

森林资源调查监测中各级储量数据的一体化方法研究

曾伟生, 杨学云, 孙乡楠, 刘樯漪, 张宇超

(国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714)

摘要: 开展国家和地方森林资源一体化调查监测, 将各省森林储量数据分解落实到市、县、乡各级乃至每一个森林图斑, 是推进各级林长制督查考核的必然要求。基于近年北京市森林资源调查监测的数据资料, 以全市森林储量为总体控制数, 利用蓄积量估测模型及三储量(蓄积量、生物量、碳储量)联立模型, 将储量数据落实到图斑; 在有森林资源规划设计调查数据可参考的前提下, 可统筹考虑不同数据的误差, 采用联合估计的方法, 对市、县级数据进行适当调整。通过建立北京市的森林蓄积量估测模型和三储量联立模型, 将 2021 年全市的森林蓄积量、生物量和碳储量全部分解落实到区级、乡级和每一个森林图斑, 实现了市、区、乡 3 级储量数据的一体化。研究表明: 本文提出的应用模型技术将森林三储量分解落实到图斑的做法, 在实践中是可行的。

关键词: 森林蓄积量; 森林生物量; 森林碳储量; 联立模型; 联合估计

中图分类号: S757.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6622 (2022) -00

DOI: 10.13466/j.cnki.lyzygl.2022.04.000

A Study on Integration of Forest Stock Data at Different Levels in Forest Inventory and Monitoring

ZENG Weisheng, YANG Xueyun, SUN Xiangnan, LIU Qiangyi, ZHANG Yuchao

(Academy of Forestry Inventory and Planning, National Forestry and Grassland Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: It is necessary to conduct national and local integrated forest resources inventory and monitoring, and implement decomposition of provincial forest stock data to prefecture-, county-, and township-level, and even every forest stand polygon, for promoting the supervision and assessment of forest chief system at all levels. Based on the data of forest resources inventory and monitoring in recent years in Beijing, the procedure for implementing decomposition of forest stock data into all stand polygons was presented, where the amount of municipal forest stock was taken as the total for control, and forest volume prediction model and simultaneous model of three forest stocks (volume stock, biomass stock and carbon stock) were applied. Given the data of forest resources planning and designing inventory for reference, the joint estimation method can be adopted to adjust the data of prefecture- and county-level appropriately, while the errors of different data need to be considered as a whole. Through the establishment of forest volume prediction model and simultaneous model of three forest stocks in Beijing, the forest volume, biomass and carbon storage of Beijing in 2021 were decomposed to district-, township-level and every forest stand polygon, realizing the integration of stock data at municipality, district and township level. It is showed that the method of applying modeling technology to decompose three forest stocks into forest stand polygons presented in this study is feasible in practice.

Key words: forest volume, forest biomass, forest carbon storage, simultaneous model, joint estimation

2022 年 1 月和 4 月, 自然资源部、国家林业和草原局就做好森林、草原、湿地资源调查监测工作, 相继联合下发了两个文件²³, 提出统一开展森林、草原、湿地调查监测工作是落实党中央、国务院关于机

² 自然资源部 国家林业和草原局. 关于共同做好森林、草原、湿地调查监测工作的意见(自然资发[2022]5号). 2022.

³ 自然资源部 国家林业和草原局. 关于开展 2022 年全国森林、草原、湿地调查监测工作的通知(自然资发[2022]65号). 2022.

构改革重大决策部署的重要举措,要求各级自然资源主管部门与林草主管部门高度重视、协同推进;还明确了开展 2022 年全国森林、草原、湿地调查监测工作的目标任务和职责分工,强调林草湿调查监测是一项重大的基础性自然资源调查监测工作,是推进生态文明建设的强基之举,是实现山水林田湖草沙系统治理的基础支撑。

为了做好林草湿调查监测工作,国家林业和草原局制定了《2022 年全国森林、草原、湿地调查监测技术方案》,对储量数据的统计分析,提出要“以林草资源面积数据为基础,利用储量调查样地得到的单位面积蓄积量、碳储量、产草量等储量数据,按分层抽样方法估计各省总体储量及省级以下分区(层)的储量,再按分级控制和平差原则,将总体储量数据逐级落实到地市、区县、乡镇、村屯和图斑,从而实现储量数据的点面耦合。”但如何做到点面耦合,尚未给出明确具体的方法。

本文利用近年北京市森林资源调查监测资料,基于试点工作经验及现有相关成果^[1-8],对森林资源调查监测中各级储量数据的一体化方法进行研究,以期开展全国林草湿调查监测的后期统计出数提供参考依据。

1 数据与方法

1.1 数据资料

本研究所用数据包括两部分:第一部分是固定样地数据,包含 2016 年北京市的森林资源连续清查 1 425 个乔木林固定样地数据和 2021 年国家林草生态综合监测评价项目北京市 8 689 个固定样地数据。固定样地复查和初查按《森林资源连续清查技术规程》^[9]执行,包括样地因子调查、样木因子调查和其他调查内容。第二部分是图斑监测数据,主要是 2021 年国家林草生态综合监测评价项目北京市 33.8 万多个乔木林图斑的监测数据,在 2020 年森林资源管理“一张图”更新数据基础上,融合了第三次全国国土调查数据,并利用最新高分遥感数据进行了更新。

1.2 基本方法

如何将宏观层面的森林资源连续清查样地数据与微观层面的森林资源规划设计调查小班数据(或森林资源管理“一张图”图斑数据)有机结合起来,解决长期以来国家与地方存在森林资源两套数的问题,一直都受到广泛关注^[1-3]。对于各省资源总量,笔者已经研究提出了利用校验样地修正更新森林面积数据、利用地面样地分层估计森林储量数据的基本思路^[8]。在此基础上,本文针对各级储量数据的一体化问题,研究提出以全省森林储量为总体控制数,利用森林蓄积量估测模型及三储量(蓄积量、生物量、碳储量)联立模型,将储量数据分解落实到图斑,从而确保各级总量等于下一级分量之和的技术路线。其关键技术环节,一是森林蓄积量估测模型及三储量(蓄积量、生物量、碳储量)联立模型的建立;二是如何应用这些模型,将全省储量落实到图斑。

1.2.1 储量模型研建

在森林三储量中,蓄积量是最基础、最核心的。生物量可以通过蓄积量和生物量转换因子得到,碳储量可以通过生物量和平均含碳系数得到。因此,储量模型的研建,首先是建立单位蓄积量估测模型,先解决蓄积量的估计问题,然后再建立三储量联立模型,得到与蓄积量估计相容的平均生物量转换因子(或转换因子模型)和平均含碳系数。

1.2.1.1 蓄积量估测模型

林分水平的单位面积蓄积量主要与断面积和平均高有关^[10-14]。除此之外,还与优势树种、起源、龄组、平均胸径、每公顷株数、郁闭度等林分因子有关^[15]。森林资源管理“一张图”数据库尽管缺少最关键

基金项目:国家财政专项“森林资源监测与评价”(2130207)

作者简介:曾伟生(1966-),男,湖南涟源人,博士,教授级高工,主要从事森林资源调查监测工作。Email: zengweis
heng0928@126.com

的林分断面积和平均高因子信息,但能提供平均胸径、每公顷株数、郁闭度等定量因子信息,以及优势树种、起源、龄组等定性因子信息。因此,从方法学角度考虑,可以建立以下3类蓄积量估测模型,即:只包含定性因子的线性模型(1)、只包含定量因子的非线性模型(2)及同时包含定性因子和定量因子的复合模型(3),其基本表达式如下:

$$M = a_0 + \sum b_{ij}x_{ij} + \varepsilon_M \quad (1)$$

$$M = a_0 D^{a_1} N^{a_2} P^{a_3} + \varepsilon_M \quad (2)$$

$$M = (a_0 + \sum b_{ij}x_{ij}) D^{a_1} N^{a_2} P^{a_3} + \varepsilon_M \quad (3)$$

式中: M 为单位面积蓄积量(m^3/hm^2), D 为林分平均胸径(cm), N 为每公顷株数, P 为郁闭度, x_{ij} 为定性因子(既可以是优势树种、起源、龄组等林分特征因子,也可以是坡向、坡位、土壤类型等立地因子) i 类型 j 的指示变量; $a_0, a_1, a_2, a_3, b_{ij}$ 为模型参数,其相应的 t 值一般应大于2或 p 值小于0.05,否则视为无统计学意义,应从模型中剔除; ε_M 为误差项,假定其服从均值为0的正态分布。

模型(1)相当于类型平均数估测模型, a_0 为固定参数, b_{ij} 为定性因子 i 类型 j 的响应系数(如第3个分类因子为龄组,第2类为中龄林,则 $i=3, j=2$);模型(2)是最常用的非线性模型结构形式, a_0, a_1, a_2, a_3 均为固定参数;模型(3)中的定性因子既可以作为哑变量对待,采用哑变量建模方法;也可以作为随机变量对待,采用混合模型方法^[6,16-17]。由于混合模型方法便于判定每个定性因子的统计显著性,尤其是定性因子及其所分类型数量较多时可以避免哑变量模型参数求解难收敛的问题,因此模型(3)建议采用混合模型。另外,因蓄积量数据具有异方差性,模型(1)~(3)的求解,应采用对数回归或加权回归估计方法^[18]。

1.2.1.2 三储量联立模型

建立三储量联立模型的主要目的,是要得到与蓄积量估计相容的平均生物量转换因子(或转换因子模型)和平均含碳系数,因此,联立模型中的蓄积量模型结构不一定与前述模型(1)~(3)相同,而应尽可能采用相关最紧密的因子,如,林分断面积和平均高^[5,19]。三储量的估计在逻辑上存在递进关系,即:首先根据林分断面积 G 和平均高 H 估计蓄积量 M ;再基于蓄积量估计值通过生物量转换因子(与 G, H 等林分特征因子相关)估计生物量 B ;最后基于生物量估计值通过平均含碳系数估计碳储量 C 。这样,3个储量模型就构成一个具有递进关系的联立方程组,即:

$$\begin{cases} \hat{M} = a_0 G^{a_1} H^{a_2} \\ \hat{B} = b_0 G^{b_1} H^{b_2} \hat{M} \\ \hat{C} = c_0 \hat{B} \end{cases} \quad (4)$$

式中: $\hat{M}, \hat{B}, \hat{C}$ 分别为单位面积蓄积量、生物量和碳储量的估计值, G 为林分断面积(m^2/hm^2), H 为林分平均高(m); $a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, b_2, c_0$ 为模型参数。模型(4)可采用ForStat软件“统计分析”模块中的“非线性误差变量联立方程组”进行求解^[20]。考虑到将模型(4)应用于林草湿调查监测时,所需的图斑监测因子中暂不具备林分断面积和平均高信息,故将其中的生物量模型简化为(5)式:

$$\hat{B} = b_0 \hat{M} \quad (5)$$

即把生物量转换因子模型简化为平均生物量转换因子。

三储量模型的建立,既可以根据不同的优势树种组数据分别建立模型(4),也可以在模型(4)的基础上,通过引入哑变量代表不同的优势树种组,利用全部数据建立包含哑变量的联立模型,具体方法可参见相关文献^[5,19]。

模型评价一般包括确定系数(R^2)、估计值的标准差(SEE)、总体相对误差(TRE)、平均系统误差(ASE)、平均预估误差(MPE)和平均百分标准误差(MPSE)等6项基本指标^[21]。本文选用其中的3项核心指标 R^2, MPE 和 $MPSE$ 进行前述模型的评价。

1.2.2 储量数据落图

储量数据落图,首先要根据蓄积量估测模型,基于图斑监测因子估计出每一个森林(实际仅限于森林中的乔木林)图斑的蓄积量;然后再以全省森林蓄积量或省级以下不同区域的蓄积量作为总体控制数,对各个图斑的蓄积量进行修正并作平差处理;最后再根据平均转换因子和平均含碳系数推算出每一个乔木林图斑的生物量和碳储量。

1.2.2.1 蓄积量落图

根据所建蓄积量估测模型（1）—（3），利用完成图斑变化更新后的各项定量因子和定性因子数据，对每个图斑的蓄积量进行估计。模型选择的优先顺序，应该首选模型（3），其次考虑模型（2），最后才选择模型（1）。在模型应用前，一般应检查图斑因子是否满足应用条件（如图斑定量因子信息是否完备），并作必要的逻辑性检查。完成乔木林图斑的蓄积量计算后，还需检查是否存在异常估测值，如，负值或超出现实最大值的数值。

1.2.2.2 蓄积量修正

完成蓄积量落图并作逻辑检查后，即可基于图斑蓄积量数据逐级向上进行汇总。如果该省森林蓄积量是以全省总量作为控制，则一直汇总到省级；如果是以省级以下不同区域（副总体或“层”）的蓄积量作为控制，则汇总到省级以下各不同区域。将总体或副总体的总量控制数与图斑汇总数的比值作为修正系数，分别对每个图斑的蓄积量进行修正。为满足生成统计表的需要，还应进一步作平差处理。

如果某省除了林草湿年度调查监测数据，还有最新的森林资源规划设计调查数据可供参考，则可统筹考虑不同数据的误差，采用联合估计的方法^[22]，得出省级以下各不同区域的储量数据及其误差，再以全省总量作为控制，对不同区域及市、县级数据作适当调整。联合估计的出发点是多源信息的综合利用，在综合的过程中，误差小的信息权重重大，误差大的信息权重小。联合估计的具体计算公式为：

$$\frac{M}{E} = \frac{M_1 w_1 \sqrt{E_1^2 M_2^2 + E_2^2 M_1^2}}{E_1 E_2 \sqrt{(E_1^2 + E_2^2) M^2}} \approx \frac{E_1 E_2}{\sqrt{E_1^2 + E_2^2}}$$

(6)

式中： M 为联合估计的蓄积量， M_1 ， M_2 分别林草湿调查监测和森林资源规划设计调查的蓄积量， E_1 ， E_2 分别为其相对误差， w_1 ， w_2 分别为权重，其中：

$$w_1 = E_2^2 / (E_1^2 + E_2^2), w_2 = E_1^2 / (E_1^2 + E_2^2)$$

(8)

1.2.2.3 生物量和碳储量落图

在蓄积量落图和数据修正的基础上，根据（5）式中的平均生物量转换因子 b_0 和模型（4）中的平均含碳系数 c_0 ，即可根据不同优势树种组推算出每一个乔木林图斑的生物量和碳储量，并可逐级向上进行汇总，得到乡、县、市、省 4 级的森林生物量和碳储量估计值。

与蓄积量一样，如果该省森林生物量和碳储量是以全省总量作为控制，则一直汇总到省级；如果是省级以下不同区域（副总体）的生物量和碳储量作为控制，则汇总到省级以下各不同区域。将总体或副总体的总量控制数与图斑汇总数的比值作为修正系数，分别对每个乔木林图斑的生物量和碳储量进行修正和作平差处理。

2 结果与分析

2.1 模型研建结果

2.1.1 蓄积量模型

利用北京市 2016 年森林资源连续清查的乔木林固定样地数据，分别拟合模型（2）和（3），其拟合结果和评价指标如表 1 所示。模型拟合时采用的权函数为 $w=1/(D^2 N^{0.9} P^{0.1})$ 。

表 1 模型（2）和（3）的参数估计值和评价指标

Tab.1 Parameter estimates and evaluation indices of models (2) and (3)

模型	模型参数估计值				模型评价指标		
	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2	MPE/%	MPSE/%
(2)	0.0004947	2.113	0.8954	0.1018	0.789	2.54	25.31
(3)	0.0005658	1.990	0.9311	0.0981	0.829	2.29	22.31

注：模型（3）中不同优势树种组和龄组的随机参数估计值详见参考文献[6]。

从表 1 可以看出，模型（3）优于模型（2），因此应优先选用模型（3）。表 1 中的评价指标是针对全

市森林蓄积量估计而言的，如果落实到 10 个优势树种组林分的蓄积量估计，其确定系数 R^2 都在 0.6 以上，最高的达到了 0.879；平均预估误差 MPE 都在 15%以内，相当于对每个优势树种组林分的蓄积量预估精度都达到了 85%以上；平均百分标准误差 $MPSE$ 都在 30%以内，相当于针对单个林分或图斑的蓄积量预估精度达到了 70%以上。因此，基于以上蓄积量估测模型，将蓄积量落实到每一个图斑是有精度保证的。

另外，为了解决少数图斑无定量林分因子 D 和 N 时的蓄积量估计问题，还建立了模型（3）的简化形式。由于只有郁闭度 P 这一个定量因子，模型结构设计时，在 2 个固定参数上都设置了优势树种组和龄组的随机效应，但结果显示，随机效应对参数 a_0 无显著影响，仅对 P 的指数参数有显著影响。只含固定参数的建模结果为： $M=110.14P^{1.0648}$ ，其中对应于油松(*Pinus tabuliformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、栎树(*Quercus* spp.)、桦木(*Betula* spp.)、榆树(*Ulmus* spp.)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、杨树(*Populus* spp.)、其他硬阔、其他软阔和经济树种 10 个优势树种组的随机效应参数分别为 0.1105，0.3979，-0.0845，-0.0508，-0.1363，0.3059，-0.5024，0.1972，-0.3419 和 0.1045，对应于幼、中、近、成、过 5 个龄组的随机效应参数分别为 0.7980，0.1588，-0.1840，-0.3788 和-0.3939，其 $R^2=0.480$ ， $MPE=3.86\%$ ， $MPSE=62.96\%$ 。由于缺少了 2 项重要的定量因子，模型的确定系数 R^2 显著低于表 1 中的 2 个模型，尽管反映总体的误差指标 MPE 相差不大，但反映个体（图斑）的误差指标 $MPSE$ 却大幅增加。该模型仅应用于少数图斑，对总体的影响可以认为是很小的。

2.1.2 三储量模型

同样利用北京市 2016 年森林资源连续清查的乔木林固定样地数据拟合联合立模型（4），其拟合结果和评价指标如表 2 所示。3 个储量模型拟合时采用的权函数均为 $w=1/(GH^{0.25})$ 。

表 2 三储量联立模型（4）的参数估计值和评价指标

储量	模型参数估计值			模型评价指标		
	$a_0/b_0/c_0$	a_1/b_1	a_2/b_2	R^2	$MPE/\%$	$MPSE/\%$
M	2.393	1.035	0.2692	0.938	1.35	14.55
B	2.059	0	-0.2260	0.940	1.26	14.19
C	0.4885	/	/	0.945	1.20	13.77

注：以优势树种组为哑变量的联立模型估计结果详见参考文献[5]。

表 2 中的评价指标是针对全市森林三储量估计而言的，如果落实到 10 个优势树种组林分的三储量估计，其确定系数 R^2 都在 0.93 以上，最高的达到了 0.991；平均预估误差 MPE 都在 5%以内；平均百分标准误差 $MPSE$ 都在 15%以内。这里可注意到，生物量转换因子与林分平均高总体上是呈负相关的。如果根据 10 个优势树种组林分分别进行考虑，则 7 个为负相关，3 个为正相关。但是，考虑到目前的林草资源图斑监测因子中尚无林分平均高信息，因此，联立模型（4）中的生物量模型采用简化的（5）式。表 3 为 10 个优势树种组林分的平均生物量转换因子 b_0 和平均含碳系数 c_0 的估计值。

表 3 北京市 10 个优势树种林分类型的平均生物量转换因子和平均含碳系数

Tab.3 Mean biomass conversion factor and mean carbon factor of ten stand types of dominant species in Beijing					
优势树种	平均转换因子 b_0	平均含碳系数 c_0	优势树种	平均转换因子 b_0	平均含碳系数 c_0
油松 <i>Pinus tabuliformis</i>	1.2542	0.5081	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	1.6630	0.4844
侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>	1.9687	0.4994	杨树 <i>Populus</i> spp.	0.9594	0.4745
栎树 <i>Quercus</i> spp.	1.5881	0.4807	其他硬阔 Other hard broadleaved	1.5185	0.4851
桦木 <i>Betula</i> spp.	1.3228	0.4856	其他软阔 Other soft broadleaved	1.1589	0.4867

榆树 <i>Ulmus</i> spp.	1.2236	0.4845	经济树种 <i>Economic tree species</i>	1.2185	0.4942
----------------------	--------	--------	-----------------------------------	--------	--------

2.2 储量落图结果

根据 2021 年全国林草生态综合监测评价结果，北京市森林蓄积量为 2 735.24 万 m³，森林生物量为 3 765.92 万 t，森林碳储量为 1 847.00 万 t。基于前述所建蓄积量模型和三储量联立模型，将全市的森林蓄积量、生物量和碳储量分别按照不同的优势树种组逐一落实到每一个乔木林图斑，最终确保全市总储量等于各区储量之和（表 4），各区储量等于各乡镇储量之和（表 5），各乡镇储量等于乡镇范围内各乔木林图斑储量之和。

表 4 北京市森林蓄积量、生物量和碳储量按区统计表

Tab.4 The statistics of forest volume, biomass and carbon storage by district in Beijing

统计 单位	森林蓄积量/ 万 m ³	森林生物量 /万 t	森林碳储量 /万 t	统 计 单 位	森林蓄积量 /万 m ³	森林生物量 /万 t	森林碳储量 /万 t
全市	2735.24	3765.92	1847.00	通	119.48	132.65	63.70
东、	0.00	0.00	0.00	州			
西城				顺	182.06	195.11	93.34
朝阳	74.27	123.45	61.10	义			
丰台	26.29	42.82	21.13	昌	129.65	173.18	84.88
石景	10.65	14.81	7.27	平	116.48	126.46	60.73
山				大	467.12	732.23	359.77
海淀	64.38	84.33	41.27	兴	146.69	179.45	87.93
门头	221.93	299.41	146.73	怀	490.66	635.86	314.52
沟				柔	487.27	763.27	375.52
房山	198.31	262.89	129.11	平			
				谷			
				密			
				云			
				延			
				庆			

表 5 密云区森林蓄积量、生物量和碳储量按乡镇统计表

Tab.5 The statistics of forest volume, biomass and carbon storage by township in Miyun district

统计 单位	森林蓄积 量 /万 m ³	森林生物 量 /万 t	森林碳储 量 /万 t	统计 单位	森林蓄积 量 /万 m ³	森林生物 量 /万 t	森林碳储 量 /万 t
密云	490.66	635.86	314.52	太师屯	55.25	72.08	35.83
鼓楼街道	0.59	0.57	0.27	镇			
果园街道	0.05	0.07	0.03	高岭镇	19.80	22.61	11.07
檀营地区	0.16	0.32	0.16	不老屯	36.06	45.41	22.80
密云镇	0.39	0.63	0.31	镇			
溪翁庄镇	27.82	37.95	18.91	冯家峪	50.17	65.98	32.53
西田各庄	25.99	28.36	13.71	镇			
十里堡镇	4.44	4.55	2.17	古北口	20.88	27.75	13.76
河南寨镇	12.39	14.29	6.95	镇			
巨各庄镇	16.67	21.28	10.74	大城子	32.71	46.42	23.17
穆家峪镇	19.66	23.86	11.97	镇			
				东邵渠	19.92	29.24	14.69
				镇			
				北庄镇	18.19	22.64	11.22
				新城子	62.88	79.32	39.24
				镇			
				石城镇	66.64	92.53	44.99

3 结论与讨论

3.1 结论

通过北京的实例证明，本文提出的以全省森林储量为总体控制数，利用蓄积量估测模型及三储量联

立模型将储量数据分解落实到图斑,从而确保各级总量等于下一级分量之和的做法,在技术上是完全可行的。该技术路线不仅适用于森林资源储量,对于草原资源储量也应该是适用的。

3.2 讨论

为了保证各级储量数据的精度,需积极推进国家监测和地方监测一体化。国家层面的监测只能保障省级数据的精度,往下细化到市、县、乡各级,还需要适度增加样地数量。然而,随着监测范围的缩小,资源的动态变异程度就会增大,不能为了保证储量数据要达到同样的精度要求而无限增加样地数量。因此,随着监测尺度从宏观到中观再到微观逐级缩小,资源数据在林长制督查考核中占的权重应该不断降低,而林草资源保护发展措施落实和任务完成情况所占比重应该逐渐提高。

为了保证落图储量数据准确可靠,还需要从以下两方面不断努力。一方面,要尽可能提高图斑监测因子的质量。不仅要求优势树种、起源、龄组等定性或分类因子准确无误,对于反映林分特征的平均胸径、每公顷株数等定量因子,更需要确保其达到规定的精度要求;而且,还要进一步增加与蓄积量高度相关的其他定量因子,如林分平均高,这些信息可以结合定期开展的森林资源规划设计调查来获取。另一方面,要保证所建森林蓄积量估测模型和三储量联立模型达到预定的精度要求。关于建模精度,很多人认为就是确定系数 R^2 的大小,这是有些片面的。除 R^2 之外,平均预估误差 MPE 和平均百分标准误差 $MPSE$ 都是很关键的指标,前者反映对总体的估计误差,后者反映对个体的估计误差。就储量落图而言,反映个体估计误差的 $MPSE$ 更应关注。参照《森林资源规划设计调查技术规程》^[23]中的主要小班调查因子允许误差,每公顷蓄积量A、B、C三个等级的允许误差分别为15%、20%和25%,则蓄积量估测模型的 $MPSE$ 原则上不得超过这个允许误差。从前面的表1和表2看,模型(4)的 $MPSE$ 在15%以内,可以认为达到了A级的精度要求;而模型(2)和(3)的 $MPSE$ 分别为25.31%和22.31%,只能算基本达到C级的精度要求。因此,如果所建模型预估精度不够理想,还应进一步增加样地数量来改进和完善模型。

为了开展调查监测数据年度更新,还需研究建立林木和林分水平的生长率模型^[7]。对于变化图斑,需通过验证核实,更新相关自然属性和管理属性因子;对于没有变化的图斑,管理因子保持不变,蓄积量可利用林分水平的蓄积生长率模型进行更新,生物量和碳储量则利用平均生物量转换因子和平均含碳系数进行更新,其他定量因子也应依据相关模型进行更新。具体方法本文不再深入讨论。

参考文献:

- [1] 曾伟生. 森林资源一类清查和二类调查数据的协调性问题探讨[J]. 中南林业调查规划, 2008, 27(1): 50-52.
- [2] 闫宏伟, 黄国胜, 曾伟生, 等. 全国森林资源一体化监测体系建设的思考[J]. 林业资源管理, 2011(6): 6-11.
- [3] 曾伟生, 程志楚, 夏朝宗. 一种衔接森林资源一类清查和二类调查的新方案[J]. 中南林业调查规划, 2012, 31(3): 1-4.
- [4] 曾伟生, 闫宏伟. 森林资源监测有关问题的思考[J]. 林业资源管理, 2013(6): 15-18.
- [5] 杨学云, 曾伟生, 陈新云. 北京市主要森林类型蓄积量生物量碳储量模型研建[J]. 林业资源管理, 2021(2): 124-130.
- [6] 曾伟生. 森林蓄积量和生物量多元混合模型研建[J]. 林业资源管理, 2021(6): 23-28.
- [7] 曾伟生, 杨学云, 陈新云. 北京市主要树种单木和林分生长率模型研建[J]. 中南林业调查规划, 2022, 41(1): 1-8.
- [8] 曾伟生. 森林资源调查监测中的数据耦合方法研究[J]. 林业资源管理, 2022(2): 61-66.
- [9] GB/T 38590-2020, 森林资源连续清查技术规程[S].
- [10] Næsset E. Stand volume functions for *Picea abies* in western Norway[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1995, 10: 42-50.
- [11] Næsset E, Tveite B. Stand volume functions for *Picea abies* in eastern, central and northern Norway[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 1999, 14: 164-174.
- [12] 余松柏, 叶金盛, 王登峰, 等. 编制林分高表估计林分蓄积量方法的研究[J]. 中南林业调查规划, 2005, 24(3): 5-9.
- [13] 杨学云, 曾伟生, 陈新云. 北京市主要森林类型蓄积量生物量碳储量模型研建[J]. 林业资源管理, 2021(2): 124-130.
- [14] 曾伟生, 孙乡楠, 王六如, 等. 东北林区 10 种主要森林类型的蓄积量生物量和碳储量模型研建[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(3): 1-8.

- [15]陈新云,王文文,曾伟生,等. 北京市二类调查小班蓄积量预估模型研究[J]. 林业资源管理, 2019(5): 33-36.
- [16]曾伟生,唐守正,夏忠胜,等. 利用线性混合模型和哑变量模型方法建立贵州省通用性生物量方程[J]. 林业科学研究, 2011,24(3):285-291.
- [17]符利勇,曾伟生,唐守正.利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响[J].生态学报, 2011,31(19): 5797-5808.
- [18]曾伟生,唐守正. 非线性模型对数回归的偏差校正及与加权回归的对比分析[J]. 林业科学研究, 2011, 24(2): 137-143.
- [19]曾伟生,孙乡楠,王六如,等.东北林区 10 种主要森林类型的蓄积量生物量和碳储量模型研建[J]. 北京林业大学学报, 2021,43(3): 1-8.
- [20]唐守正,郎奎建,李海奎. 统计和生物数学模型计算(ForStat 教程)[M]. 北京: 科学出版社,2008.
- [21]曾伟生,唐守正. 立木生物量模型的优度评价和精度分析[J]. 林业科学, 2011, 47(11): 106-113.
- [22]曾伟生,夏锐. 全国森林资源调查年度出数统计方法探讨[J]. 林业资源管理, 2021(2): 29-35.
- [23] GB/T 26424-2010, 森林资源规划设计调查技术规程[S].