 (receptor-independent sporopollenin) 掩盖, 包含 5 个组。

#### 1.1.1 中间栎组 Section *Protobalanus*

常绿; 花粉纹饰弱疣状; 果实 2 a 成熟; 内果皮有绒毛; 壳斗外小苞片三角形; 散孔材, 早材导管很少有侵填体。

#### 1.1.2 庞廷栎组 Section *Ponticae*

又称 “本都栎组”。常绿或落叶; 芽鳞松散; 果实当年成熟; 壳斗外小苞片瘤状, 顶端尖; 环孔材或散孔材, 早材大导管通常充满侵填体。

#### 1.1.3 弗吉尼亚栎组 Section *Virentes*

常绿或半常绿; 花粉纹饰疣状; 果实当年成熟; 壳斗外小苞片狭三角形; 散孔材, 大导管侵填体丰富; 发芽种子具细长胚根或上胚轴, 形成管状。

#### 1.1.4 白栎组 Section *Quercus*

落叶, 少数常绿; 花粉纹饰疣状; 果实当年成熟; 内果皮光滑, 无毛或近无毛; 壳斗外小苞片三角形; 叶缘锯齿通常无刚毛状芒尖; 散孔材, 早材大导管通常充满侵填体。

#### 1.1.5 红栎组 Section *Lobatae*

落叶, 少数常绿; 雌蕊花被形成形态特别的突缘; 花粉纹饰疣状; 果实 2 a 成熟, 稀当年成熟; 内果皮被绒毛; 壳斗与花梗融合形成一个 “连接片”, 连接片上覆盖着与壳斗相似的小苞片; 壳斗外小苞片三角形, 离生, 大多薄, 膜质, 光滑, 先端宽, 偏斜; 叶锯齿和裂片通常具有刚毛状延伸; 环孔材或半环孔材, 晚材管孔明显, 早材导管很少有侵填体。

### 1.2 麻栎亚属 Subgenus *Cerris*

又称为 “土耳其栎亚属” 或 “旧世界分支”。

成熟花粉纹饰可见, 包含3个组。

### 1.2.1 青冈栎组 Section *Cyclobalanopsis*

常绿; 花粉纹饰垂直皱纹状; 果实当年或2a成熟; 内果皮绒毛状, 稀光滑; 壳斗外小苞片同心环状; 叶锯齿具有刚毛状延伸, 或无; 散孔材, 早材导管很少有侵填体。

### 1.2.2 冬青栎组 Section *Ilex*

常绿; 花粉纹饰皱纹状; 果实当年或2a成熟; 内果皮绒毛状; 壳斗外小苞片三角形, 基部离生或合生, 大多薄, 膜质; 叶锯齿为具突刺的牙齿状, 或有刚毛状延伸; 散孔材, 早材导管很少有侵填体。

### 1.2.3 麻栎组 Section *Cerris*

又称为“土耳其栎组”。落叶; 花粉纹饰星散疣状; 果实多2a成熟; 内果皮被绒毛; 壳斗外小苞片狭三角形, 加厚, 龙骨状, 先端细长、反曲; 叶缘牙齿状, 通常具刚毛状延伸; 环孔材或半环孔材, 早材导管有侵填体, 但不常见。

## 2 地理分布

栎属植物广泛分布于北半球, 其分布区可划分为2大区块: 东半球区块(或称欧亚大陆区块)和西半球区块(或称中北美区块)。

### 2.1 纬度分布范围

东半球区块涵盖古北极区和印度-马来区。在该区块的近东部分, 分布北界达60°N, 大致位于挪威和瑞典南部, 如无梗花栎 *Q. petraea* (Matt.) Liebl. 和夏栎 *Q. robur* L. (Eaton et al., 2016); 南界约至33°N, 位于摩洛哥, 如加那利栎 *Q. canariensis* Willd. (Mir et al., 2005)。而在远东部分, 北界约至51°N, 大致位于中国东北部的漠河, 如蒙古栎 *Q. mongolica* Fisch. ex Ledeb. (Zeng et al., 2015); 南界则延伸至赤道附近, 如银叶青冈 *Q. argentata* Korth 和疏齿青冈 *Q. subsericea* A. Camus (Lin et al., 2023) 分布于0~1°N。由此可见, 栎属植物在东半球区块的纬度分布范围为0~60°N。

西半球区块涵盖新北极区和新热带区的中美洲与加勒比群岛。其分布北界约位于50°N, 贯穿加拿大的新不伦瑞克、魁北克、安大略、马尼托巴和不列颠哥伦比亚等省, 如大果栎 *Q. macrocarpa* Michx.、俄勒冈栎 *Q. garryana* Dougl. ex Hook. 和红槲栎 *Q. rubra* L. (Burns and Honkala, 1990; Borkowski et al., 2017; Catherall et al., 2018; Desmond et al., 2021); 南界则延伸至哥伦比亚, 约达1°N, 如洪堡栎 *Q. humboldtii* Bonpl. 主要分布在哥伦比亚1~8°N范围内 (Kappelle, 2006)。由此可见, 栎属植物在西半球区块的纬度分布范围

为1°~50°N。

### 2.2 物种多样性中心

在全球范围内, 栎树的天然分布极为广泛, 涉及达90多个国家, 中国和墨西哥分别是栎属的2个物种多样性中心 (表1; Carrero et al., 2020)。在东半球, 中国的栎树种类达到117种, 居于首位。以中国为中心, 向东、南、北、西4个方向, 物种多样性呈现出递减趋势。在美洲, 墨西哥栎树种类最多, 约164种 (Valencia, 2004; Carrero et al., 2020)。同样, 以墨西哥为中心, 物种多样性向南和向北2个方向也呈现逐渐减少的分布特征。

表1 部分国家栎属物种数

Tab. 1 Number of *Quercus* species in some countries

地区 Region	国家及栎属物种数 Countries and the oak species number
东亚 East Asia	中国(117)、日本(15)
东南亚 Southeast Asia	越南(49)、泰国(33)、缅甸(27)、老挝(24)、马来西亚(19)、印度尼西亚(14)、文莱(5)、柬埔寨(3)、菲律宾(1)
西亚 West Asia	土耳其(17)、叙利亚(10)、黎巴嫩(7)、格鲁吉亚(5)
南亚 South Asia	印度(21)、孟加拉国(9)、不丹(9)
北非 North Africa	阿尔及利亚(6)、突尼斯(5)
北美和中美 North America and Central America	墨西哥(164)、美国(91)、危地马拉(26)、洪都拉斯(20)、萨尔瓦多(15)、哥斯达黎加(12)、伯利兹(11)、尼加拉瓜(10)、巴拿马(10)、古巴(1)

### 2.3 各组的地理分布模式

栎属的8个组具有不同的地理分布模式, 如红栎组只分布于西半球区块, 而青冈栎组只分布于东半球区块 (图1; Denk et al., 2017)。

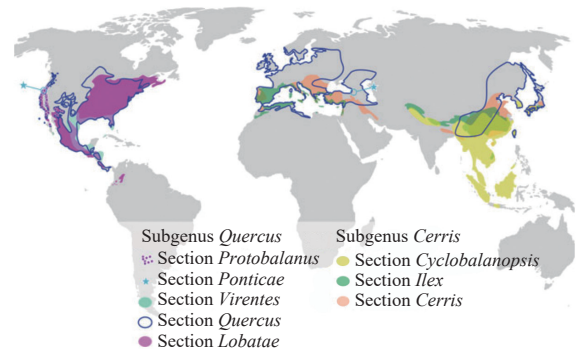


图1 栎属8个组的地理分布

Fig. 1 Geographic distribution of the eight sections of *Quercus* L.

#### 2.3.1 中间栎组

有5种, 分布于美国和墨西哥西北部。蓝莓叶栎 *Q. vaccinifolia* Kellogg 主要产自美国, 塞德罗斯岛栎 *Q. cedrosensis* C. H. Mull. 产自墨西哥, 金杯栎 *Q.*

*chrysolepis* Liebm.、帕尔默栎 *Q. palmeri* Engelm.和岛屿栎 *Q. tomentella* Engelm.在两地均有分布。

### 2.3.2 庞廷栎组

有2种,间断分布于西亚和北美西部。庞廷栎 *Q. pontica* K. Koch 产自土耳其、格鲁吉亚,鹿栎 *Q. sadleriana* R. Br.ter.产自美国西部。

### 2.3.3 弗吉尼亚栎组

有7种,分布于美国、墨西哥、古巴和中美洲。沙地青栎 *Q. geminata* Small 和弗吉尼亚青栎 *Q. virginiana* Mill.产自美国,干谷青栎 *Q. brandegeei* Goldman 产自墨西哥,德州青栎 *Q. fusiformis* Small 产自美、墨两地,中美洲青栎 *Q. oleoides* Schlttdl. & Cham.主要分布在墨西哥至尼加拉瓜。

### 2.3.4 白栎组

约146种,分布于欧亚大陆西部、东亚、北非、北美和中美。在欧亚大陆,匈牙利栎 *Q. frainetto* Ten.、无梗花栎、柔毛栎 *Q. pubescens* Willd.、比利牛斯栎 *Q. pyrenaica* Willd.和夏栎等主要分布在欧洲。榲栎 *Q. aliena* Blume、榲树 *Q. dentata* Thunb.、白栎 *Q. fabri* Hance、大叶栎 *Q. griffithii* Hook.f. & Thoms. ex Miq.、蒙古栎和枹栎 *Q. serrata* Thunb.等主要分布在中国。其中,蒙古栎、榲栎、榲树和枹栎的分布范围向东延伸至韩国、日本,蒙古栎更向北扩展至俄罗斯东部;大叶栎的分布范围延伸至东南亚,涵盖老挝、越南、泰国、印度、缅甸和斯里兰卡等地。

加那利栎主要分布在北非的阿尔及利亚、摩洛哥、突尼斯,以及欧洲南部的西班牙。

在北美大陆,美国有大果栎、蓝栎 *Q. douglasii* Hook. & Arn.等。双色栎 *Q. bicolor* Willd.、美国白栎 *Q. alba* L.的分布范围向北延伸至加拿大,黄坚果栎 *Q. muehlenbergii* Engelm.的分布范围延伸至加拿大和墨西哥。墨西哥小叶栎 *Q. microphylla* Née 产自中美洲。

### 2.3.5 红栎组

约124种,分布于北美、墨西哥、中美洲和哥伦比亚。猩红栎 *Q. coccinea* Münchh.、南方红栎 *Q. falcata* Michx.、加州黑栎 *Q. kelloggii* Newb.、水栎 *Q. nigra* L.、樱皮栎 *Q. pagoda* Raf.、沼生栎 *Q. palustris* Münchh.、柳叶栎 *Q. phellos* L.、娜塔栎 *Q. texana* Buckley 和黑栎 *Q. velutina* Lam.等分布在美国。北方针栎 *Q. ellipsoidalis* E. J. Hill.、红榲栎和舒玛栎 *Q. shumardii* Buckley 等主要分布在美国,分布范围延伸至加拿大。加州栎 *Q. agrifolia* Née.、埃默里栎 *Q. emoryi* Torr.、格雷夫斯栎 *Q. gravesii* Sudw.、银叶栎 *Q. hypoleucoides* A. Camus.、索诺兰栎 *Q. viminea* Trel.和山地常绿栎 *Q. wislizeni*

A. DC.等分布在美国和加拿大。全叶墨栎 *Q. acherdophylla* Trel.、芒齿墨栎 *Q. affinis* Scheidw.、黄背墨栎 *Q. hypoxantha* Trel.、琴叶墨栎 *Q. urbani* Trel.和显脉墨栎 *Q. uxoris* McVaugh 等分布在墨西哥。边沁栎 *Q. benthamii* A. DC.、美洲栗叶栎 *Q. castanea* Née.、古巴栎 *Q. cupreata* Trel. & C.H.Mull.和美洲柳叶栎 *Q. salicifolia* Née 等主要分布在中美洲,其中边沁栎分布在哥斯达黎加、萨尔瓦多、危地马拉、洪都拉斯、墨西哥、尼加拉瓜和巴拿马等地,美洲栗叶栎分布在墨西哥、危地马拉,古巴栎分布在古巴,美洲柳叶栎分布在墨西哥、危地马拉、洪都拉斯、萨尔瓦多、巴拿马和尼加拉瓜。

### 2.3.6 青冈栎组

约90种,分布于亚洲热带和亚热带地区。主要产自亚洲热带地区的有:银叶青冈产自印度尼西亚加里曼丹、苏门答腊和爪哇等岛屿;婆罗青冈 *Q. kerangensis* Soepadmo 产自印度尼西亚的加里曼丹岛;梅里青冈 *Q. merrillii* Seemen 产自菲律宾和印度尼西亚的加里曼丹岛;埃尔梅青冈 *Q. elmeri* Merr.产自马来西亚和印度尼西亚的加里曼丹岛、苏门答腊岛。

岭南青冈 *Q. championii* Benth.、福建青冈 *Q. chungii* F. P. Metcalf.、黄毛青冈 *Q. delavayi* Franch.、大叶青冈 *Q. jenseniana* Hand.-Mazz.、多脉青冈 *Q. multinervis* (W. C. Cheng & T. Hong) J. Q. Li 和云山青冈 *Q. sessilifolia* Blume 等是中国特有的物种。赤皮青冈 *Q. gilva* Blume.、青冈 *Q. glauca* Thunb.、小叶青冈 *Q. myrsinifolia* Blume 和曼青冈 *Q. oxyodon* Miq.等主要分布在中国,也分布到东亚和东南亚国家。

### 2.3.7 冬青栎组

约36种,分布于欧亚和北非。乌冈栎 *Q. phillyreoides* A. Gray 产自中国、日本和韩国,分布在中国至东亚;巴洛特栎 *Q. baloot* Griff.产自阿富汗和巴基斯坦,高山栎 *Q. semecarpifolia* Sm.产自中国、阿富汗、不丹、印度、缅甸、尼泊尔和巴基斯坦等地,这2个种均分布在中国至西亚、南亚。川滇高山栎 *Q. aquifolioides* Rehder & E. H. Wilson 产自中国、不丹和缅甸,锥连栎 *Q. franchetii* Skan 产自中国、泰国和越南,炭栎 *Q. utilis* Hu & W. C. Cheng 产自中国和越南,这些种类均分布在中国至东南亚。塞浦路斯栎 *Q. alnifolia* Poech 产自塞浦路斯,博兹皮纳尔栎 *Q. aucheri* Jaub. & Spach 产自希腊和土耳其,大红栎 *Q. coccifera* L.和冬青栎 *Q. ilex* L.产自南欧及地中海地区,其均分布在地中海地区。

岩栎 *Q. acrodonta* Seemen.、檀子栎 *Q. baronii* Skan.

铁橡栎 *Q. cocciferoides* Hand.-Mazz.、匙叶栎 *Q. dolicholepis* A. Camus、巴东栎 *Q. engleriana* Seemen、长穗高山栎 *Q. longispica* (Hand.-Mazz.) A. Camus、尖叶栎 *Q. oxyphylla* (E.H.Wilson) Hand.-Mazz. 和黄背栎 *Q. pannosa* Hand.-Mazz. 等在中国均有分布。

### 2.3.8 麻栎组

约 13 种, 分布于欧亚和北非。小叶栎 *Q. chenii* Nakai 为中国特产; 栓皮栎 *Q. variabilis* Blume 产自中国、日本和韩国; 麻栎 *Q. acutissima* Carruth. 主要产自中国, 分布范围延伸至东亚的日本、韩国, 以及东南亚的柬埔寨、缅甸、越南和泰国; 波斯栎 *Q. brantii* Lindl.、栗叶栎 *Q. castaneifolia* C. A. Mey. 和黎巴嫩栎 *Q. libani* G.Olivier 产自西亚地区, 延伸至北非; 土耳其栎 *Q. cerris* L.、欧洲栓皮栎 *Q. suber* L. 和特洛伊栎 *Q. trojana* Webb 产自地中海周边, 包括小亚细亚半岛、巴尔干半岛、南欧和北非。

## 3 树种资源

全球重要的栎属树种资源如表 2 所示。中国的栎属树种资源包含 3 类: 1) 国家储备林树种, 包括青冈栎、栓皮栎、槲树等 17 种 (国家林业和草原局, 2025)。2) 主要栽培珍贵树种, 包括 11 种; 其中, 常绿的有福建青冈、赤皮青冈、小叶青冈等 5 种, 落叶的有麻栎、白栎、蒙古栎等 6 种 (国家林业和草原局, 2017)。3) 特种资源栎树, 如软木树种栓皮栎, 柞蚕树种蒙古栎和麻栎。此外, 许多树种是潜在的能源树种和木本粮食树种。

欧洲的栎属树种资源包含 3 类: 1) 软木树种欧洲栓皮栎, 在地中海地区形成一种特殊的“农-林-牧”混作系统, 在葡萄牙被称为蒙塔多斯 (montados), 在西班牙被称为德赫萨 (dehesas) (Teixeira, 2022; Lyubanova et al., 2024; Mata and Dos-Santos, 2024)。2) 橡木

表 2 全球重要栎属树种资源

Tab. 2 Globally important resources of *Quercus* species

树种 Tree species	学名 Scientific name	组别 Section	分布国家及其区域 Distributed countries and the regions	年均温/°C Annual mean temperature	年降水/mm Annual precipitation	重要价值和用途 Important value and use
福建青冈	<i>Q. chungii</i> F. P. Metcalf	青冈栎组	中国(赣、闽、湘、粤、桂)	16.2~19.8	1 408~1 770	珍贵用材、储备林
赤皮青冈	<i>Q. gilva</i> Blume	青冈栎组	中国(闽、浙、台、粤、黔、湘、赣), 日本, 韩国	14.6~20.5	1 189~1 770	珍贵用材、储备林
青冈	<i>Q. glauca</i> Thunb.	青冈栎组	中国(浙、闽、赣、湘、川、滇、黔等15省), 韩国, 印度, 缅甸, 日本	11.1~20.5	846~1 770	珍贵用材、储备林
小叶青冈	<i>Q. myrsinifolia</i> Blume	青冈栎组	中国(闽、台、赣、湘、鄂、粤、黔等12省), 越南, 老挝, 日本	10.2~20.5	846~1 770	珍贵用材、储备林
毛果青冈	<i>Q. pachyloma</i> Seemen	青冈栎组	中国(赣、闽、台、粤、桂、黔、湘)	14.6~20.5	1 189~1 770	珍贵用材、储备林
岭南青冈	<i>Q. championii</i> Benth.	青冈栎组	中国(滇、闽、台、粤、桂、琼)	17.7~25.5	1 315~1 770	储备林
饭甑青冈	<i>Q. fleuryi</i> Hickel & A. Camus	青冈栎组	中国(赣、湘、黔、滇、闽、粤、桂、琼)	14.6~25.5	1 189~1 770	储备林
麻栎	<i>Q. acutissima</i> Carruth.	麻栎组	中国(辽、鲁、豫、鄂、苏、皖等18省), 日本, 韩国, 柬埔寨, 缅甸, 越南, 泰国	5.5~25.5	544~1 770	珍贵用材、储备林
槲栎	<i>Q. aliena</i> Blume	白栎组	中国(鲁、苏、皖、豫、鄂、黔、辽等16省), 日本, 韩国	5.5~19.8	714~1 770	珍贵用材、储备林
白栎	<i>Q. fabri</i> Hance	白栎组	中国(苏、皖、浙、鄂、湘、川、滇等14省)	10.2~19.8	846~1 770	珍贵用材、储备林
蒙古栎	<i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	白栎组	中国(黑、吉、辽、蒙、冀、鲁), 日本, 韩国, 蒙古, 俄罗斯	2.9~11.9	450~1 000	珍贵用材、储备林
栓皮栎	<i>Q. variabilis</i> Blume	麻栎组	中国(辽、冀、晋、鲁、皖、豫、鄂等20省), 日本, 韩国	5.5~20.5	544~1 770	珍贵用材、储备林
槲树	<i>Q. dentata</i> Thunb.	白栎组	中国(吉、冀、晋、陕、皖、鄂、滇等18省), 日本, 韩国	2.9~20.5	544~1 752	珍贵用材、储备林
岩栎	<i>Q. acrodonta</i> Seemen	冬青栎组	中国(豫、陕、甘、湘、鄂、川、黔、滇)	8.8~18.2	574~1 728	储备林
小叶栎	<i>Q. chenii</i> Nakai	麻栎组	中国(皖、苏、浙、赣、湘、鄂等10省)	10.2~18.2	695~1 770	储备林
冬青栎	<i>Q. ilex</i> L.	冬青栎组	葡萄牙、摩洛哥、土耳其、意大利、法国	10.9~17.4	357~858	用材、薪炭和木本粮食
夏栎	<i>Q. robur</i> L.	白栎组	英国、德国、法国、意大利、西班牙等欧洲大部分国家和地区, 北至挪威和瑞典的南部, 南至意大利、希腊和土耳其, 东至俄罗斯	5.7~13.8	450~1 541	珍贵用材、橡木桶原料

续表 2 Continued

树种 Tree species	学名 Scientific name	组别 Section	分布国家及其区域 Distributed countries and the regions	年均温/°C Annual mean temperature	年降水/mm Annual precipitation	重要价值和用途 Important value and use
无梗花栎	<i>Q. petraea</i> (Matt.) Liebl.	白栎组	英国、德国、法国、意大利、西班牙等欧洲大部分国家和地区,北至挪威和瑞典的南部,南至意大利、希腊和土耳其,东至俄罗斯	5.7~13.8	450~1 541	珍贵用材、橡木桶材料
欧洲栓皮栎	<i>Q. suber</i> L.	麻栎组	阿尔及利亚、法国、意大利、摩洛哥、葡萄牙、西班牙和突尼斯等,地中海周边国家	13.0~18.0	479~2 400	软木原料
匈牙利栎	<i>Q. frainetto</i> Ten.	白栎组	阿尔巴尼亚、保加利亚、希腊、匈牙利、意大利、罗马尼亚、土耳其	10.2~11.7	515~6 30	用材和薪炭
美国白栎	<i>Q. alba</i> L.	白栎组	美国(中北、东北、中南、东南部),加拿大(安大略省和魁北克省)	7.0~21.0	760~2 030	珍贵用材、橡木桶原料
双色栎	<i>Q. bicolor</i> Willd.	白栎组	美国(中北、东北部),加拿大南部	4.0~16.0	640~1 270	用材
金杯栎	<i>Q. chrysolepis</i> Liebm.	中间栎组	美国(西南部)、墨西哥	—	150~2 790	薪炭和木本粮食
猩红栎	<i>Q. coccinea</i> Münchh.	红栎组	美国(东北、东南部)	10.0~18.0	760~1 400	观赏
南方红栎	<i>Q. falcata</i> Michx.	红栎组	美国(中南、东南部)	16.0~21.0	1 020~1 270	用材
樱皮栎	<i>Q. pagoda</i> Raf.	红栎组	美国(中南、东南部)	16.0~21.0	1 140~1 520	用材
大果栎	<i>Q. macrocarpa</i> Michx.	白栎组	美国(东部和大平原地区)	—	380~1 270	用材
沼生栗栎	<i>Q. michauxii</i> Nuttall	白栎组	美国(东南部大西洋沿岸平原)	16.0~21.0	1 270~1 520	用材
水栎	<i>Q. nigra</i> L.	红栎组	美国(中南、东南部)	—	1 270~1 520	用材与景观
沼生栎	<i>Q. palustris</i> Münchh.	红栎组	美国(东部至中部)	10.0~16.0	810~1 270	用材与景观
柳叶栎	<i>Q. phellos</i> L.	红栎组	美国(东南部大西洋沿岸平原)	10.0~21.0	1 020~1 520	造纸与景观
红榭栎	<i>Q. rubra</i> L.	红栎组	美国(中北、东北、中南、东南部),加拿大南部	4.0~16.0	760~2 030	珍贵用材与景观
舒玛栎	<i>Q. shumardii</i> Buckley	红栎组	美国(东南部大西洋沿岸平原),加拿大(安大略省)	16.0~21.0	1 140~1 400	用材与景观
铁栎	<i>Q. stellata</i> Wangenh.	白栎组	美国(中南、东南部)	10.0~22.0	560~1 520	用材与景观
黑栎	<i>Q. velutina</i> Lam.	红栎组	美国(中北、东北、中南、东南部),加拿大南部	7.0~20.0	760~2 030	用材
弗吉尼亚青栎	<i>Q. virginiana</i> Mill.	弗吉尼亚栎组	美国(东南部低海岸平原)	—	810~1 650	景观
山地墨栎	<i>Q. sideroxylo</i> Bonpl.	红栎组	墨西哥(奇瓦瓦、科阿韦拉等6个州)	5.8~14.5	651~1 000	用材
厚叶美洲栎	<i>Q. crassifolia</i> Bonpl.	红栎组	墨西哥、危地马拉	18.0	700~1 300	用材
栗叶美洲栎	<i>Q. castanea</i> Née	红栎组	墨西哥、危地马拉	10.0~26.0	800~1 335	薪炭

注:表中年均温、年降水等数据主要参考以下文献:马常耕等,1990;汪企明等,1993;李文英和顾万春,2005;孙婉馨等,2020;贾婷等,2025; Burns and Honkala, 1990; Hernandez et al., 1992; Guan et al., 2003; Gil and Varela, 2008; Alfonso-Corrado et al., 2014; Apostol et al., 2020; Bert et al., 2020; Bose et al., 2021; Villanueva-Díaz et al., 2021; Salazar et al., 2025。

Notes: The data of annual average temperature and annual precipitation in the table mainly refer to the following documents: Ma et al., 1990; Wang et al., 1993; Li and Gu, 2005; Sun et al., 2020; Jia et al., 2025; Burns and Honkala, 1990; Hernandez et al., 1992; Guan et al., 2003; Gil and Varela, 2008; Alfonso-Corrado et al., 2014; Apostol et al., 2020; Bert et al., 2020; Bose et al., 2021; Villanueva-Díaz et al., 2021; Salazar et al., 2025.

桶原料树种,包括夏栎和无梗花栎。3)珍贵用材树种,主要有夏栎、无梗花栎和匈牙利栎(Eaton et al., 2016; Mauri et al., 2016)。

美国和加拿大的栎属树种资源包含2类:1)珍贵用材树种,分为红栎类和白栎类,其中红栎类包括红榭栎、舒玛栎和樱皮栎等,白栎类包括美国白栎、双

色栎、大果栎、栗栎和黄坚果栎等(Nixon, 1997; Oswald et al., 2019; Carrero et al., 2020);2)橡木桶原料树种,包括美国白栎与欧洲的夏栎和无梗花栎,并称为“世界三大橡木桶原料树种”(Chatonnet and Dubourdieu, 1998)。

墨西哥的栎树资源包含2类:1)用材树种,如山

地墨栎 *Q. sideroxylla* Bonpl. 和厚叶美洲栎 *Q. crassifolia* Bonpl. (Quiñonez-Barraza et al., 2018; Villanueva-Díaz et al., 2021); 2) 薪炭树种, 如栗叶美洲栎 *Q. castanea* Née (Aguilar et al., 2012)。

#### 4 森林资源

栎林是中国的重要森林资源。根据第八次全国森林资源清查结果(侯元兆等, 2017), 中国的栎林面积 1 672 万  $\text{hm}^2$ , 蓄积 12.94 亿  $\text{m}^3$ , 在全国森林资源中的占比分别为 10.15% 和 8.67%, 在所有树种类别中, 这两项指标均列首位。从天然林来看, 栎类森林面积 1 610 万  $\text{hm}^2$ , 蓄积 12.81 亿  $\text{m}^3$ , 在全国天然林的占比分别为 13.70% 和 10.42%。由此可见, 栎类森林作为森林资源在全国具有十分重要的地位。从区域分布来看, 落叶栎类天然乔木林面积占比较高的省份依次为河南(56.74%)、陕西(47.86%)、辽宁(35.69%) 和河北(32.20%), 4 个省的栎林面积分别为 74.59 万、249.17 万、73.64 万和 55.92 万  $\text{hm}^2$ , 蓄积分别为 3 784.52 万、17 084.78 万、4 494.85 万和 1 585.62 万  $\text{m}^3$ 。落叶栎林资源在北方地区的重要性十分显著。

欧洲栎林资源未见详细的数字报道, 据相关栎树学术团体(The Oaks Of Eurasia: <http://oaks.forest.ru/eng/>) 介绍, 部分国家的栎林面积如下: 俄罗斯 370 万  $\text{hm}^2$ 、法国 210 万  $\text{hm}^2$ 、乌克兰 170 万  $\text{hm}^2$ 、德国 90 万  $\text{hm}^2$ 、丹麦 50 万  $\text{hm}^2$ 、克罗地亚 30 万  $\text{hm}^2$ 。欧洲国家的栎林面积在相应国家森林面积中的占比相对较高, 如法国 30%、乌克兰 25%、罗马尼亚 18%、德国 10% (Spiecker, 2021)。其他文献表明, 德国的栎林占比 10%, 面积 140 万  $\text{hm}^2$  (Klößner, 2021)。地中海沿岸国家欧洲栓皮栎林面积约 212.3 万  $\text{hm}^2$ , 其中葡萄牙 72 万  $\text{hm}^2$  (占比 34%)、西班牙 57.4 万  $\text{hm}^2$  (占比 27%) (Oliveira and Pereira, 2020; Mata and Dos-Santos, 2024)。

美国森林划分为北方、南方、落基山和太平洋沿岸 4 个林区, 栎林主要分布在北方和南方 2 个林区, 北方林区又分为东北和中北 2 个亚区, 南方林区又分为东南和中南 2 个亚区; 美国东部(含北方和南方 2 个林区)分布栎树相关的森林和林地被归类为 3 个林组(Oswalt et al., 2019), 将英亩折算为公顷后的面积分别为: 栎-松林组 1 129.8 万  $\text{hm}^2$ , 栎-山核桃林组 5 694.8 万  $\text{hm}^2$ , 栎-蓝果树-落羽杉林组 1 030.7 万  $\text{hm}^2$ , 合计 7 855.3 万  $\text{hm}^2$ , 3 个林组总面积占东部所有森林和林地的 46%。需要说明的是: 3 个栎类林组在美国东部至关重要, 但不意味着栎类均为纯林, 还包括混交林。栎树蓄积按以下 4 类统计: 1) 特指白栎类, 包

括美国白栎、双色栎、大果栎、沼生栗栎 *Q. michauxii* Nuttall 和黄坚果栎, 10.15 亿  $\text{m}^3$ ; 2) 特指红栎类, 包括樱皮栎、红槲栎和舒玛栎, 8.14 亿  $\text{m}^3$ ; 3) 其他白栎类, 包括琴叶栎、栗栎和星毛栎, 6.52 亿  $\text{m}^3$ ; 4) 其他红栎类, 包括猩红栎、南方红栎、水栎、沼生栎、柳叶栎和黑栎等 10 种, 12.82 亿  $\text{m}^3$ 。4 类栎树蓄积合计 37.63 亿  $\text{m}^3$ , 占该区域阔叶树蓄积的 34%。

栎林广泛分布在墨西哥山脉, 约占该国国土面积的 5.5%, 栎树木材约占墨西哥木材总产量的 10% (Galicía et al., 2015)。

#### 5 生态价值

栎属是北半球温带落叶阔叶林和亚热带常绿阔叶林的主要建群树种之一。在欧亚大陆, 白栎组和麻栎组树种主要在欧洲地区和中国北方地区组成落叶阔叶林, 偶尔形成纯林; 青冈栎组树种主要在东亚和东南亚地区组成常绿阔叶林, 多以混交林的形式出现; 冬青栎组树种主要在中国西部高山、西亚以及地中海沿岸地区形成多优势种或单优势种群落。在美国, 栎林主要有栎-松林组、栎-山核桃林组和栎-蓝果树-落羽杉林组 3 类(Oswalt et al., 2019)。在墨西哥, 白栎类主要在东北部, 红栎类主要在西部和南部组成森林, 垂直分布 200~3 500 m, 集中分布 1 200~2 800 m, 如莱西栎 *Q. laceyi* Small 是低海拔干热立地的优势种, 而山地墨栎是高海拔山地的优势种 (Galicía et al., 2015)。

##### 5.1 栎林是优质“碳库”

青冈栎林的碳储量在早期(小于 50 a)低于杉木林和马尾松林, 但在晚期(大于 50 a)高于杉木林和马尾松林; 20, 71 和 100 a 的青冈栎林碳密度分别为 71.66, 237.92 和 246.10  $\text{Mg C}/\text{hm}^2$ , 并随树龄呈增长趋势, 青冈栎林的碳密度高峰超过 100 a (Diao et al., 2022)。以高山栎和薄片青冈 *Q. lamellosa* Sm. 为优势种的栎林, 碳储量为 127.6  $\text{Mg C}/\text{hm}^2$  (Poudel et al., 2020)。栎林林下植被也具有一定的碳储功能, 如夏栎林下灌草总碳储量为  $(2.61 \pm 0.32) \text{Mg C}/\text{hm}^2$  (Haq et al., 2024)。固氮树种可提高栎林的碳储量, 如在有放线菌根瘤固氮树种尼泊尔椴木 *Alnus nepalensis* D. Don 伴生的情况下, 通麦栎 *Q. lanata* Sm. 天然林碳储量为 485.3~635.6  $\text{Mg C}/\text{hm}^2$ , 而无椴木伴生的栎林碳储量为 378.8~472.0  $\text{Mg C}/\text{hm}^2$  (Joshi and Garkot, 2023)。虽然这些数值可能因测定方法不同而产生偏差, 不能简单对比, 但不能否认栎林确实是优质“碳库”。

##### 5.2 栎林是优质“水库”

在北京西山典型人工林中, 栓皮栎林下枯落物

层截留降水能力最大,最大持水量达 21.20 t/hm<sup>2</sup>,高于元宝枫 *Acer truncatum* Bunge、油松 *Pinus tabulaeformis* Carrière 和侧柏 *Platycladus orientalis* (L.) Franco(党毅等, 2022)。次生栎林具有极强的水源涵养功能,不同类型次生栎林的单位面积土壤水源涵养量分别为:青冈栎林 4 807 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,麻栎林 4 657 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>,柞栎林 4 593 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>(张勇等, 2017)。

### 5.3 栎林为野生动物提供食物和生境

美国加利福尼亚州有 632 种陆生脊椎动物,其中 300 多种生存于栎林,包括 120 种哺乳动物、147 种鸟类和 60 种两栖动物、爬行动物,栎林为其提供食物、巢穴和繁殖场所(Tietje et al., 2005)。栎树产出的橡子是啮齿类等动物类群的美食。蒙古栎(原文辽东栎 *Q. liaotungensis* Koidz., 归并入蒙古栎)为北社鼠 *Niviventer confucianus* Milne-Edwards、大林姬鼠 *Apodemus peninsulae* Thomas、黑线姬鼠 *A. agrarius* Pallas、大仓鼠 *Tscheskia triton* de Winton、岩松鼠 *Sciurotamias davidianus* Milne-Edwards 和花鼠 *Tamias sibiricus* Laxmann 提供食物(Zhang et al., 2008)。由水栎、沼栗栎、沼月桂栎 *Q. laurifolia* Michx.、弗吉尼亚青栎和美国白栎组成的栎林,为白尾鹿 *Odocoileus virginianus* Zimmerman、灰松鼠 *Sciurus carolinensis* Gmelin 和浣熊 *Procyon lotor* L. 提供食物(Demeny et al., 2025)。啮齿类动物取食橡子具有偏好性,在 3 种常绿栎树的橡子中,优先取食冬青栎,其次是欧洲栓皮栎,最不喜好大红栎(Pons and Pausas, 2007)。橡子产量与啮齿类动物种群大小有关,红槲栎和美国白栎橡子的大小年模式,影响白足鼠 *Peromyscus leucopus* Rafinesque、鹿白足鼠 *P. maniculatus* Wagner 和暗眼灯草鹀 *Junco hyemalis* L. 等种群动态(Cloutfelter et al., 2007)。栎林是啄木鸟类和松鼠类动物的良好栖息地,以红槲栎、美国白栎和双色栎为优势种的栎林,为许多啄木鸟提供生境,如绒啄木鸟 *Picoides pubescens* L.、毛发啄木鸟 *P. villosus* L.、红腹啄木鸟 *Melanerpes carolinus* L.、红头啄木鸟 *M. erythrocephalus* L.、北美黑啄木鸟 *Dryocopus pileatus* L.、黄腹吸汁啄木鸟 *Sphyrapicus varius* L. 和北扑翅鸺 *Colaptes auratus* L.(Adkins and Cuthbert, 2005)。沼月桂栎的枝条可供美洲飞鼠 *Glaucomys volans* L 构筑松鼠窝(Campuzano-Chávez-Peón et al., 2014)。栎林也为青蛙类、蝶螈类、蛇类等两栖和爬行动物提供生境,蝶螈 *Salamandridae* 因其对森林微气候的敏感性而被视为生态系统健康的指标物种,栎林的更新对无肺螈属 *Plethodon* Tschudi 具有负面影响,对早期演替鸟类有正面影响(Greenberg et al., 2016)。由此可见,栎林荟聚

了不同动物的家族,从而使栎林生机盎然、生物多样。

此外,栎林中的负离子丰富,可以清洁空气,对人的心理和生理机能具有重要的促进作用(施光耀等, 2021; 张家兴等, 2023)。栎林广泛分布于北半球且物种多样性极高,是“进化上的成功故事”(Kremer and Hipp, 2020),其多样性形成的本质是自然选择下“适地适树”生态适应性的体现。

## 6 实用价值

栎树可作为用材林、短轮伐期薪炭林、短轮伐期菌材林和柞蚕矮林培育(尤禄祥等, 2017)。此外,还可以定向培育橡子淀粉经济林、橡木桶和软木工业原料林。

### 6.1 原木板材

栎木在墨西哥主要用于建材、工艺品和家具(Galicia et al., 2015)。韩国的蒙古栎原木主要用于生产木片(50%)和中等密度纤维板(26%),用于生产锯材的只占 6%(Chang et al., 2020; Chang and Han, 2025)。美国是栎木的主要生产国和出口国之一,栎木出口主要为原木和板材(Luppold and Bumgardner, 2021; Luppold et al., 2022)。2009—2017 年,美国红栎出口到中国的份额,由 28% 增加到 73%(Bumgardner, 2019)。中国进口的白栎木主要用于生产白橡木桶、酿酒用白橡木制品(木片、木屑、木粉、木块、木丁和木板等)和白橡木乒乓球拍,红栎木主要用于生产家具、地板和室内木线材料(汪浩明等, 2016)。

### 6.2 橡木桶原料

在西方,橡木桶一直被用于保存和陈酿葡萄酒,因为橡木具有抗性和相对不透水性,并为葡萄酒提供多酚,在葡萄酒老化过程中对葡萄酒的风味起到至关重要的作用,制作橡木桶最经典的栎树是产自欧洲的夏栎、无梗花栎和美国白栎(Zhang B et al., 2015; Carpena et al., 2020)。中国产的蒙古栎与上述 3 种栎树类似,是制作酒桶的绝佳材料(王雪玉等, 2019)。橡木桶的需求量正逐年增长,全球橡木桶需求数量约 2 000 万个,按使用 5 a 的周期测算,每年需新增橡木桶 420 万个,一个 225 L 规格的橡木桶售价约 5 000~7 000 元(李春风等, 2016)。照此推算,全球橡木桶市场规模达 200 亿~300 亿元,是一个极具潜力的市场。

### 6.3 软木原料

软木被认为是一种战略物质(Gil, 2014)。软木原料树种主要有 2 种:欧洲栓皮栎和栓皮栎。2020 年世界年产软木约为 1.87 亿 t,其中葡萄牙 0.87 亿 t

(约占46%)、西班牙0.61亿t(约占33%)。葡萄牙是软木终端-用户-生产的世界领跑者,产值为10.16亿欧元,约占62.1%,其中瓶塞约占70%(Mata and Dos-Santos, 2024)。中国年产软木原料约5万t,软木企业达270家,但企业规模普遍偏小,千万级企业仅占15.7%(宋迎刚等, 2020)。

#### 6.4 木本粮食

冬青栎、欧洲栓皮栎和匈牙利栎等栎树的橡子营养成分丰富,干物质中碳水化合物占78.03%~91.92%(其中淀粉含量55.00%),脂质2.02%~11.75%,蛋白质4.52%~7.63%,灰分1.25%~2.13%;因淀粉含量高,所以橡子通常被制作成橡子淀粉,作为谷物粉的替代品;在欧洲大陆及地中海沿岸地区、北美特别是加利福尼亚州,橡子淀粉是一种传统食物,甚至到20世纪中叶,摩洛哥、阿尔及利亚、意大利、希腊和塞尔维亚等地的橡子消费一直很普遍(Inácio et al., 2024)。橡子因含有生物活性物质和具有抗氧化作用,又是天然无麦麸食材,属健康食品,特别适合麸质过敏群体食用。现代橡子的利用包括3个方面:坚果、面粉和食用油(Vinha et al., 2016; Szablowska and Tańska, 2024)。在中国,民间一般用壳斗科的苦槠 *Castanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schottky、甜槠 *C. eyrei* (Champ. ex Benth.) Tutcher 和米槠 *C. carlesii* (Hemsl.) Hayata 制作豆腐或直接食用,栎属树种的橡子只作为替代品。在韩国,年消耗橡子达到1.4万t(Overstreet et al., 2015)。预计到2050年,世界人口将达到90亿,对全球粮食安全带来严峻挑战(Vinha et al., 2016)。栎林是一个潜在的“粮库”,是应对全球粮食安全挑战的一条有效途径。

#### 6.5 药材

麻栎、波斯栎、大红栎等栎树的橡子既含有亲水性生物活性化合物(如缩合单宁、水解单宁、没食子酸、儿茶素和类黄酮),也含亲脂性生物活性化合物(如生育醇、甾醇、类胡萝卜素和叶绿素)。民间用橡子治疗多种疾病,如橡子饮治腹泻,橡子咖啡用于收敛和止泻,橡子草药治烧伤和创伤,橡子糖浆增强免疫系统功能。现代临床医学研究表明,橡子提取物具有抗炎、抗哮喘、抗氧化、抗菌、防止肝损伤、降低糖化血红蛋白等生物活性(Szablowska and Tańska, 2024)。丰富多样的栎树橡子具有广阔的药物开发前景。

#### 6.6 文旅元素

栎树是自然与文化遗产的重要组成部分(Plomion et al., 2018)。巴黎圣母院(Notre-Dame de Paris)橡(栎)木框架是法国哥特式工匠最伟大的杰作之一,其建

于12—13世纪(Dufraisse, 2024)。该建筑毁于2019年4月的一场大火,其修复方案依然采用中世纪框架中的橡木梁(Thibaut et al., 2024)。在旅游景点,栎树元素不仅表现为文化遗产,而且还表现为自然风光。秋天低温会促进栎树叶中花青素合成和其他分子变化,导致叶子变红,从而具有很高的观赏价值(Yang et al., 2022; Yuan et al., 2024)。原产于北美的红栎组栎树具有很高的观赏价值,中国引种的有红槲栎、娜塔栎、舒玛栎和沼生栎等(尤禄祥等, 2020)。

## 7 多样性保护

### 7.1 遗传多样性保护

截至2025年6月,已完成基因组测序的栎树至少有14种(表3),覆盖了除庞廷栎组和弗吉尼亚栎组以外的6个组。组装水平显著提升,端粒到端粒(T2T)和单倍型水平的栎树基因组组装已有报道(Luo et al., 2024; Kapoor et al., 2023; Wang et al., 2023)。中国学者发表的栎树基因已达8种,在栎树基因组学领域处于世界第一梯队。栎树的遗传多样性已经有丰富的实测数据,近期用nSSRs(nuclear simple sequence repeats)遗传标记检测的种有麻栎(Zhang et al., 2018)、川滇高山栎(Du et al., 2020)、白栎(Chen et al., 2021)、大叶栎(Mohan et al., 2024)、洪堡栎(Zorrilla-Azcué et al., 2021)、墨西哥栎 *Q. mexicana* Bonpl.(Sánchez-Acevedo et al., 2023)和欧洲栓皮栎(Assemar et al., 2024)等。根据这些检测结果,栎树具有丰富的遗传多样性,分子方差群体内占84%~94%,群体间占6%~16%,期望杂合度0.52~0.73,观察杂合度0.37~0.74。此外,相关研究还明确了栎树的遗传结构与谱系构成。栎树是长寿树种,我国栎类古树遗传资源十分丰富。湖北省有133株500a以上的古栓皮栎和125株古麻栎(郭诗宇等, 2020),十堰市100a以上的古槲栎958株、古栓皮栎931株、古青冈201株、古刺叶高山栎128株(肖萌和孙文勇, 2025);湖南怀化市的古栎树也很丰富,如青冈321株、赤皮青冈153株、栓皮栎114株(陶德树, 2024)。上述研究为栎树种质资源保护提供了科学依据,国内外对具有重要经济价值的栎树,如麻栎、栓皮栎、夏栎、红槲栎和美国白栎等,开展了种质资源的评估、收集、保存等方面的保护工作(Zhang et al., 2015; Ballesterosa et al., 2019; Li et al., 2021; Bellusci et al., 2023)。

### 7.2 物种多样性保护

在全球范围内,相关组织按《IUCN濒危物种红色名录》标准对430种栎树进行的评估结果显示(Carrero

表3 全球已发表的栎树基因组一览

Tab. 3 List of published oak genomes worldwide

亚属 Subgenus	组 Section	种 Species	文献 References
栎亚属 Subgenus <i>Quercus</i>	中间栎组 Section <i>Protobalanus</i>	岛屿栎 <i>Q. tomentella</i> Engelm.	Mead et al., 2024
	白栎组 Section <i>Quercus</i>	槲树 <i>Q. dentata</i> Thunb.	Wang et al., 2022
		加州白栎 <i>Q. lobata</i> Née	Sork et al., 2016, 2022
		蒙古栎 <i>Q. mongolica</i> Fisch. ex Ledeb.	Ai et al., 2022
		夏栎 <i>Q. robur</i> L.	Plomión et al., 2016, 2018
	红栎组 Section <i>Lobatae</i>	红槲栎 <i>Q. rubra</i> L.	Kapoor et al., 2023
麻栎亚属 Subgenus <i>Cerris</i>	青冈栎组 Section <i>Cyclobalanopsis</i>	青冈 <i>Q. glauca</i> Thunb.	Luo et al., 2024
		赤皮青冈 <i>Q. gilva</i> Blume	Zhou et al., 2022
		西畴青冈 <i>Q. sichouensis</i> (Y.C.Hsu)C.C.Huang & Y.T.Chang	Liu et al., 2024
		大果青冈 <i>Q. rex</i> Hemsl.	Liu et al., 2024
	冬青栎组 Section <i>Ilex</i>	圆叶冬青栎 <i>Q. rotundifolia</i> Lam.	Rey et al., 2023
	麻栎组 Section <i>Cerris</i>	欧洲栓皮栎 <i>Q. suber</i> L.	Ramos et al., 2018; Usié et al., 2023
		麻栎 <i>Q. acutissima</i> Carruth.	Fu et al., 2022; Liu et al., 2022
		栓皮栎 <i>Q. variabilis</i> Blume	Han et al., 2022; Chang et al., 2023; Wang et al., 2023

注：圆叶冬青栎在原文中为圣栎 *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) A.DC (Rey et al., 2023), 其合法名称应为圆叶冬青栎 *Quercus rotundifolia* Lam.。

Notes: In the original text, *Quercus ilex* subsp. *ballota* (Desf.) A.DC (Rey et al., 2023), and its legal name should be *Quercus rotundifolia* Lam.

et al., 2020): 受威胁的树种有 112 种, 占评估栎树的 26.0%, 其中极危 32 种、濒危 57 种、易危 23 种。按该评估结果, 中国受威胁栎树有 36 种, 占中国栎树的 30.7%, 这一数字高于其他栎树主要分布国家墨西哥 (19.5%) 和美国 (20.8%), 低于越南 (40.8%)。在中国受威胁栎树中, 极危 14 种、濒危 19 种、易危 3 种 (表 4)。《国家重点保护野生植物名录》将西畴青冈、坝王栎 *Q. bawanglingensis* C. C. Huang, Ze X. Li & F. W. Xing 和尖叶栎列为国家二级重点保护植物 (国家林业和草原局, 农业农村部, 2021)。这些物种保护名录是开展植物园迁地保护的重要依据。国内多个植物园或树木园建立了壳斗科专类园, 以加强这些受威胁栎树物种的保护。国际上, 美国的莫顿树木园牵头成立了全球栎树保护联盟 (Global Conservation Consortium for Oak, GCCO), 制定和实施一项全面的保护战略, 以防止世界栎树物种的灭绝 (Carrero et al., 2020)。

### 7.3 生态系统多样性保护

欧洲的栎林丰富多样, 分为夏栎-心叶槲群系、长叶肺草-夏栎群系、轮生乳草-土耳其栎群系、圆叶

芍药-无梗花栎群系等 (Novák et al., 2023)。美国栎林包括栎-松、栎-山核桃和栎-蓝果树-落羽杉 3 个林组 (Oswalt et al., 2019)。有学者对墨西哥中部需要优先保护的栎林进行过评估 (López-Mendoza et al., 2022)。中国学者对中国的森林生态系统进行了受威胁状况评估 (Chen et al., 2020), 有 8 类不含青冈的栎类生态系统受到威胁, 如铁橡栎林极危、黄背栎林濒危、蒙古栎林易危; 有 12 类含有青冈的生态系统受到威胁, 如台湾青冈-昆栏树林极危、青冈-黄连木-朴树林濒危。在中国, 许多面临生存威胁的栎林生态系统中的常绿栎树和落叶栎树都被纳入自然保护地“就地保护”。栎树是受保护常绿阔叶林或落叶阔叶林的重要组成部分。国外重点研究急性栎树衰退病 (acute oak decline) 的预防, 急性栎树衰退病的关联细菌有古德温布伦氏菌 *Brenneria goodwinii* Denman, Brady, Kirk & Cleenwerck、槲寄生吉布氏菌 *Gibbsiella quercinecans* Brady et al. 和英国朗斯代尔氏菌 *Lonsdalea britannica* Li, Xue, Guo, Koltay, Palacio-Bielsa, Chang, Xie & Yang 等, 是全球森林面临的新威胁 (Bene et al.,

表4 中国受威胁栎树名录

Tab. 4 List of threatened *Quercus* species in China

组别 Section	种类 Species	等级 IUCN red list categor
青冈栎组	白枝青冈 <i>Q. albicaulis</i> Chun & W.C.Ko、贵州青冈 <i>Q. argyrotricha</i> A.Camus、鼎湖青冈 <i>Q. dinghuensis</i> C.C.Huang、龙迈青冈 <i>Q. lungmaiensis</i> (Hu) C. C. Huang & Y. T. Chang、墨脱青冈 <i>Q. motuoensis</i> C. C. Huang、屏边青冈 <i>Q. pinbianensis</i> (Y. C. Hsu & H. W. Jen) C. C. Huang & Y. T. Chang、无齿青冈 <i>Q. semiserratoidea</i> Roxb.、西畴青冈 <i>Q. sichouensis</i> (Hu) C. C. Huang & Y. T. Chang、毛脉青冈 <i>Q. tomentosinervis</i> (Y. C. Hsu & H. W. Jen) C. C. Huang	极危
	倒卵叶青冈 <i>Q. arbutifolia</i> Hickel & A.Camus、托盘青冈 <i>Q. asymmetrica</i> Hickel & A.Camus、竹叶青冈 <i>Q. bambusifolia</i> Hance.、大明山青冈 <i>Q. daimingshanensis</i> (S.K.Lee) C.C.Huang、上思青冈 <i>Q. delicatula</i> Chun & Tsiang、碟斗青冈 <i>Q. disciformis</i> Chun & Tsiang、华南青冈 <i>Q. edithiae</i> Skan.、独龙江青冈 <i>Q. kiukiangensis</i> (Y.T.Chang) Y.T.Chang、广西青冈 <i>Q. kouangsiensis</i> A.Camus、 <i>Q. liboensis</i> Z. K. Zhou、滇西青冈 <i>Q. lobbii</i> (Hook. f. & Thomson ex Wenz.) A. Camus、尖峰青冈 <i>Q. obconicus</i> Y. C. Hsu ex Z. K. Zhou、亮叶青冈 <i>Q. phanera</i> Chun、吊罗山青冈 <i>Q. tiaoloshanica</i> Chun & W. C. Ko、思茅青冈 <i>Q. xanthotricha</i> A. Camus	濒危
	越南青冈 <i>Q. austrocochinchinensis</i> Hickel & A.Camus、木姜叶青冈 <i>Q. litseoides</i> Dunn、广治青冈 <i>Q. quangtriensis</i> Hickel & A.Camus	易危
冬青栎组	坝王栎 <i>Q. bawanglingensis</i> C.C.Huang, Z.X.Li & F.W.Xing、长苞高山栎 <i>Q. fimbriata</i> Y.C.Hsu et H.Wei Jen、麻栗坡栎 <i>Q. marlipoensis</i> Hu & W. C. Cheng、万山栎 <i>Q. pseudosetulosa</i> Q. S. Li & T. Y. Tu	极危
	澜沧栎 <i>Q. kingiana</i> Craib.、西藏栎 <i>Q. lodicosa</i> O. E. Warb. & E. F. Warb.、通麦栎 <i>Q. tungmaiensis</i> Y. T. Chang、炭栎 <i>Q. utilis</i> Hu & W. C. Cheng	濒危
白栎组	长叶枹栎 <i>Q. monnula</i> Y. C. Hsu & H. W. Jen	极危

2025)。急性栎树衰退病已在冬青栎、欧洲栓皮栎、夏栎、无梗花栎和土耳其栎等多种栎树发生 (Fernandes et al., 2022; Carluccio et al., 2024), 预防潜在的全球性急性栎树衰退病性、维护栎林生态系统健康是全球林业工作者面临的新挑战。

### 参 考 文 献

- 曹亮明, 魏可, 李雪薇, 等. 2019. 我国栎类植物蛀干蛀果害虫及其天敌多样性研究进展[J]. 植物保护学报, 46(6): 1174-1185.
- Cao L M, Wei K, Li X W, et al. 2019. Research progress in the biodiversity of oak wood and nut borers and their natural enemies in China[J]. Journal of Plant Protection, 46(6): 1174-1185. (in Chinese)
- 党毅, 王维, 余新晓, 等. 2022. 北京西山典型人工林分枯落物层生态水文效应[J]. 北京林业大学学报, 44(12): 72-87.
- Dang Y, Wang W, Yu X X, et al. 2022. Eco-hydrological effects of litter layer in typical artificial forest stands in Xishan Mountain of Beijing[J]. Journal of Beijing Forestry University, 44(12): 72-87. (in Chinese)
- 方炎明, 朱福远, 李焱, 等. 2022. 基于基因组学的栎树生物学研究进展[J]. 南京林业大学学报, 46(6): 64-72.
- Fang Y M, Zhu F Y, Li Y, et al. 2022. Advances and prospects of oak biology based on genomics[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 46(6): 64-72. (in Chinese)
- 贾婷, 龙福强, 辛浩瑛, 等. 2025. 中国 16 个森林站点叶片植食格局及调控因子[J]. 生态学报, 45(9): 4368-4379.
- Jia T, Long F Q, Xin H Y, et al. 2025. Leaf herbivory patterns and regulatory factors at 16 forest sites in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 45(9): 4368-4379. (in Chinese)
- 国家林业和草原局. 2025. 关于印发《国家储备林树种目录(2025年版)》的通知办字[2025]38号[A/OL]. (2025-03-19) [2025-05-17]. <https://www.forestry.gov.cn/lyj/1/gsgg/20250319/615929.html>.
- 国家林业局. 2017. 关于印发《中国主要栽培珍贵树种参考名录(2017年版)》的通知林造发[2017]123号[A/OL]. (2017-11-09) [2025-05-17]. [https://www.gov.cn/xinwen/2017-11/09/content\\_5238247.htm](https://www.gov.cn/xinwen/2017-11/09/content_5238247.htm).
- 国家林业和草原局, 农业农村部. 2021.《国家重点保护野生植物名录》公告[2021]第15号[A/OL]. (2021-09-07) [2025-05-17]. [https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content\\_5636409.htm](https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-09/09/content_5636409.htm).
- 郭诗宇, 王可民, 彭吕长, 等. 2020. 基于古树自然分布的碳汇树种选择研究[J]. 湖北林业科技, 49(4): 37-41.
- Guo S Y, Wang K M, Peng L C, et al. 2020. Research on carbon sink tree species selection based on natural distribution of ancient trees[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 49(4): 37-41. (in Chinese)
- 侯元兆, 陈幸良, 孙国吉. 2017. 栎类经营[M]. 北京: 中国林业出版社.
- Hou Y Z, Chen X L, Sun G J. 2017. Quercus Management[M]. Beijing: China Forestry Publishing House. (in Chinese)
- 李春风, 杨洋, 唐朝发, 等. 2016. 长白山蒙古栎材制造橡木桶工艺[J]. 绿色科技, 18(8): 142-143, 145.
- Li C F, Yang Y, Tang C F, et al. 2016. Technology of making oak barrels from Mongolian oak wood in Changbai Mountain[J]. Journal of Green Science and Technology, 18(8): 142-143, 145. (in Chinese)
- 李文英, 顾万春. 2005. 蒙古栎天然群体表型多样性研究[J]. 林业科学, 41(1): 49-56.
- Li W Y, Gu W C. 2005. Study on phenotypic diversity of natural population in Quercus mongolica[J]. Scientia Silvae Sinicae, 41(1): 49-56. (in Chinese)
- 刘建锋, 肖以华, 程向芬, 等. 2024. 基于 Meta-分析的间伐强度对栎类天然林生长与更新的影响—对我国栎类天然林经营的启示[J]. 陆地生态系统与保护学报, 4(3): 31-38.
- Liu J F, Xiao Y H, Cheng X F, et al. 2024. Influence of thinning intensity on growth and regeneration of natural oak forests based on meta-analysis: implications for oak forest management in China[J]. Terrestrial Ecosystem and Conservation, 4(3): 31-38. (in Chinese)
- 马常耕, 张云跃, 安定国. 1990. 华山松抗寒性的地理变异[J]. 林业科学研究, 3(2): 113-118.
- Ma C G, Zhang Y Y, An D G. 1990. Geographic variation of cold hardiness of Pinus armandi[J]. Forest Research, 3(2): 113-118. (in Chinese)
- 施光耀, 桑玉强, 张劲松, 等. 2021. 自然状态下栓皮栎人工林空气负离子浓度与相对湿度的关系[J]. 中国农业气象, 42(1): 24-33.

- Shi G Y, Sang Y Q, Zhang J S, *et al.* 2021. Relationship between negative air ion and relative humidity in *Quercus variabilis* plantation under natural conditions[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 42(1): 24–33. (in Chinese)
- 宋迎刚, 魏新莉, 卢彦元, 等. 2020. 我国软木产业发展及研究现状[J]. 家具与室内装饰, 27(1): 50–51.
- Song Y G, Wei X L, Lu Y Y. 2020. On the current situation of cork industry in China[J]. Furniture & Interior Design, 27(1): 50–51. (in Chinese)
- 孙婉馨, 张黎, 任小丽, 等. 2020. 1998—2017年中国典型森林生态系统潜在蒸散的变化趋势及成因[J]. 资源科学, 42(5): 920–932.
- Sun W X, Zhang L, Ren X L, *et al.* 2020. Trends and influencing factors of potential evapotranspiration in typical forest ecosystems of China during 1998—2017[J]. Resources Science, 42(5): 920–932. (in Chinese)
- 陶德树. 2024. 从多树种古树群中优选造林乡土树种研究: 以怀化市为例[J]. 热带林业, 52(2): 21–28.
- Tao D S. 2024. Study on selecting native tree species for afforestation from multi-species ancient tree group—Take Huai hua city as an example[J]. Tropical Forestry, 52(2): 21–28. (in Chinese)
- 汪浩明, 王旋, 张耀丽. 2016. 白橡和红橡的应用及其鉴别[J]. 家具, 37(6): 28–31.
- Wang H M, Wang X, Zhang Y L. 2016. Application and distinguishing of white and red oak[J]. Furniture, 37(6): 28–31. (in Chinese)
- 汪企明, 徐立安, 陈天华, 等. 1993. 马尾松种源耐寒性的地理变异[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 17(3): 32–38.
- Wang Q M, Chen L A, Chen T H, *et al.* 1993. Geographic variation of frost injury in Masson pine provenances[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 17(3): 32–38. (in Chinese)
- 王雪玉, 王玉荣, 龚迎春, 等. 2019. 国产栎木木材性质及加工技术研究现状[J]. 木材工业, 33(5): 30–33.
- Wang X Y, Wang Y R, Gong Y C, *et al.* 2019. Review of properties and processing technology of native oak timber in China[J]. China Wood Industry, 33(5): 30–33. (in Chinese)
- 肖萌, 孙文勇. 2025. 十堰市古树资源现状与特征研究[J]. 陕西林业科技, 53(1): 86–91.
- Xiao M, Sun W Y. 2025. Characteristics of ancient tree resources in Shiyan City[J]. Shaanxi Forest Science and Technology, 53(1): 86–91. (in Chinese)
- 尤禄祥, 李焱, 尹增芳, 等. 2017. 中国麻栎研究: 种源试验、造林和森林经营[J]. 世界林业研究, 30(5): 75–79.
- You L X, Li Y, Yin Z F, *et al.* 2017. A study of sawtooth oak in China: Provenance test, afforestation and forest management[J]. World Forestry Research, 30(5): 75–79. (in Chinese)
- 尤禄祥, 张夕飞, 田西龙, 等. 2020. 红栎树种资源与园林应用前景[J]. 西部林业科学, 49(2): 10–16.
- You L X, Zhang X F, Tian X L, *et al.* 2020. Resources of red oaks and their landscaping utilization potentiality[J]. Journal of West China Forestry Science, 49(2): 10–16. (in Chinese)
- 张家兴, 蒋丽娅, 高峻, 等. 2023. 华北土石山区典型人工林空气负离子变化及其影响因子分析[J]. 林业科学研究, 36(2): 61–69.
- Zhang J X, Jiang L Y, Gao J, *et al.* 2023. Variation of negative air ions and its influencing factors in typical plantations in rocky mountain area of North China[J]. Forest Research, 36(2): 61–69. (in Chinese)
- 张勇, 郑超超, 吴文跃, 等. 2017. 水库集水区林下枯落物及土壤的水源涵养功能研究. 华东森林经理, 31(1): 32–36.
- Zhang Y, Zheng C C, Wu W Y, *et al.* 2017. A study on water conservation functions of forest litter and soil layers in water catchment areas around reservoirs[J]. East China Forest Management, 31(1): 32–36. (in Chinese)
- Adkins Giese C L, Cuthbert F J. 2005. Woodpecker nest tree characteristics in upper Midwestern oak forests[J]. The Canadian Field-Naturalist, 110: 367–376.
- Aguilar R, Ghilardi A, Vega E, *et al.* 2012. Sprouting productivity and allometric relationships of two oak species managed for traditional charcoal making in central Mexico[J]. Biomass and Bioenergy, 36: 192–207.
- Ai W F, Liu Y Q, Mei M, *et al.* 2022. A chromosome-scale genome assembly of the Mongolian oak (*Quercus mongolica*)[J]. Molecular Ecology Resources, 22(6): 2396–2410.
- Alfonso-Corrado C, Clark-Tapia R, Monsalvo-Reyes A, *et al.* 2014. Ecological-genetic studies and conservation of endemic *Quercus sideroxyla* (Trel.) in central Mexico[J]. Natural Resources, 5(9): 442–453.
- Apostol E N, Stuparu E, Scarlatescu V, *et al.* 2020. Testing Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) provenances in Romania[J]. IForest - Biogeosciences and Forestry, 13(1): 9–15.
- Assemar F E, Alami M, Rabeh K, *et al.* 2024. Genetic diversity and population structure in *Quercus suber* L. revealed by nuclear microsatellite markers and generation of a core collection[J]. Tree Genetics & Genomes, 20(1): 5.
- Ballesterosa D, Nebot A, Pritchard H W. 2019. Cryobiotechnology for the long-term preservation of oak (*Quercus* sp.) genetic resources [C]// Thammassiri K, Kongsawadworakul P, Pritchard H W (eds), Proceedings of the III International Symposium on Plant Cryopreservation, 1234: 37–45.
- Beech E, Rivers M, Oldfield S, *et al.* 2017. GlobalTreeSearch: The first complete global database of tree species and country distributions[J]. Journal of Sustainable Forestry, 36(5): 454–489.
- Bellusci G, Braglia R, Di Marco G, *et al.* 2023. Assessing molecular diversity among 87 species of the *Quercus* L. genus by RAPD markers[J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 70(8): 2683–2694.
- Bene A, Vergine M, Carluccio G, *et al.* 2025. Acute oak decline-associated bacteria: An emerging worldwide threat to forests[J]. Microorganisms, 13(5): 1127.
- Bert D, Lebourgeois F, Ponton S, *et al.* 2020. Which oak provenances for the 22nd century in Western Europe? Dendroclimatology in common gardens[J]. PLoS One, 15(6): e0234583.
- Borkowski D S, Hoban S M, Chatwin W, *et al.* 2017. Rangewide population differentiation and population substructure in *Quercus rubra* L.[J]. Tree Genetics & Genomes, 13(3): 67.
- Bose A K, Scherrer D, Camarero J J, *et al.* 2021. Climate sensitivity and drought seasonality determine post-drought growth recovery of *Quercus petraea* and *Quercus robur* in Europe[J]. Science of The Total Environment, 784: 147222.
- Bumgardner M. 2019. Overview of oak markets and marketing. In Clark S L, Schweitzer C J (eds). Oak symposium: sustaining oak forests in the 21st

- century through science-based management[C]. Asheville, NC: U. S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station: 113–115.
- Burns R M, Honkala B H (eds), 1990. *Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods*[M]. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Agriculture Handbook, 654.
- Byng J W, Chase M W, Christenhusz M J M, *et al.* 2016. , An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 181(1): 1–20.
- Campuzano-Chávez-Peón D, Zuria I, Castellanos I, *et al.* 2014. Characteristics of nest-sites of the southern flying squirrel (*Glaucomys volans*) in a pine-oak forest of central Mexico[J]. *The Southwestern Naturalist*, 59(1): 75–80.
- Carluccio G, Sabella E, Greco D, *et al.* 2024. Acute and chronic oak decline in urban and forest ecosystems in Southern Italy[J]. *Forestry*, 97(5): 739–749.
- Carpena M, Pereira A G, Prieto M A, *et al.* 2020. Wine aging technology: Fundamental role of wood barrels[J]. *Foods*, 9(9): 1160.
- Carrero C, Jerome D, Beckman E. 2020. The Red List of Oaks 2020[R]. The Morton Arboretum. Lisle, IL.
- Catherall E E, Janes J K, Josefsson C A, *et al.* 2018. Spatial and temporal assessments of genetic structure in an endangered Garry oak ecosystem on Vancouver Island[J]. *Botany*, 96(4): 257–265.
- Chang E M, Guo W, Chen J H, *et al.* 2023. Chromosome-level genome assembly of *Quercus variabilis* provides insights into the molecular mechanism of cork thickness[J]. *Plant Science*, 337: 111874.
- Chang Y S, Han Y, Shin H K, *et al.* 2020. Evaluation of drying and anatomical characteristics of Mongolian oak lumber by kiln drying with respect to storage time after sawing[J]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 78(5): 1017–1022.
- Chang Y S, Han H E. 2025. Value chain analysis of domestic oak wood processing in the Republic of Korea[J]. *European Journal of Wood and Wood Products*, 83(2): 91.
- Chase M W, Reveal J L. 2009. A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III[J]. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 161(2): 122–127.
- Chatonnet P, Dubourdiou D. 1998. Comparative study of the characteristics of American white oak (*Quercus alba*) and European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for production of barrels used in barrel aging of wines[J]. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(1): 79–85.
- Chen G K, Wang X, Ma K P. 2020. Red list of China's forest ecosystems: A conservation assessment and protected area gap analysis[J]. *Biological Conservation*, 248: 108636.
- Chen X D, Yang J, Guo Y F, *et al.* 2021. Spatial genetic structure and demographic history of the dominant forest oak *Quercus fabri* hance in subtropical China[J]. *Frontiers in Plant Science*, 11: 583284.
- Clotfelter E D, Pedersen A B, Cranford J A, *et al.* 2007. Acorn mast drives long-term dynamics of rodent and songbird populations[J]. *Oecologia*, 154: 493–503.
- Demeny K M, Ellington E H, Kuhn K M, *et al.* 2025. Intra-annual variation in oak masting affects wildlife feeding behavior[J]. *Current Zoology*, 71(1): 79–88.
- Deng M, Jiang X L, Hipp A L, *et al.* 2018. Phylogeny and biogeography of East Asian evergreen oaks (*Quercus* Section *Cyclobalanopsis*; Fagaceae): Insights into the Cenozoic history of evergreen broad-leaved forests in subtropical Asia[J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 119: 170–181.
- Denk T, Grimm G W, Manos P S, *et al.* 2017. An Updated Infrageneric Classification of the Oaks: Review of Previous Taxonomic Schemes and Synthesis of Evolutionary Patterns[M]//Gil-pelegrin E, Peguero-pina J, Sancho-knapik D (eds.). *Oaks physiological ecology: Exploring the functional diversity of genus Quercus L.* Cham: Springer: 13–38.
- Desmond S C, Garner M, Flannery S, *et al.* 2021. Leaf shape and size variation in bur oaks: An empirical study and simulation of sampling strategies[J]. *American Journal of Botany*, 108(8): 1540–1554.
- Diao J J, Liu J X, Zhu Z L, *et al.* 2022. Active forest management accelerates carbon storage in plantation forests in Lishui, Southern China[J]. *Forest Ecosystems*, 9: 100004.
- Du F K, Wang T R, Wang Y Y, *et al.* 2020. Contrasted patterns of local adaptation to climate change across the range of an evergreen oak, *Quercus aquifolioides*[J]. *Evolutionary Applications*, 13(9): 2377–2391.
- Dufraisse A. 2024. Post-fire studies of notre dame's framework: Historical and environmental wood memory of the medieval period between the 11th and 13th centuries. birth of an interdisciplinary project[J]. *Journal of Cultural Heritage*, 65: 17–20.
- Eaton E, Caudullo G, Oliveira S, *et al.* 2016. *Quercus robur* and *Quercus petraea* in Europe: distribution, habitat, usage and threats[M]//San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, *et al.*, (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Fernandes C, Duarte L, Naves P, *et al.* 2022. First report of *Brenneria goodwinii* causing acute oak decline on *Quercus suber* in Portugal[J]. *Journal of Plant Pathology*, 104(2): 837–838.
- Fu R R, Zhu Y X, Liu Y, *et al.* 2022. Genome-wide analyses of introgression between two sympatric Asian oak species[J]. *Nature Ecology & Evolution*, 6: 924–935.
- Galicía L, Potvin C, Messier C. 2015. Maintaining the high diversity of pine and oak species in Mexican temperate forests: A new management approach combining functional zoning and ecosystem adaptability[J]. *Canadian Journal of Forest Research*, 45(10): 1358–1368.
- Gil L. 2014. Cork: A strategic material[J]. *Frontiers in Chemistry*, 2: 16.
- Gil L, Varela M C. 2008. Technical guidelines for genetic conservation of cork oak (*Quercus suber* L.) [S]. Rome: Bioversity International.
- Greenberg C H, Moonman C E, Raybuck A L, *et al.* 2016. Reptile and amphibian response to oak regeneration treatments in productive southern Appalachian hardwood forest[J]. *Forest Ecology and Management*, 377: 139–149.
- Guan B T, Huang Z B, Chung N J. 2003. Possible impacts of climate change on potential tree plant forms of a mountain region in Central Taiwan[J]. *Taiwania*, 48(4): 259–272.
- Han B, Wang L X, Xian Y, *et al.* 2022. A chromosome-level genome assembly of the Chinese cork oak (*Quercus variabilis*)[J]. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1001583.

- Haq S M, Waheed M, Darwish M, *et al.* 2024. Biodiversity and carbon stocks of the understory vegetation as indicators for forest health in the Zabarwan Mountain Range, Indian Western Himalaya[J]. *Ecological Indicators*, 159: 111685.
- Hernandez V M C, Hernandez F J, Gonzales S S. 1992. Ecology of oak woodlands in the Sierra Madre occidental of Mexico[C]//Proceedings of the sixteenth session of the North American Forestry Commission. Cancún: FAO Forestry Department; 49-53.
- Hipp A L, Manos P S, Hahn M, *et al.* 2020. Genomic landscape of the global oak phylogeny[J]. *New Phytologist*, 226(4): 1198–1212.
- Hubert F, Grimm G W, Jousselin E, *et al.* 2014. Multiple nuclear genes stabilize the phylogenetic backbone of the genus *Quercus*[J]. *Systematics and Biodiversity*, 12(4): 405–423.
- Inácio L G, Bernardino R, Bernardino S, *et al.* 2024. Acorns: From an ancient food to a modern sustainable resource[J]. *Sustainability*, 16(22): 9613.
- Joshi R K, Garkoti S C. 2023. Ecosystem carbon stocks and sequestration rates in white oak forests in the central Himalaya: Role of nitrogen-fixing Nepalese alder[J]. *Journal of Biosciences*, 48(2): 13.
- Kapoor B, Jenkins J, Schmutz J, *et al.* 2023. A haplotype-resolved chromosome-scale genome for *Quercus rubra* L. provides insights into the genetics of adaptive traits for red oak species[J]. *G3: Genes Genomes Genetics*, 13(11): jkad209.
- Kappelle M (ed). 2006. Ecology and Conservation of Neotropical Montane Oak Forests [M]. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 185: 141–151.
- Klößner J. 2021. The oaks of Europe: Forests for nature and people [R]. Germany: Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL). <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/EN/Publications/german-forests.html>.
- Kremer A, Hipp A L. 2020. Oaks: An evolutionary success story[J]. *New Phytologist*, 226(4): 987–1011.
- Li D X, Li Y C, Qian J L, *et al.* 2021. Comparative transcriptome analysis revealed candidate genes potentially related to desiccation sensitivity of recalcitrant *Quercus variabilis* seeds[J]. *Frontiers in Plant Science*, 12: 717563.
- Lin L, Jiang X L, Guo K Q, *et al.* 2023. Climate change impacts the distribution of *Quercus* section *Cyclobalanopsis* (Fagaceae), a keystone lineage in East Asian evergreen broadleaved forests[J]. *Plant Diversity*, 45(5): 552–568.
- Liu D, Xie X M, Tong B Q, *et al.* 2022. A high-quality genome assembly and annotation of *Quercus acutissima* Carruth[J]. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1068802.
- Liu X, Zhang W X, Zhang Y T, *et al.* 2024. Chromosome-scale genomes of *Quercus sichourensis* and *Quercus rex* provide insights into the evolution and adaptation of Fagaceae[J]. *Journal of Genetics and Genomics*, 51(5): 554–565.
- López-Mendoza A, Oyama K, Pineda-García F, *et al.* 2022. Defining conservation priorities for oak forests in central Mexico based on networks of connectivity[J]. *Forests*, 13(7): 1085.
- Luo C S, Li T T, Jiang X L, *et al.* 2024. High-quality haplotype-resolved genome assembly for ring-cup oak (*Quercus glauca*) provides insight into oaks demographic dynamics[J]. *Molecular Ecology Resources*, 24(3): e13914.
- Luppold W, Bumgardner M, Jacobson M. 2022. An analysis of U. S. hardwood log exports from 1990 to 2021[J]. *Forest Products Journal*, 72(3): 198–206.
- Luppold W, Bumgardner M. 2021. Regional analysis of U. S. lumber exports for important hardwood species from 1990 to 2020[J]. *Forest Products Journal*, 71(3): 216–223.
- Lyubanova A, Baranowska M, Menkis A, *et al.* 2024. Prospects for oak cultivation in Europe under changing environmental conditions and increasing pressure from harmful organisms[J]. *Forests*, 15(12): 2164.
- Mata F, Dos-Santos M. 2024. Modeling cork yield, thickness, price, and gross income in the Portuguese cork oak montado[J]. *Forests*, 15(12): 2163.
- Mauri A, Enescu C M, Houston Durrant T, *et al.* 2016. *Quercus frainetto* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats[M]//San-Miguel-Ayanz J, de Rigo D, Caudullo G, *et al.* (Eds.), European Atlas of Forest Tree Species. Luxembourg: Publications Office of the European Union: e01de78+.
- Mead A, Fitz-Gibbon S T, Escalona M, *et al.* 2024. The genome assembly of island oak (*Quercus tomentella*), a relictual island tree species. *Journal of Heredity*, 115: 221–229.
- Mir C, Toumi L, Jarne P, *et al.* 2005. Endemic North African *Quercus afares* Pomel originates from hybridisation between two genetically very distant oak species (*Q. suber* L. and *Q. canariensis* Willd.): Evidence from nuclear and cytoplasmic markers[J]. *Heredity*, 96(2): 175–184.
- Mohan R, Maurya A, Nair N K, *et al.* 2024. Analyses of genetic diversity and population structure in *Quercus griffithii* Hook. f. & Thomson ex Miq. using simple sequence repeat (SSR) markers[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 20(4): 20.
- Nixon K C. 1997. Fagaceae. In: Flora of North America Editorial Committee (ed) Flora of North America North of Mexico[M]. New York: Oxford University Press: 436–537.
- Novák P, Willner W, Biurrún I, *et al.* 2023. Classification of European oak-hornbeam forests and related vegetation types[J]. *Applied Vegetation Science*, 26(1): e12712.
- Oh S H, Manos P S. 2008. Molecular phylogenetics and cupule evolution in Fagaceae as inferred from nuclear CRABS CLAW sequences[J]. *Taxon*, 57: 434–451.
- Oliveira V, Pereira H. 2020. Cork and Cork Stoppers: Quality and Performance[J]. *Chemistry and Biochemistry of Winemaking, Wine Stabilization and Aging*.
- Oswalt S N, Smith W B, Miles P D, *et al.* 2019. Forest resources of the United States, 2017: A technical document supporting the Forest Service 2020 RPA assessment (Gen. Tech. Rep. WO-97)[R]. Washington DC: U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington Office: 223. <https://doi.org/10.2737/WO-GTR-97>.
- Overstreet S, Choi S, Park C R, *et al.* 2015. Acorn production and utilization in the Republic of Korea. In proceedings of the seventh international workshop on acorn utilization and management[R]. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: 265–271.
- Plomion C, Aury J-M, Amselem J, *et al.* 2016. Decoding the oak genome: Public release of sequence data, assembly, annotation and publication

- strategies[J]. *Molecular Ecology Resources*, 16(1): 254–265.
- Plomion C, Aury J M, Amselem J, *et al.* 2018. Oak genome reveals facets of long lifespan[J]. *Nature Plants*, 4(7): 440–452.
- Pons J, Pausas J G. 2007. Rodent acorn selection in a Mediterranean oak landscape[J]. *Ecological Research*, 22(4): 535–541.
- Poudel A, Sasaki N, Abe I. 2020. Assessment of carbon stocks in oak forests along the altitudinal gradient: A case study in the Panchase Conservation Area in Nepal[J]. *Global Ecology and Conservation*, 23: e01171.
- Quiñonez-Barraza G, Zhao D H, De los Santos-Posadas H M, *et al.* 2018. Compatible taper, volume, green weight, biomass and carbon concentration system for *Quercus sideroxylla* Bonpl[J]. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 25(1): 49–69.
- Ramos A M, Usié A, Barbosa P, *et al.* 2018. The draft genome sequence of cork oak[J]. *Scientific Data*, 5: 180069.
- Rey M D, Labella-Ortega M, Guerrero-Sánchez V M, *et al.* 2023. A first draft genome of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), the most representative species of the Mediterranean forest and the Spanish agrosilvopastoral ecosystem *dehesa*[J]. *Frontiers in Molecular Biosciences*, 10: 1242943.
- Salazar Zarzosa P, Herraiz A D, Olmo M, *et al.* 2025. Mediterranean shrub assemblage of holm oak forests (*Quercus ilex* L.) is driven by aridity and soil texture rather than forest biomass[J]. *Forest Ecology and Management*, 584: 122586.
- Sánchez-Acevedo V, González-Rodríguez A, Torres-Miranda C A, *et al.* 2023. Nuclear and chloroplast DNA phylogeography reveals high genetic diversity and postglacial range expansion in *Quercus mexicana*[J]. *American Journal of Botany*, 110(12): e16251.
- Sork V L, Fitz-Gibbon S T, Puiu D, *et al.* 2016. First draft assembly and annotation of the genome of a California endemic oak *Quercus lobata* Née (Fagaceae)[J]. *G3-Genes Genomes Genetics*, 6(11): 3485–3495.
- Sork V L, Cokus S J, Fitz-Gibbon S T, *et al.* 2022. High-quality genome and methylomes illustrate features underlying evolutionary success of oaks[J]. *Nature Communications*, 13: 2047.
- Spiecker H. 2021. Production of valuable oak wood in Europe[J]. *Annals of Forest Research*, 64(1): 5–12.
- Szabłowska E, Tańska M. 2024. Acorns as a source of valuable compounds for food and medical applications: A review of *Quercus* species diversity and laboratory studies[J]. *Applied Sciences-Basel*, 14(7): 2799.
- Teixeira R T. 2022. Cork development: What lies within[J]. *Plants*, 11(20): 2671.
- Thibaut B, Caré S, Maurin E. 2024. Oak beams in medieval frameworks: Constraints and advantages for restoration[J]. *Journal of Cultural Heritage*, 65: 32–41.
- Tietje W, Purcell K, Drill S. 2005. Oak woodlands as wildlife habitat. A planner's guide for oak woodlands. second edition[S]. University of California: Division of Agriculture and Natural Resources, 3491: 15–31.
- Usié A, Serra O, Barros P M, *et al.* 2023. An improved reference genome and first organelle genomes of *Quercus suber*[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 19: 54.
- Valencia S A. 2004. Diversidad del genero *Quercus* (Fagaceae) en Mexico[J]. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 75: 33–54.
- Villanueva-Díaz J, Martínez-Sifuentes A R, Quiñonez-Barraza G, *et al.* 2021. Annual radial growth and climatic response of *Quercus crassifolia* Bonpl. in northwestern Durango, Mexico[J]. *Trees*, 35(3): 783–798.
- Vinha A F, Barreira J C M, Costa A S G, *et al.* 2016. A new age for *Quercus* spp. fruits: Review on nutritional and phytochemical composition and related biological activities of acorns[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(6): 947–981.
- Wang L X, Li L L, Chen L, *et al.* 2023. Telomere-to-telomere and haplotype-resolved genome assembly of the Chinese cork oak (*Quercus variabilis*) [J]. *Frontiers in Plant Science*, 14: 1290913.
- Wang W B, He X F, Yan X M, *et al.* 2022. Chromosome-scale genome assembly and insights into the metabolome and gene regulation of leaf color transition in an important oak species, *Quercus dentata*[J]. *New Phytologist*, 238(5): 2016–2032.
- Yang X, Yang N, Zhang Q, *et al.* 2022. Anthocyanin biosynthesis associated with natural variation in autumn leaf coloration in *Quercus aliena* accessions[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(20): 12179.
- Yuan Y C, Pang X, Pang J, *et al.* 2024. Identification and characterisation of the CircRNAs involved in the regulation of leaf colour in *Quercus mongolica*[J]. *Biology*, 13(3): 183.
- Zeng Y F, Wang W T, Liao W J, *et al.* 2015. Multiple glacial refugia for cool-temperate deciduous trees in northern East Asia: The Mongolian oak as a case study[J]. *Molecular Ecology*, 24(22): 5676–5691.
- Zhang B, Cai J, Duan C Q, *et al.* 2015. A review of polyphenolics in oak woods[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4): 6978–7014.
- Zhang H M, Chen Y, Zhang Z B, *et al.* 2008. Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China[J]. *Forest Ecology and Management*, 255(3/4): 1243–1250.
- Zhang X W, Li Y, Zhang Q, *et al.* 2018. Ancient east-west divergence, recent admixture, and multiple marginal refugia shape genetic structure of a widespread oak species (*Quercus acutissima*) in China[J]. *Tree Genetics & Genomes*, 14(6): 88.
- Zhou X, Liu N, Jiang X, *et al.* 2022. A chromosome-scale genome assembly of *Quercus gilva*: Insights into the evolution of *Quercus* section *Cyclobalanopsis* (Fagaceae)[J]. *Frontiers in Plant Science*, 13: 1012277.
- Zorrilla-Azcúe S, González-Rodríguez A, Oyama K, *et al.* 2021. The DNA history of a lonely oak: *Quercus humboldtii* phylogeography in the Colombian Andes[J]. *Ecology and Evolution*, 11(11): 6814–6828.