

# 我国栎树引种及其营养生长研究进展

张晓姗<sup>1,2</sup>,高 嘉<sup>2</sup>,王洪永<sup>3</sup>,王 霞<sup>2</sup>,庞 薇<sup>2</sup>,  
陈 寅<sup>1,2</sup>,杜振宇<sup>2</sup>,马风云<sup>1</sup>,马丙尧<sup>2\*</sup>

(1. 山东农业大学林学院,山东 泰安 271018;2. 山东省林业科学研究院 山东日照暖温带观赏树种培育国家长期科研基地,山东 济南 250014;3. 日照金枫园林科技有限公司,山东 日照 276800)

**摘要:**我国森林资源覆盖率低,栎类资源的引种和养分循环特征的研究有助于丰富栎树资源,优化森林结构。该文先从栎树的引种开始,综述了栎树在我国的引种状况和国内在栎树人工林养分利用方面的研究进展,并提出未来在栎树人工林引种和养分循环方面的建议。

**关键词:**引种;施肥;养分循环;养分利用

**中图分类号:**S718.51<sup>+</sup>6;S722.7;S792.18

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2024.02.008

第八次全国森林资源清查显示,我国森林总面积2.08亿hm<sup>2</sup>,森林覆盖率21.63%<sup>[1]</sup>。我国森林资源变化虽然呈增长的趋势,但是森林覆盖率却远远低于全球平均水平,提高森林覆盖率是我国现在需要解决的问题<sup>[2]</sup>。栎类在各省区的天然林中占据着重要地位,是森林的关键组成部分,在森林资源中扮演着至关重要的角色,其经济价值和生态价值的重要性逐渐受到认可。栎类品质对我国整体森林资源质量提升有直接的影响<sup>[3]</sup>。栎类树种以其优美的叶色变化备受青睐,许多研究表明,栎树有极好的抗性、耐性以及防火性能,是一种极好的造林树种<sup>[4-6]</sup>。但栎树一般生长缓慢、成材晚,研究栎树种源,探究栎树的养分特征状况以及施肥对栎树生长和养分含量的影响,对于提高森林质量,促进林木种苗产业的发展具有重要作用<sup>[7]</sup>,对栎树的培育和可持续经营有重要意义<sup>[8]</sup>。

元素化学计量学是研究生态系统功能的核心方法,将地球生物化学食物网结构和过程之间联系了起来<sup>[9]</sup>。它对判断植物体的养分情况和群落的养分状况有重要的作用。对于生态系统的养分管理和预测植被动态等也有重大的指导意义<sup>[10]</sup>。养分循环是研究森林生态系统物质循环和能量流动的基础<sup>[11]</sup>。施肥可以影响植物的化学计量特征,有利于促进林木的生长,可以改善土壤中的养分状

况,供给林木生长所需的营养元素,有利于了解森林生态系统的养分循环<sup>[12]</sup>。

## 1 引种

我国的栎树资源比较丰富,包括麻栎、白栎、栓皮栎、蒙古栎、槲栎、辽东栎、小叶栎、枹栎、乌冈栎等<sup>[13]</sup>,早在19世纪中期,我国便开始了对栎树的引种试验。对栎树引种的繁育研究始于20世纪90年代。黄利斌等从北美首次引进了南方红栎(德克萨斯、阿肯色2个种源)、北方大果栎(伊利诺斯、蒙大纳2个种源)、水栎(德克萨斯、田纳西、路易斯安娜、阿肯色4个种源)、柱栎(路易斯安娜种源)、黑栎(依阿华、密苏里、加拿大安大略、阿肯色4个种源),从美国引进了北美白栎和英国栎7种不同栎树品种、15个种源在江苏育苗,其中黑栎密苏里种源的出苗率最高,英国栎的1年生苗高生长量最大,种内不同种源栎树生长差异显著<sup>[15]</sup>。朱惜晨等在无锡太湖丘陵引种了美国红栎、南方红栎、北方红栎、柳叶栎、水栎,幼苗保存率较高<sup>[16]</sup>。安林辉等在湖南太子山林场研究发现,美洲白栎、南方红栎、沼生栎、月桂叶栎、水栎、国产辽东栎、大斗栎等7种树种在该地的适应性和抗涝性较差<sup>[17]</sup>。栎树移栽成活率差异相对较大,可能是由于每种栎树的生物学

收稿日期:2024-02-09;修回日期:2024-03-07

基金项目:日照市重点研发计划“观赏栎类资源搜集引进及高效培育关键技术研究”(2023ZDYF010109)

作者简介:张晓姗(2001-),女,山东临沂人,硕士研究生。从事森林培育研究。E-mail:1345821922@qq.com

共同第一作者:高 嘉(1982-),男,山东乳山人,工程师。从事森林培育研究。E-mail:254925999@qq.com

\*通信作者:马丙尧(1970-),男,山东昌邑人,研究员。主要从事森林培育研究。E-mail:mby777@163.com

特性各异<sup>[18]</sup>、引种地与种源地环境差异所致,除此之外,导致栎树移栽成活率差异较大的其他原因可能包括日常管理不充分、栽培基质选择不合适、种苗较小以及长时间运输<sup>[19]</sup>。

黄利斌等研究表明,引进的北美栎树种,如水栎和柳叶栎,具有更高的成活率和生长速度,相比之下,江苏本土树种表现稍差,北美栎树在丘陵山区、平原生态景观造林中具有很大的潜力;此外,红栎、南方红栎、水栎、黑栎、北方红栎等树种在秋季呈现出明显的红色变化,在森林景观改造和城市园林绿化中,可以提供优美的秋叶观赏效果<sup>[20]</sup>。陈益泰等从美国引进娜塔栎(红栎组)、水栎(红栎组)、柳叶栎(红栎组)、舒玛栎(红栎组)、弗吉尼亚栎(白栎组)5种栎树,在长江三角洲不同土壤条件下造林研究,认为4种红栎组适宜在长江三角洲平原生长,而弗吉尼亚栎具有较强的抗风、抗盐、抗旱能力,可用于沿海防护林建设<sup>[21]</sup>。陈叶平等对娜塔栎、舒玛栎、水栎进行引种,2 a后调查显示,这3种栎树都能适应舟山海岛生长,具有耐涝性,但不耐旱,并且娜塔栎适应性明显强于其他2种,娜塔栎树干笔直、叶色猩红,观赏价值也极高<sup>[22]</sup>。大部分红栎叶色猩红,在秋季表现出明显的叶色变化,它们非常适合用作城市园林绿化的观赏树种,而抗性强的树种可以用于荒山建设。但并不是所有栎树种类都适合在中国生长,许多研究表明,国外有些栎树易感栎树突死病菌<sup>[23-24]</sup>,会对中国部分易感病菌的植物带来极大的威胁<sup>[25]</sup>。

近几年,我国各地陆续进行了欧洲红栎、北美红栎等红栎树种的引种试验<sup>[26-28]</sup>,这些研究普遍表明栎树有较强的抗性,并且在园林观赏方面有极高的价值,适合在我国多地进行种植。然而,大多数研究仅关注栎树当年的生长情况,缺乏对连续多年生长的长期观察,不能全面反映栎树引种的效果,另外,树种间存在显著的种内差异,引种效果也会因引种地环境的差异受到影响,在引种同一种源时可以选择多种立地条件进行研究。安林辉研究发现一些树种在引种地的适应性较差,可以对其进行单株选育工作,以选育出性状稳定的优良品种<sup>[18]</sup>。

## 2 栎树营养生长

生态系统内碳(C)、氮(N)、磷(P)元素间的密切关系及化学计量学是植物生态学研究的重点<sup>[29]</sup>。侯学煜等人对150种植物的化学成分进行了测定,

为后来国内的相关研究奠定了基础<sup>[30]</sup>。19世纪80年代,潘维俦对杉木人工林方面的养分循环进行了初步研究<sup>[31-32]</sup>。

### 2.1 栎类人工林生态系统养分循环

魏晓华等对蒙古栎生态系统的养分循环进行了研究,结果发现,N元素在植被系统中含量与积累量最高,具有很强的富集能力,并且发现蒙古栎对N元素吸收量、存留量和归还量较高<sup>[33-34]</sup>。杜启燃等发现N沉降可以促进栓皮栎幼苗生长<sup>[35]</sup>。而且栓皮栎树叶中营养元素含量最多,树干营养元素含量最低<sup>[36]</sup>。叶片是植物养分重要的贮藏器官<sup>[37]</sup>;N元素是植物的生命元素,对其合理的吸收和利用有助于栎树幼苗的生长。陆媛等的研究表明,在辽东栎林不同生长阶段,林内植物各器官在C、N、P含量上存在显著差异,其中N、P含量是限制植物生长的主要元素<sup>[38]</sup>。何文祥等对比了柳叶栎、黑栎、北方红栎、樱皮栎、牛栎、大果栎、弗吉尼亚栎和白栎8种栎树在红壤和废弃尾矿土壤中生长3 a的情况,结果显示植物各器官N、P含量之间呈现极显著正相关关系,幼苗在不同器官和不同栎树种间表现出不同的生物量、C、N、P含量和化学计量比;推测栎树在红壤条件下生长可能受N元素的限制,而在铅锌尾矿环境中可能同时受到氮和磷的限制<sup>[39]</sup>。不同的栎树有不同的养分获取策略,有些栎树会在氮和磷元素受限条件下,先将营养元素分配到叶片,通过调整自身养分分配来稳定各器官的碳含量,提高养分利用效率。唐罗中对麻栎人工林的生长和养分状况研究发现麻栎可以通过养分的奢侈吸收、提高养分内循环、减少养分损失等途径来适应低养分环境<sup>[40]</sup>。

### 2.2 施肥对栎树生长的影响

适当施肥能增加栎类幼苗的养分贮存<sup>[43]</sup>。王睿照等选取3 a氮添加的蒙古栎中龄林,对叶片中C、N、P和非结构性碳水化合物(NSC<sub>s</sub>)含量以及土壤养分含量的变化进行了测定,指出增加林地中氮和磷元素的含量并且维持氮磷养分的平衡,对于促进蒙古栎林的生长具有关键作用<sup>[44]</sup>。施肥能够提高根系中的养分贮存,能够有效促进根生长,加强对养分的吸收。有些研究还表明,施肥有助于提高植物的抗逆性,使植物在竞争环境下的生长能力得到提高<sup>[45-46]</sup>。对北美红栎1年生播种苗施肥发现,单施氮肥、复合肥均有利于北美红栎的生长;复合肥有利于幼苗地径增长;磷肥、钾肥、复合肥对北美

红栎总生物量影响显著<sup>[47]</sup>。有研究发现,钾肥可以减轻氮肥过量造成的不利影响<sup>[48]</sup>,并且配比施用氮、磷、钾肥比单施氮、磷、钾肥更有利于提高苗木的生长和成活率<sup>[49]</sup>。句娇等研究了栓皮栎对水肥耦合的响应规律,结果表明适宜的水分和施肥配比可促进栎树幼苗的生长,在高水、高氮、高磷、低钾条件下苗木生长情况更好<sup>[50]</sup>。黄石嘉等探究不同施肥比对青冈幼苗生长的影响发现,当 N:P:K 之比是 2:1:2 时对青冈幼苗生长促进效果最好<sup>[51]</sup>。单施一种肥料不能很好地满足植物生长需要,为了促进植物更好地吸收养分,将各种肥料以合适的配比混合施用,有利于促进植物对养分的吸收,提高苗木的生长水平。孙媛姣等对蒙古栎幼龄林施肥研究发现,肥料种类和施肥量对蒙古栎幼林生长存在交互效应<sup>[52]</sup>。不同施肥类型对栎树生长及生理特性的影响不同,不同施肥配比对其生长也存在差异。

根据现有研究结果,单施 N 肥、N 与 P 配施或施复合肥都有利于栎树的生长,但大部分栎树树种生长缓慢、成材时间较长,为了缩短栎树生长周期,可以根据不同栎树对营养元素的需求以及土壤养分水平,合理施加肥料以促进栎树的生长。我国各地均有栎树栽植,因各地土壤养分存在差异,因此栎树人工林培育成功的关键在于合理的养分管理,需要根据立地条件确定施肥量。或者可以通过林木营养诊断确定施肥量,并适时进行调整。

### 2.3 林下种植或接种外生菌根对栎树生长的影响

有国外学者研究表明,在树冠下种植栎树,有利于幼苗的存活,并且发现树冠下种植的栎树,其叶面的养分含量显著增加<sup>[53]</sup>。另外,对栎树幼苗接种外生菌根菌(ECM)孢子悬浮液,发现接种 ECM 孢子悬浮液对幼苗生长和养分吸收具有促进作用<sup>[54]</sup>。有人研究了外生菌根真菌对栓皮栎幼苗生长和生理特性的影响,发现接种硬皮马勃(*Scleroderma citrinum*)可以显著促进栓皮栎幼苗生长<sup>[55]</sup>。孙佳琦等研究外生菌根对栎树生长的作用,结果表明接种外生菌根真菌增加了栎树幼苗 N、P、K 的含量,提高了栎树幼苗对营养元素的吸收效率<sup>[56]</sup>。

原生乔灌木冠层下种植栎树和接种外生菌根都有利于促进栎树幼苗养分含量的增加,这些发现对于栎树的生长和再生具有重大意义,是一种经济、可持续的生态系统修复方法。对我国栎树养分

循环的研究也具有极大的参考价值。

## 3 小结

虽然我国栎树资源丰富,但我国现有栎林多数是萌生的中幼龄矮林,有很大一部分在自然发育阶段,林分质量差,遗传分化低<sup>[57]</sup>。我国学者通过多年的研究,筛选并引进适合国内生长的栎树树种丰富了森林资源。根据对栎树人工林养分利用研究进展的分析发现,合理施加营养元素有利于栎树幼苗的生长,施加不同的营养物质和不同的生长环境对栎树养分吸收效率的影响显著<sup>[58]</sup>。不同种源对养分的吸收效率或积累程度不同<sup>[59]</sup>,同一植物不同器官营养元素的含量也存在差异。引进国外优良树种,探究栎树的养分特征状况以及不同施肥类型和施肥量对我国栎树人工林的发展具有重大意义。

我国目前对栎类接种外生菌根促进养分循环的研究相对较少,且对其影响机制尚未完全明确。未来应该继续探讨,多种菌同时作用对幼苗养分循环的影响。此外,目前我国对栎类树种养分循环的研究主要集中在群落水平上,未来应该更加注重在分子和细胞水平上养分循环的研究<sup>[60]</sup>,注重对栎树遗传多样性的研究,为栎树的引种和资源利用提供参考<sup>[61]</sup>。全球丰富的栎树资源还需要学者们的继续挖掘,在引种时要注意对种质资源的筛选,不盲目引种<sup>[62]</sup>。在对我国栎树人工林利用方面,不仅只靠引进外来栎树资源,也要注重对我国乡土栎树资源的培育,使栎树资源发挥出它极高的生态价值和经济价值。

### 参考文献:

- [1] 国家林业局.第八次全国森林资源清查结果[J].林业资源管理,2014(1):1-2.
- [2] 郑 威.森林资源可持续经营对策探讨[J].绿色科技,2018(13):200-202.
- [3] 娄明华,张会儒,雷相东,等.天然栎类阔叶混交林林分平均高与平均胸径关系模型[J].北京林业大学学报,2020,42(9):37-50.
- [4] MEYER L, BRISCHKE C, MELCHER E, et al. Durability of english oak (*Quercus robur* L.) - comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions[J]. International Biodeterioration & Biodegradation, 2014, 86(PB):79-85.
- [5] MORGANE M, THOMAS P, SANDRINE P, et al. Effects of stand composition and tree size on resistance and resilience to drought in sessile oak and scots pine[J]. Forest Ecology Management, 2015, 339:22-33.

- [6] ISHIHARA S. Synergistic effect of alkali metals on fire proofing properties of boric acid-containing melamine-formaldehyde condensates[J]. Zairyo, 1981, 30: 725-730.
- [7] 黄利斌. 北美栎树引种栽培技术研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2007.
- [8] 邵建武, 王新洋, 张春祥, 等. 施肥对麻栎短轮伐期炭用林土壤、叶片养分及林分生长的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2023, 50(1): 44-49.
- [9] ZECHMEISTER-BOLTENS TERN S, KEIBLINGER K M, MOOSHAMMER M, et al. The application of ecological stoichiometry to plant-microbial-soil organic matter transformations[J]. Ecological Monographs: Official Publication of the Ecological Society of America, 2015, 85(2): 133-155.
- [10] 田地, 严正兵, 方精云. 植物生态化学计量特征及其主要假说[J]. 植物生态学报, 2021, 45(7): 682-713.
- [11] 田大伦, 项文化, 康文星. 马尾松人工林微量元素生物循环的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(4): 1-8.
- [12] 何相玉, 周冠军, 张新洁, 等. 氮磷添加对水曲柳人工林叶片、细根和土壤生态化学计量特征的影响[J]. 森林工程, 2023, 39(1): 73-81.
- [13] 纪雪, 姜卫兵, 魏家星, 等. 栎树的综合价值及其在城乡园林绿化中的应用开发[J]. 黑龙江农业科学, 2015(12): 96-101.
- [14] 滕贵波, 王寿春, 曹颖, 等. 我国栎类引种研究进展[J]. 辽宁林业科技, 2016(5): 52-56.
- [15] 黄利斌, 李晓储, 汪企明, 等. 7种国外栎树引种苗期试验初报[J]. 江苏林业科技, 2003, 30(1): 1-4.
- [16] 朱惜晨, 李晓储, 李青云, 等. 无锡太湖丘陵引种北美栎树试验初报[J]. 江苏林业科技, 2004, 31(2): 1-3.
- [17] 安林辉, 林虎, 任保义, 等. 湖北省太子山林场24个栎树引种试验初报[J]. 湖北林业科技, 2021, 50(6): 14-17.
- [18] 任俊杰, 张婉莹, 格桑旦增, 等. 栓皮栎与4种北美栎树引种适应性[J]. 林业科技通讯, 2022(4): 28-32.
- [19] 刘扬, 李宏杨, 陈冠铭. 三亚铁皮石斛引种栽培低成活率原因分析[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(15): 121-122, 209.
- [20] 黄利斌, 李晓储, 朱惜晨, 等. 北美栎树引种试验研究[J]. 林业科技开发, 2005, 19(1): 30-34.
- [21] 陈益泰, 孙海菁, 王树凤. 丰富我国树种资源推动“美丽中国”建设——“北美栎树引种及培育技术与示范”项目成果展示[J]. 科技成果管理与研究, 2013(7): 54-56.
- [22] 陈叶平, 赵颖, 徐嘉科, 等. 舟山海岛3种国外栎树引种试验研究[J]. 现代农业科技, 2013(20): 145, 155.
- [23] 金三忠. 欧洲红栎在小陇山林区引种栽培适应性研究[J]. 现代农村科技, 2023(7): 87-88.
- [24] 赵莲花, 李纪元, 王富河. 北美栎树娜塔栎在豫南地区的引种表现[J]. 种业导刊, 2022(5): 45-48.
- [25] 段丽君, 张津魁, 李修堂, 等. 欧洲红栎在山西临汾引种栽培试验[J]. 天津农业科学, 2020, 26(4): 68-71.
- [26] MUÑOZ-ADALIA J E, COLINAS C. Susceptibility of cork oak (*Quercus suber*) to canker disease caused by *Diplodia corticola*: when time is of the essence[J]. New Forests, 2021, 52(5): 1-11.
- [27] DANIELS H A, LINDSAY B, LEBOLDUS J M. Natural and artificial inoculation of radiata pine boles and seedlings with *Phytophthora ramorum*, causal agent of sudden oak death, reveals low host potential[J]. Forest Pathology, 2022, 52(6): .
- [28] 李百胜, 吴翠萍, 安榆林, 等. 国外栎树突死病菌的检疫措施及我国应采取的应对策略[J]. 检验检疫科学, 2005(3): 58-62.
- [29] 王绍强, 于贵瑞. 生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J]. 生态学报, 2008, (08): 3937-3947.
- [30] 侯学煜. 中国150种植物的化学成分及其分析方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 1959.
- [31] 潘维涛, 田大伦, 李利村, 等. 杉木人工林养分循环的研究(一) 不同生育阶段杉木林的产量结构和养分动态[J]. 中南林学院学报, 1981(1): 1-21.
- [32] 潘维涛, 田大伦, 雷志星, 等. 杉木人工林养分循环的研究(二) 丘陵区速生杉木林的养分含量、积累速率和生物循环[J]. 中南林学院学报, 1983(1): 1-17.
- [33] 魏晓华, 周晓峰. 蒙古栎林生态系统的养分循环[C]//中国植物保护协会入侵分会. 青年生态学者论丛(一), 1991: 167-171.
- [34] 魏晓华, 王虹, 朱春全. 蒙古栎生态系统的养分分析[J]. 吉林林学院学报, 1990, 6(1): 31-36.
- [35] 杜启燃, 雷静品, 刘建峰, 等. CO<sub>2</sub>浓度增加和施氮对栓皮栎幼苗生理生态特征的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(1): 24-30.
- [36] 赵勇, 王鹏飞, 樊巍, 等. 太行山丘陵区不同龄级栓皮栎人工林养分循环特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(4): 66-71.
- [37] 孙利涛. 施肥对杨树生长及生理特性的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [38] 陆媛, 陈云明, 曹扬, 等. 黄土高原子午岭辽东栎林植物和土壤碳氮磷化学计量学特征[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 196-201.
- [39] 何文祥, 施翔, 汪阳东, 等. 栎树幼苗化学计量特征对尾矿库环境的响应[J/OL]. 生态学杂志: 1-14 [2024-02-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1148.Q.20230620.1450.002.html>.
- [40] 唐罗忠, 刘志龙, 虞木奎, 等. 两种立地条件下麻栎人工林地上部分养分的积累和分配[J]. 植物生态学报, 2010, 34(6): 661-670.
- [41] 刘辉强. 林木施肥研究综述[J]. 安徽农学通报(下半月刊), 2010, 16(10): 139-141.
- [42] 杨志坚. 施肥对闽楠幼苗养分利用及土壤微生物的影响[D]. 北京: 北京林业大学, 2021.
- [43] 魏宁, 李国雷, 蔡梦雪, 等. 缓释肥施氮量对4种国外栎苗木质量及移栽成活率的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2021, 45(3): 53-60.
- [44] 王睿照, 毛沂新, 云丽丽, 等. 氮添加对蒙古栎叶片碳氮磷化学计量与非结构性碳水化合物化合物的影响[J]. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1369-1377.
- [45] SALIFU F K, JACOBS F D, BIRGE D K Z. Nursery nitrogen loading improves field performance of bareroot oak seedlings planted on abandoned mine lands[J]. Restoration Ecology, 2009, 17(3): 339-349.
- [46] ANDIVIA E, FERNÁNDEZ M, VÁZQUEZ-PIQUÉ J. Autumn fertilization of *Quercus ilex* ssp. *ballota* (Desf.) Samp. nursery seed-

- lings: effects on morpho-physiology and field performance[J]. *Annals of Forest Science*, 2011, 68(3): 543-553.
- [47] 施 曼, 徐惠群, 仲秀林, 等. 施肥对北美红栎幼苗生长的影响[J]. *浙江林业科技*, 2014, 34(4): 25-28.
- [48] LI X Y, MING L J, FEI T D. Effects of water and nitrogen coupling under drip irrigation on tree growth and soil nitrogen content of *Populus × euramericana* cv. 'Guariento' [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2018, 29(7): 2195-2202.
- [49] MAKATY Y, YEHD M. Nitrogen nutrition of *Spathiphyllum* 'Sensationgrown' in sphagnum peat-and-coir-based-media with two irrigation methods[J]. *HortScience*, 2001, 36(4): 645-649.
- [50] 句 娇, 李迎超, 王利兵, 等. 水肥耦合效应对栓皮栎苗木生长的影响[J]. *浙江农林大学学报*, 2020, 37(4): 673-682.
- [51] 黄石嘉, 李铁华, 彭颖妹, 等. 施肥对青冈栎幼苗生长与光合作用的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2018, 38(1): 99-105.
- [52] 孙媛姣, 陆秀君, 曾莞棋, 等. 施肥对蒙古栎幼林生长及养分含量的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2021, 52(4): 409-418.
- [53] O'DONNELL L, PICKLES B J, CAMPBELL C M, et al. Native tree and shrub canopy facilitates oak seedling regeneration in semi-arid woodland[J]. *Ecosphere*, 2020, 11(2): e03017.
- [54] KAYAMA M. Growth and nutrient acclimation of evergreen oak seedlings infected with *Boletus reticulatus* in infertile colluvial soil in warm temperate monsoon Asia: Evaluation of early growth[J]. *Forests*, 2020, 11(8).
- [55] 高晓磊, 张丽仔, 唐 窈, 等. 接种外生菌根真菌对不同种源栓皮栎幼苗生长和生理特征的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2022, 42(11): 63-70.
- [56] 孙佳琦, 曹文琪, 冷平生, 等. 接种 4 种外生菌根真菌对榿树幼苗生长、光合及营养元素含量的影响[J]. *中南林业科技大学学报*, 2021, 41(10): 67-74, 101.
- [57] 兰士波. 中国北方落叶栎类研究进展及前景[J]. *中国林副特产*, 2018(4): 71-76.
- [58] XUN S, HANG K, CHEN H H, et al. Biogeographic patterns of nutrient resorption from *Quercus variabilis* Blume leaves across China. [J]. *Plant biology (Stuttgart, Germany)*, 2016, 18(3): 505-513.
- [59] ANDIVIA E, FERNÁNDEZ M, VÁZQUEZ-PIQUÉ J, et al. Two provenances of *Quercus ilex* ssp. *Ballota* (Desf) Samp. nursery seedlings have different response to frost tolerance and autumn fertilization[J]. *European Journal of Forest Research*, 2012, 131(4): 1091-1101.
- [60] 靳 微. 几种栎树外生菌根真菌多样性及其对苗木生长和养分吸收的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2019.
- [61] 关 媛, 吕秀立, 于泽群, 等. 基于 SSR 分子标记的栎属植物资源的亲缘关系分析[J]. *上海农业学报*, 2021, 37(5): 20-25.
- [62] 张文文. 栎属植物的引种历史与优良栎类的选育及推广[J]. *园林*, 2019(8): 63-66.

# (上接第 20 页)

- [19] 王 玮. 美国白蛾滞育蛹越冬前的能量储备与越冬期温度变化对其能量消耗的影响[D]. 南京: 南京林业大学, 2020.
- [20] 赫传杰, 李加正, 王 越, 等. 美国白蛾发生情况及 2022 年趋势预测[J]. *中国森林病虫*, 2022, 41(1): 46-48.
- [21] 鞠 珍. 美国白蛾在不同树种上的生物学特性及抗寒性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [22] HWANG S Y, LIU C H, SHEN T C. Effects of plant nutrient availability and host plant species on the performance of two *Pieris* butterflies (Lepidoptera: Pieridae) [J]. *Biochemical systematic and Ecology*, 2008, 36(7): 505-513.
- [23] CARRASCO D, LARSSON M C, ANDERSON P. Insect host plant selection in complex environments[J]. *Current Opinion in Insect Science*, 2015, 8: 1-7.
- [24] 李德斌, 卢修亮, 何 珊, 等. 东北地区美国白蛾灾害扩散过程和趋势分析[J]. *中国森林病虫*, 2023, 42(2): 9-15.
- [25] 张俊杰, 董 琴, 赵涵博, 等. 中国大陆美国白蛾的侵入分布、危害与防治概述[J]. *吉林林业科技*, 2013, 42(3): 27-30, 47.
- [26] 杜晶晶, 张 越, 潘彦平, 等. 北京地区美国白蛾的时空分布变化及其影响因素研究[J]. *生态学报*, 2023, 43(13): 5480-5490.
- [27] 杨淑香, 袁晓海, 包兴华. 林业有害生物与气象条件关系研究进展[J]. *现代农业科技*, 2013(16): 252-253.
- [28] 张建新, 钱锦霞, 任慧龙, 等. 气象因素对林业有害生物发生发展的影响研究综述[J]. *中国农业气象*, 2010, 31(3): 458-461.
- [29] 杨明琪. 不同气候情景下美国白蛾在我国的适生区预测[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2013.
- [30] 纪琳琳, 苏喜友, 于治军. 基于随机森林模型的美国白蛾在中国的潜在生境预测[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(6): 121-128.
- [31] 陆 霞, 杜新民, 安建梅. 基于 GARP 的美国白蛾在中国的适生区预测[J]. *农业与技术*, 2016, 36(19): 46-50.