

神农架国家公园植物多样性监测与评估研究

吴浩¹ 徐耀粘^{1, 2} 江明喜^{1, 21}

(1. 中国科学院武汉植物园, 中国科学院水生植物与

流域生态重点实验室, 湖北 武汉 430074;

2. 中国科学院核心植物园保护生物学中心, 湖北 武汉 430074)

【摘要】: 植物多样性监测与评估是生物多样性保护和规划管理的基础。神农架作为我国生物多样性保护的关键地区之一, 研究该区域植物多样性的监测手段与评估方法, 对我国各类自然保护地具有一定的借鉴意义。通过简要综述神农架地区植物多样性监测与评估研究现状, 在分析现有研究存在的问题与不足基础上, 提出了具系统性、持续性的监测方案, 并尝试构建了该地区植物多样性综合评价体系, 以期神农架国家公园植物多样性的有效保护提供科学支撑与合理建议。

【关键词】: 植物多样性 监测 评估 神农架国家公园

【中图分类号】: Q16 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2021)06-1384-09

生物多样性是人类赖以生存及社会经济可持续发展的物质基础^[1,2]。随着世界人口不断增长, 由人类活动引起的气候变化、生境破碎化、环境污染以及生物入侵等诸多问题, 加快了物种灭绝速率, 进而导致全球生物多样性的丧失^[3]。我国是生物多样性最为丰富的国家之一, 在当前社会经济快速增长, 资源开发与利用日益加大的背景下, 我国生物多样性受到了严重威胁, 因此生物多样性的保护工作面临着十分严峻的挑战^[4]。监测与评估是开展生物多样性保护和管理的基石^[5,6]。通过监测和评估可以掌握生物多样性的现状和变化趋势, 分析生物多样性的受威胁因素并发出预警, 进而为管理者制定有针对性的保护措施和对策提供可靠的科学依据^[7]。同时, 监测与评估也是当前生物多样性科学与保护的研究热点^[8]。

神农架位于大巴山脉东段, 地处我国地势第二阶梯的东部边缘, 是西部高原山地与东部低山丘陵的过渡区, 同时也是北亚热带和暖温带的过渡地带^[9]。神农架山体高大, 地形复杂, 形成独特的地理环境和立体小气候, 为动植物提供了良好的栖息地及繁衍场所; 区域内物种丰富、植物多样性高, 具有“物种天然基因库”之称。同时, 神农架属于华中地区面积最大的原始森林区, 其植被保存完好, 类型丰富, 并呈现出完整的垂直带谱^[10,11]。因此, 神农架是我国生物多样性热点地区及优先保护区域, 具有十分重要的科研和保护价值, 一直以来受到生态学及保护生物学研究者的较多关注^[11~14]。

植物多样性作为生物多样性的一个重要组成部分, 其监测与评估是生物多样性保护和管理的依据^[4,15]。神农架作为我国首批国家公园体制试点区之一, 研究该区域植物多样性的监测手段与评估方法, 对我国各类自然保护地(自然保护区、森林公园、

作者简介: 吴浩(1990~), 男, 助理研究员, 主要研究方向为山地珍稀木本植物对气候变化的响应. E-mail: haowu@wbpcas.cn

江明喜 E-mail: mxjiang@wbpcas.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(32001225; 31870510; 31700356)

风景名胜等)的生物多样性监测与评估具有一定的启示意义。因此,本文将对神农架地区的生物多样性监测与评估研究现状进行概述,探讨现有研究存在的问题与不足,并提出新的监测与评估构想,以期对神农架国家公园植物多样性的保护与规划管理提供科学依据,并为我国自然保护地的生物多样性监测与评估提供研究案例。

1 研究区域概况

神农架国家公园位于湖北省西部神农架林区,地处长江三峡库区北岸,属秦巴山系,由大巴山脉东延的余脉组成^[9]。该地区是我国西部高原山地与东部低山丘陵的过渡区,同时也是北亚热带和暖温带的过渡地带^[11]。神农架山体高大,其地势呈西南高东北低,峡谷纵横深切,最高峰达 3106.2m,气候条件呈明显的垂直分布,其南坡海拔每上升 100m,则气温减少 0.45℃;1 月份为最冷月,7 月份为最热月,其 1 月份平均气温为-8℃~1.6℃,7 月份平均气温为 18℃~26.5℃;年平均降水量为 800~2500mm,在空间分布上呈现出由南至北减少、由低到高增加的趋势^[9]。神农架地区的土壤亦呈现出明显的垂直分布,其土壤类型随海拔升高依次为山地黄棕壤,山地棕壤,山地暗棕壤,棕色针叶林土和山地草甸土^[9]。

神农架地处北亚热带季风气候区,常年温暖湿润^[9];区内山脉纵横、生境多样,因其北面秦巴山脉的庇护而受第三、四纪冰川的影响较小^[14]。因此,神农架独特的地理环境和优越的气候条件,造就了其丰富的生物多样性,并使其成为许多古老、珍稀植物的避难所^[11]。据调查记录到维管束植物 222 科 1184 属 3550 种,其中包括许多起源古老的珍稀、孑遗物种,如国家一级保护植物珙桐(*Davidia involucrata*)、红豆杉(*Taxus wallichiana* var. *chinensis*);国家二级保护植物水青树(*Tetracentron sinense*)、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)、鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)等^[16]。该区域植被原始且保存完好,是北半球常绿阔叶阔叶混交林生态系统的最典型代表^[11],并具有完整的植被垂直带谱^[10,11]。沿海拔梯度从低到高分别发育有:常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林及亚高山灌丛和草甸^[17]。

2 神农架地区生物多样性监测与评估研究现状

2.1 生物多样性监测研究现状

神农架作为我国生物多样性保护的关键地区,较早受到国内外学者的关注。从上世纪七八十年代到现在,该区域开展了较多的生物多样性监测研究,主要包括以下 4 个方面:物种组成及多样性、群落结构及动态、植被及其垂直带谱、珍稀濒危物种保护。

神农架地区植物资源丰富,种类繁多,植物区系起源古老,区内分布着众多珍稀、孑遗植物和中国特有植物,是我国植物多样性最丰富的地区之一^[11,12,17,18]。谢丹等^[16]根据 2011 年神农架本底资源全面调查数据及历史采集标本、文献数据,共统计到维管束植物 222 科 1184 属 3550 种。樊大勇等^[9]构建了该地区被子植物科属的 APGIII 系统发育树,发现其被子植物科的基部类群科占中国的 85%;中国特有属 56 属,占中国的 23%,充分印证了其植物区系的古老性和特有性。同时,神农架地区的植物区系组成具有一定的过渡性,地理成分复杂,但以温带成分为主^[10,18];该地区温带分布属共计 590 属,占中国温带分布属的 63.3%,是世界温带植物区系的集中发源地^[11,20],也是全球落叶木本植物多样性最丰富的地区^[21]。

研究森林群落或优势种群的结构与动态,对理解群落物种多样性的形成、更新与维持具有重要意义^[22]。样方或样地调查是掌握森林群落结构组成与动态变化的基本方法。张谥等^[23]基于样地调查对米心水青冈(*Fagus engleriana*)-曼青冈(*Cyclobalanopsis oxyodon*)群落进行结构分析,发现其分层明显,两个优势种占据不同的高度,形成了稳定共存的群落。葛结林等^[24]则利用多次样地调查数据,分析了米心水青冈-多脉青冈(*Cyclobalanopsis multiervis*)混交林的群落动态,结果表明其群落物种组成和数量特征均处于一种动态平衡。沈泽昊等^[10]通过沿海拔梯度样方数据分析,发现神农架南坡植物群落多样性呈“单峰”格局。另外,有学者研究了该地区不同森林类型中优势种群的结构和更新特点^[25-27]。例如,于倩等^[28]基于 1hm² 巴山冷杉林(*Abies fargesii*)固定样地调查数据,分析发现群落中巴山冷杉的重要值达 54.30%,其中小径级个体占总个体数的 78.8%,

且幼苗储备丰富。此外,还有学者对神农架大九湖湿地植物群落进行了调查^[29]。

神农架处于北亚热带季风气候区,其水平地带性植被为常绿落叶阔叶混交林,属于中亚热带常绿阔叶林向暖温带落叶阔叶林的过渡类型^[11]。同时,由于垂直方向上巨大的海拔高差(2700m),神农架山地植被形成了完整的垂直带谱^[18],使其植被类型变得十分多样,主要包括11个植被型和50个群系^[11]。沈泽昊等^[10]通过海拔梯度上的样方调查,基于物种构成和生活型的重要值比例,将神农架南坡的植被垂直带谱具体划分为:常绿阔叶林(900~1000m以下),常绿落叶阔叶混交林(1000~1700m),落叶阔叶林(1600~2100m),针阔混交林(2000~2400m)和暗针叶林(2300m以上)。除了野外样方调查,田自强等^[30]利用遥感植被制图手段,结合GIS技术、GPS技术及TM影像数据,绘制了神农架地区1:20万植被类型图。刘家琰等^[31]则基于归一化植被指数(NDVI)数据,分析了神农架林区1998~2013年植被覆盖度格局变化,发现其植被整体呈增加的趋势。

了解野生珍稀濒危植物的数量和分布信息是进行物种保护的前提,很多学者从20世纪80、90年代就开始关注该地区珍稀物种的状况。例如,李兆华^[32]调查整理了神农架地区珍稀植物名录,刘胜祥等^[33]在神农架地区植被考察中首次发现了光叶珙桐(*Davidia involucrate* var. *vilmoriniana*)群落。江明喜等^[34]研究了神农架南坡珍稀植物群落的区系及生态特征。熊高明等^[35]调查了珍稀植物独花兰(*Changnienia amoena*)的群落分布、物候及繁殖特征。另外,江明喜等^[14,34]研究发现,神农架山地河岸带分布了许多珍稀濒危物种。例如,香溪河流域的山地河岸带分布有14种珍稀植物,占该区域珍稀植物总数的42.4%^[14]。魏新增等^[36]基于大量的河岸带样方调查数据,通过分析珍稀植物群落特征,认为山地河岸带是珍稀、孑遗植物就地保护的一个关键区域。结合野外考察和文献资料,姜治国等^[37]统计了神农架珍稀濒危保护植物种类,共155种,隶属于52科111属;其中国家I级重点保护植物6种,国家II级重点保护植物18种。

2.2 植物多样性评估研究现状

评估植物多样性的状态和变化趋势是实现生物多样性保护的基础^[6,7]。最早的评估方法主要基于群落生态学调查数据,通过 α 、 β 、 γ 等多样性指数的测度,对某一地区生物多样性的进行高低进行评估^[38]。其中, α 多样性关注的是群落内物种的丰富度、相对多度和均匀度等特征^[39],包括应用广泛的物种丰富度、Simpson指数、Shannon-Wiener指数以及Pielou均匀度指数等^[40]; β 多样性则关注不同群落间物种组成的差异,主要表征物种沿着环境梯度的变化程度^[41]。当前,绝大部分学者对神农架地区植物多样性的评估均采用传统的多样性指数测度方法^[10,30,42]。例如,蒲云海等^[43]通过森林植物群落调查,统计到神农架北坡堵河源地区共有维管束植物1733种,隶属174科730属,基于物种丰富度这个指标,认为该区域物种多样性较高,是华中地区乃至湖北省物种资源较为集中的地区之一。丛静等^[44]研究了神农架地区4种典型植被类型的物种多样性,发现物种丰富度、Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数在海拔梯度上均呈单峰分布格局。

上述传统的植物多样性测度指数主要应用于小尺度的样方、样地或斑块水平,且不能很好地阐明植物多样性保护和管理的目标,因此需要在更大尺度上开展目标明确的生物多样性评估,为保护和管理的决策提供科学依据^[38]。例如,基于保护目标的生物多样性评估方法包括以栖息地为导向的评估、热点地区评估、GAP分析等。其中,热点地区的选择主要以物种丰富度、特有性和受威胁程度为依据,力求以最小的代价,最大限度地保护区域的生物多样性^[45,46]。GAP分析则是一种综合考虑植被、濒危物种的空间分布和土地管理状态,利用地理信息系统寻找其没有被保护的地区,以评估区域尺度上植物多样性的受保护程度的方法,其结果有利于管理者直观了解物种和植被的保护现状,从而做出更有针对性的决策^[46]。结合野外调查资料和植被类型图、管理规划图以及珍稀物种分布图,田自强等^[47]尝试应用GAP分析方法评价了神农架龙门河地区的植物多样性保护状况。另外,受限于监测数据的可获取性,一些学者采用了代理指标的方法进行生物多样性评估,诸如保护区面积、多样性指示类群以及生物多样性功能群等;同时,还有学者基于遥感影像数据,通过土地利用变化、植被生产力、不同物种光谱变异性等指标,在大尺度上评估生物多样性^[38]。然而,利用这些方法对神农架地区进行植物多样性评估的研究却鲜见报道。

近二十年来,生物多样性评估考虑的因素不断增多,且更加重视环境变化对生物多样性的持续影响,形成了多指标的生物多样性综合评价体系,并建立起合理的评估概念框架^[4,5,7]。目前,国际上广泛使用的评估框架是“驱动力-压力-状态-影响-响

应”(DPSIR)概念框架。该框架强调了人类活动与生物多样性变化之间的联系,能为管理者制定生物多样性保护和可持续利用政策提供更加全面的决策信息^[7]。目前,《生物多样性公约》缔约方依据 DPSIR 概念框架,建立了包括生物多样性现状、变化趋势、可持续利用、受威胁程度及生态系统服务等因素的综合评估指标体系^[38]。日本生物多样性综合评价委员会则应用 DPSIR 概念模型,在国家尺度上分析了生物多样性现状、丧失原因及需要采取的对策^[48]。国内学者郝云庆等^[49]选取物种多样性、稀有性、特有性、生态系统稳定性、保护区面积适宜性等 5 个方面 17 个指标,通过赋值评分法综合评价了若尔盖湿地国家级自然保护区的生物多样性质量。然而,迄今为止尚未有学者对神农架地区的生物多样性进行综合评估。

3 神农架国家公园植物多样性监测与评估构想

神农架作为我国首批国家公园体制试点地区之一,其植物多样性的监测与评估研究,不仅有利于该地区植物多样性的有效保护,同时对我国其他自然保护区植物多样性的管理也具有十分重要的启示意义。目前,神农架国家公园已开展的植物多样性监测研究总体上是零散的、片段化的,缺乏系统性、持续性的监测研究,并且国内外学者对该地区植物多样性的评估较少,基于多指标的综合评估方案更是处于空白状态。然而,随着神农架地区的旅游资源不断开发,人类活动的增加势必会对其植物多样性带来较大的影响。因此,为了该地区植物多样性的有效保护、管理及可持续利用,亟需加强和完善其监测体系,并建立适用于该地区的植物多样性综合评估方案。

3.1 植物多样性监测构想

神农架地区已开展的植物多样性研究包括不同规模的本底调查、省级森林资源清查、以及大部分以群落生态学和保护生物学为导向的样方、样地调查。这些研究很好地掌握了神农架地区的植物种类、优势群落、植被类型以及珍稀物种分布情况^[10,14,18],为该地区植物多样性监测体系的完善奠定了良好的基础。从国家公园“生态保护第一”的建设理念出发,基于已有的本底数据,我们提出了以下加强和完善神农架国家公园植物多样性监测体系的研究方案,兼顾物种、种群、群落及生态系统等不同水平,开展系统性和持续性的监测研究,以期为其有效保护提供科学的数据支撑和建议。

(1) 森林动态监测大样地建设(生态系统水平)

以神农架地区水平地带性植被(常绿阔叶混交林生态系统)为监测对象,在植被保存较完好,地势相对平缓的区域,建立 1 个 25hm² (500m×500m) 森林固定样地。具体方法如下:①按照 CTFS 样地建设标准^[50],采用高精度差分 GPS 仪进行打点,将样地分成 625 个 20m×20m 的方格,并在方格的 4 个顶点埋设水泥桩;②用红绳将每个 20m×20m 方格分成 16 个 5m×5m 的小方格,对方格内每株 DBH≥1cm 的木本植物高 1.3m 处刷红色油漆;③以小方格为单位,依次进行植物群落调查,内容包括物种名、胸径大小、位置坐标及分枝数量,并对每个木本植物个体挂上带编号的铝牌,作为永久标记;④长期监测样地内种子雨、凋落物、幼苗更新、物候等关键生态过程。

(2) 沿海拔梯度固定监测样地建设(群落水平)

根据神农架地区的植被垂直带谱^[10],沿海拔梯度分别以常绿阔叶林、常绿阔叶混交林、落叶阔叶林、针阔混交林、针叶林、灌丛和草甸为研究对象,每种植被类型建立 3 个样地,总计 15 个 1hm² 森林样地,3 个 0.5hm² 灌丛样地和 3 个 0.25hm² 草地样地。其中,森林样地按照 CTFS(Center for Tropical Forest Science)标准进行群落调查;灌丛样地则调查每个植株的物种名、基径、株高和冠幅,并挂牌标记;草甸样地则以丛为取样单元,调查物种名、高度、冠幅、多度和盖度等。在每个样地安装小型气象站,长期监测环境因子,包括温度、降水、太阳辐射和土壤温湿度等,重点关注气候变化对不同植被类型的植物多样性的影响。

(3) 高山湿地植被监测样地建设(群落水平)

神农架大九湖湿地是华中地区不可多见的高山湿地，其类型为亚高山泥炭沼泽，具代表性和稀有性，科研价值极高^[29]。为了更好地保护大九湖湿地植被资源，有必要对其植被现状和变化趋势进行监测。因此，在大九湖湿地建立 5 条 2m×100m 样带。每条样带上设置 5 个 2m×2m 样方，样方间隔为 20m，调查样方内植物的种名、高度、盖度和多度等。

(4) 珍稀植物群落监测样地建设(群落水平)

根据珍稀植物群落在神农架地区的分布格局^[14]，在海拔 1200~1800m 山地河岸带或沟谷，同样按照 CTFS 标准建立 5 个 50m×50m 样地。以样地为平台，长期监测珍稀濒危植物的种群更新动态，包括结实量、幼苗和萌蘖的数量特征等。

(5) 极小种群物种监测样地建设(种群水平)

根据《全国极小种群野生植物拯救保护工程规划》(2011-2015 年)的物种名单，以小勾儿茶(*Berchemiella wilsonii*)、喜树(*Camptotheca acuminata*)等极小种群物种为研究对象，在神农架地区基于所调查种群的个体数量，建立一定大小的固定样地，长期监测种群的更新动态。

(6) 开展外来入侵植物调查(物种水平)

随着经济贸易全球化和国际旅游的快速发展，一些物种被有意或无意地带到新的环境，并建立种群，对当地生态系统和景观造成威胁^[51]。目前，外来物种入侵已经成为导致我国生物多样性丧失的一个重要因素^[52]。然而，关于神农架地区生物入侵状况的研究基本上未见报道。因此，以神农架地区所有大、小景点的旅游路线为轴，在其 2km 范围内进行外来入侵植物踏查，采集标本，建立神农架国家公园入侵物种数据信息库。

以上所有样地或样线调查，均进行每 5 年一次复查，做到长期定位监测。

3.2 植物多样性评估构想

评价指标体系的建立是开展生物多样性综合评估的前提。万本太等^[5]根据科学性、代表性和实用性的原则，遴选出物种丰富度、生态系统类型多样性、植被垂直层谱的完整性、物种特有性、外来物种入侵度 5 个评价指标，确立了生物多样性综合评价方法，对我国 31 省(市、区)进行了生物多样性综合评估，并且该方法得到了国内学者的广泛应用^[53~55]。中国环境保护部在万本太等^[5]确立的综合评估方法的基础上制定了我国区域生物多样性评价标准，具体指标包括野生维管束植物丰富度、野生动物丰富度、生态系统类型多样性、物种特有性、受威胁物种的丰富度和外来物种入侵度，并详细规定了以上指标的权重、数据采集和处理、计算方法(中华人民共和国国家环境保护标准 HJ623-2011)。傅伯杰等^[4]着重考虑了国际生物多样性评估的主流指标，并结合其在中国的实际应用能力，构建了包括压力、状态和趋势、响应 3 大类指标的生物多样性综合评价体系。其中，压力指标 6 项，包括气候变化、氮沉降、生物入侵和景观破碎化等；状态和趋势指标 6 项，包括物种丰富度、珍稀性、特有性、物候等；响应指标 2 项，包括自然保护区建设和可持续经营^[4]。

在参考以上生物多样性综合评估体系的基础上，再结合神农架国家公园生物多样性监测与评估现状，根据科学性、代表性和可操作性原则，我们遴选出以下 6 个植物多样性评价指标，包括野生维管束植物丰富度、物种珍稀性、物种特有性、生态系统类型多样性、外来物种入侵度和国家公园面积，建立植物多样性综合评价体系。具体步骤如下：

(1) 评价指标的定义、计算

野生维管束植物丰富度：即神农架国家公园调查记录到的野生维管束植物的物种总数。

物种珍稀性：指该区域植物所包含的珍稀、濒危物种数。根据中国珍稀濒危植物信息系统汇总的《中国珍稀濒危植物名录》(<http://www.iplant.cn/rep/protlist>)进行确定。

物种特有性：指该区域内植物所包含的中国特有种数量。

生态系统类型多样性：指该区域生态系统的类型数目。以群系为单位，参照《中国植被》^[56]进行分类。

外来物种入侵度：指该区域外来入侵物种数与本地野生维管束植物种数之比。

国家公园面积：即神农架国家公园整体面积。

(2) 评价指标的归一化处理

评价指标的归一化处理，即评价指标初始值 \times 归一化系数。

其中，归一化系数 $=100/A_{\text{最大值}}$ 。 $A_{\text{最大值}}$ 为各评价指标归一化处理前的最大值，即各评价指标在我国同类型自然保护区中的最大值，需要进行文献数据收集。

(3) 评价指标的权重

结合专家咨询法和环境保护部的评价标准，确定各项评价指标的权重：野生维管束植物丰富度(0.30)、物种珍稀性(0.20)、物种特有性(0.20)、生态系统类型多样性(0.15)、外来物种入侵度(0.10)和国家公园面积(0.05)。

(4) 生物多样性指数的计算

生物多样性指数(Biodiversity index, BI) $=$ 野生维管束植物丰富度 \times 0.30+物种珍稀性 \times 0.20+物种特有性 \times 0.20+生态系统类型多样性 \times 0.15+(100-外来物种入侵度) \times 0.10+国家公园面积 \times 0.05(式中各项评价指标为归一化处理之后的值)

(5) 生物多样性评价等级划分

根据生物多样性指数(BI)数值，对生物多样性状况进行分级： $BI \geq 65$ ，高； $40 \leq BI < 65$ ，中； $20 \leq BI < 40$ ，一般； $BI < 20$ ，低。

4 结语

生物多样性监测与评估是生物多样性保护和管理的基礎。神农架作为我国首批国家公园体制试点地区之一，其生物多样性具有十分重要的科研和保护价值。尽管已有许多学者对该地区生物多样性监测进行了研究，但其总体上是零散的、片段化的，缺乏系统性、持续性的监测研究；并且目前对该地区生物多样性评估的研究较少，基于多指标的综合评估方案更是处于空白状态。因此，本文在已有研究的基础上，针对其存在的问题与不足，提出了更为完善的监测方案，并尝试构建了该地区生物多样性综合评价体系，以期为进一步加强神农架国家公园生物多样性保护提供科学的理论指导。

参考文献：

[1]CHAPIN III F S,ZAVALETA E S,EVINER V T,et al.Consequences of changing biodiversity [J].Nature,2000,405

(6783):234-242.

- [2]陈灵芝, 马克平. 生物多样性科学: 原理与实践[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2001.
- [3]THOMAS C D, CAMERON A, GREEN R E, et al. Extinction risk from climate change [J]. Nature, 2004, 427:145-148.
- [4]傅伯杰, 于丹丹, 吕楠. 中国生物多样性与生态系统服务评估指标体系[J]. 生态学报, 2017, 37(2):341-348.
- [5]万本太, 徐海根, 丁晖, 等. 生物多样性综合评价方法研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(1):97-106.
- [6]马克平. 监测是评估生物多样性保护进展的有效途径[J]. 生物多样性, 2011, 19(2):125-126.
- [7]曹铭昌, 乐志芳, 雷军成, 等. 全球生物多样性评估方法及研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2013, 29(1):8-16.
- [8]马克平. 保护生物学、保护生态学与生物多样性科学[J]. 生物多样性, 2016, 24(2):125-126.
- [9]朱兆泉, 宋朝枢. 神农架自然保护区科学考察集[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [10]沈泽昊, 胡会峰, 周宇, 等. 神农架南坡植物群落多样性的海拔梯度格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1):99-107.
- [11]谢宗强, 申国珍, 周友兵, 等. 神农架世界自然遗产地的全球突出普遍价值及其保护[J]. 生物多样性, 2017, 25(5):490-497.
- [12]郑重. 神农架维管植物区系初步研究[J]. 武汉植物学研究, 1993, 11(2):137-148.
- [13]贺金生, 刘峰, 陈伟烈, 等. 神农架地区米心水青冈林和锐齿槲栎林群落干扰历史及更新策略[J]. 植物学报, 1999(8):887-892.
- [14]江明喜, 邓红兵, 蔡庆华. 神农架地区珍稀植物沿河岸带的分布格局及其保护意义[J]. 应用生态学报, 2002, 13(11):1373-1376.
- [15]刘德团, 马永鹏. 生物多样性监测研究进展[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2):667-673.
- [16]谢丹, 王玉琴, 张小霜, 等. 神农架国家公园植物采集史及模式标本名录[J]. 生物多样性, 2019, 27(2):211-218.
- [17]应俊生, 马成功, 张志松. 鄂西神农架地区的植被和植物区系[J]. 植物分类学报, 1979, 17(3):41-60.
- [18]赵常明. 神农架植被及其生物多样性与垂直分布格局——兼论中国中、北亚热带植被带的划分[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2002.
- [19]樊大勇, 高贤明, 杨永, 等. 神农架世界自然遗产地种子植物科属的古老性[J]. 植物科学学报, 2017, 35(6):835-843.
- [20]应俊生. 中国种子植物物种多样性及其分布格局[J]. 生物多样性, 2001, 9(4):393-398.

-
- [21]樊大勇, 高贤明, 杜彦君, 等. 神农架世界自然遗产地落叶木本植物多样性及其代表[J]. 生物多样性, 2017, 25(5):498-503.
- [22]REES M, CONDIT R, CRAWLEY M, et al. Long-term studies of vegetation dynamics [J]. Science, 2001, 293, 650-655.
- [23]张谧, 熊高明, 赵常明, 等. 神农架地区米心水青冈-曼青冈群落的结构与格局研究[J]. 植物生态学报, 2003(5):603-609.
- [24]葛结林, 熊高明, 邓龙强, 等. 湖北神农架山地米心水青冈-多脉青冈混交林的群落动态[J]. 生物多样性, 2012, 20(6):643-653.
- [25]刘峰, 陈伟烈, 贺金生. 神农架地区锐齿榿栎种群结构与更新的研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(4):396-401.
- [26]何东, 魏新增, 李连发, 等. 神农架山地河岸带连香树的种群结构与动态[J]. 植物生态学报, 2009, 33(3):469-481.
- [27]DANG H S, ZHANG K R, ZHANG Y J, et al. Regeneration dynamics of subalpine fir (*Abies fargesii*) forest across the altitudinal range in the Shennongjia Mountains, central China[J]. Journal of Plant Ecology, 2013, 6:36-47.
- [28]于倩, 谢宗强, 熊高明, 等. 神农架巴山冷杉(*Abies fargesii*)林群落特征及其优势种群结构[J]. 生态学报, 2008, 28(5):1931-1941.
- [29]罗涛, 伦子健, 顾延生, 等. 神农架大九湖湿地植物群落调查与生态保护研究[J]. 湿地科学, 2015, 13(2):153-160.
- [30]田自强, 陈玥, 赵常明, 等. 中国神农架地区的植被制图及植物群落物种多样性[J]. 生态学报, 2004, 24(8):1611-1621.
- [31]刘家琰, 谢宗强, 申国珍, 等. 基于 SPOT-VEGETATION 数据的神农架林区 1998-2013 年植被覆盖度格局变化[J]. 生态学报, 2018, 38(11):3961-3969.
- [32]李兆华. 神农架野生珍稀濒危植物及其保护对策研究[J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1):49-54.
- [33]刘胜祥, 雷耘, 杨福生, 等. 神农架发现光叶珙桐群落[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 1997(4):98.
- [34]江明喜, 吴金清, 葛继稳. 神农架南坡送子园珍稀植物群落的区系及生态特征研究[J]. 武汉植物学研究, 2000, 16(5):368-374.
- [35]熊高明, 谢宗强, 熊小刚, 等. 神农架南坡珍稀植物独花兰的物候、繁殖及分布的群落特征[J]. 生态学报, 2003, 23(1):173-179.
- [36]魏新增, 何东, 江明喜, 等. 神农架山地河岸带中珍稀植物群落特征[J]. 武汉植物学研究, 2009, 27(6):607-616.
- [37]姜治国, 王文华, 张建兵, 等. 神农架珍稀濒危保护植物研究[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(19):3651-3656.
- [38]栗忠飞, 高吉喜. 生物多样性评估方法的综述与评价[J]. 中国发展, 2018, 18(2):1-13.

-
- [39] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I : α 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994 (3) :162-168.
- [40] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I : α 多样性的测度方法(下) [J]. 生物多样性, 1994 (4) :231-239.
- [41] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II : β 多样性的测度方法 [J]. 生物多样性, 1995 (1) :38-43.
- [42] 铁军, 张晶, 彭林鹏, 等. 神农架川金丝猴栖息地乔木层物种多样性及其海拔梯度变化 [J]. 植物科学学报, 2011, 29 (2) :141-148.
- [43] 蒲云海, 张应坤, 江明喜, 等. 神农架北坡堵河源自然保护区植物多样性研究 [J]. 武汉植物学研究, 2006, 24 (4) :327-332.
- [44] 丛静, 尹华群, 卢慧, 等. 神农架保护区典型植被的物种多样性和环境解释 [J]. 林业科学, 2013, 49 (5) :30-35.
- [45] MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. Nature, 2000, 403 (6772) :853-858.
- [46] 李迪强, 宋延龄. 热点地区与 GAP 分析研究进展 [J]. 生物多样性, 2000, 8 (2) :208-214.
- [47] 田自强, 陈玥, 陈伟烈, 等. 神农架龙门河地区基于植被的 GAP 分析 [J]. 植物生态学报, 2002 (S1) :40-45.
- [48] 陈平, 田竹君, 李墨, 等. 日本国家尺度生物多样性综合评价概况及启示 [J]. 地理科学, 2015, 35 (9) :1130-1139.
- [49] 郝云庆, 王新, 刘少英, 等. 若尔盖湿地保护区生物多样性评价 [J]. 中国水土保持科学, 2008 (S1) :35-40.
- [50] CONDIT R. Tropical forest census plots:Methods and results from Barro Colorado Island, Panama and a comparison with other plots [M]. Berlin:Springer,1998.
- [51] WESTPHAL M I, BROWNE M, MACKINNON K, et al. The link between international trade and the global distribution of invasive alien species [J]. Biological Invasions, 2008, 10 (4) :391-398.
- [52] DING J Q, MACK R N, Lu P, et al. China' s booming economy is sparking and accelerating biological invasions [J]. Bioscience, 2008, 58 (4) :317-324.
- [53] 李倦生, 周凤霞, 张朝阳, 等. 湖南省生物多样性现状调查与评价 [J]. 环境科学研究, 2009, 22 (12) :1382-1388.
- [54] 赵卫权, 吴克华, 苏维词, 等. 贵州省生物多样性综合评价与分析 [J]. 水土保持通报, 2011, 31 (3) :171-174.
- [55] 杨杰峰, 牡丹, 田思思, 等. 湖北省典型湖泊湿地生物多样性评价研究 [J]. 水生态学杂志, 2017, 38 (3) :15-22.
- [56] 吴征镒. 中国植被 [M]. 北京: 科学出版社, 1980.