

# 基于遥感技术的森林蓄积量估测研究进展

崔 立, 闫保银

(南京国图信息产业有限公司, 江苏 南京 210000)

**摘要:**森林蓄积量是林业调查中重要的调查因子之一。传统的林业调查多采用样地实测法。该方法虽具有较高的精度,但耗时长,强度大,往往需要投入大量的人力与物力。遥感技术的发展为林业调查方式的创新带来契机。该文总结、归纳了近年来利用遥感技术(包括光学遥感、雷达遥感以及 LiDAR)估测林木蓄积量的研究进展,并对相关遥感技术的估测应用进行了对比与分析,指出了现阶段遥感估测木蓄积量所存在的问题,并对未来的估测研究进行了展望。

**关键词:**森林;资源;调查;蓄积量;遥感;估测;研究进展

**中图分类号:**TP79;S758.5<sup>+</sup>1; S758.5<sup>+</sup>1

**文献标志码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2020.04.011

森林作为自然资源的重要组成部分之一,在保障生物多样性、缓解温室效应、维护生态环境等方面发挥着积极作用。随着经济的快速发展,森林所产生的生态价值与经济价值日益凸显,为掌握森林资源此消彼长的动态变化,森林资源调查逐渐成为国家在森林资源监测方面开展的重点工作。

森林资源调查包括全国森林资源连续清查(林业一类调查,每5 a开展1次)和规划设计调查(林业二类调查,每10 a开展1次),除此之外还有作业设计调查。传统的一类、二类调查多采用样地实测法,该方法具有较高的准确度,但需花费较大的人力物力,同时在时空上也存在较大的局限性<sup>[1]</sup>。近年来,遥感技术的飞速发展,为林业调查提供了新的工作方式,与传统方法相比更为省时省力,极大地提高了调查的效率及准确性<sup>[2-3]</sup>。

蓄积量是林业调查中的一项重要指标,它能够衡量森林资源的丰富程度以及健康程度<sup>[4]</sup>,也直接反映了森林的经营成效。除了样地实测法之外,目前常用遥感估测法估测蓄积量。本文将对不同的森林蓄积量估测方法进行归纳,作总结对比,探讨其中不足并对未来进行展望。

## 1 研究进展

目前,国内外对于蓄积量的估测主要集中于光学遥感、雷达遥感以及 LiDAR 估测研究。

### 1.1 基于光学遥感的蓄积量估测研究

早期的森林生态系统探测多集中于生物量探测和生态遥感领域。经多年发展,逐步形成了以遥感影像为数据源,提取与蓄积量相关的因子如树种、树龄、坡度、坡向等,建立模型进行反演,最终获得蓄积量等调查因子的思路<sup>[5-7]</sup>。国内外在遥感影像方面多采用 Landsat TM/ETM/OLI, Modis, SPOT5, IKONOS GF 等,在蓄积量估测模型方面,多采用 KNN 模型、多元线性回归模型等。在多元线性回归模型中,常采用偏最小二乘法、逐步回归和岭估计法等。

Stumpf 等<sup>[8]</sup>使用 KNN 模型算法对森林蓄积量进行估测,结果表明,KNN 模型法计算的精度高于线性回归法。宋亚斌等<sup>[9]</sup>进一步对 KNN 模型开展了深入研究,以湘潭县为研究区,采用 Landsat 8 OLI 数据和同时期的二类调查数据,通过距离相关系数筛选特征,使用3种 KNN 模型(包括 K-近邻模型、距离加权模型和优势欧式模型)进行蓄积量估算,并与线性回归模型进行对比,得到了与 Stumpf 等相同的结论:使用 KNN 模型计算的蓄积量数据可信度均高于线性模型,并在3种 KNN 模型中,优化欧式模型的决定系数最高,达到0.69,因此估算精度也为最好。

TM 影像的红光波段为叶绿素吸收带,可用于区分植被类型,判断植物生长状况,近红外波段位

收稿日期:2020-04-03;修回日期:2020-04-25

基金项目:“基于二三维一体化的森林资源监管实践”(SCX2020C0024)

作者简介:崔 立(1982-),男,陕西延安人,工程师,硕士。主要从事林业调查规划与信息化建设工作。

于植物高反射区,可用于植物识别、分类。将红光波段与近红外波段结合,并构建回归模型用于估算蓄积量<sup>[10]</sup>。张超等<sup>[11]</sup>基于遥感特征、地形因子、郁闭度与蓄积量之间的相关性,以偏最小二乘回归法构建了蓄积量估测模型,并将估测值与实测值进行对比。结果表明,三峡库区森林总蓄积为 1.12 亿  $\text{m}^3$ ,预测精度达到了 89.58%。厉香蕴等<sup>[12]</sup>基于霍山县 OLI 影像,提取了光谱、纹理等信息,与 DEM 中提取的高程、坡向等地形因子建立了蓄积量估测模型。结果表明,该方法估测值误差较小,可用于大范围的森林资源监测。冯凯等<sup>[13]</sup>基于 Landsat8 影像结合林业二类调查数据,采用 POS 算法优化的 BP 神经网络和线性回归建模法,对广东省南雄市森林蓄积量进行估测,结果精度较高。

高分(GF)影像近年来在森林蓄积量估测方面的应用也越来越多。向安民等<sup>[14]</sup>以 GF-1、DEM 模型及土地利用类型图为依据,采用 KNN 法建立森林蓄积量估测模型,并将测得值与同期二类调查数据对比,发现使用 KNN 算法的估测精度达到了 97.3%,证明了国产 GF-1 影像可用于森林资源监测。王海宾等<sup>[15]</sup>基于 GF-1、PMS 影像,对 KNN 法作进一步研究。其引入偏最小二乘回归法与 KNN 法进行对比,得出基于 KNN 法的反演结果要优于偏最小二乘法的结论。李世波等<sup>[16]</sup>基于 GF-1 影像,研究了最佳遥感因子组合方式和最优蓄积量估测方法,经过多元逐步回归、随机森林法、偏最小二乘回归法估测并对比后,发现随机森林法的估测精度最高,达到了 83.69%。

### 1.2 基于雷达遥感的蓄积量估测研究

雷达遥感作为一种主动遥感技术,具有一定的穿透能力,可穿过树冠,对森林内部作进一步探测,以获取更多的森林内部结构信息,因此在森林资源监测方面也广泛使用。通常,雷达遥感可分为合成孔径雷达(SAR)、极化干涉合成孔径雷达和干涉合成孔径雷达<sup>[17]</sup>,在森林蓄积量估测中,常用合成孔径雷达,其生物量估测方法常采用:雷达截面法<sup>[18]</sup>、高低频 SAR 数据极比法<sup>[19]</sup>、生物量回归分析法和生长量估测方程估算法<sup>[20]</sup>。

合成孔径雷达可以全天时、全天候工作,具有较强的穿透能力,广泛应用于森林蓄积量、覆盖率、生物量等的调查<sup>[21]</sup>。王臣立等<sup>[22]</sup>对 SAR 后向散射系数进行研究,发现其与蓄积、胸径、树高之间可用对数模型表达并模拟,并证明了估测精度可基本符

合大面积总体估测,但在小班层面来说,效果不佳。范风云<sup>[23]</sup>基于 SAR 数据与激光雷达数据对蓄积量进行反演,在大范围的蓄积量估测领域做了一定探索。杨永恬等<sup>[24]</sup>利用 SAR 的穿透能力,以喀斯特山区为试验区,以 SAR 和森林资源调查成果为数据源,建立回归模型,估测值符合精度要求,证明了 SAR 技术可用于云雾多雨的山区森林蓄积量定量评估。

### 1.3 基于 LiDAR 的蓄积量估测研究

激光雷达(LiDAR)可以主动发射脉冲信号,当信号接触地物后返回,其记录的信息包括点的强度信息、空间三维位置信息,形成点云数据<sup>[25]</sup>。LiDAR 系统有多种类型,主要是星载 LiDAR、机载 LiDAR 和地基 LiDAR。在林业调查中,地基 LiDAR 和机载 LiDAR 应用较多<sup>[26]</sup>。早在 1976 年就有学者利用 LiDAR 测量了森林结构参数,并得到较好的结果。Means 等<sup>[27]</sup>对花旗松森林的结构参数,包括树高、胸径、蓄积等,使用 LiDAR 进行估算,发现冠层密度特征变量对胸高断面积和蓄积预测精度较好。然而,传统的激光雷达研究方法偏重高度、密度特征变量,而忽略了冠层结构特性,因此具有一定的局限性。Lefsky 等<sup>[28]</sup>通过提取冠层容积剖面及高度剖面,采用体元化冠层容积模型法,较为精确的预测了森林结构参数。Zhao 等<sup>[29]</sup>在激光雷达的基础上提取了 CHQ、CHD 参数作为非线性模型和线性模型的特征变量,通过建立估测模型,较好的反演了森林生物量,其中  $R^2$  达到了 0.80。

国内多采用激光雷达获得林分 LiDAR 点云数据,经处理后建立反演模型,估算其蓄积量。苏德添等<sup>[30]</sup>利用激光雷达收集了毛竹冠层的点云数据,并基于竹竿、竹枝点云密度间的逻辑关系,建立了估算模型。经验证,建立的竹竿、竹枝模型精度分别可达 95.53% 和 91.36%。许子乾<sup>[31]</sup>将无人机航测技术与 LiDAR 技术相结合,对林分特征参数及生物量进行反演研究,发现所有特征参数中,与高度参数敏感度高的林分特征,在估测中可以达到与激光雷达相近精度,从而对蓄积量预测精度较高。张峥男<sup>[32]</sup>将机载激光雷达测得的特征数据进行反演,结果表明,反演获得的蓄积量数据精度尚可,其中  $R^2$  达到 0.45—0.80,  $rRMSE$  达到 12.02%—19.22%。此外,分森林类型的模型组预测蓄积量精度要高于无区分森林类型的模型组。

## 2 对比与分析

早在上个世纪,国内外学者就已展开基于光学遥感的蓄积量估测研究,经多年发展,从理论研究到实际观测都已趋于成熟。遥感具有应用范围广、数据接收效率高的优点,因此被广泛运用<sup>[32]</sup>。然而,遥感仅在区域内的植被水平向的数据获取占优<sup>[33]</sup>,在垂直信息获取方面却受制于其空间异质性,难以穿透林分内部获取信息<sup>[34]</sup>。相较于光学遥感,微波遥感的出现可在一定程度上弥补光学遥感的劣势,但其易受地形影响,在获取垂直信息方面也存在一定的局限性<sup>[35]</sup>。

雷达遥感的出现弥补了光学遥感穿透力不强的缺陷,目前多采用 SAR 来对生物量进行观测。杨永恬等<sup>[24]</sup>在一些多云多雾地区,如喀斯特山区使用 SAR 对森林资源的生物量进行监测,证实了雷达遥感在雾、烟、灰尘等天气恶劣条件下的监测能力。然而王臣立等<sup>[22]</sup>的研究证明,SAR 估测精度可基本符合大面积总体估测,但就小班层面来说,效果不佳。因此雷达遥感虽具波长较长,易于获取林分内部信息等优点,但其在后期数据处理方面难度较高,同时林分内部结构较为复杂,难以形成直观的成像,因此在生物量观测中难以普及运用<sup>[36]</sup>。

LiDAR 能够精准、快速地获取被测物的三维坐标信息<sup>[37]</sup>。近年来将 LiDAR 用于森林生物量观测的研究越来越多,逐渐成为一个新兴的技术<sup>[38]</sup>。与光学遥感相比,LiDAR 可以在多尺度空间范围内、不受空间异质性影响下,精准全面地获取空间三维信息。与雷达遥感相比,LiDAR 具有探测精度高、探测范围广及稳定性强等优点,在烟、雾等极端天气条件下也能应对。此外,LiDAR 在测距、识别障碍物方面优于雷达遥感,同时在观测时产生的数据量高于雷达遥感,在数据准确性上也得到了更多的保证<sup>[39]</sup>。

综上所述,雷达遥感与 LiDAR 在信息获取方面均较光学遥感占据优势,雷达遥感较 LiDAR 而言各有所长,但 LiDAR 在获取森林三维结构信息方面具有独特的优势,因此其在森林生物量监测方面潜力较大。

## 3 讨论与展望

现阶段,森林蓄积量反演模型大多是从生物学角度出发,基于遥感的光谱信息、各因子的物理意

义而建立的,建模方法多用 KNN 法、偏最小二乘法等。因此,怎样基于多源数据,选择哪些因子作为建模的基础以进一步提高估测大范围的森林资源生物量,成为光学遥感未来技术发展的主要方向<sup>[40]</sup>。随着技术的发展,遥感影像的分辨率越来越高<sup>[41]</sup>,可形成周期性动态反映某一区域的动态变化。目前多数研究是基于高分影像、资源三号卫星影像、Landset TM 等进行的<sup>[42]</sup>。在利用高分影像提取林分数据时,常采用人工目测结合影像光谱特征、纹理特征法,对此笔者认为,当林分结构较为复杂时,如何区分单株树的树冠还需探讨。此外,森林蓄积量估测模型多基于林地进行,是否可以将林地细分为林种、树种<sup>[43]</sup>,加入对蓄积量有重要影响的胸径、树高、郁闭度等参数来提高建模的精确度,还需做进一步研究。

在利用雷达遥感监测森林蓄积量方面多偏向于 SAR,但 SAR 的图像数据一般噪点较大,一定程度上干扰了信息的提取<sup>[21]</sup>。因此笔者认为,如何尽量减少噪点,对于提升最终监测数据的准确性很有意义。此外,还可尝试将 SAR 数据、光源遥感数据等协同反演,探索将 SAR 技术与无人机技术相结合,做到优势互补等可以深入研究,并逐步推广。

LiDAR 可获得亚米级的森林植被信息,在森林资源生物量监测领域优势明显。在以往的研究中,多基于林分的冠层密度、LiDAR 高度参数等特征变量去反演林分生物量,虽能获得较好的结果<sup>[44]</sup>,但该方法偏重于统计学原理,未充分地挖掘林分信息。森林结构及其立地条件往往较为复杂,而这些因素又与参与反演林分生物量的特征变量有很强的关联性<sup>[45]</sup>,因此就容易导致以往所建立的反演模型仅小范围适用,不适用于反演完整的森林空间结构<sup>[46]</sup>。在今后研究中,可加入与森林结构、立地条件等相关联的信息作为特征变量,使反演模型更具普适性,能够完整反演出森林的空间异质性。尽管 LiDAR 穿透性强,能够快速准确的获得林分内部信息,但其具有较高的信息获取成本以及缺乏光谱信息等缺点<sup>[47]</sup>,而 LiDAR 的缺点恰是无人机航空摄影技术(UAV-DAP)的优点<sup>[48]</sup>,因此在今后研究中,可考虑引入 UAV-DAP 结合使用,达到优势互补。利用 LiDAR 技术获取地面点云数据,结合 UAV-DAP 获取林分冠层的表面信息,形成森林生物量长期有效的动态观测,这在今后的森林资源调查中亦是值得研究的课题。



## 参考文献:

- [1] 汪康宁,吕 杰,李崇贵.基于多尺度遥感影像纹理特征的森林蓄积量反演[J].中南林业科技大学学报,2017, 37(11): 84-89.
- [2] 刘海清.森林蓄积量遥感估测的应用研究[D].西安:西安科技大学,2009.
- [3] 涂云燕.森林蓄积量遥感估测研究[D].北京:北京林业大学,2013.
- [4] 贾嘉辉.高分遥感森林蓄积量估测算法研究[D].西安:西安科技大学,2017.
- [5] SCHROEDER P, BROWN S, MO J, et al. Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data [J]. *Forestry Science*, 1997, 43(3): 424-434.
- [6] HALL R J, SKAKUN R S, ARSENAULT E J, et al. Modeling forest stand structure attributes using Landsat ETM+ data: Application to mapping of aboveground biomass and stand volume[J]. *Forest Ecology & Management*, 2006, 225(1): 378-390.
- [7] MOHANMMADI J, SHATAEE S, BABANEZHAD M. Estimation of forest stand volume, tree density and biodiversity using Landsat ETM + Data, comparison of linear and regression tree analyses [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2011, 7: 299-304.
- [8] STUMPF A, KERLE N. Object-oriented mapping of landslides using Random Forests[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2011, 115(10): 2564-2577.
- [9] 宋亚斌,邢元军,江腾宇,等.基于距离相关系数和KNN回归模型的森林蓄积量估测研究[J].中南林业科技大学学报,2020, 40(4): 22-27, 33.
- [10] FAROOQ S, GOVIL H. Mapping Regolith and Gossan for Mineral Exploration in the Eastern Kumaon Himalaya, India using hyperion data and object oriented image classification [J]. *Advances in Space Research*, 2014, 53(12): 1676-1685.
- [11] 张 超,彭道黎,涂云燕,等.利用TM影像和偏最小二乘回归方法估测三峡库区森林蓄积量[J].北京林业大学学报,2013, 35(3): 15-21.
- [12] 厉香蕴,孔 丽.基于Landsat 8的霍山县森林蓄积量反演估算[J].智能城市,2019,5(11): 71-72.
- [13] 冯 凯,刘昌华,彭词清.基于landset 8遥感影像数据的森林蓄积量反演[J].矿山测量,2020(1): 27-30, 39.
- [14] 向安民,刘凤伶,于宝义,等.基于k-NN方法和GF遥感影像的森林蓄积量估测[J].浙江农林大学学报,2017, 34(3): 406-412.
- [15] 王海宾,彭道黎,高秀会,等.基于GF-1 PMS影像和k-NN方法的延庆区森林蓄积量估测[J].浙江农林大学学报,2018, 35(6): 1070-1078.
- [16] 李世波,林 辉,王光明,等.基于GF-1的森林蓄积量遥感估测[J].中南林业科技大学学报,2019, 39(8): 70-86.
- [17] 郭东华.雷达对地观测理论与应用[M].北京:科学出版社,2000.
- [18] HARRELL P A, KASISCHKE E S, BOURGEOU-CHAVEZ L L, et al. Evaluation of approaches to estimating aboveground biomass in Southern pine forests using SIR-C data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59(2): 223-233.
- [19] RANSON K J, SUN G. Mapping biomass for a northern forest ecosystem using multi-frequency SAR data[C]// *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, 92.1992(2): 1220-1222.
- [20] DOBSON M C, ULABY F T, PIERCE L E, et al. Estimation of forest biophysical characteristics in Northern Michigan with SIR-C/X-SAR[J]. *IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing*, 1995, 33(4): 877-895.
- [21] 刘 羽.合成孔径雷达在林业调查中的应用概述[J].内蒙古林业调查设计,2019, 42(3): 55-57.
- [22] 王臣立,牛 铮,郭治兴,等. Radarsat SAR 的森林生物物理参数信号响应及其蓄积量估测[J]. 国土资源遥感, 2005(2): 24-28.
- [23] 范凤云.基于机载LiDAR和极化SAR数据的山区森林蓄积量估测方法研究[D].北京:中国林业科学研究院,2010.
- [24] 杨永恬,杨广斌,赵海兵.喀斯特山区森林蓄积量的合成孔径雷达遥感估测研究[J].林业资源管理,2018(4): 100-104.
- [25] 崔要奎,赵开广,范闻捷,等.机载Lidar数据的农作物覆盖度及LAI反演[J].遥感学报,2011, 15(6): 1276-1288.
- [26] 黄华国.激光雷达技术在林业科学研究中的进展分析[J].北京林业大学学报,2013, 35(4): 134-143.
- [27] MEANS, J E, ACKER S A, HARDING D J, et al. Use of large-footprint scanning airborne Lidar to estimate forest stand characteristics in the Western Cascades of Oregon[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 67(3): 298-308.
- [28] LEFSKY M A, COHEN W B, ACKER S A, et al. Lidar Remote Sensing of the canopy structure and biophysical properties of Douglas-Fir Western Hemlock Forests[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(3): 339-361.
- [29] ZHAO K, POPESCU S, NELSON R. Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2009, 113(1): 182-196.
- [30] 苏德添,伍琳琳,章范怡,等.基于毛竹冠层LiDAR点云密度测算其蓄积量[J].中国激光,2020, 47(4): 1-8.
- [31] 许子乾.基于无人机航测与激光雷达技术的林分特征及生物量估测[D].南京:南京林业大学,2019.
- [32] 张峥男.机载激光雷达亚热带森林结构参数及蓄积量分布估测研究[D].南京:南京林业大学,2018.
- [33] 胡 鸿,许延丽,鞠洪波,等.基于遥感影像的福建省长汀县级植被覆盖变化监测及分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2019, 43(3): 92-98.
- [34] GIBBS H K, BROWN S, NILES J O, et al. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality [J]. *Environmental Research Letters*, 2007, 2(4): 45023.
- [35] 赵明瑶,刘会云,张晓丽,等.基于林分结构响应的PALSAR森林结构参数估测[J].北京林业大学学报,2017(6): 61-69.
- [36] 林 越.基于微波散射模型的森林生物量估算及模型可视化[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2016.

- [37] 侯峰. LIDAR 详细介绍及其应用举例综述[J]. 科技广场, 2014(4):95-100.
- [38] 胡凯龙,刘清旺,李世明,等.运用融合纹理和机载 LiDAR 特征模型估测森林地上生物量[J].东北林业大学学报, 2018, 46(1):52-57.
- [39] XIANG H, TIAN L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (UAV)[J]. Biosystems Engineering, 2011, 108(2):174-190.
- [40] 赵芳. 测树因子遥感获取方法研究[D]. 北京:北京林业大学, 2014.
- [41] 闫利,岳昔娟,崔晨风.一种定量确定遥感融合图像空间分辨率的方法[J].武汉大学学报(信息科学版), 2007, 32(8):667-670.
- [42] PUISSANT A, ROUGIER S, STUMPF A. Object-oriented mapping of urban trees using Random Forest classifiers[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2014, 26:235-245.
- [43] 方明程.高分遥感纹理信息对森林蓄积量估测的影响规律研究[D].西安:西安科技大学, 2016.
- [44] MONTEALEGRE A L, LAMELAS M T, DE LA RIVA J, et al. Use of low point density ALS data to estimate stand-level structural variables in Mediterranean Aleppo pine forest[J]. Forestry, 2016, 89(4):373-382.
- [45] SABOL J, PROCHÁZKA D, PATOKA Z. Development of models for forest variable estimation from airborne laser scanning data using an area-based approach at a plot level[J]. Journal of Forest Science, 2016, 62(3):137-142.
- [46] VEGA C, RENAUD J-P, DURRIEU S, et al. On the interest of penetration depth, canopy area and volume metrics to improve Lidar-based models of forest parameters[J]. Remote Sensing of Environment: An Interdisciplinary Journal, 2016, 175:32-42.
- [47] 曹林,余光辉,代劲松,等.激光雷达技术估测森林生物量的研究现状及展望[J].南京林业大学学报(自然科学版), 2013, 37(3):163-169.
- [48] FLOREANO D, WOOD R J. Science, technology and the future of small autonomous drones[J]. Nature, 2015, 521(7553):460-466.

(上接第31页)

#### 参考文献:

- [1] 黎章矩,戴文圣.中国香榧[M].北京:科学出版社, 2007:38-40.
- [2] 黄增冠,喻卫武,罗宏海,等.香榧不同叶龄叶片光合能力与氮含量及其分配关系的比较[J].林业科学, 2015, 51(2):44-50.
- [3] 吴连海,吴黎明,倪荣新,等.香榧栽培经济效益分析[J].浙江农林大学学报, 2013, 30(2):299-303.
- [4] 马正三.香榧雄株类型和单株选优途径初步探讨[J].浙江林业科技, 1981(2):77-78.
- [5] 余水生,黄爱华.人工授粉对初果期香榧挂果数量的影响[J].浙江林业科技, 2016, 36(4):46-49.
- [6] 丁建林,施玲玲,孙蔡江.香榧低产原因及丰产栽培试验[J].林业科技开发, 2001, 15(3):35-37.
- [7] 刘越秀.香榧嫁接和人工授粉技术初探[J].江西林业科技, 2008(1):34-35.
- [8] 楼国华.推进森林浙江建设 努力建设生态文明[J].绿色中国, 2010(5):64-67.
- [9] 王苗苗,李代村,庄童琳,等.影响林果苗木繁育嫁接成活的原因及对策[J].林业科学, 2020, 40(14):69-70.
- [10] 卢胜进.江永杨梅雌雄花期不遇应予重视[J].中国果业信息, 2011, 28(4):47.
- [11] 王威力,刘佳佳,殷姣姣,等.核桃砧木适应性在嫁接繁殖中的作用[J].现代园艺, 2020(15):225-226.
- [12] 李小飞,曹凡,彭方仁,等.砧木年龄对美国山核桃嫁接苗光合特性的影响[J].南京林业大学学报(自然科学版), 2016, 40(3):75-80.
- [13] 董雷鸣,沈登峰,喻卫武,等.榧树雄株若干性状变异初探[J].浙江农林大学学报, 2012, 29(5):715-721.