

中国南方复杂地形森林样地的测量标定方法* Mapping Forest Monitoring Plot in Rugged Topography of South China

向悟生^{1,2}, 李先琨^{1,2**}, 王 斌^{1,2}

XIANG Wusheng^{1,2}, LI Xiankun^{1,2}, WANG Bin^{1,2}

(1. 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所, 广西桂林 541006; 2. 广西友谊关森林生态系统定位观测研究站, 广西凭祥 532600)

(1. Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Youyiguan Forest Ecosystem Research Station, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

摘要:【目的】中国南方存在很多地形复杂的喀斯特和非喀斯特区域,在这些地形陡峭的区域进行森林监测样地测量标定时,一般容易出现测量误差较大和一般测量方法适用性不佳的问题。为此,本研究提出一种适用于复杂地形的森林样地测量标定方法。【方法】以全站仪放样测量为基础,充分利用复杂地形中一般岩石出露较多的特点,改进桩点标记方法,同时改进制点的选择方法并编制相应的计算器程序。【结果】利用该方法,成功地在地形复杂的弄岗国家级自然保护区的喀斯特森林标定了1个15 hm²的样地,并在地形同样复杂的十万大山地区标定了多个1 hm²的森林样地。【结论】本方法适用于地形陡峭复杂的喀斯特地区和非喀斯特地区,在测量大型森林监测样地时,具有较高的精度。

关键词:喀斯特森林 非喀斯特森林 监测样地 放样测量 埋桩标记

中图分类号:Q948,P217 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-9164(2017)03-0219-06

Abstract:【Objective】Rugged karst or non-karst terrains prevail in south of China, and which may result relatively big measurement error when the general survey method applies to the terrains. In order to resolve this problem, we proposed a method that could be applied to forest plot survey in the rugged topography with steep slope. 【Methods】The method was based on the setting out survey function of the total station. To make full use of the large number of exposed rock, the method improved the way of stake mark. Moreover, the method also improved the way of selecting control point and writing corresponding calculator program. 【Results】By using the method, a 15 hm² forest plot in the karst forest in Nonggang National Nature Reserve and several 1 hm² forest plots in non-karst forest in Shiwandashan mountainous area were

mapped successfully where terrains were complex with steep slope. 【Conclusion】The practice results indicated that the method could be applied to the karst region or non-karst region with rugged topography, and got high precision even in mapping the big forest monitoring plot.

Key words: karst forest, non-karst forest, monitoring plot, setting out survey, stake mark

收稿日期:2017-01-16

修回日期:2017-02-25

作者简介:向悟生(1978—),男,副研究员,主要从事植物生态和环境生态研究。

* 国家重点研发计划项目(2016YFC0502405),国家自然科学基金项目(31300359)和广西重点研发计划项目(桂科 AB16380256)资助。

** 通信作者:李先琨(1967—),男,研究员,主要从事恢复生态学和植物生态学研究, E-mail: xiankunli@163.com。

0 引言

【研究意义】森林是很多重要生态系统服务功能的基础,如水土保持功能、气候调节功能、产品供给功能等等^[1]。有研究表明,森林生态系统约保存了全球陆地 45% 的碳储量^[2]。但在过去的 2000 年—2010 年的 10 年时间,全球森林大面积退化或丧失,每年退化或丧失的面积达到 $1.3 \times 10^7 \text{ hm}^2$,这其中有接近一半是生物多样性很高的热带原始森林。这些森林的退化或消失,使得全球生物多样性的消失速度达到了惊人的程度^[3]。全球森林的大面积退化或丧失严重影响了其生态系统服务功能的发挥,因此退化森林生态系统的恢复及其生物多样性的保护已成为全球热点研究问题之一^[4-5]。长期的森林监测是应对和解决这些问题的重要科学基础^[6]。在中国南方,分布着很多重要的森林生态系统,都迫切需要进行生物多样性的监测。尤其在中国西南的广西、贵州、云南、四川等地广泛分布的喀斯特森林,因生态条件的特殊性,相比其他区域的森林更为脆弱且易退化^[7]。喀斯特森林是喀斯特地区生态系统服务功能发挥的基础^[8],因此更亟需开展长期的监测研究。**【前人研究进展】**大型监测样地(一般在 10 hm^2 以上)已成为森林监测的基本手段之一^[6]。建立大型森林监测样地首先要开展的工作便是样地的测量标定,这是所有后续监测工作的基础。样地的测量标定,即是将一块形状为长方形或正方形、面积几公顷甚至数十公顷的样地从连续分布的森林中比较精确地测量出来,并将测量出来的样地继续划分为大量 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 或 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 的网格样方,标定出每个样方的网格节点,便于开展后续的调查和监测工作。传统的森林罗盘测量方法在小样地的测量中得到了大量应用,但在建立大型样地时,森林罗盘的测量精度很难达到要求,一般需采用精度更高的全站仪进行测量和标定^[9]。中国南方的森林一般分布于地形陡峭的区域,进行森林监测样地测量标定时容易出现较大的测量误差。例如,在广泛分布的喀斯特地区,因小地形十分复杂,岩石出露面积大,而且由于存在水土渗漏作用,其土层也比较浅薄和松散^[10],因此,测量标定面临很多困难。其中之一就是控制点的埋桩标记问题。传统的控制点埋桩方法通常是将一颗钢钉或直径 1 cm 左右的一小段木头扎入土壤中进行标记。这种埋桩标记方法在喀斯特森林测量中存在的问题主要是,森林中很难找到有土壤而附近又没有大树分布的地方,同时由于土层浅薄松散,扎入的钢钉或木头很容易发生移动,从而给测量带来极大的误差。复杂地形中森林监测样地

的测量标定面临的另一个主要问题是全站仪的架设,由于地形陡峭而复杂,测站架设存在困难。**【本研究切入点】**由于地形的特殊性和复杂性,其它样地的测量方法在中国南方复杂地形应用时存在部分适用性不佳的问题。基于此,我们拟提出一套适合中国南方复杂地形森林的测量标定方法。**【拟解决的关键问题】**通过方法的改进,解决中国南方复杂地形中(尤其是喀斯特地形)测量时的埋桩标记问题,并大量减少测站的架设次数。这套方法可有效提高中国南方复杂地形中森林群落监测样地测量标定的精度和工作效率。

1 区域环境概况

方法的验证主要在地形复杂的弄岗国家级自然保护区和广西防城金花茶国家级自然保护区。弄岗国家级自然保护区位于龙州县中北部与宁明县西北部,东经 $106^{\circ}42'28'' \sim 107^{\circ}04'54''$,北纬 $22^{\circ}13'56'' \sim 22^{\circ}33'09''$,总面积 101 km^2 。弄岗保护区属典型的喀斯特地貌,类型主要为峰丛谷地型和峰丛洼地型,区内山弄密集,地形复杂;属热带季风气候,全年有 7 个月平均气温高于 22°C ,年均最高气温 $37 \sim 39^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $1150 \sim 1550 \text{ mm}$;分布的森林类型为喀斯特季节性雨林^[11]。

广西防城金花茶国家级自然保护区位于广西防城港市防城城区境内,东经 $108^{\circ}02'02'' \sim 108^{\circ}12'52''$,北纬 $21^{\circ}43'52'' \sim 21^{\circ}49'39''$ 。自然保护区地处十万大山南麓蓝山支脉,地形较陡峭。总面积为 9098.6 hm^2 ,其中核心区 1479.1 hm^2 ;属热带季风气候;地带性植被为季雨林,还分布有沟谷雨林、常绿阔叶林等植被。区内分布有 3 种被誉为“植物界的大熊猫”和“茶族皇后”的金花茶。

2 方法和步骤

2.1 总体思路

采用坐标测量法,通过 1 条或 2 条一级闭合导线控制整体测量误差,通过坐标放样测量技术标定样方节点,以减少测站的架设次数。具体思路:沿样地 4 条边线布设 1 条一级闭合导线,或者以样地 2 条中垂线中的 1 条为基线,沿样地边线布设 2 条一级闭合导线(监测样地较大时)。确定一级闭合导线误差后,对闭合导线的控制点坐标进行平差,根据平差后的闭合导线控制点往样地中心引支导线,采用坐标放样测量技术确定每个样方坐标网格($10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 或 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$)节点(图 1)。

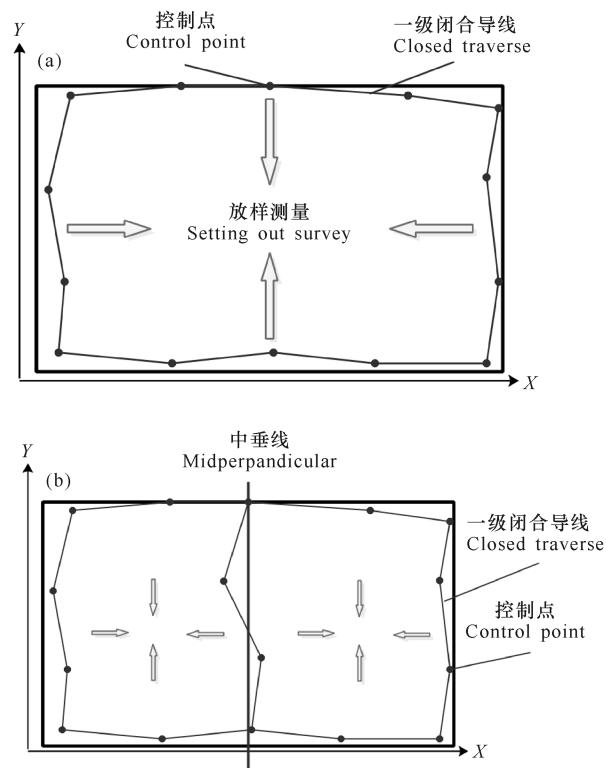


图1 2种测量方案思路示意图

Fig. 1 Schematic diagram for the two plot mapping conception

2.2 起始控制点位置、坐标和高程的确定

通过踏查及查阅地形图,确定样地4条边线的走向及4个角点的大致位置,初步确定样地坐标系。样地的角点和边线应尽量避免开悬崖、陡坡等难以通达的地方。样地原点一般以西南方向角点为准。

如果样地面积较大,起始控制点可选在样地1条边线的中点附近;如果样地面积较小(如边长小于100 m),则可选择样地的一个角点作为起始控制点。起始控制点的坐标通过假定坐标法给出,即假定起始控制点的 (X_1, Y_1) 坐标值为(1 000, 1 000),这样可避免因给定值太小导致测量中坐标值出现负数的情况,同时方便测量数据的记录和输入;起始控制点的高程通过手持GPS获得。

在 (X_1, Y_1) 处设测站,沿确定的边线方向找一个与 (X_1, Y_1) 通视的测点,定为 (X_2, Y_2) (图2),用全站仪测量 (X_1, Y_1) 至 (X_2, Y_2) 的平距 HS 及高差 ΔZ ,通过计算可得到 (X_2, Y_2) 的坐标和高程,即 $(X_1 \pm HS, Y_1)$ 或 $(X_1, Y_1 \pm HS)$,高程为 $Z_1 \pm \Delta Z$ 。

2.3 一级闭合导线的测量及误差处理

根据前面确定的2个已知坐标的控制点,应用全站仪的坐标测量功能,沿样地4条边线附近布设1条一级闭合导线;利用喀斯特地貌岩石出露多的特点,将构成闭合导线的全部控制点的埋桩位置均设在稳

固的岩石上,控制点的埋桩标记方式为凿1个直径0.2 cm、深度0.2 cm的浅坑,并以这个浅坑为原点用红色油漆画一个直径4 cm的圆圈。

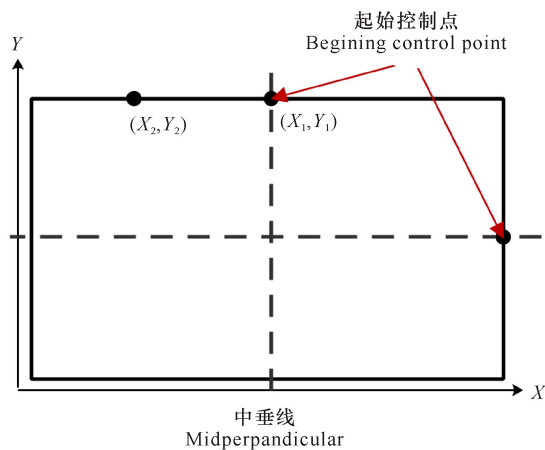


图2 起始控制点选择示意图

Fig. 2 Schematic diagram of beginning control point

计算一级闭合导线的闭合误差,采用近似平差的方法对闭合导线控制点的坐标和高程误差进行处理。闭合误差的确定方法为已知起始控制点 (X_1, Y_1) 的坐标为(1 000, 1 000),用全站仪测出闭合导线后,在闭合导线最后一个控制点架设测站,测量起始控制点 (X_1, Y_1) 的坐标,设全站仪测出的坐标为 $X_{测}, Y_{测}$,用该点的观测坐标值与已知坐标值比较,得到 $fx = X_{测} - 1000, fy = Y_{测} - 1000$;可以计算出导线闭合差: $fd = \sqrt{fx^2 + fy^2}$ 。

设导线总长度为 D ,如果 $fd < D * 1/3000$,就可以进行坐标改正数的计算:

$$V_{X_i} = (-fx/D) * (D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_{i-1}),$$

$$V_{Y_i} = (-fy/D) * (D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_{i-1}),$$

其中 D_{i-1} 是第 i 点之前的导线边长。改正后的坐标为 $X_i = X'_i + V_{X_i}, Y_i = Y'_i + V_{Y_i}$,其中 X'_i, Y'_i 是第 i 个控制点的实际测量值。对于高程可以用同样的方法来计算高程改正数。

根据平差后的闭合导线的控制点往样地中心引支导线,构成支导线的控制点的埋桩位置同样选择在稳固的岩石上,控制点的埋桩标记方式为凿1个直径0.3 cm、深度0.3 cm的浅坑,并以这个浅坑为原点用红色油漆画1个直径3 cm的圆圈。

2.4 样方网格节点的坐标放样测量

依据一控制点坐标及其周围样方网络节点的理论坐标,在计算器中可计算出周围网络节点到该控制点的水平方位角 (α) 和水平距离 (HS) 。根据 α 和 HS ,在全站仪系统中采用坐标放样测量功能标定出节点的位置(图3a)。

在闭合导线和支导线的控制点上架设测站,用CASIO fx-4000P 计算器计算待标定网格节点与测站点的水平距离和角度,再采用全站仪坐标放样测量功能标定出每个样方(20 m×20 m 或者 10 m×10 m)的网格节点位置。

本套方法的放样测量与其他大型森林样地的测量方法存在一定区别(图 3)。其他大型森林样地的测站一般选择在网络节点上,测量角度一般为 90°的整数倍。本套方法测站位置可根据通视情况灵活设置,通过计算器程序编制,快速实现节点的放样测量。

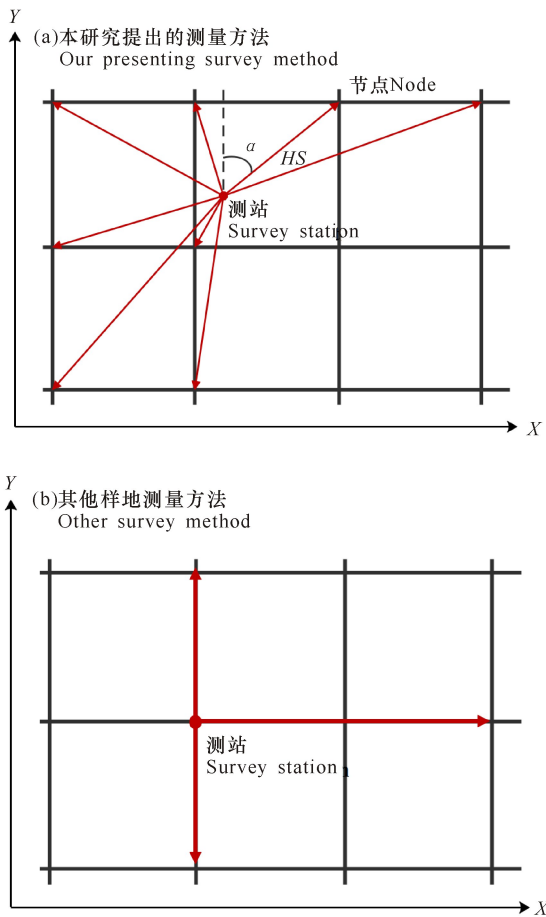


图 3 样地测量方法对比示意图

Fig. 3 Sketch diagram of difference survey methods

2.5 样地整体误差控制及测量误差的检验

在测量时,根据平差后的一级闭合导线上的控制点,采用 2.4 节坐标放样方法首先将一级闭合导线附近可通视的网络节点全部标定出来。对于远离一级闭合导线或其他因通视原因不能标定的节点,需用一级闭合导线上的控制点引二级导线,依据二级导线上的控制点用坐标放样测量技术标定其位置。如引二级导线还有未能标定的节点,可依据二级导线再引支导线进行测量。这样可以将样地的整体测量误差控制在一级闭合导线的闭合误差范围内。同时,为了控

制二级导线之间的误差,在引二级导线时,每隔 100 m 左右须与相邻的二级导线控制点或节点进行附和,如误差超过 20 cm,需沿着测量导线来回检视,找出原因后重新引控制点进行测量。

整个样地测量完毕后,在一级闭合导线上随机选择 2 个可通视的控制点。作为测站和后视,通过严格的三脚架架站和架前视测量,引 1 条贯穿整个样地的检验导线。复核检验导线周围节点的误差和其他控制点的误差。同时,检验导线必须和一级闭合导线进行附和,以确定检验导线本身的精度。

3 应用实例

3.1 15 hm² 样地(喀斯特地形)实测

应用本套测量方法,在弄岗国家级自然保护区建立了 1 个 15 hm² 的喀斯特季节性雨林监测样地^[12],样地的边长为 500 m 和 300 m。由于样地较大,采用图 1 所示的第 2 种测量方案,即以样地南北向中垂线为基线,在样地东片和西片各布设了 1 条一级闭合导线(图 4)。东片闭合导线的 f_x 为 21 cm, f_y 为 6 cm; 西片闭合导线的 f_x 为 38 cm, f_y 为 7 cm,均达到了测量要求。整个样地测量完毕后,在 2 条一级闭合导线结合的中垂线上随机选择了 2 个可通视的控制点,往样地西边线引检验导线,检验结果表明,大部分被抽检节点的误差均小于 30 cm,极少数节点因地形等不通视原因,在测量时进行了平移定点,误差超过 30 cm,但最大误差均小于 50 cm。同时在中垂线上随机选择了 2 个可通视的控制点往样地东边线引检验导线,检验结果表明,大部分抽检节点的误差均小于 25 cm。

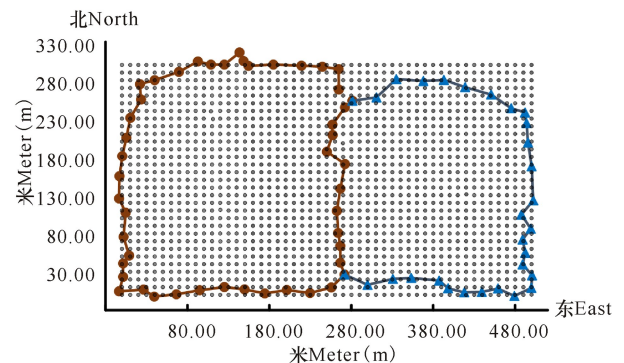


图 4 弄岗 15 hm² 样地闭合导线测量示意图

Fig. 4 Schematic diagram for the closed traverse of the Nonggang 15 hm² plot

根据测量得到的 1 581 个网格节点的高程,绘制了所测 15 hm² 样地的地形图(图 5)。从测量结果看,样地的最低处海拔约 184 m,而最高点海拔达到 374 m,样地的高差约 190 m。从测量获得的地形图看,

样地西片区非常陡峭(图 5),部分地方平均坡度可达到 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。

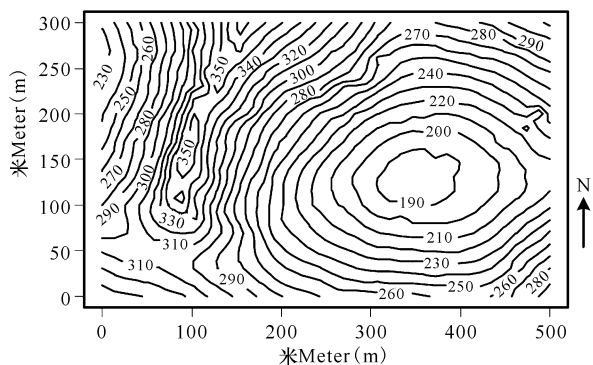


图 5 弄岗 15 hm² 监测样地测量地形图

Fig. 5 Contour map of the Nonggang 15 hm² plot

3.2 1 hm² 样地(非喀斯特地形)实测

应用本套测量方法,成功在地形复杂的广西防城金花茶国家级自然保护区建立了多个 1 hm² 森林样地。以建立的东兴金花茶监测样地为例,其面积为 100 m×100 m,所引闭合导线的 f_x 和 f_y 均小于 15 cm,10 m×10 m 节点误差小于 10 cm。样地高差达到 73.9 m,平均坡度在 45° (图 6)。

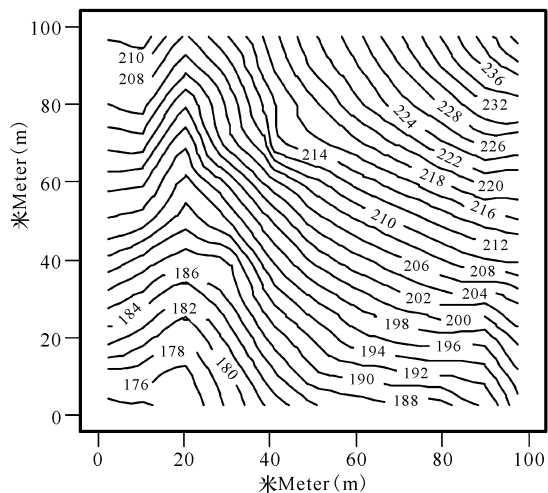


图 6 防城港 1 hm² 东兴金花茶监测样地测量地形图

Fig. 6 Contour map of the 1 hm² plot of *Camellia indochinensis* var. *tunghinensis* in Fangchenggang

4 结论

通过对已有森林样地测量标定方法的改进,本研究提出了一套适用于中国南方复杂地形森林样地测量标定的方法。本套方法在喀斯特这类小地形变化复杂、通视条件较差的地区非常实用。通过闭合导线的测量,不仅可以明确整个样地的测量误差,并且可以采用平差等技术措施修正测量误差。在节点标定时采用极坐标放样测量技术,使得测站点选择相对灵

活机动,可尽量将测站点置于架站和通视条件均较好的地方,不仅有效减少架站次数,减小因架站引起的测量误差,同时也节省了大量测量时间。

与现有方法相比,本研究提出的方法将控制点的埋桩位置选择在稳固的岩石上,并采用在埋桩位置处凿一个浅坑,以该浅坑为原点画一个固定直径的圆作为标记方式,克服了在喀斯特等复杂地形中采用传统控制点埋桩标记方式造成的误差,可有效提高复杂地形中森林群落监测样地测量标定的精度;进一步地,还可用可编程计算器来完成待标定网格节点与测站点的水平距离和角度的计算,既节约计算时间又减少出错机率,从而提高工作效率。从实际应用结果看,本研究提出的测量标定方法在陡峭的喀斯特地形和非喀斯特地形中都得到了成功的应用。

本套方法使用过程中需用到全站仪的极坐标放样测量功能,而部分型号较老的全站仪可能不具备该功能,因此在测量时会受到仪器功能的限制。

致谢:

广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所王新贵、韩文衡,专业测绘人员林飞雄等人参加了弄岗 15 hm² 监测样地的测量工作,谨此致谢。

参考文献:

- [1] GAMFELDT L, SNÄLL T, BAGCHI R, et al. Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species [J]. *Nature Communications*, 2013, 4: 1340.
- [2] PAN Y, BIRDSEY R A, PHILLIPS O L, et al. The structure, distribution, and biomass of the world's forests [J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2013, 44(1): 593-622.
- [3] FAO. *Global forest resources assessment 2010* [M]. Rome: FAO, 2010.
- [4] CHAZDON R L. Beyond deforestation: Restoring forests and ecosystem services on degraded lands [J]. *Science*, 2008, 320(5882): 1458-1460.
- [5] 马克平. 生物多样性科学的热点问题 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(1): 1-2.
MA K P. Hot topics for biodiversity science [J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(1): 1-2.
- [6] 马克平. 大型固定样地: 森林生物多样性定位研究的平台 [J]. *植物生态学报*, 2008, 32(2): 237.
MA K P. Large scale permanent plots: Important platform for long term research on biodiversity in forest ecosystem [J]. *Journal of Plant Ecology (Chinese Version)*, 2008, 32(2): 237.
- [7] 袁道先. 岩溶石漠化问题的全球视野和我国的治理对策

- 与经验[J]. 草业科学, 2008, 25(9): 19-25.
- YUAN D X. Global view on karst rock desertification and integrating control measures and experiences of China[J]. Pratacultural Science, 2008, 25(9): 19-25.
- [8] 李先琨, 苏宗明, 吕仕洪, 等. 广西岩溶植被自然分布规律及对岩溶生态恢复重建的意义[J]. 山地学报, 2003, 21(2): 129-139.
- LI X K, SU Z M, LV S H, et al. The spatial pattern of natural vegetation in the karst regions of Guangxi and the ecological signal for ecosystem rehabilitation and reconstruction[J]. Journal of Mountain Science, 2003, 21(2): 129-139.
- [9] 徐文兵, 高飞, 杜华强. 几种测量方法在森林资源调查中的应用与精度分析[J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(1): 132-136.
- XU W B, GAO F, DU H Q. Application and precision analysis of several surveying methods in forest resources survey[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(1): 132-136.
- [10] 曹建华, 袁道先, 潘根兴. 岩溶生态系统中的土壤[J]. 地球科学进展, 2003, 18(1): 37-44.
- CAO J H, YUAN D X, PAN G X. Some soil features in karst ecosystem[J]. Advance in Earth Sciences, 2003, 18(1): 37-44.
- [11] 向悟生, 陆树华, 文淑均, 等. 取样方式对喀斯特和非喀斯特混合分布区森林种-面积关系的影响[J]. 广西植物, 2015, 35(3): 309-316.
- XIANG W S, LU S H, WEN S J, et al. Sample effects on species-area relationships of typical forests in karst and non-karst mixing distribution areas[J]. Guihaia, 2015, 35(3): 309-316.
- [12] 王斌, 黄俞淞, 李先琨, 等. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林 15 ha 监测样地的树种组成与空间分布[J]. 生物多样性, 2014, 22(2): 141-156.
- WANG B, HUANG Y S, LI X K, et al. Species composition and spatial distribution of a 15 ha northern tropical karst seasonal rain forest dynamics study plot in Nonggang of Guangxi, Southern China[J]. Biodiversity Science, 2014, 22(2): 141-156.

(责任编辑: 陆 雁)