

文章编号: 1001-1498(2009)01-0101-08

森林资源抽样调查技术方法研究进展

史京京¹, 雷渊才^{2*}, 赵天忠¹

(1. 北京林业大学, 北京 100083; 2. 中国林业科学研究院资源信息研究所, 北京 100091)

摘要: 抽样调查是森林资源综合监测调查的关键技术和方法。本文介绍了抽样理论的发展和国内外森林抽样调查发展过程, 论述了森林调查中主要抽样方法的特点和研究现状, 其中包括等概和不等概抽样、基于遥感的抽样、针对稀疏总体分布的抽样调查技术方法, 并对这些抽样技术在国内外森林资源调查中的应用进行了综述, 概括了抽样调查技术方法的发展趋势, 最后总结了抽样技术方法还存在的一些问题。

关键词: 抽样方法; 森林资源调查; 遥感; 稀疏总体

中图分类号: S757.2

文献标识码: A

Progress in Sampling Technology and Methodology in Forest Inventory

SHI Jing-jing¹, LEI Yuan-cai², ZHAO Tian-zhong¹

(1. Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. Research Institute of Forest Resource Information Techniques, CAF, Beijing 100091, China)

Abstract: Sampling survey is the key technology and methodology in comprehensive monitoring of forest resources. In this review, historical background of sampling theory and development of forest inventories are presented. Application and research status of sampling methodology and technology in forest inventory in China and abroad are analyzed and reviewed, which includes sampling with probability proportional to frequency or to size, sampling based on remote sensing and sampling for rare population. Finally, both development trends and some problems of sampling methodology are discussed.

Key words: sampling; forest inventory; remote sensing; rare population

森林调查是获取森林资源信息和进行林业各种分析决策的一项基础性技术工作。19世纪森林经营者为了解森林资源的数量通常使用的方法是全林调查法, 这种方法不但费时费力、成本高, 而且对于大面积的森林资源调查是不可能的。随着统计学的发展, 人们很快采用抽样调查方法, 即以样木 (Sample Tree)、样地 (Sample Plot) 或样点 (Sample Point) 等为抽样单元进行调查并推算大面积的森林资源数量^[1]。本文旨在回顾抽样理论的发展和森林抽样调查发展过程, 总结林业调查技术的研究现状和发展

趋势以及存在的问题, 希望能对森林抽样调查技术与方法的研究和应用有所帮助, 能对森林资源综合监测提供抽样技术指导。

1 抽样理论及其在森林调查过程中的发展

1.1 抽样理论的发展

最早的抽样方法是目的抽样, 它是一种非概率抽样方法, 该方法的应用始于十九世纪末, 由挪威统计学家 A. N. Kiaer 提出^[2]。1912年 Bowley 将随机

收稿日期: 2008-07-15

基金项目: “十一五” 国家科技支撑重点项目 (2006BAD23B01) 和国家林业局“948” 引进项目 (2006-4-34) 支持

作者简介: 史京京 (1983—), 女, 黑龙江尚志人, 北京林业大学在读硕士生, 主要研究方向: 森林抽样和资源信息管理。E-mail: sjjbeir-jing2007@sina.com

* 通讯作者: 雷渊才, 男, 湖南嘉禾人, 研究员, 博士, 博士生导师。主要从事森林抽样、森林生长模型研究。

理论用于抽样调查中,他还研究了随机抽样和目的抽样的估计精度,认为目的抽样比随机抽样效率更高,因为前者的优点在于可以发挥调查者的主观能动性,充分利用被调查对象已有的信息以避免发生更大的偏差。目的抽样多应用于某种特殊目的进行的专业调查,比如,用标准地资料编制林分生长过程表、标准表等。

上世纪 30 年代, Neyman 首次提出了抽样理论的统计学原理和统计框架,并概述了目的抽样适用的条件和环境,解释了随机抽样比目的抽样的结果更合理的原因。从此,除为某种特殊目的进行的专业调查之外,随机抽样方法取代了目的抽样方法。Neyman 还提出了分层抽样的原则。在接下来的 20 多年,传统的抽样理论,即基于设计的抽样理论 (Design-based Theory) 在数学领域和各种实际应用中得到了认可并一直延续至今^[2]。简单随机抽样、分层抽样和系统抽样等是基于设计的抽样方法,其中最重要的发展是 Hansen 和 Hurwitz 于 1943 年提出的不等概抽样,该方法在一定情况下可大幅度改进和提高估计结果的精度。Horwitz 和 Thompson 在 1952 年提出了该方法的无偏估计量^[3]。

1955 年 Godambe 对基于设计的抽样方法提出了挑战,指出在所有的概率线性无偏估计中,即使是简单随机抽样,也不存在最小无偏估计量,这意味着某些总体参数估计量(如平均值)在总体中没有最小变量。在这种情况下另一种抽样方法产生了,即基于模型的方法 (Model-based Approach), Godambe 和 Cassel 等人分别介绍、确立了该方法的原理^[2]。目前基于模型的方法主要是:比估计方法 (Ratio Estimator) 和克立金空间统计方法 (Spatial Kriging)^[4]。

Matem 致力于基于模型的抽样方法的研究^[2],但除了 Mandallaz, Kangas 和 Gregoire 于 20 世纪初做了相关的研究工作外,环境监测调查方面的研究文献主要是介绍基于设计的抽样方法,在林业调查中基于模型方法的应用并不广泛,因为相对于基于设计的抽样,该方法需依赖于模型,这就要考虑建模失败的情况,而且该方法需对总体进行假设,并且要选择模型和抽样偏差,为此人们更提倡基于设计的抽样方法。

1.2 森林调查技术发展过程

在早期调查中,经常用目测法,该法经济又快捷,有经验的林业工作者不借助任何测量工具,靠目测来估计森林蓄积。20 世纪初这种方法应用于北

美、北欧。在北欧一些国家特别是在芬兰,目测法用于为制定林分管理计划而获取森林资源数量的数据。

1900 到 1920 年间,林业文献中逐渐出现了统计学理论和应用,当时北欧国家对该领域做了较多的研究工作,20 世纪 30 年代,森林调查的样地布设广泛采用覆盖一定比例面积的固定宽度的连续样带,这样既可满足森林调查目的又可同时绘制森林林相图。

1921 和 1963 年之间,芬兰学者 Ilvessalo 使用系统布设样地和系统抽样的估计方法进行了第一个为期 4 年 (1927、1942、1956、1962 年) 的国家森林资源调查 (National Forest Inventories)。与此同时,北欧其他一些国家也开始了国家级森林资源调查,并使得这种技术与方法得到了飞跃发展。然而人们发现系统带状样地法并不是最有效的,所以样地形状逐渐由样带转变为按一定距离间隔排列的线样地 (Line plot),并在样线上布设相对小的方形或圆形样地。相对于系统带状样地法,系统线样法可在一定精度要求下调查更少的区域,并也有绘制林相图的功能。在这其间,基于统计学的方法大量地应用于森林调查中。1932 年美国著名林业工作者 Schumacher 和 Bull 应用统计学方法开展了森林调查,并研究了抽样误差。1934 年美国统计学者 Mudgett 和 Gevorkiantz 通过假设调查目标总体呈随机或分层的不同特点,用二项分布、泊松分布等模型研究了森林面积估计量可靠性的评价方法。随后 Girard 和 Gevorkiantz 编写了大量森林抽样误差的专著,1942 年 Schumacher 和 Chapman 出版了第一部关于抽样的著作。

20 世纪 40 年代,森林调查主要应用系统布设带状样地和线样地的方式,所以该时期最多的争议是关于系统抽样的方法,这些争论对森林抽样调查的发展起了很大的推动作用^[2]。森林调查的另一个重要发展是不等概抽样理论和方法的提出^[5],即 PPS 抽样 (Sampling with Probability Proportional to Size)。奥地利林学家 Bitterlich 于 1948 年创立了点抽样,即毕特利希法 (Bitterlich Method),我国称角规测树。美国的格鲁森保 (Grosenbaugh) 用不等概抽样理论对角规抽样原理做了解释,打破了长期以来用固定面积标准地进行每木检尺测定林分断面积的传统,引起了森林调查工作中许多理论与实践的变革。

1942年 Jessen^[2]提出部分重复抽样(Sampling with Partial Replacement,简称 SPR),即在每期更换一部分样本(临时样地),1947年 Stott提出了森林连续清查体系,每隔一定时间对样地里计数的树木进行重复地测定,1959年 Bickford提出将永久样地的增长信息与临时样地蓄积信息相结合的清查系统,1962年 Wafe和 Cunia把这种抽样估计方法应用于两期森林连续清查中,1963年 Bickford对美国东北部森林资源进行了分层结合双重抽样的 SPR 调查,并认为该抽样设计效率较高。

20世纪早期航空相片开始用于林业调查,进行判读和双重抽样。近些年来,芬兰和许多其它国家的国家级森林调查已经向多资源调查方向转变,人们开始从卫星图片获取信息,现在卫星图像开始逐步取代航空像片^[2]。

据宋新民等^[5]撰写的《抽样调查技术》和肖兴威^[6]编写的《中国森林资源清查》书中介绍,我国从1953—1962年完成了第一次全国森林资源调查,主要采用经验目测法,带状标准地法估计林分(小班)蓄积量,还有相当大部分森林是采用航空目测调查和地面调查相结合的方法估计森林面积和蓄积量。我国最早抽样技术的应用是1957年角规测树引入我国。随后10多个省(自治区)采用抽样方法进行了森林经理调查。1977—1981年,全国建立了森林资源连续清查体系,到2003年全国已先后进行了4次复查,布设的固定样地数量达到41.5万个。近十几年来,我国的森林资源调查事业发展非常迅速,尤其是航空摄影、卫星遥感、计算机等技术的发展和运用,使我国森林资源调查技术已经接近世界先进水平。

2 森林调查主要抽样方法应用研究现状

一般来说调查目标的分布可以分为:均匀分布、随机分布和稀少群团分布。由于总体目标的分布不同可能导致抽样调查技术与方法多种多样。以下是以郁闭的森林资源为主要调查目标的抽样方法(等概抽样、不等概抽样、基于遥感的抽样)和针对稀疏群团总体的抽样方法的研究应用进展。

2.1 等概抽样

这里主要论述我国森林等概抽样调查的主要方法以及它们在森林调查中应用的研究现状,包括简单随机抽样、系统抽样、分层抽样和整群抽样4种基

本方法。

2.1.1 简单随机抽样 该方法在林业调查中应用很普遍,不仅适用于大面积林区,也适用于林分或伐区调查。1974年于璞和介绍了如何在森林资源清查中实施简单随机抽样^[7]:(1)用样点到第*i*株最近木的平均距离推算每公顷株数;(2)以测定样点附近几株立木的直径和树高,确定单株木的平均材积,将此两项相乘得到每公顷材积,这种方法不设标准地、测定简单,并能客观地估计抽样误差,所以省时省力。孟繁民等^[8]用简单随机抽样方法对宁安市江东林场林木进行了抽样调查,得出了江东林场近三年森林资源非生产消耗量调查测算结果,并根据结果提出了可行性建议;金来武等^[9]在种群空间格局研究的基础上,对油松毛虫(*Dendrolimus punctatus tabulaeformis* Zhao et Wu)蛹种群简单随机抽样技术中最适样方大小的确定问题进行了研究,还给出了考虑抽样花费时确定最适样方大小的各种方法。

2.1.2 系统抽样 该方法组织样本简便,外业样本定位易于实施。在实践中,系统抽样容易受周期性的影响,有时周期性影响可能导致较大误差。当系统样本内两两单元间相关性越小(即方差越大)抽样误差越小、越接近简单随机抽样。我国在1977年开始建立的全国森林资源连续清查体系,采用以公里网交叉点作为样点定位的系统抽样方法,目前安徽省采用3 km × 4 km点间距网格,先在1:50 000地形图上布设样点,每隔5年重复测量样地内全体够检尺样木,用以推算全省森林资源现状及消长变化^[6,10]。贾云奇^[11]以红松(*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.)林为研究对象,介绍了系统抽样法的原理与实施;余国宝等^[12]也应用自助法(Bootstrap主要用以解决有偏估计量消除偏性和小样本估计量不依赖于正态分布理论的精度估计问题的方法)样本对森林系统抽样误差进行了初步研究;于峰等^[13]对系统抽样在三类调查中的应用做了研究,讨论了样本单元数的确定、布点、外业调查、现地区划、小班调查和样地调查等过程的具体实施,并认为系统抽样比简单随机抽样精度高。

2.1.3 分层抽样 该方法要对总体事先有一定认识,能提供分层使用的某些资料;然后合理地分层,分层的结果应使同一层内单元值保持差异不大。在总体单元标志值变动较大的情况下,运用分层抽样比简单随机抽样可以得到更准确的结果。毕庆雨^[14]介绍了分层随机抽样的基本概率和基本原理,

引进了关于层的最优配置和效率的概念;黄清麟^[15]采用分层抽样法对南方的杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook)进行了不同单元面积的抽样调查,从抽样精度和调查成本方面得出:400 m²是比较经济合理的杉木样地调查面积;杨道武^[16]以旌德县森林资源为研究对象,采用简单随机抽样、分层抽样和回归估计 3 种抽样方法对该县的森林蓄积量进行调查估计,得出分层抽样的精度最高。向小芹等^[17]研究了分层抽样法在退耕还林工程水土流失监测中的应用,以陕西富县退耕还林工程退耕地水土流失监测结果为例,探讨和分析退耕还林工程水土流失监测的途径,最后得出对该退耕还林工程运用分层抽样技术,可获得较高估计精度的结论。

2.1.4 整群抽样(群团抽样) 该方法与简单随机抽样相比较,在抽样比相同的情况下,前者抽样误差较后者大,但由于这种抽样组织形式可以节省费用和时间,所以可以适当地增加样本单元数,以达到减少抽样误差,达到抽样估计的目的。在实际工作中成群抽样方法被广泛采用。曾伟生等^[18]对两阶群团抽样设计在森林调查中的应用及其效率进行了研究,定义了扩大因子、提出了效率系数的概念,并推导出效率系数等于 1 的临界状态的相关系数的表达式,为群团抽样设计和效率评估提供了重要依据,此外还对群团抽样估计效率与群内样地间距的关系进行了深入研究;周春国^[19]构造了样群结构及成本结果的效率函数,按使其最大原则确定最优样群结构。刘健^[20]探讨了整群抽样在平原绿化调查中的应用,将村作为群,每群所包括的单元数为各村的占地面积数,由于每个村面积不等,即划分的群是不等群,对陵县、临邑两县村庄绿化率进行了调查,用不等群估计方法进行总体估计。

这 4 种基本抽样方式在原理上有两点不同:(1)抽取样本单元可用随机或系统方式;(2)样本单元可以是相等的(单阶抽取),也可以是不相等的,而且初阶、次阶等样本单元是在每阶分别抽取的(多阶抽取),整群抽样是多阶抽样的一种形式。全国营造林实绩综合核查,为了便于样本单元的组织 and 抽取,就采用了二阶抽样的方法。实践表明多阶抽样在许多森林资源监测调查中也是一种高效率的方法^[21]。

2.2 不等概抽样

1943 年,Ham sen 与 Hurwitz 提出了不等概抽样的理论和方法^[5],随着不等概抽样理论的发展,出现

了另一种类型:概率与估计值大小成比例的抽样,简称为 PPES 抽样(Sampling with Probability Proportional to an Estimate of Size)。美国的格鲁森堡于 1963 年提出了 PPP 抽样(Probability Proportional to Prediction),即 3P 抽样。20 世纪 70 年代后期美国林学界开始两阶抽样方法研究^[22],先后设计出 3 种 HPS(水平点抽样)/PPS(不等概率抽样)抽样方法,20 世纪 90 年代设计出的第 3 种方法,即第一阶为水平点抽样,第二阶为简单随机抽样,随机样本限制在第一阶样点内,样本选取是按与直径平方成比例的概率进行,特别适用于大面积的总体调查,而且对树龄较大的天然混交林更呈现出它的优点。

我国林业上最早抽样技术的应用是 1957 年角规测树的引入,后来不断探索并应用角规点抽样等方法。徐祯祥等^[23]将毕特利希的角规测树原理和日本的平田种男的用垂直角规抽取树高计数木原理相结合,并依据大偶真一求形高的方法,分别获得林分的单位面积断面积、样木树高和形高,从而推出林分的平均蓄积,得出总蓄积估计,此方法具有较高的实用价值。张伏全等^[24]采用不等概率重复抽样,以县为抽样总体,对各小班造林成活率进行不等概率抽样调查,研究了云南省 4 个县(市)的造林成活情况。汪丽等^[25]以扎兰屯东山的兴安落叶松(*Larix gmelinii*(Rupr)Rupr)人工林为研究对象,随机布点进行角规点抽样,结果表明角规点抽样法不仅在精度上优于标准地调查,而且简单易行。王小昆等^[26]应用了中央断面积区分求积法求材积,开发了 3P 抽样的程序,自动产生随机数,从而使得 3P 抽样的过程变得简易。

不等概率抽样技术所形成的方法体系,其内容是相当丰富的。它可以分别与抽样调查的各种组织形式及其他技术方法相结合,构成各种不同形式的不等概率抽样方法。刘良才^[27]针对造林验收介绍了二阶系统抽样调查法,该法是多阶系统抽样的应用,也是一种面积等距不等概的抽样方法,用比值估计法推算核实面积,肇庆市的 12 个县(区)在 1988 年造林检查验收中,首次采用了该调查方法,收到了比较满意的效果。彭念一^[28]在其发表的论整群不等概抽样技术中讨论了不等概抽样在不等群抽样中的应用问题及原理,并论述了应用不等概率抽样应注意的问题,如何得到较好的抽样估计效果。周超等^[29]分析了分层多阶不等概抽样的样本结构性偏差产生的原因,探讨了数据加权调整方法,并进行了

实例研究。

事实说明,不等概抽样在组织样本和对资料进行分析及对总体参数的估计,都比等概抽样复杂,但是在一定条件下,采用不等概抽样方法要比等概抽样得到更高的估计效率^[5]。

2.3 基于遥感的抽样调查

遥感技术可缩短森林资源清查的周期,快速、准确、高质高效地获取森林资源的各种数据,评价森林资源的质量与效益,实现森林资源的定期甚至是实时监测^[30]。

第二次世界大战爆发时,抽样方法开始结合航空摄影测绘技术。1946年森林调查开始应用航空像片进行导航。1955年罗杰斯在伊朗建议用一种非独立的三相抽样,然后用回归分析来研究这些联合样地在像片判读和地面测定之间的相关,最终求得所需的总材积。洛茨在泰国应用具有独立相的二阶抽样,估计各层面积时只用航空像片,在像片上用截距法抽样,在第二相内,每层的平均材积是按所谓野外营地单位独立抽取的^[1]。唐守正^[31]对面积的两相抽样和蓄积的两相抽样的结合使用进行了研究,提出了关于面积蓄积统计的原则。葛宏立^[32]对两相抽样地类合并后蓄积估计方法进行了探讨,认为地类合并后的平均蓄积根据合并前各地类的平均蓄积按各地类修正后的面积成数加权计算会比较合理,并提出了新算法,避免了以往地类合并后计算蓄积的算法所引起的问题。余平^[33]阐述了卫星相片在森林资源调查中应用的方法和步骤。朱维凡^[34]介绍了 PR (PPS和 Remote Sensing的开头字母)抽样设计估计蓄积量的方法,PR 抽样是一阶单元采取 PPS,二阶单元采取 RS (Remote Sensing)的抽样方法。林春芳^[35]将卫星相片的分辨能力与分层抽样相结合。章礼拐等^[36]将遥感图像处理技术与分层抽样相结合调查森林蓄积量,精度达到国家规定要求,节省了调查成本。熊泽彬^[37]研究了遥感技术在连续清查应用中的抽样效率,讨论了影响双重抽样一致率的因子及因子间的关系,找到提高一致率的方法,从而达到提高抽样精度的目的。肖银松^[38]介绍了基于“3S 技术”的抽样方法、“3S”及抽样技术应用的国内外现状,并对其在森林动态监测中的应用特点进行了简要概括。2006年, Piemaria等^[39]对成行林带的调查方法进行了研究,调查的主要目的是估计总体参数。从航空像片可获得树木的行数,并直接算出这些估计量,在这种情况下可应用二阶整

群抽样,以行为初级样本,抽取若干行,然后在抽取的行中抽取树木,也可以优势树种和年龄为分层标准采用二阶分层抽样。

有关学者认为光测量、测距是可以用来测量树木的高精度测量工具,尽管该项遥感技术还没有作为实际测量工具而广泛应用,它仍有很大的研究意义和应用于森林测量中的潜力^[40]。

上世纪 70 年代,我国建立了国家森林资源连续清查体系;90 年代,在联合国开发计划署 (UNDP)援助下我国实施了“建立国家森林资源监测体系”项目,进行了遥感技术在国家森林资源连续清查中的应用示范研究,将遥感技术应用于国家森林资源监测;1999—2003 年开展的第六次全国森林资源清查,全面地应用了遥感技术。

2.4 针对稀疏总体分布的抽样方法

因为传统抽样方法没有考虑稀疏总体明显存在的空间分布差异,将可能导致调查成本增加或估计结果出现偏差;尽管目前广泛应用的遥感技术、全球定位系统、地理信息系统 (3S 技术)和专家预测预报系统等为评价植被资源状况提供了有力的技术支撑,然而由于稀疏植被资源的相对稀疏 (少)性和空间分布的独特性,这些技术的应用仍不能全面准确测定和预估调查区域的稀疏植被及其生态环境因子信息。针对稀疏总体的抽样方法则能够提高对这类分布对象的抽样效率,弥补了传统抽样方法失效、最终样本中观测目标信息几乎为零的缺点。以下几种是针对稀疏、簇状分布总体调查的常用的技术与方法。

2.4.1 适应性群团抽样方法 (ACS) Thompson^[41]于 1990 年发表了题为“Adaptive Cluster Sampling”的论文,提出了适应性群团抽样来调查群团状、散生分布目标。其操作规则为先从总体中按照某种抽样方法选取一定容量的初始样本,再根据每个样本单元的观测值进行自适应抽样,当样本单元的观测值满足某条件 (即入样条件)时,其周围邻近的样本单元加入到样本,否则不进行扩充。再根据新加入的样本单元观测值判断是否将此样本单元周围邻近的样本单元也加入样本,并以此类推,直到无法再加入任何新的样本单元时,抽样过程结束。适应性群团抽样的估计量目前主要应用修正的 Hansen-Huwitz (HH)和 Horvitz-Thompson (HT)估计。

国外对适应性群团抽样技术理论上和实践上的研究较多,针对稀疏、群团分布的植被已大量应用该

法进行了调查和效率分析。Roesch^[42]将不等概抽样与 ACS 技术结合,开发了适应性群团的森林调查系统,并用点抽样模拟了 3.1 hm² 混交林分树种密度,验证了 ACS 的潜在效率。Talvitie 等^[43]使用简单随机抽样和 ACS 抽样技术,调查了赫尔辛基市所属的 3 700 hm² 森林公园内的枯损木数量,比较了传统抽样方法与 ACS 方法的效率。除此之外在鸟类数量^[44]、海洋和水生资源数量调查^[45-46]中适应性群团抽样也得到了应用。国内,张南松^[47]针对人们所熟悉的害虫种群的空间分布及相应的密度估计,提出了二阶适应性整群抽样方法,应用该技术调查害虫的密度、研究农作物害虫种群分布,并从理论上证明这种抽样设计是一个无偏估计,方差也比较小。雷渊才等^[48]介绍了适应性群团抽样技术在森林资源清查中的应用,引用具体案例说明如何使用自适应群团抽样设计、方法和技术步骤,分析比较了不同估计方法的抽样效率,并指出该抽样技术及其应用时存在的问题。有关详细研究现状见雷渊才等^[49]发表的文章。

2.4.2 其他抽样方法 近年来应用研究较多的适用于稀疏总体的其他几种抽样方法是:

样带抽样 (Strip Sampling) 经常用于稀疏总体调查。样带抽样可以看成样地面积很大的样地抽样调查,根据计算,最简单情况是研究区域分成几个非重叠样带,从中随机抽选若干样带。样带可以间隔一定距离抽选,也可以重叠 (部分) 抽选。抽样调查倒木或林内粗木质时,如果原木粗大的一端置于带样地内或者原木一部分在带样地内则测量整个原木。Shiver 等提出该方法存在一个问题,即各样带通常是不同的长度、面积,这样它们的平均估计值对于总体平均数是无效的,Stehman 等认为这个问题可以通过将样带面积作为辅助变量来解决^[2]。

线截抽样 (Line Intersect Sampling) 在某区域内布设一条具有一定方向角的样线,则与该线相交的所有目标入样,每棵树的概率取决于抽样线长度和树的有效长度,如果将树看成一条线,则可直接根据其于抽样线所成的夹角计算。该方法由 Canfield^[50]提出并在 20 世纪 60 年代得到发展应用,目前线截抽样方法广泛应用于估计林地粗木质残体、倒木、野生动物、估计公路长度等。Esseen 等^[51]提出并评价了用线截抽样在航空相片上收集森林边缘数据的方法,为调查林地森林边缘量 (森林和非森林生态系统之间或两片林地之间的交界面)、进而理解和减轻

“森林碎片”对森林生物多样性的影响提供了精确而有效的方法。研究表明,线截抽样结合航空相片有很大的应用潜力。刘素青^[52]系统地研究了林木株数调查的线截抽样原理与方法,在不同的针叶林和阔叶林中进行了试验,并与传统的样地法进行比较,认为该方法可行、可靠,抽样效率高,抽样效率比普通的样地方法高出 4 倍以上。他还研究了采伐剩余物的线截抽样原理和方法^[53],在应用中既可使用单条样线进行估计,也可以使用多条样线进行估计,在计算机上应用线截抽样估计原理模拟了采伐剩余物的调查情况,精度较高。同年,刘素青^[54]以 Buffon 随机投针问题为原理,提出了以线截抽样为原理的线状物体的调查方法,在计算机上模拟了路网调查,得出了线截抽样完全适用路网调查的结论,并认为可以推广到林网及防护带的调查。

样线法 (Line Transects Sampling) 以观测目标所在的样线为基础,用于估计野生动植物总体密度,是野生动物种群数量调查的常用方法之一。早在 1906 年,美国学者 Gm ss 在伊利诺斯州的鸟类普查中就运用了样线调查的方法^[55]。如果目标随机分布在区域内,观察目标的概率取决于距样线的距离,距离越长观测概率越小,这种方法具有完备的理论基础。样线调查方法的内容一般包括样线布设、数量调查和密度计算,该法通过对样线条带内的个体进行绝对数量调查,来反映整个地区的种群数量或密度。总体密度的估计方法主要有窄带法 (Narrow-strip Method)、目视修正法 (Smooth-by-eye Method)、参数法 (Parameter Methods) 和非参数法 (Nonparametric Methods)^[56]。许龙^[55]在其发表的文章中介绍了样线法在鸟类调查中的发展历史、基本原理和主要类型,并对 4 种常用的种群密度计算方法,即条带最大记数法、Gates 截线法、Fourier 截线法以及距离取样法进行比较和总结,认为在鸟类野外数量调查中应记录鸟类个体到样线的垂直距离,并使用距离取样法来计算鸟类的种群密度,能够得到更为准确的结果。熊国经等^[57]把几种密度估计法用于计算机模拟产生测线调查的距离数据,由统计量 RRMSE (Relative Root Mean Square Error) 和 RB (Relative Bias) 对推定值进行评价,验证了各种估计方法的优劣。国外林业工作者常用这种技术与方法调查野生动植物总体密度,对于该技术的应用我国还有些差距。

3 抽样方法研究展望及存在的问题

调查具有不同总体特征和分布的目标对象,需

要研究寻求适宜的抽样技术与方法。我国林业的目标正在从传统的以木材生产为主的格局向以生态建设为主的格局转变,与其相应的森林资源调查目标也以由传统的林木资源调查向森林多资源调查方向转变和发展。森林资源调查内容和信息的增加及变化(如生物多样性的调查、森林中病虫害发生分布调查、林下非木质资源调查和珍贵濒危树种分布的调查等等)和森林多资源的分布导致需要在传统方法基础上研究新的理论和技术。

各种抽样方案配合不同的估计方法构成了各种新的调查方法,这是森林多资源调查技术与方法的发展方向,如:分层回归、双重抽样、回归整群抽样等。多阶抽样各阶样本单元的抽取方法,可以用简单随机抽样、系统抽样或 PPS 抽样等。

同样,传统抽样方法与针对稀疏总体的抽样方法相结合也越来越普遍,也是未来研究发展的重点和趋势。可以把适应性群团抽样与简单随机抽样、系统抽样、分层抽样、多阶抽样等传统抽样方法结合起来设计出特定的抽样方案。

此外,抽样调查的内业分析处理工作非常复杂和庞大,没有适合的模拟软件几乎是不可能获取抽样统计分析结果和评价指标的。因此,不同抽样方法的模拟软件的研制和开发是未来必不可少的手段和工具。

综合抽样调查方法的研究现状和发展趋势,抽样调查在森林资源调查中存在以下几个问题:

(1)虽然现有的针对稀疏总体的抽样方法为森林多资源清查和生物多样性调查提供了准确、迅速、简便的抽样技术,但这些方法对于其他类型分布总体的调查效果还需进一步研究,而且这些方法是否能有效地用于普通森林资源调查也有待于研究,如:相对于传统抽样法,适应性群团抽样是否对于均匀随机分布的总体也有较高的抽样效率。

(2)许多新的抽样技术毕竟只有十几年,还有很多理论上和实践上的问题需要进一步研究、不断改进完善,比如适应性群团抽样理论的响应设计理论、在调查某个对象的实际应用时具体步骤,例如样地如何布设(形状、大小、数量的确定)等非常有必要开展探讨。

(3)森林资源调查和监测的抽样方法很多,各种方法的适应性、精度和效率如何证实、各种抽样方法之间结合的效率及合理性如何评价等很多问题是需要解决和完善的工作。

(4)地面抽样技术作为“3S 技术地面核查的必要手段,仍然是资源清查和评价工作中获取森林植被信息不可替代的工具,所以根据调查目标总体特征、针对实际调查对象需要研究相应的抽样调查方法,并建立抽样体系,并且如何将地面抽样技术与“3S 技术更加紧密的结合、相互更好的协作还要不断的进行探究。

参考文献:

- [1] 林昌庚. 森林资源清查 [M]. 沙琢译. 北京:中国林业出版社, 1985
- [2] Annika Kangas, Matti Maltamo. Forest Inventory Methodology and Applications[M]. New York: Springer, 2006
- [3] Cochran W. G. Sampling techniques[M]. New York: Wiley, 1977
- [4] Philippi T. Adaptive cluster sampling for estimation of abundances within local populations of low-abundance plants[J]. Ecology, 2005, 85(5): 1091 - 1100
- [5] 宋新民, 李金良. 抽样调查技术 [M]. 北京:中国林业出版社, 2007
- [6] 肖兴威. 中国森林资源清查 [M]. 北京:中国林业出版社, 2005
- [7] 于璞和. 薪炭林材积的简单抽样调查法 [J]. 林业勘察设计, 1974(3): 31 - 36
- [8] 孟繁民, 徐绍春, 杨晓明. 随机抽样调查方法在森林资源非生产消耗量调查中的应用 [J]. 林业资源管理, 1995(4): 5 - 36
- [9] 金来武, 赵瑞华. 油松毛虫蛹种群简单随机抽样最适样方大小的确定方法 [J]. 辽宁林业科技, 2001(2): 42 - 44
- [10] 施建荣. 森林资源连续清查和系统抽样 [J]. 安徽林业, 2002(2): 13
- [11] 贾云奇. 系统抽样法在更新造林成活率调查中的应用 [J]. 东北林业大学学报, 1989, 17(2): 84 - 87
- [12] 余国宝, 钱祖煜. 应用自动法样本估计森林系统抽样误差的初步研究 [J]. 云南林业调查规划, 1993(1): 1 - 7
- [13] 于峰, 张彬, 代启光. 简述系统抽样在三类调查中的应用 [J]. 林业勘察设计, 2003(2): 41
- [14] 毕庆雨. 森林分层随机抽样调查 [J]. 河北林学院学报, 1989, 4(3): 11 - 23
- [15] 黄清麟, 陈平留, 林金国. 杉木样地调查面积初探 [J]. 中南林业调查规划, 1992(2): 18 - 21
- [16] 杨道武. 森林资源二类调查总体蓄积抽样控制最佳方法的选择 [J]. 安徽林业科技, 1993(3): 35 - 36
- [17] 向小芹. 分层抽样法在退耕还林工程水土流失监测中的应用 [J]. 陕西林业科技, 2006(2): 9 - 11
- [18] 曾伟生, 骆期邦, 彭长清. 两阶群团抽样在森林调查中的估计效率研究 [J]. 林业科学研究, 1995, 8(5): 483 - 488
- [19] 周春国, 林昌庚, 彭世揆. 整群抽样最优结构的研究 [J]. 南京林业大学学报, 1996, 20(2): 44 - 48
- [20] 刘健, 魏利军. 整群抽样在平原绿化调查中的应用 [J]. 山东林业科技, 2001(增刊): 42 - 43
- [21] 王海霞. 谈二阶抽样调查在林业资源监测中的应用 [J]. 华东森林经理, 2003, 17(3): 31 - 33

- [22] 文彦, 桂来庭. 国外用两阶抽样估计森林蓄积 [J]. 中南林业调查规划, 1995 (1): 63
- [23] 徐祯祥, 张智鹏, 刘建生. 测定林分蓄积的角规两维点抽样方法 [J]. 河南林业科技, 1997, 17 (1): 1 - 4
- [24] 张伏全, 魏汉功, 李映根. 不等概率两阶抽样核查评估长防绿化工程的初步研究 [J]. 西南林学院学报, 1994, 14 (1): 34 - 38
- [25] 汪丽, 崔彤. 角规点抽样在林分蓄积量调查中的应用 [J]. 内蒙古林业调查设计, 1997 (4): 130 - 132
- [26] 王小昆, 冯仲科, 郝星耀, 等. 电子角规用于 3P 抽样测定林分蓄积的研究 [J]. 林业资源管理, 2005 (3): 38 - 42
- [27] 刘良才. 二阶等距抽样在造林验收中的应用 [J]. 中南林业调查规划, 1990 (3): 23 - 25
- [28] 彭念一. 论整群不等概率抽样技术 [J]. 统计研究, 1998 (3): 57 - 59
- [29] 周超, 孙秋碧. 分层多阶不等概抽样中样本结构性偏差产生的原因及其修正方法 [J]. 统计与信息论坛, 2004, 19 (6): 16 - 18
- [30] 黎颖卿, 黄宁辉. 浅谈遥感在我国森林资源监测中的应用现状 [J]. 防护林科技, 2006 (4): 61 - 64
- [31] 唐守正. 关于两相抽样面积蓄积统计的原则 [J]. 林业资源管理, 1996 (4): 17 - 21
- [32] 葛宏立, 韦希勤. 两相抽样地类合并后蓄积估计方法探讨 [J]. 林业资源管理, 2001 (1): 43 - 45
- [33] 余平. 卫星相片在森林资源调查中的应用 [J]. 云南林业调查规划设计, 1998, 23 (4): 19 - 20
- [34] 朱维凡, 韦希勤. PR 抽样在森林蓄积量调查中的应用 [J]. 内蒙古林业调查设计, 1999 (1): 26 - 27
- [35] 林春芳. 卫星像片估测森林蓄积量的方法初探 [J]. 林业科技, 2000, 25 (5): 15 - 17
- [36] 章礼拐, 汪乃武. 利用 TM 图像进行二类调查中的分层抽样技术 [J]. 安徽林业科技, 2000 (2): 1 - 3
- [37] 熊泽彬. 遥感技术在连清应用中的抽样效率研究 [J]. 中南林业调查规划, 2001, 20 (1): 62 - 64
- [38] 肖银松. "3S" 及抽样技术在森林资源动态监测中的应用 [J]. 西南林学院学报, 2004, 24 (2): 60 - 64
- [39] Piemaria Corona, Lorenzo Fattorini. The assessment of tree row attributes by stratified two-stage sampling [J]. Springer-Verlag, 2006 (125): 57 - 66
- [40] David L E, Scott D R, Robert C P. LiDAR-A new tool for forest measurements [J]. The Forestry Chronicle, 2006, 82 (2): 211 - 218
- [41] Thompson S K. Adaptive cluster sampling [J]. Journal of the American Statistical Society, 1990 (85): 1050 - 1059
- [42] Roesch F A. Adaptive cluster sampling for forest inventory [J]. Forest Science, 1993 (39): 655 - 669
- [43] Talvitie M, Leino O, Holopainen M. Inventory of sparse forest populations using adaptive cluster sampling [J]. Silva Fennica, 2005, 40 (1): 101 - 108
- [44] Smith D R, Conroy M J, Brakhage D H. Efficiency of adaptive cluster sampling for estimating density of wintering waterfowl [J]. Biometrics, 1995 (51): 777 - 788
- [45] Conners M E, Schwager S J. The use of adaptive cluster sampling for hydroacoustic surveys [J]. ICES Journal of Marine Science, 2002, 59: 1314 - 1325
- [46] Smith D R, Villella R F, Lemarie D P. Application of adaptive cluster sampling to low-density populations of freshwater mussels [J]. Environmental and Ecological Statistics, 2003 (10): 7 - 15
- [47] 张南松, 祝增荣, 胡秉民. 应用二阶适应性整群抽样估计害虫密度 [J]. 浙江大学学报, 2000, 26 (6): 617 - 620
- [48] 雷渊才, 唐守正. 适应性群团抽样技术在森林资源清查中的应用 [J]. 林业科学, 2007, 43 (11): 132 - 137
- [49] 雷渊才, 唐守正. 适应性群团抽样技术方法和应用研究进展 [J]. 林业科学, 2009 (待发)
- [50] Canfield R H. Application of the line interception method in sampling range vegetation [J]. Journal of Forestry, 1941, 39: 34 - 40
- [51] Per-Anders Esseen, Ulrika Jansson K, Mats Nilsson. Forest edge quantification by line intersect sampling in aerial photographs [J]. Forest Ecology and Management, 2006, 230: 32 - 42
- [52] 刘素青, 彭世揆. 林分株数线截抽样估计原理的研究 [J]. 甘肃农业大学学报, 1998, 3 (1): 68 - 73
- [53] 刘素青, 彭世揆. 采伐剩余物的线截抽样技术理论研究 [J]. 湛江海洋大学学报, 1998, 18 (2): 73 - 77
- [54] 刘素青, 洪家胜, 彭世揆. 线截抽样 (LS-Line Intersect Sampling) 与线状物体 (林网、路网) 调查原理研究 [J]. 江西农业大学学报, 1998, 20 (3): 376 - 380
- [55] 许龙, 张正旺, 长青. 样线法在鸟类数量调查中的运用 [J]. 生态学杂志, 2003, 22 (5): 127 - 130
- [56] Thompson S K. Sampling [M]. John Wiley and Sons, NC, 2002
- [57] 熊国经, 熊权. 对于测线调查样本的生物分布密度推定的几种方法的比较研究 [J]. 江西教育学院学报, 2004, 25 (6): 6 - 9