

• 生物技术与方法 •

## 林业剩余物资源量评估方法

傅童成<sup>1,2</sup>, 包维卿<sup>1,2</sup>, 谢光辉<sup>1,2</sup>

1 中国农业大学 农学院, 北京 100193

2 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100193

傅童成, 包维卿, 谢光辉. 林业剩余物资源量评估方法. 生物工程学报, 2018, 34(9): 1500–1509.

Fu TC, Bao WQ, Xie GH. Methods for assessing resources of forestry residues. Chin J Biotech, 2018, 34(9): 1500–1509.

**摘要:** 根据近十年来相关文献报道, 分析了前人所建方法的合理性, 结合中国林业生产实际, 完善了林业剩余物资源潜力的计算方法。主要贡献包括: 林业剩余物二级分类的 10 个主要类型, 即林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物、木材造材剩余物、木材加工剩余物、竹材加工剩余物、薪材、废旧竹材、废旧木材、香蕉和菠萝残体; 将经济林采伐和进口原木产生的剩余物计入相关木材剩余物计算范围; 首次建立了包括木本水果在内的林木修枝剩余物的计算方法, 以及多年生草本水果剩余物即香蕉和菠萝残体产量的计算方法; 确定计算公式中参数所需要数据的来源; 建议今后重点研究相关系数取值、林业剩余物资源量及其空间分布和相关行业标准等。

**关键词:** 生物质, 采伐剩余物, 加工剩余物, 造材剩余物, 林业水果修枝剩余物, 香蕉和菠萝残体

## Methods for assessing resources of forestry residues

Tongcheng Fu<sup>1,2</sup>, Weiqing Bao<sup>1,2</sup>, and Guanghui Xie<sup>1,2</sup>

1 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China

2 National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing 100193, China

**Abstract:** In this study, models for assessing resources of forestry residues were improved based on analysis of previous studies and current forest production in China. And novelties are highlighted: this study covered the models for the calculation of 10 secondary forestry residues from woody nursery, forest woody pruning, wood logging, firewood, wood bucking, wood handling, waste wood, banana and pineapple plants, bamboo processing and waste bamboo; the residues produced from fast-growing forest for logging and processing of imported wood were taken into consideration to calculate woody residue potential; the calculation of pruning residue included woody fruit trees, and herbaceous fruit plants from the management of orchard and other economic forest; the consistency of parameter terminology and definition which referred from their literature resources have been ensured; more studies focused on the coefficient values, industrial standard, forestry residue amount and spatial distribution are recommended for future researches.

**Keywords:** biomass, logging residue, bucking residue, processing residue, orchard pruning residue, banana and pineapple residue

**Received:** November 23, 2017; **Accepted:** April 17, 2018

**Supported by:** National Development and Reform Commission on Climate Change, China Clean Development Mechanism Program (No. 2014083).

**Corresponding author:** Guanghui Xie. Tel: +86-10-62734850; Fax: +86-10-62734851; E-mail: xiegh@cau.edu.cn

国家发展与改革委应对气候变化司中国清洁发展机制基金赠款项目 (No. 2014083) 资助。

林业剩余物是产量大、分布广、含硫量小的生物质资源。林业剩余物的回收利用不仅可以提高林木资源利用率,保护森林资源,还可以缓解能源危机、帮助减少碳排放。随着近年来我国对于碳排放、能源安全等问题的重视,有关林业剩余物资源估算的报道逐渐增多,但结果差异很大,差异存在的主要原因是剩余物的定义及研究范围不明确、计算方法及系数取值不合理、参数来源不详。为了建立可靠的评估体系,需要对林业剩余物定义、分类和计算方法进行系统研究。前期工作完善了定义和分类,明确了各类林业剩余物所包含的内容物范围<sup>[1]</sup>。在此基础上,本文通过综合分析前人研究结果、专家咨询等方式,分析并完善了本系列研究<sup>[1]</sup>中二级分类下的10类林业剩余物的计算公式,确定其中所需参数的来源,旨在为准确评估中国林业剩余物资源量及其分布提供计算方法。

## 1 研究方法

### 1.1 定义和研究范围

应用先前研究对林业剩余物定义的概念<sup>[1]</sup>,即在林业育苗、管理、采伐、造材、加工和利用整个过程中产生废弃物潜在量的总和,但不包括各林种的凋落物(即枯枝、落叶和弃果等)和经济林收获物加工及食用产生的废弃物(即果皮、果壳、残渣等)。在其二级分类水平上<sup>[1]</sup>,本文研究了各类林业剩余物资源潜力的计算方法,包括林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物、木材造材剩余物、木材加工剩余物、竹材加工剩余物、薪材、废旧竹材、废旧木材、香蕉和菠萝残体。

### 1.2 林种及产生环节和林业剩余物分类的对应关系

根据前文报道<sup>[1]</sup>,林业剩余物第一级分类包括木材剩余物、竹材剩余物和草本果树剩余物。

第二级分类共10类,对于木材剩余物,经济林、防护林、特用林及用材林中的短轮伐期工业原料林和速生丰产林在育苗、修枝、采伐、造材、加工及使用环节,分别产生林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物和薪材、木材造材剩余物、木材加工剩余物和废旧木材。对于竹材剩余物,用材林中的大径竹在采伐、造材和加工环节产生竹材加工剩余物,竹材使用环节产生废旧竹材;对于草本果树剩余物,经济林的草本果树在采伐时产生香蕉残体与菠萝残体<sup>[1]</sup>。

### 1.3 数据来源

通过查阅2007–2017年间的中国博士和硕士学位论文、国内外相关著作及期刊论文,提取其中林业剩余物的计算公式及其所应用的参数,同时查询相关林业统计年鉴获得各类计算参数(附录表1,附录表2)。

## 2 结果与分析

### 2.1 林业剩余物的计算公式

#### 2.1.1 林木苗圃剩余物 $L_n$

林木苗圃剩余物的计算方法最早由张希良和吕文<sup>[2]</sup>提出,经潘小苏<sup>[3]</sup>和张卫东等<sup>[4]</sup>进一步完善,可估算苗圃中修枝、定杆和截杆剩余物资源量(表1中A1)。

#### 2.1.2 林木修枝剩余物 $L_p$

经济林、用材林、防护林和特种用途林都能产出修枝剩余物,其评估方法是以各林种的面积、修枝频度系数和剩余物产率相乘。其中,木本水果每年面积数据可在中国农业年鉴<sup>[5]</sup>中获得,而其他林种只能应用每7年公布一次的全国森林资源清查报告的数据<sup>[6]</sup>。因此,本文将木本水果修枝剩余物的计算公式单列出来,包括苹果、梨、柑橘、荔枝、桃、猕猴桃和葡萄修枝剩余物(表1中A2)。在所有林种中,除木本水果修枝剩余物以外的称为其他林木修枝剩余物,可基于表1中

A3 预测。

### 2.1.3 木材采伐剩余物 $L_c$

前人对于采伐剩余物资源量有两类计算方法。第一类是基于成熟林和过熟林的面积 (表 2 中 B1) 或蓄积量 (表 2 中 B2), 这显然是不合理的, 因为成熟林和过熟林的林木虽然都处于可采伐状态, 但是否能采伐受国家森林采伐限额调控, 而且采伐包括皆伐、择伐或间伐, 不可能统一为皆伐。

除公式 B1 和 B2 外, 也有研究使用其他方法进行剩余物估算: 一是基于森林采伐限额 (表 2 中 B3), 默认我国采伐量按林政部门每年公布的采伐限额全部完成<sup>[7-8]</sup>, 但是采伐限额不包括经济林部分。本研究改进后获得公式 (1)。二是最近有报道非林木部分剩余物的计算方法<sup>[9]</sup>, 实质就是采伐剩余物, 其计算公式基于原木产量和原木出材率, 或者商品材产量和商品材出材率 (表 2 中

B4), 这个方法仍没有包括经济林采伐剩余物部分。目前行业统计中没有经济林采伐量的数据, 但是有经济林的面积, 本研究基于经济林面积、采伐频度系数和每棵树采伐剩余物产率求得经济林采伐剩余物资源量, 改进表 2 中 B4 获得表 1 中 A4。

$$L_c = a_w \cdot \frac{c_c}{100} \cdot Qf + \frac{f_c}{100} \cdot d \cdot p_e \cdot Ae \quad (1)$$

其中,  $Qf$  为森林采伐限额 ( $m^3$ );  $Ae$  为经济林面积 ( $hm^2$ );  $a_w$  为木材密度 ( $t/m^3$ );  $c_c$  为木材采伐剩余物系数 (%);  $f_c$  为经济林采伐频度系数 (%);  $d$  为经济林栽植密度 (棵/ $hm^2$ );  $p_{el}$  为经济林木材采伐剩余物产率 ( $t/棵$ )。

公式 A4 和公式 (1) 都是正确的方法。但是, 森林采伐限额理论上是国家允许的最大采伐量, 不是实际值。应用行业统计的原木产量更符合生产实际, 本研究建议应用表 1 中 A4 计算更为合适。

表 1 本研究建议应用的各种林业剩余物资源潜力的计算方法

Table 1 Calculation methods for resource potential of different forestry residue category

| 林业剩余物分类               | 计算公式   | 来源    | 序号  |
|-----------------------|--|-------|-----|
| 林木苗圃剩余物 $Ln$ (t)      | $Ln = p_n \cdot Na$  | [3-4] | A1  |
| 林木修枝 木本水果 $Lpf$       | $Lpf = \sum_{i=1}^7 \frac{f_o}{100} \cdot p_o \cdot A_o$   | 本研究   | A2  |
| 剩余物 $Lp$ (t) 其他 $Lpo$ | $Lpo = \frac{f_t}{100} \cdot p_t \cdot At + \frac{f_p}{100} \cdot p_p \cdot Ap + \frac{f_s}{100} \cdot p_s \cdot As + \frac{f_k}{100} \cdot p_k \cdot (Ae - Ao)$ | 本研究   | A3  |
| 木材采伐剩余物 $Lc$ (t)      | $Lc = a_w \cdot \frac{c_c}{o_t} \cdot Pl + \frac{f_c}{100} \cdot d \cdot p_e \cdot Ae$   | 本研究   | A4  |
| 木材造材剩余物 $Lb$ (t)      | $Lb = a_w \cdot \frac{100 - o_t}{o_t} \cdot (Pl + \frac{f_c}{100} \cdot p_{el} \cdot d \cdot Ae)$  | 本研究   | A5  |
| 木材加工剩余物 $Lh$ (t)      | $Lh = a_w \cdot \frac{c_h}{100} \cdot (Lf + \frac{c_m}{100} \cdot Lm + p_{el} \cdot \frac{c_e}{100} \cdot \frac{f_c}{100} \cdot d \cdot Ae)$                     | 本研究   | A6  |
| 薪材产量 $Fw$ (t)         | $Fw = a_w \cdot Fv$  | 本研究   | A7  |
| 竹材加工剩余物 $Bh$ (t)      | $Bh = w_b \cdot \frac{c_p}{100} \cdot Bl$  | [9]   | A8  |
| 废旧木材 $Lo$ (t)         | $Lo = a_w \cdot (\frac{r_d}{100} \cdot Dl + \frac{r_w}{100} \cdot Wx)$   | [9]   | A9  |
| 废旧竹材 $Bo$ (t)         | $Bo = a_b \cdot \frac{r_b}{100} \cdot (BPb + BFb)$   | [9]   | A10 |
| 香蕉和菠萝残体 $Bpr$ (t)     | $Br = p_b \cdot Ab + p_r \cdot Ar$   | 本研究   | A11 |
| 剩余物资源总量 $Fr$ (t)      | $Fr = Ln + Lpf + Lpo + Lc + Lb + Lh + Fw + Bh + Lo + Bo + BPr$   | 本研究   | A12 |

### 2.1.4 木材造材剩余物 $L_b$

最近也有报道<sup>[9]</sup>计算木材的立木部分剩余物资源量,实质是造材剩余物,基于原木或商品材出材率进行计算(表2中B6和B7),但这些方法都没有包括经济林的造材剩余物部分。本研究应用经济林原木材积产率,将表2中B6改进为表1中A5。

于丹<sup>[8]</sup>以原木产量乘以造材剩余物系数估算造材剩余物资源量(表2中B5),加上经济林部分的造材剩余物,即改进为公式(2)。但是,相比A5,公式(2)需要应用木材造材剩余物系数

( $c_b$ ),这个系数取值研究少,因此建议应用A5。

$$L_b = a_w \cdot \frac{c_b}{100} \cdot (Pl + \frac{f_c}{100} \cdot p_{el} \cdot d \cdot Ae) \quad (2)$$

其中, $Pl$ 为原木产量( $m^3$ ); $Ae$ 为经济林面积( $hm^2$ ); $a_w$ 为木材密度( $t/m^3$ ); $c_b$ 为木材造材剩余物系数(%); $f_c$ 为经济林采伐频度系数(%); $d$ 为经济林栽植密度( $棵/hm^2$ ); $p_{el}$ 为经济林原木材积产率( $m^3/棵$ )。

也有学者用同一个公式直接计算采伐和造材剩余物资源量(表2中B8)。仅从公式上,将采伐和造材两个剩余物系数加和,但是,由于采伐和

表2 前人研究中计算各类型林业剩余物值得商榷改进的方法

Table 2 Reasons for questioning the previous calculation method for forestry residue resource potential

| 林业剩余物分类                     | 计算公式   | 来源      | 商榷的内容和注释                                    | 序号  |
|-----------------------------|--|---------|---|-----|
| 木材采伐<br>剩余物 $L_c$ (t)       | $Lc = a_w \cdot k \cdot Am$                            | [10]    | 成熟林、过熟林面积与实际采伐差异大                           | B1  |
|                             | $Lc = a_w \cdot \frac{c_c}{100} \cdot Sm$              | [11-12] | 成熟林、过熟林蓄积与实际采伐差异大                           | B2  |
|                             | $Lc = a_w \cdot \frac{c_c}{100} \cdot Qf$              | [13]    | 未包括经济林林部分                                   | B3  |
|                             | $Lc = a_w \cdot \frac{c_c}{o_c} \cdot V_c$             | [9]     | 未包括经济林林部分。原文为木材非立木剩余物,实质为木材采伐剩余物            | B4  |
| 木材造材<br>剩余物 $L_b$ (t)       | $Lb = a_w \cdot \frac{c_b}{100} \cdot Pl$              | [10]    | 未包括经济林部分                                    | B5  |
|                             | $Lb = a_w \cdot \frac{100 - o_l}{o_l} \cdot Pl$        | [9]     | 未包括经济林部分。原文为木材立木剩余物,实质为木材造材剩余物              | B6  |
|                             | $Lb = a_w \cdot (\frac{100 - o_c}{o_c} \cdot Vc + Pf)$ | [9]     | 未包括经济林部分。原文为木材立木剩余物,实质为木材造材剩余物              | B7  |
| 木材采伐与造材<br>剩余物 $Lcb$ (t)    | $Lcb = a_w \cdot \frac{k_c}{100} \cdot Qf$             | [3-4]   | 未包括经济林部分。两类内容物完全不同,建议不用该类公式                 | B8  |
| 木材加工<br>剩余物 $Lh$ (t)        | $Lh = a_w \cdot \frac{c_w}{100} \cdot Lf$              | [9]     | 未含用于加工的经济林和进口原木                             | B9  |
|                             | $Lh = a_w \cdot \frac{c_w}{100} \cdot Pl$              | [14]    | 包含了不产生剩余物的直接利用原木、用于造纸和化工的原木,未含用于加工的经济林和进口原木 | B10 |
|                             | $Lh = a_w \cdot \frac{c_w}{100} \cdot Ic$              | [3-4]   | 包含了直接利用的原木,未含用于加工的经济林和进口原木                  | B11 |
| 木材采伐、造材、<br>加工剩余物 $Ltr$ (t) | $Ltr = \frac{1}{3} \cdot Pl$                           | [15-17] | 没有包括经济林部分,系数不正确,周建伟等文中维公式系数为1/2,其文中表述又为1/3  | B12 |
| 废旧木材 $Lo$ (t)               | $Lo = r_w \cdot l \cdot Ic$                            | [3-4]   | 公式设计理由不充足,所包括的废旧木材不全面,引用文献不能溯源              | B13 |

造材两类剩余物的内容物及其可获得性完全不同,本研究认为分别计算能更具体地呈现林业剩余物资源现状,建议不用该类公式。

### 2.1.5 木材加工剩余物 $Lh$

迄今为止,在能查阅的相关研究中关于木材加工剩余物的计算方法都是值得商榷、有待改进的。一是基于加工材用量的方法(表2中B9),只包括用于加工的国产原木部分,忽略了进口原木。二是应用当年原木产量计算(表2中B10),但未考虑非加工用途的原木量,而且,用于造纸和化工的原木几乎不产生加工剩余物,当年生产的原木可能在下一年或更晚才被加工,同时,这个公式还忽略了进口原木加工产生的剩余物。三是应用工业与建筑用材消耗量计算(表2中B11),这类原木也包含一定量的直接用原木,而且,消耗工业与建筑用材量是否包括了进口原木加工用材量并不清楚。上述方法还有一个共同的不足之处,就是没有包括经济林原木产生的加工剩余物部分。

为此,本研究应用加工用材系数,即用于加工的原木分别占进口原木和经济林原木的比率,在表2中B9的基础上,设计了较为合理的木材加工剩余物资源量计算方法(表1中A6)。

还有部分研究认为木材采伐、加工和造材剩余物总量约占原木产量的1/2或1/3(表2中B12),原文献中对这一系数来源无任何说明,缺乏合理性依据。

### 2.1.6 薪材 $Fw$

将薪材体积产量数据乘以木材气干密度即得到其质量(表1中A7)。

### 2.1.7 竹材加工剩余物 $Bh$

虽然中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中有小杂竹产量,但是至今未获得小杂竹收获和加工过程剩余物产出比例。王红彦等<sup>[9]</sup>以大径竹产量乘以相关系数计算竹材加工剩余物资源量(表1中A8),是合

理的。

### 2.1.8 废旧木材 $Lo$

王红彦等<sup>[9]</sup>最近提出废旧木材回收量根据直接用原木和加工后的木制品平均使用寿命及其当年的产量、废旧木制品回收率估算(表1中A9),也是合理的。但是,在此之前的废旧木材资源的研究报道<sup>[3]</sup>中存在公式与计算结果不对应,引用来源不详的报道等问题。也有部分研究<sup>[4]</sup>虽然提出了计算公式,可是经溯源发现引用文章<sup>[19]</sup>与其计算内容毫无关系。

### 2.1.9 废旧竹材 $Bo$

应用的废旧木材评估方法,可设计废旧竹材估算的计算方法(表1中A10)。

### 2.1.10 香蕉和菠萝残体 $Bpr$

截止目前,尚未查到研究提出对香蕉和菠萝残体资源量的计算方法。实际生产中香蕉和菠萝都是一年一熟植物,在一年内完成一个从栽植或培植幼苗到水果收获后砍倒残体的生产周期,可根据其栽植密度和单位面积的残体产率,结合种植面积,设计香蕉和菠萝残体资源量的计算方法(表1中A11)。

## 2.2 参数定义及数据来源

### 2.2.1 造林苗木数量 $Na$

指苗圃中培育并具有根和苗干的树苗数量,由中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>获得数据(表3)。

### 2.2.2 用材林面积 $At$ 、防护林面积 $Ap$ 、特种用途林面积 $As$ 、木本水果种植面积 $Ao$ 和木本水果外其它经济林面积 $Ae$

用材林、防护林和特种用途林面积分别指其实际林地的面积,由全国森林清查结果获得数据(表3)。经济林有一定特殊性,林业范畴内木本水果包括苹果、梨、柑橘、荔枝、桃、猕猴桃和葡萄,其种植面积数据可应用中国农业年鉴<sup>[5]</sup>(表3)。这样,将用材林、防护林和特种用途林和木本水果以外的经济林作为一个整体估算其修枝剩余物

资源量, 木本水果以外的其他经济林面积数据可用全国森林清查结果中经济林面积减去 7 种水果种植面积和的差值。

### 2.2.3 森林采伐限额 $Qf$

从 1986 年开始, 由林业主管部门根据用材林消耗量低于生长量和森林合理经营的原则, 经过科学测算制定全国森林采伐限额, 并经国务院批准实施, 每 5 年修订一次 (表 3)。森林采伐限额所包含的范围除国家森林法规定的禁伐森林和林木外, 包括所有林种的林分 and 林木的主伐、补充主伐、抚育间伐、卫生伐、林分改造等各种采伐所消耗的资源总额, 但不包括经济

林采伐量。

### 2.2.4 原木产量 $Pl$ 、商品材产量 $Vc$ 和薪材体积产量 $Fv$

原木产量就是经济材产量<sup>[9,20]</sup>, 商品材产量为经济材和薪材产量的总和, 均由中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中直接获得数据 (表 3)。

### 2.2.5 加工用材量 $Lf$

加工用材量直接取中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中按原木按用途分类为加工材。

### 2.2.6 进口原木量 $Lm$

指每年进口的各类原木材的总材积量。各类进口原木数据可由中国海关统计年鉴<sup>[21]</sup>获

表 3 计算林业剩余物所用参数及其数据来源

Table 3 Parameters and their data source for forest residue calculation

| 林业剩余物分类               | 所用参数  | 数据来源                  | 发布周期  |
|-----------------------|---|-----------------------|-------|
| 林木苗圃剩余物 $L_n$         | 造林苗木 ( $N_a$ )  | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
| 林木修枝 木本水果 $L_{pf}$    | 木本水果种植面积 ( $A_o$ )  | 中国农业年鉴                | 每年    |
| 剩余物 $L_p$ 其他 $L_{po}$ | 用材林面积 ( $A_t$ )、防护林面积 ( $A_p$ )、特种用途林面积 ( $A_s$ )、经济林面积 ( $A_e$ ) | 全国森林资源清查各省 (区、市) 主要结果 | 每 7 年 |
| 木材采伐剩余物 $L_c$         | 森林采伐限额 ( $Q_f$ )  | 国务院批复的全国森林采伐限额        | 每 5 年 |
|                       | 原木产量 ( $Pl$ )   | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
|                       | 木本水果种植面积 ( $A_o$ )  | 中国农业年鉴                | 每年    |
|                       | 经济林面积 ( $A_e$ )   | 全国森林资源清查各省 (区、市) 主要结果 | 每 7 年 |
| 薪材 $F_w$              | 薪材体积产量 ( $F_v$ )  | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
| 木材造材剩余物 $L_b$         | 原木产量 ( $Pl$ )   | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
|                       | 经济林面积 ( $A_e$ )   | 中国农业年鉴                | 每年    |
| 木材加工剩余物 $L_h$         | 加工用材量 ( $L_f$ )   | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
|                       | 经济林面积 ( $A_e$ )   | 全国森林资源清查各省 (区、市) 主要结果 | 每 7 年 |
|                       | 进口原木量 ( $L_m$ )   | 中国海关统计年鉴              | 每年    |
| 竹材加工剩余物 $B_h$         | 大径竹产量 ( $B_l$ )   | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
| 废旧木材 $L_o$            | 直接用原木产量 ( $Dl$ )、木制品产量 ( $W_x$ )                                  | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
| 废旧竹材 $B_o$            | 竹地板产量 ( $B_{fb}$ )、竹胶合板产量 ( $B_{pb}$ )                            | 中国林业统计年鉴              | 每年    |
| 香蕉和菠萝残体 $B_{pr}$      | 香蕉种植面积 ( $A_b$ )、菠萝种植面积 ( $A_r$ )                                 | 中国农业年鉴                | 每年    |

注: 除进口原木量 ( $L_m$ ) 在中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中只有全国总量外, 其他指标均有全国各省市数据。“所用参数”一栏每个参数的符号是本文所加, 与本文中公式所用符号一致。

得, 中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中包含进口原木总量的数据。

### 2.2.7 大径竹产量 $Bl$

指直径在 5 cm 以上竹材的产量, 数据来源于中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>。

### 2.2.8 香蕉种植面积 $Ab$ 与菠萝种植面积 $Ar$

指年末菠萝与香蕉种植面积, 数据来源于中国农业年鉴<sup>[5]</sup>。

### 2.2.9 历史时期木制品产量 $Wx$ 、历史时期直接用原木产量 $DI$ 、历史时期竹地板产量 $Bfb$ 和竹胶合板产量 $Bpb$

这些参数用于计算可回收废旧木材和废旧竹材资源量, 可在中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>中获得数据。 $l_w$ 、 $l_l$ 、 $l_m$  分别是木制品、直接用原木、竹制品(竹地板和竹胶合板)的使用寿命, 其取值将另文研究。

## 3 结论与讨论

本文根据最新林业剩余物定义<sup>[1]</sup>, 全面分析了相关报道, 结合林业生产实际, 改进完善了第二级分类的各种林业剩余物的评估计算方法。

通过分析前人研究中对于林业剩余物的计算范围, 并结合国家对于森林生产的法规及政策, 本研究将经济林采伐产生的剩余物计入林业剩余物范围内, 既包括木材类, 还包括多年生草本水果类。在林业生产实际中, 我国经济林采伐是在国家林业采伐限额以外, 且采伐所得木材材积不计入中国林业统计年鉴<sup>[18]</sup>的木材产量中, 而多年生草本水果类往往被误以为不属于林业范畴而忽略了其剩余物资源。因此, 相比以往研究, 本研究林业剩余物资源潜力评估方法最为全面, 能涵盖整个林业范畴。此外, 本研究将进口原木产生的加工剩余物纳入计算范围。虽

然我国每年都进口大量的木材<sup>[19]</sup>, 但却未见前人报道将这部分木材经加工产生的剩余物纳入计算范围中。

本研究通过改进前人对于部分类型林业剩余物的计算方法, 对本系列研究<sup>[1]</sup>中所包含的 10 类二级分类下的林业剩余物进行了合理的计算。其中, 确定了废旧竹材的资源量的计算方法。废旧竹材与废旧木材一样, 都属于林业产业中无法被利用的部分, 前人研究中已考虑了废旧木材的计算, 而未建立废旧竹材的评估方法。此外在林木修枝剩余物的计算方法上, 由于木本水果种植面积数据及其修枝剩余物可获得性的特殊性, 本文首次确立了木本水果修枝剩余物的计算方法, 能提高林木修枝剩余物资源评估的精确性。

针对前人研究中对于参数和系数的定义不清及来源不详的问题, 本研究结合数据来源确定计算公式中的参数。在参数的术语和定义上, 保证与其数据来源文献的一致性。优先使用来自行业统计年鉴中的数据作为计算参数, 充分保证所应用数据的可靠性。

建议今后加强林业剩余物资源的研究。首先, 需要对各类剩余产量计算所需要的系数进行准确取值。本系列研究将另文系统分析前人研究结果, 确定各种系数的合理取值。然后, 应以最新的定义和系数取值, 研究我国林业剩余物资源量、空间分布及发展趋势, 以促进生物质产业发展。最后, 建议进一步深入研究林业剩余物资源相关的定义、分类和资源量评估方法, 以形成行业标准, 以统一的方法进行相关研究, 才能获得一致而准确的结果, 并减少低效重复研究。

**致谢:** 本文在研究过程中就大量相关学术问题请教了北京林业大学林学院马履一教授, 特致谢忱。

## 附录

附表 1 计算林业剩余物资源量所用参数符号及说明

Appendix Table 1 Signals and instructions of parameters for the quantity estimations of forestry residue

| 参数    | 说明                      | 单位            | 参数   | 说明                | 单位           |
|-------|-------------------------|---------------|------|-------------------|--------------|
| $Ab$  | 香蕉种植面积                  | $\text{hm}^2$ | $Fv$ | 薪材体积产量            | $\text{m}^3$ |
| $Ae$  | 经济林面积                   | $\text{hm}^2$ | $Ic$ | 工业与建筑用材消耗量        | $\text{m}^3$ |
| $Am$  | 成熟林与过熟林面积               | $\text{hm}^2$ | $Lf$ | 加工用材量             | $\text{m}^3$ |
| $Ao$  | 木本水果种植面积                | $\text{hm}^2$ | $Lm$ | 进口原木量             | $\text{m}^3$ |
| $Ap$  | 防护林的面积( $\text{hm}^2$ ) | $\text{hm}^2$ | $Na$ | 造林苗木数             | 千棵           |
| $Ar$  | 菠萝种植面积                  | $\text{hm}^2$ | $Pf$ | 薪材产量              | $\text{m}^3$ |
| $As$  | 特种用途林的面积                | $\text{hm}^2$ | $Pl$ | 原木产量              | $\text{m}^3$ |
| $At$  | 用材林面积                   | $\text{hm}^2$ | $Qf$ | 森林采伐限额            | $\text{m}^3$ |
| $BFb$ | $l_b$ 年前的竹地板产量          | $\text{m}^3$  | $Sm$ | 成熟林与过熟林的蓄积量或采伐原木数 | $\text{m}^3$ |
| $Bl$  | 大径竹产量                   | 根             | $Vc$ | 商品材产量             | $\text{m}^3$ |
| $BPb$ | $l_b$ 年前的竹胶合板产量         | $\text{m}^3$  | $Wx$ | $l_w$ 年前的木制品产量    | $\text{m}^3$ |
| $Dl$  | $l_l$ 年前的直接用原木产量        | $\text{m}^3$  |      |                   |              |

附表 2 计算林业剩余物资源量所用系数符号及说明

Appendix Table 2 Signals and instructions of coefficients for the quantity estimations of forestry residue

| 系数    | 说明   | 单位                       | 系数       | 说明             | 单位                     |
|-------|--|--------------------------|----------|----------------|------------------------|
| $a_b$ | 竹材密度   | $\text{t}/\text{m}^3$    | $l_m$    | 竹制品使用寿命        | 年                      |
| $a_w$ | 木材密度   | $\text{t}/\text{m}^3$    | $l_l$    | 直接用原木使用寿命      | 年                      |
| $c_b$ | 木材造材剩余物系数  | %                        | $l_w$    | 木制品使用寿命        | 年                      |
| $c_c$ | 木材采伐剩余物系数  | %                        | $o_c$    | 商品材平均出材率       | %                      |
| $c_e$ | 经济林木材加工系数  | %                        | $o_l$    | 经济材平均出材率       | %                      |
| $c_h$ | 木材加工剩余物系数  | %                        | $o_t$    | 原木出材率          | %                      |
| $c_m$ | 进口木材加工系数   | %                        | $p_b$    | 香蕉残体每年产率       | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $c_p$ | 竹材剩余物产出系数  | %                        | $p_e$    | 经济林木材采伐剩余物产率   | $\text{t}/\text{棵}$    |
| $c_w$ | 加工剩余物系数  | %                        | $p_k$    | 其他经济林每次修枝剩余物产率 | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $d$   | 经济林栽植密度  | $\text{棵}/\text{hm}^2$   | $p_{el}$ | 经济林原木材积产率      | $\text{m}^3/\text{棵}$  |
| $f_c$ | 经济林采伐频度系数  | %                        | $p_n$    | 林木苗圃剩余物产率      | $\text{t}/\text{千棵}$   |
| $f_k$ | 其他经济林修枝频度系数  | %                        | $p_o$    | 木本水果每次修枝剩余物产率  | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $f_o$ | 木本水果修枝频度系数   | %                        | $p_p$    | 防护林每次修枝剩余物产率   | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $f_p$ | 防护林林修枝频度系数   | %                        | $p_r$    | 菠萝残体每年产率       | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $f_s$ | 特种用途林修枝频度系数  | %                        | $p_s$    | 特种用途林每次修枝剩余物产率 | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $f_t$ | 用材林修枝频度系数  | %                        | $p_t$    | 用材林每次修枝剩余物产率   | $\text{t}/\text{hm}^2$ |
| $i$   | 第 $i$ 种水果 ( $i=1, 2, \dots, 7$ , 即苹果、梨、柑橘、荔枝、桃、猕猴桃和葡萄) |                          | $r_b$    | 废旧竹制品回收率       | %                      |
| $k$   | 基于面积的木材采伐剩余物系数   | $\text{m}^3/\text{hm}^2$ | $r_d$    | 废旧直接用原木回收率     | %                      |
| $k_c$ | 木材采伐和造材剩余物系数   | %                        | $r_w$    | 废旧木制品回收率       | %                      |
| $l$   | 木制产品剩余物的产出比例   | %                        | $w_b$    | 大径竹平均生物质量      | $\text{t}/\text{千棵}$   |

## REFERENCES

- [1] Xie GH, Fu TC, Ma LY, et al. An overview of definition, classification and availability of forestry residue. *J China Agric Univ*, 2018, 23(7): 144–149 (in Chinese).  
谢光辉, 傅童成, 马履一, 等. 林业剩余物的定义、分类和可获得性述评. *中国农业大学学报*, 2018, 23(7): 144–149.
- [2] Zhang XL, Lü W. *China Forest Energy*. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 17–33 (in Chinese).  
张希良, 吕文. *中国森林能源*. 北京: 中国农业出版社, 2008: 17–33.
- [3] Pan XS. Potential evaluation of woody biomass energy[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014 (in Chinese).  
潘小苏. 林木生物质能源资源潜力评估研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [4] Zhang WD, Zhang L, Zhang CH, et al. Assessment of the potential of forest biomass energy in China. *J Beijing Forest Univ: Soc Sci*, 2015, 14(2): 52–55 (in Chinese).  
张卫东, 张兰, 张彩虹, 等. 我国林木生物质能源资源分类及总量估算. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2015, 14(2): 52–55.
- [5] Editorial Committee of China Agricultural Yearbook. *China Agriculture Yearbook*. Beijing: China Agriculture Press, 2015: 226–230 (in Chinese).  
中国农业年鉴编辑委员会. *中国农业年鉴-2014*. 北京: 中国农业出版社, 2015: 226–230.
- [6] State Forestry Administration. The 8th National Forest Resource Investigation [EB/OL]. [2018-08-27]. <http://www.forestry.gov.cn/gjslzyqc.html>. (in Chinese).  
国家林业局. 第八次全国森林资源清查 [EB/OL]. [2018-08-27]. <http://www.forestry.gov.cn/gjslzyqc.html>.
- [7] He WJ, Xu JW, Zhang HX. Can the forest logging quota management system protect forest resources? *Chin Popu, Resour & Environ*, 2016, 26(7): 128–136 (in Chinese).  
何文剑, 徐静文, 张红霄. 森林采伐限额管理制度能否起到保护森林资源的作用. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 128–136.
- [8] Li K, Zhang M. The problem of China's forest cutting quota system and its countermeasures. *Jiangxi Soc Sci*, 2004(12): 242–246 (in Chinese).  
李锴, 张明. 我国森林采伐限额制度面临的问题及其解决措施. *江西社会科学*, 2004(12): 242–246.
- [9] Wang HY, Zuo X, Wang DL, et al. The estimation of forestry residue resource in China. *J Cent South Univ of Forest & Tech*, 2017, 37(2): 29–38, 43 (in Chinese).  
王红彦, 左旭, 王道龙, 等. 中国林木剩余物数量估算. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(2): 29–38, 43.
- [10] Yu D. Evaluation of forest biomass energy resources supply capacity and analysis of influence factors[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016 (in Chinese).  
于丹. 林木生物质能源资源供给能力评价及影响因素分析[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [11] He RF. Geographical distribution of biomass energy and access on its development and utilization in China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013 (in Chinese).  
贺仁飞. 中国生物质能的地区分布及开发利用评价[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [12] Liu G, Shen L. Quantitive appraisal of biomass energy and its geographical distribution in China. *J Nat Resour*, 2007, 22(1): 9–19 (in Chinese).  
刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布. *自然资源学报*, 2007, 22(1): 9–19.
- [13] Zhang L. Study on raw material supply and industrialization of forest bio-power generation in China[D]. Beijing: MS thesis of Beijing Forestry University, 2010 (in Chinese).  
张兰. 中国林木生物质发电原料供应与产业化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [14] He YQ. Forest biomass energy resources assessment and regional distribution characteristics of Hunan Province[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2014 (in Chinese).  
何勇强. 湖南省林木生物质能资源评价及其地域分布特征[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2014.
- [15] Xu QF. Research on estimation of exploitation utilization technology and optimization of product

- mix of forestry bioenergy[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007 (in Chinese).
- 徐庆福. 林业生物质能源开发利用技术评价与产品结构优化研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2007.
- [16] Yuan ZH, Wu CZ, Huang H, et al. Research and development on biomass energy in China. *Int J Energy Technol Policy*, 2002, 1(1/2): 108–144.
- [17] Zhou JW, Zhou Y, Liu X. *New Energy Chemistry*. Zhengzhou: Zhengzhou University Press, 2009: 128–130 (in Chinese).
- 周建伟, 周勇, 刘星. 新能源化学. 郑州: 郑州大学出版社, 2009: 128–130.
- [18] State Forestry Administration. *China Forestry Statistical Yearbook 2015*. Beijing: China Forestry Press, 2016: 11, 77–80 (in Chinese).
- 国家林业局. 中国林业统计年鉴 2015. 北京: 中国林业出版社, 2016: 77–80.
- [19] Huang B, Zhao MY, Wang YH, et al. Recycle and reuse of discarded wooden furniture: taking Changsha city as an example. *Furnit. Int. Des.*, 2012(5): 88–89 (in Chinese).
- 黄彬, 赵牧一, 王叶辉, 等. 废旧木质家具的回收与再利用—以长沙市为例. *家具与室内装饰*, 2012(5): 88–89.
- [20] Zhang TY, Hu XL, Chang K. Study on prediction method of material yield of commodities. *Forest Resources Management*, 1992(3): 37–49 (in Chinese).
- 张铁砚, 胡晓龙, 常昆. 商品材出材率预测方法的研究. *林业资源管理*, 2012(3): 37–49.
- [21] General Administration of Customs of the People's Republic of China. *China Customs Statistics Yearbook (volume 1)*. Beijing: China Custom Press, 2016: 226–230. (in Chinese)
- 中华人民共和国海关总署. 中国海关统计年鉴 2014 (一卷). 北京: 中国海关出版社, 2016: 226–230.

(本文责编 郝丽芳)