



火力楠改善人工林林地土壤肥力的研究进展

郭朗, 田生辉, 王涛, 陈洁, 李永泉, 姜清彬

引用本文:

郭朗, 田生辉, 王涛, 等. 火力楠改善人工林林地土壤肥力的研究进展[J]. 热带亚热带植物学报, 2025, 33(5): 587–595.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4936>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

5种相思树和尾巨桉人工林土壤养分和酶活性特征

Characteristics of Soil Nutrient and Enzyme Activities in Plantations of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* and Five *Acacia* Species
热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 483–493 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4334>

巨桉连栽对土壤微生物生物量和数量的影响

热带亚热带植物学报. 2020, 28(1): 35–43 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4081>

氮磷添加对华南地区2种人工林土壤氮磷循环酶活性的影响

Effects of Long-term Nitrogen and Phosphorus Additions on Soil Enzyme Activities Related N and P Cycle in Two Plantations in South China

热带亚热带植物学报. 2021, 29(3): 244–250 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4293>

不同林龄尾巨桉人工林凋落物和土壤C、N、P化学计量特征

Ecological Stoichiometric Characteristics of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Litter and Soil of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* Plantation at Different Forest Ages

热带亚热带植物学报. 2017, 25(2): 127–135 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3665>

雷州半岛尾巨桉人工林土壤呼吸动态变化及其对气象因子的响应

Soil Respiration of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* Plantation and Its Response to Meteorological Factors in Leizhou Peninsula
热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 346–354 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3833>

向下翻页，浏览PDF全文

火力楠改善人工林林地土壤肥力的研究进展

郭朗¹, 田生辉¹, 王涛¹, 陈洁¹, 李永泉², 姜清彬¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 2. 仲恺农业工程学院园艺园林学院, 广州 510225)

摘要: 土壤肥力是土壤物理、化学和生物性质的综合指标, 是决定森林生产力的重要因素。火力楠(*Michelia macclurei*)是我国南方重要的乡土树种, 因其速生、材质优良、改土效果良好等特征, 常被用作伴生树种与马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、桉树(*Eucalyptus*)等用材树种进行混交, 在改善人工林土壤肥力, 提高林分生产力等方面发挥了重要作用。然而, 火力楠对人工林土壤物理、化学和生物性质产生了怎样的影响仍不明确, 对土壤肥力的改善作用仍缺乏机制性的了解。该文从土壤理化性质、土壤微生物群落特征和土壤养分循环等 3 个方面系统综述了火力楠在改善人工林土壤肥力方面的研究现状, 初步理清了其改善土壤肥力的关键途径。同时, 通过整合分析和定量分析方法, 研究人工林纯林和火力楠混交林在 0~20 和 20~40 cm 2 个土层深度上对人工林土壤肥力的影响, 认为火力楠具有作为改土树种的潜力, 揭示其提升土壤肥力的潜在机制。

关键词: 火力楠; 土壤肥力; 土壤微生物; 养分循环; 整合分析

doi: 10.11926/jtsb.4936

CSTR:32235.14.jtsb.4936

Research Advances of *Michelia macclurei* in Improving Soil Fertility in Artificial Plantations

GUO Lang¹, TIAN Shenghui¹, WANG Tao¹, CHEN Jie¹, LI Yongquan², JIANG Qingbin¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 2. College of Horticulture and Landscape Architecture, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Soil fertility is a comprehensive indicator of soil physical, chemical and biological properties and is an important factor determining forest productivity. *Michelia macclurei* is an important native tree species in southern China. Due to its fast growth, excellent wood quality and good soil improvement effect, it is often used as an associate tree species to mix with timber tree species such as *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata* and *Eucalyptus* to improve soil fertility and increase forest productivity in artificial forests. However, the impact of *M. macclurei* on soil physical, chemical and biological properties in artificial forests is still unclear, and the mechanism of its improvement of soil fertility is still lacking. The current research status of *M. macclurei* in improving soil fertility in artificial forests from three aspects were systematically reviewed: soil physical and chemical properties, soil microbial community characteristics and soil nutrient cycling, and preliminarily clarifies the key pathways for improving soil fertility. At the same time, through integration and quantitative analysis methods, the effects of pure forests and *M. macclurei* mixed forests on soil fertility in artificial forests at two soil depths of 0–20 cm and 20–40 cm are studied. It was believed that *M. macclurei* had the potential to be a soil improvement tree species, and the potential mechanism of its improvement of soil fertility is revealed.

Key words: *Michelia macclurei*; Soil fertility; Soil microorganisms; Nutrient cycle; Meta-analysis

收稿日期: 2024-07-01

接受日期: 2024-07-22

基金项目: 广东省林业科技创新项目(2022KJCX022, 2025KJCX006); 广西林业科技项目(2024GXZCLK02)资助

This work was supported by the Project for Forestry Science and Technology Innovation in Guangdong (Grant No. 2022KJCX022, 2025KJCX006), and the Project for Forestry Science and Technology in Guangxi (Grant No. 2024GXZCLK02).

作者简介: 郭朗(2000 年生), 男, 硕士研究生, 主要从事人工林土壤方面的研究。E-mail:1134800675@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jiangqingbin@caf.eac.cn

森林土壤肥力主要受土壤物理结构、土壤微生物和群落组成、丰度、功能与多样性、胞外酶活性以及林地凋落物质量等因素的影响^[1-3]。目前,我国南方人工林普遍存在林地养分亏缺,土壤肥力较低的现象,且在林业生产中,大多通过施肥来提高土壤肥力^[4]。高强度的施肥极易导致林地土壤板结,进而破坏土壤团聚体结构,改变土壤微生物群落组成与功能,降低微生物多样性,严重阻碍养分的转化,影响森林固碳能力和林分生产力^[5]。此外,人工施肥过多会导致林地土壤养分过剩,大量养分随雨水淋溶流失,造成水源富营养化,同时增加温室气体排放,严重影响生态环境。因此,在人工林中适当配植具有改善林地土壤肥力的关键树种,促进森林生态系统地上与地下协同修复,将是解决土壤肥力持续降低的重要手段。

火力楠(*Michelia macclurei*)是木兰科(Magnoliaceae)含笑属的常绿阔叶乔木,是我国南方乡土珍贵用材和多功能高效益树种,也可用来培育大径级用材。其假种皮和种子富含植物油等成分,在香料、医药、日用化工等方面有着重要用途。此外火力楠也是风景园林绿化及防火、改土、水源涵养优良树种^[6-8]。多年来,火力楠在南方各林区(例如广东、广西、福建等)得到广泛种植,在乡土珍贵用材开发和大径级用材人工林培育等方面具有较大的潜力,其在理论研究和实际应用中都具有重要的价值^[9-10]。

火力楠细根发达,与南方其他主要用材树种相比,具有较好的改良土壤和改善生态效益的作用。研究表明,火力楠相较于杉木能增加土壤养分含量,改善土壤理化性质,提高土壤微生物活性^[11]。相较于马尾松能提高林分凋落物质量,增加林分持水量^[12-13]。相较于红锥(*Castanopsis hystrix*)和壳菜果(别名米老排, *Mytilaria laosensis*)则能增加林分土壤微生物丰度^[14-15]。基于火力楠的这些特性,早在1988年中国科学院应用生态研究所便对杉木和火力楠混交林的高生产力和生态协调性进行了研究^[16],随后陆续有学者将火力楠与南方其他速生树种进行混交并开展混交林林地质量和林分生产力的研究^[17-18]。但鲜有关于火力楠改善人工林混交林土壤肥力的系统性综述。鉴于此,本文旨在总结和归纳当前火力楠人工林的研究进展,从火力楠人工林土壤理化性质、土壤微生物、土壤酶活性和林分凋落物等方面进行综述,同时对其他树种纯林[杉木、马尾松、木荷(*Schima superba*)等]和火力楠混交林(火

力楠为伴生树种,林分只有2种树种)的土壤理化性质进行整合分析(Meta分析),以期增强对火力楠改善土壤肥力的科学认知。

Meta分析是用于比较多个研究的统计学方法,能在区域尺度上得到一个普遍性结论^[19]。近年来,随着交叉学科的逐渐增多,Meta分析被广泛应用到生态学领域。本文收集关于比较人工林纯林与火力楠混交林土壤肥力的研究进行Meta分析,以关键词“火力楠”、“土壤肥力”、“混交林”检索中国知网、万方、Web of Science等数据库,检索年限至2023年。通过对重复文献的筛选与剔除,再对所有收集到的文献进行评估,符合以下条件的视为有效文献:试验必须设有对照组和试验组,即混交林和纯林;同一试验中的对照组和试验组必须处于相同的立地条件下;文章能提供用于Meta分析的数据。

1 通过改变非生物环境而改善土壤肥力

林地非生物环境中,团聚体是土壤结构的基本单元,是维持土壤肥力的物质基础。团聚体能协调土壤中的水分和养分,对土壤结构和功能的稳定性均有较大影响^[20]。研究表明相较于米老排杉木混交林,火力楠杉木混交林的表层土壤具有更多的大团聚体,因此,其土壤结构稳定性更强^[21]。另有研究模拟了酸雨和根系去除对火力楠人工林的影响,结果表明火力楠根系能有效保护土壤团聚体结构使其不受酸雨的影响,同时能提高土壤有机碳的稳定性,增强土壤固持能力^[22]。此外,郭剑锋^[23]采用“环刀法”对马尾松火力楠混交林土壤进行测定,认为混交林相较于马尾松纯林,其林地土壤物理性质发生改变,土壤结构得到有效改善,主要表现为土壤容重降低,通气孔隙增多,土壤的通透性增强等。这可能是因为火力楠凋落物较多而导致了混交林土壤蓄水能力的增强,凋落物的大量输入可以明显减少地表径流,降低地表蒸发的强度,提高土壤的有效含水量和林地土壤涵养水分的性能^[13]。大量树木凋落物进入土壤还可以提高混交林土壤有机质含量,有利于土壤矿化能力的提升进而促进土壤全氮、碱解氮和有效磷等养分的积累^[21,24]。在火力楠尾巨桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. grandis*)混交林中,土壤有机碳矿化和磷活化能力显著高于尾巨桉纯林^[25]。陈凯等^[26]对杉木火力楠混交林的土壤非生物环境和营养结构进行研究,认为混交林地表层土壤

的全氮、氨态氮、全磷、全钾、速效磷和速效钾等含量均显著高于杉木纯林。

2 通过影响土壤微生物群落而改善土壤肥力

土壤微生物是养分转化的关键驱动者,其群落丰度、活性与多样性等特征对土壤肥力具有重要的指示作用。火力楠能通过影响土壤水分、养分等显著提升混交林土壤综合质量,使得改良后的环境更适合微生物生存。例如,火力楠人工林土壤中易被微生物群落利用的糖类、氨基酸和聚合物碳源含量较高,有利于加快微生物的生长代谢,进而增加微生物群落丰度^[27]。比较火力楠、鰲蒴(*Castanopsis fissa*)、米老排、红锥、黑木相思(*Acacia meianoxylon*) 5种不同人工林土壤微生物丰度的研究,证实火力楠人工林土壤中的细菌丰度显著高于其他人工林^[15]。通过比较鰲蒴、木荷、火力楠人工林土壤真菌群落丰度的差异,彭耀强等^[28]认为火力楠人工林土壤真菌丰度也显著高于其他人工林。另有研究表明火力楠与其他树种混交能同时提升林分根际与非根际土壤微生物群落丰度并影响其结构与功能^[29]。关于土壤微生物群落结构的研究表明,火力楠混交林中厚壁菌门(Firmicutes)的相对丰度显著高于其他树种混交林,厚壁菌门是盐渍土壤优势细菌门类^[30],主要参与土壤有机质分解和生物固氮过程,这可能是火力楠人工林土壤有效氮含量较高的关键因素^[31]。桉树与火力楠混交则显著增加了土壤中具有溶磷、碳降解、固氮等功能细菌的相对丰度^[32]。杉木火力楠混交林土壤细菌群落丰度及多样性均显著高于杉木纯林^[14]。

菌根真菌是人工林土壤中重要的有益微生物类群,对改善土壤水分和养分状况,促进植物生长有重要的作用^[33]。事实上,火力楠和杉木的根系均能与内生菌根真菌(AMF)共生而提高树木对营养物质的吸收效率。火力楠接种泡囊丛枝菌根菌(V-A 菌根菌)后植株的生长势、株高、植株鲜重以及氮、磷、钾等含量较接种菌根真菌前都有所提高^[34]。对种植在不同试验点的火力楠接种 AMF 后,火力楠的树高都表现出极显著的增加趋势,表明 AMF 对火力楠有明显的促生效果。进一步研究表明,AMF 中的苏格兰球囊霉(*Glomus caledonium*) 90036 菌株、地表球囊霉(*Glomus versiforme*) 9004

菌株和木薯球囊霉(*Glomus maruihot*) 3008 菌株在促进火力楠生长和提高保存率方面都有显著的效果^[35],可应用于实际的生产实践中。但目前研究表明 AMF 对火力楠等宿主植物地上部分生长有促进作用,地下部分促进作用并不明显^[36]。尽管杉木火力楠纯林和杉楠混交林中土壤 AMF 的组成均以球囊菌属为主,而火力楠相较于杉木根际土壤中 AMF 丰度更高^[37]。

土壤胞外酶活性是反映微生物功能的重要指标,在催化土壤有机物分解和元素循环中起着关键作用,能有效指示土壤质量和健康状况^[38-39]。其中,根际土壤酶活性在土壤物质转化和林木营养吸收方面的作用尤其重要^[40]。研究表明杉木、火力楠混交林能够提高土壤水解酶活性,增强土壤养分的供应能力,加速林内物质循环和能量流动,促进土壤熟化,进而提高土壤肥力^[41]。另有研究表明,火力楠人工林土壤磷酸酶和蔗糖酶活性显著高于杉木、尾巨桉人工林,但土壤酶活性是否受土壤微生物群落组成和季节的影响有待探究^[25]。孙思怡等^[42]从元素化学计量比的角度,揭示了火力楠与杉木套种能通过改变根际土碳、氮、磷含量从而加快微生物代谢活动。其中一个重要原因可能是火力楠混交林根系分泌物增加能有效增强土壤微生物活性,进而提高土壤酶活性,改善杉木根际土养分状况^[24]。此外,火力楠根系分泌物还可调控土壤微生物群落结构,促进杉木根系生长和 AMF 的侵染,加快杉木对磷元素的吸收,而根系分泌物还可通过降低杉木人工林土壤中的自毒物质环二肽的含量,通过缓解杉木自毒危害而提升人工林生物量^[43]。

森林土壤微生物生物量与土壤质量密切相关,能反映土壤肥力状况^[44]。黄永珍^[45]报道,在火力楠杉木混交林的表层土壤中,微生物生物量氮显著高于杉木纯林和杉木米老排混交林。黄宇等^[11]研究表明在皆伐后种植的第2代火力楠杉木混交林土壤微生物生物量氮、碳、磷等含量均显著高于第2代杉木纯林。此外,火力楠红锥混交林相较于红锥纯林和红锥湿地松(*Pinus elliottii*)混交林,其土壤微生物生物量碳、氮含量也显著较高^[46]。

3 通过促进养分循环而改善土壤肥力

3.1 根系研究与细根周转

根系是林木有机体的重要组成部分,研究根系

的数量、组成、分布和周转,对于全面了解林木的生长发育规律,进一步探索林木地上与地下部分之间的关联至关重要,有利于科学制定相应的丰产技术措施^[47]。火力楠杉木混交林中根系分布均匀合理,其中吸收根分布趋向土壤底层,能够充分利用深层土壤养分,同时含有发达的侧根,有助于林木沿水平方向吸收不同土层的养分^[48]。进一步研究表明,杉木根系以利用较深的营养空间为主,而火力楠则利用较浅的营养空间为主,这不仅满足林木对营养的基本需要,而且充分利用了有限的土地空间资源,提高了对土壤的利用率^[49]。

细根在森林生态系统物质循环与能量流动中起着至关重要的作用。细根通常是指直径小于 2~5 mm 的根,虽仅占林分根系总生物量的 3%~30%,但因其有较大的吸收表面积而且生理活性强,是树木水分和养分吸收的主要器官^[50]。同时多数树种细根有菌根浸染,进一步增加了吸收表面积。细根生长和周转迅速表明火力楠细根发达,周转快。与杉木混交后,促进了杉木细根的生长,提高了整个林分的细根生物量和周转率^[51],能够为杉木生长提供更多的养分来源,从而改变林分土壤理化性质。廖利平等^[52]采用“土钻法”对杉木、火力楠纯林和混交林中细根养分的归还量进行研究,结果表明火力楠细根养分含量较高,且碳氮比显著高于杉木。这可能是火力楠细根分解速率较快,养分归还量较高的一个重要原因。此外,刘艳等^[53]研究了杉木、桉木(*Alnus cremastogyne*)和火力楠细根分解对土壤活性有机碳的影响,结果表明不同树种细根的分解速率大小依次为火力楠>桉木>杉木,且细根分解速率与土壤活性有机碳存在显著的正相关关系。这主要是由于火力楠细根能释放大量的溶解性或可降解有机化合物,进而加快了微生物分解速率,这可能是火力楠细根分解速率较其他树种更快的另一个重要原因。综上,火力楠根系发达,能更充分地利用不同空间分布的营养资源,进而减少淋溶损失;此外火力楠细根分解速率也较快,细根内的营养元素周转快,促使火力楠与其他树种混交造林时可以提高整个混交林的细根周转率和养分归还效率。

3.2 凋落物性状与分解

凋落物是林木养分的基本载体,驱动着土壤养分平衡与森林生态系统物质循环^[2]。在南方各林区主要栽培树种中,火力楠凋落物储量和持水量均高于红锥、杉木、马尾松,仅凋落物储量次于米老排,

表明火力楠凋落物能改善林分土壤保水保肥的生态功能^[54]。众多研究表明火力楠能够作为伴生树种提高整个混交林的生物量,其中一个重要原因就是火力楠凋落物量大,易分解,能改善土壤营养状况,提升林地土壤肥力。对火力楠和马尾松人工林林下凋落物的对比研究表明,火力楠凋落物含量明显高于马尾松凋落物,且凋落物分解快速,土壤呼吸和总硝化速率均显著高于其他类型林分^[55]。在杉木与火力楠种植比例为 4:1 的杉木火力楠混交林中,火力楠凋落物占林分总凋落物的 64%,远远高于杉木^[56]。也有研究对杉木纯林、火力楠纯林和杉木火力楠混交林进行分析,认为火力楠混交林能够显著增加人工林生物量和碳储量^[57]。火力楠凋落物量大且分解快的特征,在一定程度上加快了土壤有机质的矿化,以及养分的归还和积累,促进了火力楠对混交林土壤的改良作用^[58]。对杉木火力楠和杉木米老排混交林的表层土壤和凋落物进行分析,认为火力楠凋落物量大,能够提供更多腐殖质,分解速率也显著大于杉木纯林,且凋落物能促进碳、氮、磷、钾等元素在表层土壤的固存^[45]。综上,火力楠人工林改善土壤肥力的方式主要体现在改变林地土壤非生物环境,影响土壤微生物,促进土壤养分归还 3 方面(图 1)。

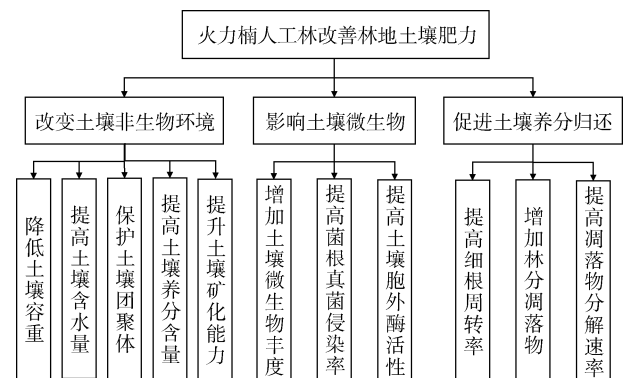


图 1 火力楠人工林改善土壤路径图

Fig. 1 Path map of soil quality improvement of *Michelia macclurei* artificial plantations

4 改善人工林土壤肥力效果的 Meta 分析

根据收集到的文献数据,将人工林纯林的土壤理化性质数据设为对照组,而火力楠混交林的土壤理化性质数据则为处理组,在收集到的文献中提取均值、标准差、样本量。若同一篇文献当中出现多

个试验地点,各地点具有独立的对照和处理且不同土层深度都有其相对应的对照组,则将其视为不同的试验样本纳入此次 Meta 分析。根据以上条件最终筛选出符合标准的文献,共 51 条数据。使用 Excel 录入数据,在 MetaWin 2.1 软件中进行计算和统计分析,使用 GraphpadPism 9.5 软件进行绘图。

通过对人工林纯林和火力楠混交林在不同土层的土壤养分含量进行 Meta 分析,结果表明土壤深度 0~20 cm 区间,混交林土壤所有养分含量都较纯林有显著正效应;在 20~40 cm 区间,混交林全氮、全钾、速效磷和有机质含量相较于纯林没有显

著差异,而土壤全磷、水解氮和速效钾含量有显著差异。在 0~20 与 20~40 cm 2 个土层间对比,除了土壤水解氮与速效磷含量有显著差异外,其他土壤肥力指标的差异都不显著。

Meta 分析表明火力楠能优化林分土壤的化学性质,提升土壤肥力。与纯林比较,火力楠混交林在 0~20 cm 土层中,所有指标都有显著提升。而在 20~40 cm 土层中,除了土壤全氮、全钾、速效磷和有机质含量没有影响之外,土壤全磷、水解氮和速效钾也有显著影响,但是相比 0~20 cm 土层提升幅度不高(图 2)。

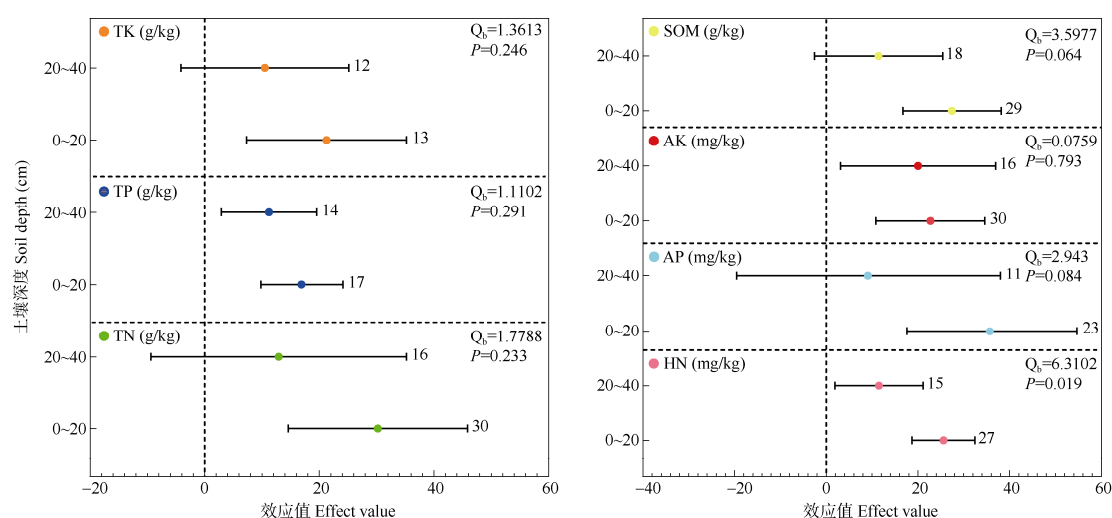


图2 火力楠混交对林分土壤养分含量影响的效应值。TN: 全氮含量; TP: 全磷含量; TK: 全钾含量; HN: 水解氮含量; AP: 速效磷含量; AK: 速效钾含量; SOM: 有机质含量; 直线表示响应值 95% 的置信区间, 数字为样本数; 直线与 0 轴相交表示纯林与混交林间不显著, 不相交则为显著; Q_b 代表级间同质性, $P<0.05$ 表示 2 个土层间存在显著差异。

Fig. 2 Effect values of *Michelia macclurei* mixed plantation on soil nutrient contents. TN: Total nitrogen content; TP: Total phosphorus content in soil; TK: Total potassium content; HN: Hydrolyzed nitrogen content; AP: Available phosphorus content; AK: Available potassium content; SOM: Organic matter content. The line shows the 95% confidence interval of response value, and the number next is number of sample. The intersection of the line and 0 axis shows not significant difference between pure and mixed forests, while non intersection indicates significance difference. Q_b represents homogeneity among levels, and $P<0.05$ indicates significant differences between two soil layers.

总体上,火力楠混交林比人工林纯林能更好地提高土壤肥力,促进人工林的持续稳定发展。在 0~20 cm 表层土壤,火力楠改善林地土壤肥力的效果更好,这可能是因为火力楠细根多分布于表层土壤,而细根通过产生根系分泌物,促进微生物分解速率,从而导致表层土壤肥力改善效果更为显著^[51-52]。还可能是因为火力楠混交林凋落物量大,而凋落物分解后,进行养分循环时大多都停留在表层土壤,引起表层土壤的土壤性质发生变化,更利于微生物的存活,导致土壤肥力变化明显^[45,55-56,58]。

土壤肥力是评价林地土壤质量的重要指标^[59],也由许多因素共同影响。本研究仅仅对比了树种组成的影响,并未考虑到其他如针阔混交、抚育措施、林龄、种植密度等因素的影响,需要今后进一步的研究。且本文 Meta 分析重点关注土壤养分的变化,对土壤物理性质、微生物、凋落物和细根的变化没有进行分析,可能是相关研究较少,文献数据不能支撑进行 Meta 分析。今后对火力楠在这些方面开展更深入的研究,探究火力楠改善人工林土壤肥力的关键途径,增强对火力楠改土作用的机制性理

解, 能对生产工作有一定指导作用。

5 问题和展望

综上所述, 国内外学者在火力楠改善人工混交林林分土壤非生物环境、土壤微生物和养分循环等方面有一定进展, 对于火力楠生物学特性、造林及繁殖、改善土壤理化性质等方面研究较为成熟, 与杉木、福建柏(*Fokienia hodginsii*)、秃杉(*Taiwania flousiana*)^[48]等速生树种混交也有较好的经济和生态效益。

迄今为止, 关于火力楠改善人工混交林土壤肥力的研究都是基于现象的描述, 缺乏深入的机制性的火力楠人工林土壤理化性质、微生物、根系和凋落物的系统分析。且较多研究在内容和方法上均存在较大差异, 结果的可比性不强。此外, 作为一种具有良好生态效益的树种, 在涵养水源和固碳释氧的研究较少, 缺乏对其产生的生态影响的评价。而且火力楠对混交林土壤肥力的改善效果因树种而异, 目前大多数研究都集中在分析火力楠与热带亚热带速生针叶树种的混交林上, 而忽视了与阔叶树种混交的研究。针对目前研究的不足, 今后的研究需要注意以下几个方面: (1) 设置合理的室内栽培试验, 严格控制土壤非生物环境、土壤微生物群落特征等变量, 采用野外调查与室内模拟相结合的手段, 深入探究火力楠改善土壤肥力的内在机制; (2) 开展火力楠人工林生态效益的研究, 在达成双碳目标的重要时刻, 更好地发挥火力楠人工林在增强森林碳汇、减少温室气体排放、维持生物多样性、促进森林质量提升等方面的支撑作用; (3) 探索火力楠与更多树种混交的可能性, 深入研究火力楠与其他树种的种间关系及其主要影响因子, 探究火力楠对不同混交林土壤肥力的影响差异, 进而明确混交树种的选择、混交比例和混交方式。

参考文献

- [1] YANG W Q, WANG K Y. Advances in forest soil enzymology [J]. Sci Silv Sin, 2004, 40(2): 152–159. [杨万勤, 王开运. 森林土壤酶的研究进展 [J]. 林业科学, 2004, 40(2): 152–159. doi: 10.3321/j.issn: 1001-7488.2004.02.027.]
- [2] LIN B, LIU Q, WU Y, et al. Advances in the studies of forest litter [J]. Chin J Ecol, 2004, 23(1): 60–64. [林波, 刘庆, 吴彦, 等. 森林凋落物研究进展 [J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 60–64.]
- [3] ZHANG D H, CHEN Y Q. Forest soil enzymes and soil fertility [J]. For Sci Technol, 1987(4): 1–3. [张鼎华, 陈由强. 森林土壤酶与土壤肥力 [J]. 林业科技通讯, 1987(4): 1–3. doi: 10.13456/j.cnki.lykt.1987.04.001.]
- [4] XIA L D, YU J D, DENG L L, et al. Researches on soil decline of Chinese fir plantation [J]. World For Res, 2018, 31(2): 37–42. [夏丽丹, 于姣姣, 邓玲玲, 等. 杉木人工林地力衰退研究进展 [J]. 世界林业研究, 2018, 31(2): 37–42. doi: 10.13348/j.cnki.sjlyyj.2017.0092.y.]
- [5] SHI Y Y, ZHAO J Y, SONG X C, et al. Soil zoning and fertility evaluation of plantations in Guangxi based on forest climate and soil types [J]. Guangxi For Sci, 2021, 50(5): 563–569. [石媛媛, 赵隼宇, 宋贤冲, 等. 基于森林气候与土壤类型的广西人工林土壤分区及其肥力演变 [J]. 广西林业科学, 2021, 50(5): 563–569. doi: 10.19692/j.cnki.gfs.2021.05.014.]
- [6] Guangdong Forestry Bureau, Guangdong Forestry Society. Cultivation techniques of 100 fine tree species in commercial forest in Guangdong Province [M]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 2003. [广东省林业局, 广东省林学会. 广东省商品林 100 种优良树种栽培技术 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2003.]
- [7] JIANG Q B, LI Q Y, CHEN Y, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced growth of *Magnolia macclurei* (Dandy) Figlar seedlings grown under glasshouse conditions [J]. For Sci, 2017, 63(4): 441–448. doi: 10.5849/forsci.2016-004.
- [8] Delectis Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Agendae Academiae Sinicae Editta. Florae Reipublicae Popularis Sinicae, Tomus 30(1) [M]. Beijing: Science Press, 1996. [中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志, 第 30 卷第 1 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.]
- [9] JIANG Q B, LI Q Y, ZHONG C L. Cultivation and comprehensive utilization of rare native tree species, *Michelia macclurei* [J]. For Sci Technol, 2017(8): 3–7. [姜清彬, 李清莹, 仲崇禄. 乡土珍贵树种火力楠的培育与综合利用 [J]. 林业科技通讯, 2017(8): 3–7. doi: 10.13456/j.cnki.lykt.2017.08.001.]
- [10] FANG X Y, SHEN W H. Natural regeneration of rare tree species: *Michelia macclurei* [J]. Prot For Sci Technol, 2021(1): 1–3. [方小玉, 申文辉. 珍贵树种火力楠实生天然更新研究 [J]. 防护林科技, 2021(1): 1–3. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2021.01.001.]
- [11] HUANG Y, WANG S L, FENG Z W, et al. Soil quality assessment of forest stand in different plantation ecosystems [J]. Chin J Appl Ecol, 2004, 15(12): 2199–2205. [黄宇, 汪思龙, 冯宗炜, 等. 不同人工林生态系统林地土壤质量评价 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(12): 2199–2205.]
- [12] TANG Y H. Study on growth characteristics of *Michelia macclurei*'s stands and impacting on soil fertility in Fujian-east mountainous-region

- [J]. Sci Technol Qinghai Agric For, 2006(2): 79–81. [汤勇华. 闽东山地火力楠人工林生长特性及其对土壤肥力的影响 [J]. 青海农林科技, 2006(2): 79–81. doi: 10.3969/j.issn.1004-9967.2006.02.036.]
- [13] FU Z A. Study on hydrological effect and soil properties of *Pinus massoniana* mixed forests [J]. J Green Sci Technol, 2017(5): 26–28. [傅祝安. 马尾松多树种混交林水文效应和土壤性质研究 [J]. 绿色科技, 2017(5): 26–28. doi: 10.16663/j.cnki.lskj.2017.05.013.]
- [14] LIU L, XU M K, WANG S L, et al. Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure [J]. Acta Ecol Sin, 2013, 33(15): 4692–4706. [刘丽, 徐明恺, 汪思龙, 等. 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化 [J]. 生态学报, 2013, 33(15): 4692–4706. doi: 10.5846/stxb201205020628.]
- [15] ZHU C L. Soil fertility comprehensive evaluation of five broad-leaved trees plantations [D]. Nanning: Guangxi University, 2015. [朱彩丽. 五种南方阔叶树种人工林土壤肥力状况评价 [D]. 南宁: 广西大学, 2015.]
- [16] FENG Z W, CHEN C Y, ZHANG J W, et al. A coniferous broad-leaved mixed forest with higher productivity and ecological harmony in subtropics: Study on mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* [J]. Acta Phytocool Geobot Sin, 1988, 12(3): 165–180. [冯宗炜, 陈楚莹, 张家武, 等. 一种高生产力和生态协调的亚热带针阔混交林——杉木火力楠混交林的研究 [J]. 植物生态学与地植物学学报, 1988, 12(3): 165–180.]
- [17] ZHU H R. Study on the efficiency of mixed forest with *Fokienia hodginsii* and *Michelia macclurei* in productivity and soil nutrient [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009. [朱洪如. 福建柏火力楠混交林生产力与土壤养分效应研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2009.]
- [18] ZHANG J W, LIAO L P, LI J F, et al. Litter dynamics of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* mixed forest and its effect on soil nutrients [J]. Chin J Appl Ecol, 1993, 10(4): 359–363. [张家武, 廖利平, 李锦芳, 等. 马尾松火力楠混交林凋落物动态及其对土壤养分的影响 [J]. 应用生态学报, 1993, 10(4): 359–363.]
- [19] VANDER WERF E. Lack's clutch size hypothesis: An examination of the evidence using meta-analysis [J]. Ecology, 1992, 73(5): 1699–1705. doi: 10.2307/1940021.
- [20] SIX J, PAUSTIAN K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool [J]. Soil Biol Biochem, 2014, 68: A4–A9. doi: 10.1016/j.soilbio.2013.06.014.
- [21] HUANG Y Z, WANG S Q, YE S M. Effects of *Cunninghamia lanceolata* stand types on the changes of aggregate-related organic carbon and nutrients in surface soil [J]. Chin J Appl Ecol, 2020, 31(9): 2857–2865. [黄永珍, 王晟强, 叶绍明. 杉木林分类型对表层土壤团聚体有机碳及养分变化的影响 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(9): 2857–2865. doi: 10.13287/j.1001-9332.202009.003.]
- [22] WANG J, GUAN X, HUANG K, et al. Effects of acid rain and root exclusion on soil organic carbon in *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations [J]. Chin J Appl Ecol, 2023, 34(4): 937–945. [王娇, 关欣, 黄苛, 等. 酸雨和根系去除对杉木和火力楠人工林土壤有机碳的影响 [J]. 应用生态学报, 2023, 34(4): 937–945. doi: 10.13287/j.1001-9332.202304.016.]
- [23] GUO J F. Study on biomass and soil fertility of mixed stands of *Pinus massoniana* and *Michelia macclurei* in mountain area of southern Fujian [J]. Prot For Sci Technol, 2001(3): 4–6. [郭剑锋. 闽南山地马尾松火力楠混交林的生物量和土壤肥力研究 [J]. 防护林科技, 2001(3): 4–6. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2001.03.002.]
- [24] NING L Q. Effects of mixed patterns of *Cunninghamia lanceolata* and different trees on growth and soil nutrients of *Cunninghamia lanceolata* [J]. Agric Technol Equip, 2023(2): 145–146. [宁兰清. 杉木和不同林木混交模式对杉木生长和土壤养分的影响 [J]. 农业技术与装备, 2023(2): 145–146. doi: 10.3969/j.issn.1673-887X.2023.02.048.]
- [25] XI S H, WANG Y F, TAN L, et al. Analysis on soil enzyme activities between native broadleaf and eucalypt plantations in south subtropical China [J]. Guangxi For Sci, 2022, 51(3): 317–325. [席守鸿, 王玉凤, 谭玲, 等. 南亚热带乡土阔叶树种和桉树人工林土壤酶活性分析 [J]. 广西林业科学, 2022, 51(3): 317–325. doi: 10.19692/j.issn.1006-1126.20220303.]
- [26] CHEN K, ZHAI Z J, WANG Z Y, et al. Stand structure and soil nutrient of *Cunninghamia lanceolata* pure forest and mixed forest of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* [J]. Prot For Sci Technol, 2018(8): 1–4. [陈凯, 翟志军, 王振宇, 等. 杉木纯林及杉木火力楠混交林林分结构及土壤养分分析 [J]. 防护林科技, 2018(8): 1–4. doi: 10.13601/j.issn.1005-5215.2018.08.001.]
- [27] HU L D. Characteristics of soil microbial communities at aggregate scale in pure and mixed stands of *Cunninghamia lanceolata* [D]. Nanning: Guangxi University, 2022. [胡靓达. 杉木纯林及其混交林土壤团聚体微生物群落特征研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2022. doi: 10.27034/d.cnki.ggxu.2022.002041.]
- [28] PENG Y Q, XUE L, CAO H, et al. Water holding characteristics in three broadleaved plantations [J]. J Soil Water Conserv, 2006, 20(5): 189–191. [彭耀强, 薛立, 曹鹤, 等. 三种阔叶林凋落物的持水特性 [J]. 水土保持学报, 2006, 20(5): 189–191. doi: 10.3321/j.issn:1009-2242.2006.05.047.]
- [29] TENG J Q. Diversity, structure and assembly mechanism of soil bacterial communities under native broadleaved and *Pinus massoniana* plantations in south subtropical China [D]. Nanning: Guangxi

- University, 2023. [滕金倩. 南亚热带乡土阔叶林和马尾松林土壤细菌群落多样性、结构与构建机制 [D]. 南宁: 广西大学, 2023. doi: 10.27034/d.cnki.ggxu.2023.003025.]
- [30] WANG G P, AYIGULI TUOHUTI, WANG R, et al. Diversity and community structure of salt-tolerant bacteria in salinized soil in Wuerhe area in Xinjiang [J]. *J Microbiol*, 2021, 41(2): 17–26. [王改萍, 阿依古丽·托乎提, 王茹, 等. 新疆乌鲁木齐地区盐渍土壤耐盐细菌多样性与群落结构研究 [J]. 微生物学杂志, 2021, 41(2): 17–26. doi: 10.3969/j.issn.1005-7021.2021.02.003.]
- [31] SHAO Y J, WANG L Y, TAN Y Y, et al. Effects of common afforestation tree species on soil bacterial community and microbial functional guilds in subtropical forests [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2023, 34(1): 235–241. [邵亚军, 王丽燕, 谭云燕, 等. 亚热带常见造林树种对土壤细菌及微生物功能群的影响 [J]. 应用生态学报, 2023, 34(1): 235–241. doi: 10.13287/j.1001-9332.202212.034.]
- [32] WANG Z. Soil nutrient characteristics of *Eucalyptus* mixed plantation and their effect on microbial community structure [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2022. [汪众. 桉树混交林土壤养分和微生物群落结构特征研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022. doi: 10.27662/d.cnki.gznlc.2022.000434.]
- [33] TANG Z Y. Mycorrhizal fungi in plants [J]. *Plant J*, 1980(1): 22–23. [唐振尧. 植物的菌根 [J]. 植物杂志, 1980(1): 22–23.]
- [34] LIANG X T. Research report on the effects of V-A mycorrhizal fungi on seedlings [J]. *J Guangxi Agric Coll*, 1990, 9(2): 77–78. [梁秀棠. V-A 菌根在苗木上的效应研究简报 [J]. 广西农学院学报, 1990, 9(2): 77–78.]
- [35] LI G B, ZHANG Y, GUO S Q, et al. AM fungal screening and inoculate effectiveness for *Michelia macclurei* and *Machilus pauhoi* [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 2006, 22(3): 13–16. [李国标, 张勇, 郭绍清, 等. 火力楠和刨花润楠接种 AM 菌应用研究 [J]. 广东林业科技, 2006, 22(3): 13–16. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2006.03.003.]
- [36] CHEN Y, GONG M Q, ZHONG C L, et al. Inoculating effect of AM fungi for two Magnoliaceae plants [J]. *Guangdong For Sci Technol*, 2006, 22(2): 11–14. [陈羽, 弓明钦, 仲崇禄, 等. AM 菌对木兰科两个树种的接种效应 [J]. 广东林业科技, 2006, 22(2): 11–14. doi: 10.3969/j.issn.1006-4427.2006.02.003.]
- [37] CHOW C L, WU W F, QI Y C. Studies on V-A mycorrhizal fungi in pure and mixed forest of Chinese fir [J]. *J Microbiol*, 1989, 9(1): 6–9. [周崇莲, 吴文芳, 齐玉臣. 杉木和火力楠纯林及混交林内生菌根的研究 [J]. 微生物学杂志, 1989, 9(1): 6–9.]
- [38] DE MEDEIROS E V, DUDA G P, DOS SANTOS L A R, et al. Soil organic carbon, microbial biomass and enzyme activities responses to natural regeneration in a tropical dry region in northeast Brazil [J]. *CATENA*, 2017, 151: 137–146. doi: 10.1016/j.catena.2016.12.012.
- [39] PU Q, HU Y F, HE J F, et al. Effect of vegetation restoration pattern on the soil microbial biomass and enzyme activity in desertification grassland of northwest Sichuan [J]. *J Soil Water Conserv*, 2016, 30(4): 323–328. [蒲琴, 胡玉福, 何剑锋, 等. 植被恢复模式对川西北沙化草地土壤微生物量及酶活性研究 [J]. 水土保持学报, 2016, 30(4): 323–328. doi: 10.13870/j.cnki.stbxb.2016.04.054.]
- [40] LI L M, FAN X H. Overview of research on rhizosphere enzymes [J]. *Soils*, 1993, 25(6): 299–303, 314. [李良谟, 范晓晖. 根际酶的研究概况 [J]. 土壤, 1993, 25(6): 299–303, 314. doi: 10.13758/j.cnki.tr.1993.06.004.]
- [41] WANG F L, ZHANG Y Q, CHEN A L, et al. Enzyme activity of litter and soil and its effect on litter decomposition under different combinations of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* [J]. *J Fujian Agric For Univ (Nat Sci)*, 2017, 46(5): 576–583. [汪凤林, 张月全, 陈爱玲, 等. 不同配比的杉木、火力楠凋落物中土壤酶活性的变化及其对凋落物分解的影响 [J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2017, 46(5): 576–583. doi: 10.13323/j.cnki.j.fafu(nat.sci.).2017.05.016.]
- [42] SUN S Y, LU S X, LU Y M, et al. Effects of Chinese fir interplanted with broadleaved trees on soil ecological enzyme activity and stoichiometry [J]. *For Res*, 2021, 34(1): 106–113. [孙思怡, 卢胜旭, 陆宇明, 等. 杉木林下套种阔叶树对土壤生态酶活性及其化学计量比的影响 [J]. 林业科学研究, 2021, 34(1): 106–113. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.01.013.]
- [43] XIA Z C. Root exudates mediated belowground chemical interactions between plants [D]. Beijing: China Agricultural University, 2017. [夏志超. 根系分泌物介导的植物种间地下化学作用 [D]. 北京: 中国农业大学, 2017.]
- [44] STERNER R W, ELSER J J. Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere [M]. Princeton: Princeton University Press, 2002.
- [45] HUANG Y Z. Distribution characteristics of nutrients and microbial activity in soil aggregates of pure and mixed stands of *Cunninghamia lanceolata* [D]. Nanning: Guangxi University, 2021. [黄永珍. 杉木纯林及其混交林表层土壤团聚体养分及微生物活性分布特征 [D]. 南宁: 广西大学, 2021. doi: 10.27034/d.cnki.ggxu.2021.000724.]
- [46] TANG J R, LIU X S, JIANG Y, et al. Analysis on difference of soil physical and chemical properties and microorganism quantity in four types *Castanopsis hystrix* forest [J]. *J CS Univ For Technol*, 2020, 40(1): 76–81. [唐靓茹, 刘雄盛, 蒋焱, 等. 红锥 4 种林型土壤理化性质及微生物量差异分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2020, 40(1): 76–81. doi: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2020.01.009.]

- [47] ZHANG Z S, XI S H. A preliminary study on the root system of *Larix gmelinii* plantation [J]. For Sci Technol, 1985(3): 17–18. [张忠山, 席苏华. 落叶松人工林根系的初步研究 [J]. 林业科技, 1985(3): 17–18.]
- [48] CHEN Z H. Analysis on growth effect of the mixed forests of *Michelia macclurei* and *Taiwania flousiana* [J]. J Green Sci Technol, 2021, 23(3): 153–155. [陈志洪. 营造火力楠与杉混交林生长效果分析 [J]. 绿色科技, 2021, 23(3): 153–155. doi: 10.16663/j.cnki.lskj.2021.03.060.]
- [49] LI Z W, YANG Y S, WU Z X, et al. Root system of mixed stand of Chinese fir and homana [J]. Chin J Ecol, 1993, 12(1): 20–24. [李振问, 杨玉盛, 吴擢溪, 等. 杉木火力楠混交林根系的研究 [J]. 生态学杂志, 1993, 12(1): 20–24. doi: 10.13292/j.1000-4890.1993.0005.]
- [50] ZHANG X Q, WU K H, MURACH D. A review of methods for fine-root production and turnover of trees [J]. Acta Ecol Sin, 2000, 20(5): 875–883. [张小全, 吴可红, MURACH D. 树木细根生产与周转研究方法评述 [J]. 生态学报, 2000, 20(5): 875–883. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.2000.05.026.]
- [51] LIAO L P, CHEN C Y, ZHANG J W, et al. Turnover of fine roots in pure and mixed *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* forests [J]. Chin J Appl Ecol, 1995, 6(1): 7–10. [廖利平, 陈楚莹, 张家武, 等. 杉木、火力楠纯林及混交林细根周转的研究 [J]. 应用生态学报, 1995, 6(1): 7–10.]
- [52] LIAO L P, YANG Y J, WANG S L, et al. Distribution, decomposition and nutrient return of the fine root in pure *Cunninghamia lanceolata*, *Michelia macclurei* and the mixed plantations [J]. Acta Ecol Sin, 1999, 19(3): 342–346. [廖利平, 杨跃军, 汪思龙, 等. 杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、火力楠(*Michelia macclurei*)纯林及其混交林细根分布、分解与养分归还 [J]. 生态学报, 1999, 19(3): 342–346. doi: 10.3321/j.issn:1000-0933.1999.03.009.]
- [53] LIU Y, WANG S L, WANG X W, et al. Effects of tree species fine root decomposition on soil active organic carbon [J]. Chin J Appl Ecol, 2007, 18(3): 481–486. [刘艳, 汪思龙, 王晓伟, 等. 不同温度条件下杉木、桉木和火力楠细根分解对土壤活性有机碳的影响 [J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 481–486.]
- [54] LI W, ZHANG C P, YANG X Y. Water holding characteristics of litter of six native trees in south China [J]. Chin Agric Sci Bull, 2015, 31(16): 26–31. [李伟, 张翠萍, 杨鑫钰. 华南地区6种乡土树种凋落物持水特性研究 [J]. 中国农学通报, 2015, 31(16): 26–31. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15010037.]
- [55] PAN H H. Soil carbon and nitrogen transformation process research of relationship between soil microbial community structure of *Michelia macclurei*, *Pinus massoniana* plantation [D]. Nanning: Guangxi University, 2015. [潘宏辉. 火力楠、马尾松人工林土壤碳氮转化与土壤微生物群落结构关系的研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2015.]
- [56] WANG S L, LIAO L P, MA Y Q. Nutrient return and productivity of mixed *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* plantations [J]. Chin J Appl Ecol, 1997, 8(4): 347–352. [汪思龙, 廖利平, 马越强. 杉木火力楠混交林养分归还与生产力 [J]. 应用生态学报, 1997, 8(4): 347–352. doi: 10.13287/j.1001-9332.1997.0068.]
- [57] WANG Q K, WANG S L, ZHONG M C. Ecosystem carbon storage and soil organic carbon stability in pure and mixed stands of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* [J]. Plant Soil, 2013, 370(1/2): 295–304. doi: 10.1007/s11104-013-1631-2.
- [58] LIU K C, ZENG T X. An investigation on the translocation and cycling of main nutrient elements in young mixed stand of *Cunninghamia lanceolata* and *Michelia macclurei* [J]. For Res, 1990, 3(6): 618–623. [刘凯昌, 曾天勋. 杉木、火力楠混交幼林养分位移和循环的研究 [J]. 林业科学研究, 1990, 3(6): 618–623. doi: 10.13275/j.cnki.lykxyj.1990.06.019.]
- [59] LIU Z F, FU B J, LIU G H, et al. Soil quality: Concept, indicators and its assessment [J]. Acta Ecol Sin, 2006, 26(3): 901–913. [刘占锋, 傅伯杰, 刘国华, 等. 土壤质量与土壤质量指标及其评价 [J]. 生态学报, 2006, 26(3): 901–913.]