

林业剩余物的定义和分类述评

谢光辉^{1,4} 傅童成^{1,4} 马履一^{2,4} 李辉³ 包维卿^{1,4} 李莎^{1,4}

(1. 中国农业大学 农学院,北京 100193;

2. 北京林业大学 林学院,北京 100083;

3. 湖南省林业科学院 生物环境工程研究所,长沙 410004;

4. 国家能源非粮生物质原料研发中心,北京 100193)

摘要 为准确评估林业剩余物资源量及其分布提供理论依据,通过对前人研究结果的系统述评,首先分析关于林业生产、加工和利用产生的潜在剩余物的各种术语,确立林业剩余物术语体系,进一步完善林业剩余物的定义和分类,提出将其分为木材剩余物、竹材剩余物和草本果树剩余物作为第一级分类。在此基础上,根据各不同林种的剩余物产出环节进行第二级分类,即木材剩余物分为林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物、薪材、木材造材剩余物、木材加工剩余物和废旧木材共7类,竹材剩余物分为竹材加工剩余物和废旧竹材共2类,草本果树剩余物包括香蕉和菠萝残体共1类。然后,梳理和讨论前人在林业剩余物的定义和分类中出现的各种问题,对第二级分类进行定义,明确各类剩余物包含的内容物。最后结合产业实际提出今后深入研究林业剩余物的建议。

关键词 生物质; 有机废弃物; 林业三剩物; 林木修枝剩余物

中图分类号 S718.55⁺6

文章编号 1007-4333(2018)07-0141-09

文献标志码 A

An overview of definition and classification of forestry residue

XIE Guanghui^{1,4*}, FU Tongcheng^{1,4}, MA Lvyi^{2,4}, LI Hui³, BAO Weiqing^{1,4}, LI Sha^{1,4}

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

2. College of Forestry, Beijing Forest University, Beijing 100083, China;

3. Institute of Biological and Environmental Engineering, Hunan Academy of Forestry, Changsha 410004, China;

4. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, China)

Abstract In this study, definition and classification of forestry residue were discussed and improved according to previous studies. Different terminologies of the total potential residue produced from forest production, process, and utilization were reviewed, the terminology of forestry residue was thereafter recommended to be used for consistently and uniformly understanding in future. Forestry residue was divided into the first categories of wood residue, bamboo residue, and herbaceous fruit tree residue. The three categories were thereafter classified and defined according to the potential residue components, respectively. Wood residue was classified into forest woody nursery residue, forest woody pruning residue, wood logging residue, firewood, wood bucking residue, wood handling residue, and waste wood. Bamboo residue was classified into bamboo processing residue and waste bamboo. Herbaceous fruit tree residue consists of banana and pineapple tree residue. Some possibly mistakes in definition and classification in previous reports were analyzed and revised. The results of this study would be helpful to evaluate the distribution and quantity of potential forestry residue.

Keywords biomass; organic waste; bamboo residue; residue from forest pruning

中国是林业生产和加工大国,2013年全国木材产量达到了8 367万 m^3 ,进口木材为7 916万 m^3 ,进口量仍逐年增长^[1],木材消耗总量已居世界第二位。林业生产和加工过程中产生大量剩余物,可用于食用菌养殖、堆肥、造纸、人造板加工、化工生产及饲料等^[2-4],用于生产生物质能的潜力也很大^[5-6]。因此,估算林业剩余物资源量对资源循环利用相关产业很重要,但是前人相关报道结果差异范围很大,即1.25亿~16.2亿 t ^[7-8]。主要原因是至今尚无对林业剩余物进行准确的定义和分类,包括两个方面:一是应用术语不一致,例如,出现把林业剩余物和林业生物质混为一谈的现象。二是剩余物定义中的内容物范围模糊不清或五花八门,例如,不少报道的林业剩余物未包括竹材剩余物。因此,本研究综合分析前人研究结果,完善林业剩余物的定义和分类,初步研究各类剩余物的可获得性,旨在为准确评估中国林业剩余物资源量及其分布提供理论支持。

1 林业剩余物的定义和分类

1.1 林业剩余物的定义和分类

在前人研究中,林业剩余物又被称为林业固体废物^[3]、木材剩余物^[4]或林木剩余物^[9],主要指森林采伐、造材、加工和利用产出的潜在剩余物总和,也有将主要的林业剩余物称为“林业三剩物”^[7,10-11],即采伐、造材和加工剩余物。世界粮农组织^[12]用的术语为Wood residue,也包括采伐和造材剩余物以及不同的加工剩余物。可见,前人研究林业剩余物所用的不同术语及其不同种类差异较大(表1),说明林业剩余物的定义差异也很大。中国能源行业有关术语标准^[13]中的定义较为全面,即林业采伐剩余物、造材剩余物、木材加工剩余物及其他林业管理产生的剩余物、次小径材和木质废料等。竹林也属于森林,能源行业相关标准^[13]对“木材加工剩余物”的定义中包括竹材加工过程中生产的剩余物,但是很多前人对林业剩余物的研究未包括有关竹材剩余物(表1)。

本研究认为各种术语应统一为“林业剩余物”。总结前人研究,并依据国家森林法、林种分类标准^[14]和森林采伐作业规程^[15],本研究进一步改进林业剩余物的定义,即在林业育苗、管理、采伐、造材、加工和利用的整个过程中产生的废弃物潜在量的总和,这是最广义的定义。需要特殊强调,以林业生产行业长期形成的传统观点,将生产人造板的

林业原料归于林业剩余物^[16],因此,本研究认为在当前定义中应该继续应用这一约定俗成的观点。

广义的林业剩余物定义包括林业产生的各种凋落物(即枯枝、落叶和弃果等)及经济林收获物初加工和食用后的废弃物(即果皮、果壳和残渣等),但是,绝大多数凋落物都回归土壤,且两者的可获得性都很低。因此,本研究将不包括各种林业凋落物(即枯枝、落叶和弃果等)及经济林收获物初加工、食用后废弃物(即果皮、果壳和残渣等)的林业剩余物作为狭义概念。本研究除作特殊说明外,以下应用狭义的概念。此外,剩余物的不同内容物,甚至同一内容物在不同条件下可获得性差异很大(例如树根),因此林业剩余物有更为狭义的概念,例如将木材采伐剩余物、木材加工剩余物和竹林加工剩余物作为林业剩余物^[17]是其最狭义的定义。

林业剩余物的第一级分类为木材剩余物、竹材剩余物和草本果树剩余物。根据各不同林种剩余物产生的环节进行第二级分类(图1),即木材剩余物包括林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物、薪材、木材造材剩余物、木材加工剩余物和废旧木材。经济林和园林树木管理剩余物不属于第二级分类中,二者包括在修枝剩余物之中。竹材剩余物包括竹材加工剩余物和废旧竹材共两类。草本果树剩余物包括香蕉和菠萝残体。

1.2 林业剩余物定义和分类讨论

目前,在我国林业发展的不同阶段定义林业剩余物概念和分类时,容易出现一些这样或那样的问题,很可能导致错误地缩小或扩大林业剩余物的范围(表1),低估或高估其资源量,具体分析如下。

第一,有报道将木质能源林中的薪炭林产出的薪炭材作为林业剩余物^[9],这些报道可能错误地引用Yuan等^[18]研究。根据中华人民共和国森林法,木质能源林是以生产能源为主要目的的林木,属于全株利用而不产生剩余物。但是,需要注意的是油料能源林的生产目的是收获果实或主干的汁液,从中提取脂类或烃类物质,那么在其管理中和采伐后,还能形成收获目的物以外的剩余物。

第二,还有部分研究将灌木林平茬产出的地上部生物部分称为灌木林平茬剩余物^[7,9,11,19-20]。灌木林的平茬是每隔一定年限将地上部生物质全部割除并收获地上部生物质的过程^[21],因此平茬产物应属于林产品,不应属于剩余物。

第三,也有报道将“四旁”疏林抚育修枝剩余物

作为林业生产剩余物以外的林地生产剩余物之一^[20](表 1),本研究认为这样将林种^[14]和林地混合分类定义林业剩余物的方法值得商榷。

第四,有不少研究^[8-9,11,19]将抚育间伐剩余物单独列出作为木材采伐、造材和加工剩余物之外的一类林业剩余物,其合理性也值得商榷。其理由为,抚育间伐包括采伐作业,不论以基于国家采伐限额还

是基于原木产量计算采伐剩余物,抚育采伐剩余物都和采伐剩余物有部分重复。王红彦等^[9]研究认为抚育间伐剩余物这一概念的源头是 Yuan 等^[18]报道,但是经反复阅读 Yuan 等文章^[18],并未在其中见到抚育间伐剩余物的内容。通过进一步研究,在 Yuan 等^[18,22]文中,发现原作者准确表达的是各种林木的“剪枝”产出“薪柴”而不是抚育间伐剩余物。

表 1 林业剩余物所用的不同术语及其第一、二级分类汇总和本研究的结论

Table 1 Summary of terminology, first and second category of forestry residue and in previous research and this study

分类 Category	林业 固体废物 Forestry solid waste	木材 剩余物 Wood residue	林木 剩余物 Forest residue	林业 三剩物 Three forest remains	林木抚育 修枝剩余物 Forest pruning residue	林业剩余物 Forestry residue			林业和林地 生产剩余物 Forest and forestry residue	林业 剩余物 Forestry residue
	[3]	[4]	[9]	[11]	[11]	[13]	[17]	[20]	[19]	[本研究]
木材剩余物										
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	√	√	√	√		√	√	√	√	√
薪材										√
废旧木材			√			√			√	√
次小径材						√				×
林木抚育间伐剩余物			√		√				√	×
林地生长剩余物									√	×
四旁疏林抚育修枝剩余物					√				√	×
经济林管理剩余物					√			√	√	×
园林树木管理剩余物	√					√		√	√	×
灌木林平茬剩余物					√					×
竹材剩余物										
竹材加工剩余物			√			√	√		√	√
废旧竹材										√
草本果树剩余物										
香蕉和菠萝残体										√

注:第一级和第二级分类为本研究首次提出,前人研究没有明确报道。√:包含相应的林业剩余物种类;×:不包含相应的林业剩余物种类。

Note: The first and second categories are original from this study. √: corresponding content of forestry residue included; ×: corresponding content of forestry residue not included.

第五,能源行业相关术语标准^[13]将次小径材作为一类林业剩余物。但是,经过反复查阅文献,虽然查到小规格材的长级<2 m、径级<10 cm^[23]以及皆伐产生林下小径木^[24],本研究仍不能对次小径材的定义和生产过程作明晰的阐述。另一方面,薪用木材的概念^[23,25-27]很清楚,中国林业统计年鉴中的“薪材”应是薪用木材的简称。顾名思义,薪材传统上用于取暖和炊事,由于时代的变迁,木材这一功能的用量正在下降。而且,近来确有报道^[13]将薪材归于林业剩余物中。因此,决定在林业剩余物的种类中删除次小径材,代之以薪材。本研究在2.6节详述薪材的定义。

第六,有研究将木材采伐与造材剩余物为立木部分和非立木部分^[9,28]。但是,这些报道中的非立木部分的“树兜”疑似为“树根”的误写,经全面分析这种剩余物分类的内容物,发现非立木部分剩余物实质就是采伐剩余物,立木部分剩余物就是造材剩余物。因此,为了统一术语,建议不用立木部分和非

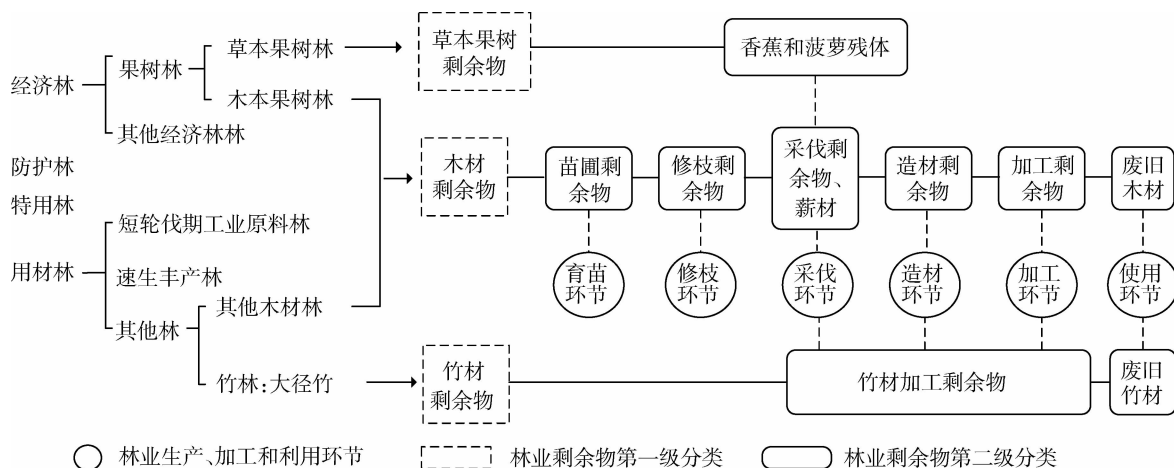
立木部分这一分类术语。

第七,我国林业生产指标^[29]中的木材采伐量和原木产量都不包括经济林和油料能源林的采伐部分。由于油料能源林生产规模很小且很难获得统计数据,其采伐量及其产生的剩余物目前可以忽略不计,但是,经济林面积大,其更新采伐量应该考虑。前人研究都忽略了这一特殊情况,这样会低估木材采伐、造材和加工剩余物的产量。

第八,根据果树的定义^[30-32],经济林类的果树除木本果树外还包括多年生草本果树,主要为香蕉、菠萝和草莓等。由于当前没有公开的草莓栽培面积统计数据,草本果树剩余物只包括香蕉和菠萝残体。这也很容易被忽略,未见将其纳入研究林业剩余物的研究报道。

1.3 林种及产生环节和林业剩余物分类的对应关系

厘清林种分类及不同林种产出剩余物的环节的对应关系(图1),有助于准确地理解林业剩余物的分类边界,能避免进入以上所述各种误区。



1. 木质能源林不产生林业剩余物,所有地上部生物量属于林业生物质产品;2. 油料能源林规模很小且很难获得统计数据,产生的剩余物忽略不计;3. 苗圃剩余物还包括能源林育苗产生的剩余物;4. 竹林没有育苗和修枝环节,不产生育苗剩余物和修枝剩余物;5. 小杂竹产生的剩余物忽略不计;6. 多年生草本果树育苗剩余物和修枝剩余物忽略不计,也由于不属于木材而没有造材剩余物、加工剩余物和废旧木材。

1. Lignocellulose energy forest does not produce forest residue, because all its aboveground biomass could be biomass product; 2. Because oil energy forest plantation area is too low and its value is difficult to collected, its forest residue is ignored; 3. Forest woody nursery residue includes the residues produced in its energy nursery period; 4. No pruning and seedling nursery are implemented in bamboo management, thus no nursery residue and pruning residues are produced from bamboo; 5. The quantity of residue produced from small-sized bamboos is too low to be counted; 6. Herbaceous fruit trees do not produce forest woody nursery residue and pruning residue, and also do not produce bucking residue, handling residue, and waste wood as herbaceous fruit trees are not woody.

图1 林种分类及林业生产、加工和利用各环节和林业剩余物分类的对应关系

Fig. 1 Relationship of forest production, processing, and use with forestry residue categories

2 林业剩余物第二级分类定义

2.1 林木苗圃剩余物

潘小苏^[19]曾提出用于造林的苗木修枝、定杆及截杆剩余物,主要为苗木的树梢和枝桠,属于林业剩余物。但是根据实际调研,死亡苗木也较多,也应属于废弃物。因此,本研究将苗圃剩余物定义为林木苗圃中死亡的苗木及苗木培育产生的树梢和截头等剩余物。

2.2 林木修枝剩余物

指用材林、防护林、特种用途林和经济林在其抚育和管理过程中,人为地除去枯枝和部分活枝而产生的枝桠,袁振宏等^[22]曾将这类剩余物归于薪柴资源。这类剩余物包括经济林和园林树木管理剩余物,能源行业相关术语标准^[13]对这两类剩余物是合适的。不同的是,本研究应用狭义的林业剩余物概念,不包括弃果和枯叶等凋落物。其实,园林树木管理剩余物属于特种用途林的修枝剩余物。

2.3 木材采伐剩余物

从作业过程上,立木被伐倒后成为伐倒木,再经过打枝截梢后形成的干材为原条,因此,木材采伐剩余物是森林采伐和打枝截梢后的剩余物^[4,8,19]。根据前人报道^[4,8,17,19,33-34]对这个概念的定义,能源行业关于生物质术语标准中的定义较确切^[13],但是仍有不足处。本研究结合有关研究^[8,19,35-36],更新这一概念的定义,即木材采伐剩余物是林木在其主伐、抚育间伐和低产(效)林改造采伐和更新采伐等作业过程中产生的剩余物,主要包括木材的枝桠、梢头、树桩、树根以及可能的打伤木、枯倒木和伐区清理作业中砍伐获得的藤条和灌木(表2)。

枝桠也叫枝丫或树枝。梢头是打枝时切除的树干顶端部分^[15],更多的研究叫树梢或梢顶。树桩即伐根,也有研究叫木桩,是伐树后与树根连接在一起的地上残留部分。打伤木指采伐中打落的其他不属于采伐树木的枝桠等^[23]。枯倒木是在伐区内因病害或其他自然灾害导致倒伏的树木。清场灌木和清场藤条是在采伐作业过程中,清理伐区而砍伐的灌木和藤条。

很多报道将树皮归为采伐剩余物^[4,7,13,19,23]。本研究认为宜将树皮归于木材造材剩余物^[3,12],其原因是根据木材采伐、造材、加工过程切割的工艺,主要剥皮过程不应在采伐阶段^[12],而是在造材和加工产生大量树皮。

为了更合理地进行对计算的相关系数取值,这里将采伐剩余物的内容物分为三类。一是上部剩余物,包括枝桠和梢头;二是下部剩余物,包括树桩和树根;三是连带剩余物,包括打伤木、枯倒木、清场灌木和藤条。

2.4 木材造材剩余物

本研究在对造材剩余物不同定义^[8,13,19]及其所包含内容物(表2)的基础上,这里进一步确定其更合理的定义,即木材造材剩余物为原条锯截成一定规格原木的造材过程产生的剩余物,包括树皮、截头和根部齐头。

有报道将木材造材剩余物都归为木材采伐剩余物^[24,37]。这2个概念针对完全不同的作业过程区分剩余物,而2个作业过程也有分有合,因此概念上的合与分都有一定的合理性。由于多数该类报道都将这2个概念分开,本研究也按两个术语进行分析。

树皮是树干和树枝的韧皮部。截头是原条被截去的上端部分,根部齐头是被截去的下端部分。截头和根部齐头都属于在造材过程中一定会产生的损耗。

2.5 木材加工剩余物

结合对于木材加工剩余物的定义^[3,4,10,13],本研究将其定义更新为木材加工过程中产生剩余边角料,包括板条、板皮、锯末、碎单板、木芯、刨花和废弃木块(表2)。

板皮为原木外围锯下带有表皮的板块。板条是削切木材产生的表层薄片。锯末是切割木材时散落下来的沫状木屑。碎单板为加工中产生的废弃的碎裂单板。木芯是旋切板生产过程中遗留下来的木材中心部分。刨花是加工产生的卷曲薄片状木屑。前人研究中关于加工剩余物所含的内容物也不一致^[3,4,7,13,17,24,35,38],本研究认为不应包含造材和采伐过程中产出的截头。虽然部分研究^[4,10,13]将木块归为加工剩余物,本研究更改为废弃木块。有报道^[10]将板材列入加工剩余物,因为板材是经初步机械加工后的木材产品不属于剩余物,本研究不同意其观点。另外,由于木材加工剩余物的具体内容物其实就是边角料,本研究也不同意有的报道^[3,10,13,17]将“边角料”与板条等并列作为加工剩余物的内容物(表2)。

2.6 薪材

薪材是不符合次加工原木标准要求的圆材^[23]。依据当前现行的行业标准《次加工原木 LY/T 1369—2011》^[39],在林业调查中直立主干长度 $<2\text{ m}$

(包括树干扭曲或有树瘤、节子等情况;树高<2 m 薪材^[40]。中国林业统计年鉴^[1]中的林产品统计中属于幼树,不属于薪材)或径阶<8 cm 的林木称为 有薪材数据。

表2 木材采伐剩余物、造材剩余物和加工剩余物所含内容物汇总以及本研究结论

Table 2 The content of wood logging, bucking, and processing residue in previous research and this study

种类及其内容物 Category and content	文献 References												
	[3]	[4]	[8]	[10]	[12] ^a	[13]	[17]	[19]	[23]	[24]	[35] ^d	[38]	[本研究]
木材采伐剩余物													
枝桠	√ ^b	√ ^c	√ ^c	√	√	√	√ ^c	√	√	√ ^c	√	√ ^c	√
梢头	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√	√	√
树叶			√	√	√	√	√		√	√	√	√	×
树皮		√	√	√		√		√	√				×
树桩(伐根)		√			√				√				√
树根				√	√	√	√		√				√
截头									√				×
打伤木	√								√				√
枯倒木	√	√			√	√							√
清场灌木	√	√		√									√
清场藤条				√	√	√							√
木材造材剩余物													
截头	√	√	√	√	√	√	√	√					√
根部齐头	√	√											√
树皮	√				√								√
木材加工剩余物													
板条			√	√		√		√		√	√	√	√
板皮	√	√	√	√	√	√				√	√	√	√
板材				√									×
碎单板	√	√	√	√		√							√
木芯		√	√	√	√	√		√					√
刨花			√	√	√	√	√	√		√	√	√	√
锯末	√	√	√	√	√	√	√	√		√	√	√	√
木块	√ ^e	√	√	√	√	√							×
废弃木块								√					√
边角料	√		√	√		√	√	√					×

注:√:包含相应的林业剩余物内容物;×:不包含相应的林业剩余物种类。a:原文为英文,没有很清晰地将木材造材和加工剩余物分开,本研究将其 forest residue 翻译为木材采伐剩余物,本表展示其木材剩余物的内容物。b:原文为“枝丫”;c:原文为“枝”;d:原文不含“木材造材剩余物”,截头被归入“木材采伐剩余物”;e:原文为“木片”。

Note:√:corresponding content of forestry residue included;×:corresponding content of forestry residue not included;a:The original report was in English,which did not clearly separate wood bucking residue and wood handling residue;b:In the original report it was “twig”;c:The original text was “branch”;d:he original report did not contained “wood bucking residue”,and wood end cutting was included in “wood logging residue”;e:In the original report it was “wood chip”.

2.7 废旧木材

指木质建筑物在建造或改造过程中生产的木质废弃物,以及城乡生活、工业生产、办公场所及各种建筑废弃的木质家具,也有称其为木质废料^[13]。

2.8 竹材加工剩余物

对于这个术语,前人研究报道不统一。与木材不同,竹材作业中一般不强调采伐和造材过程^[41],竹材被采伐后主要在加工阶段生产剩余物。因此,前人研究称其为竹加工剩余物^[42]或竹加工废弃物^[43],但是多数称为竹材加工剩余物^[44-46]。

前人对竹材加工剩余物包含的内容物报道大同小异,万晓清等^[42]认为是竹子砍伐后产生的竹叶以及加工后产生的竹梢、竹枝和竹屑等。狭义的林业剩余物概念不包括竹叶。本研究认为竹材加工剩余物包含竹节的观点^[43]是值得商榷的,因为加工产生的废弃竹节应归于竹屑。

2.9 废旧竹材

指竹材的建筑物在建造或改造过程中生产的竹材废弃物以及城乡生活、工业生产、办公场所及各种建筑废弃的竹材家具。

2.10 香蕉和菠萝残体

香蕉和菠萝的果实成熟采摘后,为准备种植下茬植物而砍伐清理获得的地上部分的植株残体。

3 结论与展望

本研究系统地对前人研究林业剩余物的定义和分类进行述评,结合当前林业科学基本规律及生产现状分析相关术语、定义和分类的合理性。第一,提出迄今相对合理的林业剩余物的术语体系,为以后研究提供规范统一的用语。第二,首次基于林种及林业产生环节确定林业剩余物的第一级和第二级分类,以清晰的对应关系明确各类林业剩余物的边界。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,第二级分类中,木材剩余物分为林木苗圃剩余物、林木修枝剩余物、木材采伐剩余物、薪材、木材造材剩余物、木材加工剩余物和废旧木材共7类,竹材剩余物分为竹材加工剩余物和废旧竹材共2类,草本果树剩余物包括香蕉和菠萝残体共1类。第三,本研究还对剩余物所包含的内容物进行细致的讨论,在明确各种内容物概念的基础上,确定各类剩余物所包含的内容物及其定义。

建议今后进一步研究建立林业剩余物相关的术语、定义和分类的行业标准,全面梳理各类林业剩余

物的评估计算方法,建立合理的相关参数和系数的取值规范,从而准确地评估中国林业剩余物资源潜力及其时空分布。同时,建议研究各类林业剩余物的可获得性,前人在这方面鲜有研究,未见相关定义,这里初步将其定义为林业剩余物的产量规模大小及其收集、运输和储藏的便利性的总和。前人没有、也没有必要研究报道真正包含所有内容物的林业剩余物的潜在资源量,因为在实际生产中不可能将全部的林业剩余物都收集起来。只有可获得的剩余物才有利用价值,研究可获得性高的资源量才能为规模化利用提供原料支撑。

致谢

本研究就相关技术问题请教了北京林业大学林学院段劼博士,特致谢忱。

参考文献 References

- [1] 国家林业局. 中国林业统计年鉴 2014[M]. 北京: 中国林业出版社, 2014: 76-101
State Forestry Administration. *China Statistical Yearbook 2014* [M]. Beijing: China Forestry Press, 2014: 76-101 (in Chinese)
- [2] 宋晓丽. 大兴安岭食用菌产业调查分析[J]. 统计与咨询, 2015, 31(4): 60-61
Song X L. Inventory of the edible fungi industry in Greater Khingan Range [J]. *Journal of Statistics and Consulting*, 2015, 31(4): 60-61 (in Chinese)
- [3] 张东升. 林业固废物的综合利用[J]. 防护林科技, 2014, 32(2): 78-79
Zhang D S. Comprehensive utilization of forestry solid waste [J]. *Protection Forest Science and Technology*, 2014, 32(2): 78-79 (in Chinese)
- [4] 薛志勇. 木材剩余物的开发与利用新途径[J]. 建筑人造板, 2002, 15(1): 41-42
Xue Z Y. New approach to the development and utilization of wood residues [J]. *Building Artificial Board*, 2002, 15(1): 41-42 (in Chinese)
- [5] 周建伟, 周勇, 苗郁. 生物质资源的能源转化技术的研究进展[J]. 河南化工, 2005, 22(11): 12-14
Zhou J W, Zhou Y, Miao Y. Research progress of biomass energy conversion technology [J]. *Henan Chemical Industry*, 2005, 22(11): 12-14 (in Chinese)
- [6] 张齐生. 生物质气化多联产技术的研究与应用[J]. 科学中国人, 2013, 21(2): 20-24
Zhang Q S. Research and application of biomass gasification polygeneration technology [J]. *Scientific Chinese*, 2013, 21(2): 20-24 (in Chinese)

- [7] 石元春. 决胜生物质[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 299-301
Shi Y C. *Battle on Biomass* [M]. Beijing: China Agriculture University Press, 2011 (in Chinese)
- [8] 徐剑琦. 林木生物质能资源量及资源收集半径的计量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006
Xu J Q. Research on tree biomass and resource collecting radius model [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2006 (in Chinese)
- [9] 王红彦, 左旭, 王道龙, 毕于运. 中国林木剩余物数量估算[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(2): 29-38
Wang H Y, Zuo X, Wang D L, Bi Y Y. Estimation of forest residues in China [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2017, 37(2): 29-38 (in Chinese)
- [10] 刘曼红. 林业“三剩物”的开发利用现状和前景概述[J]. 林业调查规划, 2010, 35(3): 62-63
Liu M H. Current situation and prospect of the development and utilization of forestry residues [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2010, 35(3): 62-63 (in Chinese)
- [11] 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
Yu D. Evaluation of forest biomass energy resources supply capacity and analysis of influence factors [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016 (in Chinese)
- [12] FAO. Energy conservation in the mechanical forest industries [R]. Rome: Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1990
- [13] NB/T 34029—2015. 非粮生物质原料名词术语[S]. 北京: 国家能源局, 2015
NB/T 34029—2015. Terminology of non-food biomass feedstock [S]. Beijing: National Energy Administration, 2015 (in Chinese)
- [14] LY/T 2012—2012. 林种分类[S]. 北京: 国家林业局, 2012
LY/T 2012—2012. Forest category classification [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2012 (in Chinese)
- [15] LY/T 1646—2005. 森林采伐作业规程[S]. 北京: 国家林业局, 2005
LY/T 1646—2005. Code of forest harvesting [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2005 (in Chinese)
- [16] 中国林产工业协会. 中国人造板产业报告(精简版)[J]. 林产工业, 2015, 42(11): 5-15
China National Forest Product Industry Association. Report on China's man-made board industry (lite version) [J]. *China Forest Products Industry*, 2015, 42(11): 5-15 (in Chinese)
- [17] 马哲, 马中. 基于生物量转换因子的林业剩余物理论资源潜力评估方法与应用[J]. 林业调查规划, 2015, 40(1): 1-8
Ma Z, Ma Z. Potential evaluation method and application of forestry residues based on biomass conversion factor [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2015, 40(1): 1-8 (in Chinese)
- [18] Yuan Z H, Wu C Z, Huang H, Lin G F. Research and development on biomass energy in China [J]. *International Journal of Energy Technology & Policy*, 2002, 1(1): 108-144
- [19] 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
Pan X S. Potential evaluation of woody biomass energy [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2014 (in Chinese)
- [20] 张卫东, 张兰, 张彩虹, 于丹. 我国林木生物质能源资源分类及总量估算[J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2015, 14(02): 52-55
Zhang W D, Zhang L, Zhang C H, Yu D. Classification and estimation of forest biomass energy resources in China [J]. *Journal of Beijing Forestry University: Social Sciences*, 2015, 14(2): 52-55 (in Chinese)
- [21] 木岚. 灌木林平茬复壮技术[J]. 内蒙古林业, 1985, 30(3): 17
Mu L. Shrub stubble rejuvenation technology [J]. *Journal of Inner Mongolia Forestry*, 1985, 30(3): 17 (in Chinese)
- [22] 袁振宏, 吴创之, 马隆龙. 生物质能利用原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 16-17
Yuan Z H, Wu C Z, Ma L L. *Biomass Energy Utilization Principle and Technology* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 16-17 (in Chinese)
- [23] 王恺. 中国农业百科全书森林工业卷[M]. 北京: 农业出版社, 1993: 56-60, 408-412
Wang K. *Encyclopedia of Chinese Agriculture* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1993: 56-60, 408-412 (in Chinese)
- [24] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9-19
Liu G, Shen L. Quantitative evaluation and geographical distribution of biomass energy in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): 9-19 (in Chinese)
- [25] GB/T 143—2006. 锯切用原木[S]. 北京: 国家林业局, 2006
GB/T 143—2006. Rippling logs [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2006 (in Chinese)
- [26] GB/T 15787—2006. 原木检验术语[S]. 北京: 国家林业局, 2006
GB/T 15787—2006. Terms in log inspection [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2006 (in Chinese)
- [27] GB/T 144—2003. 原木检验[S]. 北京: 国家林业局, 2003
GB/T 144—2003. Log inspection [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2003 (in Chinese)
- [28] 江慕媛. 林木出材率和伐区剩余物的调查研究[J]. 湖南林业科技, 1992, 19(3): 31-33
Jiang M N. A study on the timber yield and the residue of log [J]. *Hunan Forestry Science & Technology*, 1992, 19(3): 31-33 (in Chinese)
- [29] 国家林业局. 中国林业统计指标解释[M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 61-62, 115-124
State Forestry Administration. *The definition of China Forestry Statistic Indicators* [M]. Beijing: China Forestry Press, 2000: 61-62, 115-124 (in Chinese)
- [30] 郝荣庭. 果树栽培学总论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 1-7

- Xi R T. *Pomology*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 1-7 (in Chinese)
- [31] 曲泽洲. 果树栽培学总论(第二版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983: 33-34
- Qu Z Z. *Pomology* (2nd edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1983: 33-34 (in Chinese)
- [32] 辞海编辑委员会. 辞海(农业分册)[M]. 上海: 上海辞书出版社, 1978: 19-20
- Editorial board of unabridged comprehensive dictionary. *An Unabridged Comprehensive Dictionary (Agricultural fascicule)* [M]. Shanghai: Shanghai Lexicographical Press, 1978: 19-20 (in Chinese)
- [33] 吕文, 王春峰, 王国胜, 余国剩, 张彩虹, 张大红, 刘金亮. 中国林木生物质能源发展潜力研究(1)[J]. 中国能源, 2005, 27(11): 21-26
- Lv W, Wang C F, Wang G S, Yu G S, Zhang C H, Zhang D H, Liu J L. Research on energy development potential of Chinese forest biomass (1)[J]. *Energy of China*, 2005, 27(11): 21-26 (in Chinese)
- [34] 吕文, 王春峰, 王国胜, 余国剩, 张彩虹, 张大红, 刘金亮. 中国林木生物质能源发展潜力研究(2)[J]. 中国能源, 2005, 27(12): 29-33
- Lv W, Wang C F, Wang G S, Yu G S, Zhang C H, Zhang D H, Liu J L. Research on energy development potential of Chinese forest biomass (2)[J]. *Energy of China*, 2005, 27(12): 29-33 (in Chinese)
- [35] 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
- Xu Q F. Research on estimation of exploitation utilization technology and optimization of product mix of forestry bioenergy [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2007 (in Chinese)
- [36] 张希良, 吕文. 中国森林能源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 17-33
- Zhang X L, Lv W. *China Forestry Energy* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 17-33 (in Chinese)
- [37] 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
- He R F. Geographical distribution of biomass energy and access on its development and utilization in China[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013 (in Chinese)
- [38] 王国胜, 吕文, 刘金亮, 王树森, 吕扬, 王广涛, 徐剑琦, 王莹. 中国林木生物质能源资源培育与发展潜力调查[J]. 中国林业产业, 2006(1): 12-21.
- Wang G S, Lv W, Liu J L, Wang S S, Lv Y, Wang G T, Xu J Q, Wang Y. Investigation on Cultivation and development potential of forest biomass energy resources in China[J]. *China Forestry Industry*, 2006(1): 12-21 (in Chinese)
- [39] LY/T 1369—2011. 次加工原木[S]. 北京: 国家林业局, 2011
- LY/T 1369—2011. Secondary processing logs [S]. Beijing: State Forestry Administration, 2006 (in Chinese)
- [40] 于露. 中国农村薪材消耗研究综述[J]. 经济研究导刊, 2012, 8(6): 40-41
- Yu L. A review of the research on the consumption of rural firewood in China[J]. *Economic Research Guide*, 2012, 8(6): 40-41 (in Chinese)
- [41] 张齐生. 科学、合理地利用我国的竹材资源[J]. 木材加工机械, 1995, 6(4): 23-27
- Zhang Q S. Scientific way to use the bamboo resource in China [J]. *Wood Processing Machinery*, 1995, 6(4): 23-27 (in Chinese)
- [42] 万晓清, 蒋新元. 竹加工剩余物的综合利用[J]. 企业技术开发, 2006, 25(7): 71-73
- Wang X Q, Jiang X Y. Comprehensive utilization of bamboo processing residues [J]. *Technological Development of Enterprise*, 2006, 25(7): 71-73 (in Chinese)
- [43] 盖希坤, 单胜道, 李翀. 竹加工废弃物炭化实用技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016
- Gai X K, Shan S D, Li C. *Carbonization Technology Of Bamboo Processing Waste* [M]. Beijing: China agriculture Press, 2016 (in Chinese)
- [44] 裘福庚. 竹材加工剩余物的利用方式探讨[J]. 竹子研究汇刊, 1993, 5(2): 28-32
- Qiu F G. Discussion on the utilization of bamboo processing residues[J]. *Journal of Bamboo Research*, 1993, 5(2): 28-32 (in Chinese)
- [45] 张建, 汪奎宏, 李琴, 华锡奇. 我国竹材利用率现状分析与建议[J]. 林业机械与木工设备, 2006, 34(8): 7-10
- Zhang J, Wang K H, Li Q, Hua X Q. Present situation and suggestion of bamboo utilization in China [J]. *Forestry Machinery & Woodworking Equipment*, 2006, 34(8): 7-10 (in Chinese)
- [46] 罗新湘, 文瑞明. 竹材加工剩余物开发利用研究述评[J]. 湖南城市学院学报: 自然科学版, 2004, 13(3): 62-64
- Luo X X, Wen R M. Review on the development and utilization of bamboo processing residues[J]. *Journal of Hunan City University: Natural Science*, 2004, 13(3): 62-64 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅