

农村生物质供应链运营机制优化设计

彭仕勇

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年9月7日; 录用日期: 2023年10月18日; 发布日期: 2023年10月30日

摘要

生物质作为一种可再生、可循环的绿色能源应用前景广阔。目前, 农村生物质供应运营机制、组织合作模式不成熟、不完善限制了相关产业的发展, 我国农村地区大量生物质资源未得到有效利用; 本文重点分析了生物质预处理对于供应链物流成本的影响, 以生物质电厂发电为例, 通过构建预处理激励机制, 引入收益共享契约来激励供应链参与者进行预处理投入以提升供应链利益相关者的收益并协调好参与主体的相互关系, 使各利益群体间的合作程度更加紧密, 维持整个供应链稳定运行, 实现农村生物质供应链协调、共赢、可持续发展。

关键词

生物质, 供应链, 预处理, 激励机制, 系统模型

Optimization Design of Rural Biomass Supply Chain Operation Mechanism

Shiyong Peng

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Sep. 7th, 2023; accepted: Oct. 18th, 2023; published: Oct. 30th, 2023

Abstract

Biomass, as a renewable and recyclable green energy, has broad prospects for application. At present, the immature and imperfect operation mechanism and organizational cooperation model of rural biomass supply have limited the development of related industries, and a large amount of biomass resources in rural areas of China have not been effectively utilized; This article focuses on analyzing the impact of biomass pre-treatment on the logistics costs of the supply chain. Taking biomass power generation as an example, by constructing a pre-treatment incentive mechanism and introducing a revenue sharing contract to incentivize supply chain partici-

pants to invest in pre-treatment, the benefits of supply chain stakeholders can be improved, and the interrelationships of participating parties can be coordinated to make the cooperation between various interest groups closer and maintain the stable operation of the entire supply chain, to achieve coordinated, win-win, and sustainable development of the rural biomass supply chain.

Keywords

Biomass, Supply Chain, Pretreatment, Excitation Mechanism, System Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在未来我们国家新能源的发展中，生物质将在整个农村能源革命中扮演重要角色，中国是传统农业大国，每年会产生大量的生物质秸秆及林业废弃物。再加上农村畜禽养殖等也会生成大量废弃物，这些都必须进行合理消纳。目前，生物质资源的利用技术发展较为迅速，已经有了生物质能源现代化利用技术的大量基础，我国也出台了一套推动生物质能开发与利用的政策。在此背景下，我国初步具备了生物质产业化发展的条件，落实建成了许多生物质资源化产业。农村生物质种类多、储量大，是企业生物质资源的重要来源，但分布比较分散，收集困难，回收成本高，我国生物质能源产业发展多年，但存在产业规模小和生产成本高的问题[1]。此外，没有完善、高收益的供应链运营机制，也形成了我国生物质产业化发展的“瓶颈”。

世界生物质能协会认为，生物质能在减缓所有能源供应领域的气候变化方面发挥着关键作用，生物质供应链对于实现生物质能的全部潜力至关重要，未来林业和农业部门的供应链将使城市、省和国家通过使用生物能源实现能源目标和能源安全，并有效利用资源和促进经济发展。因此，如何解决供应链中存在的问题，尤其是生物质的收集、仓储、运输和加工技术等涉及到经济成本的问题，如何优化农村生物质供应链运营机制，是我们实现农村生物质产业化可持续发展必须解决的问题。本文就生物质资源组分多样、结构复杂的特点对生物质产品进行分类，对不同产品的流通加工、利用和预处理技术进行概述，重点分析生物质预处理对于供应链物流成本的影响，并要达到一定的预处理要求应如何激励供应链参与者进行生物质预处理水平投入以提高生物质供应链参与者的收益；并就如何协调生物质供应链参与主体之间的收益，实现生物质供应链的稳定、共赢、可持续发展展开研究分析。

2. 文献综述

国内农村生物质供应链机制的参与主体一般包括农户、生物质回收经纪人、物流企业、生物质加工利用企业，主要有集约型收储模式、分散型收储模式以及自收自用模式为三种较为常见的生物质回收模型[2]。为了进一步优化农村生物质供应链运营机制，我国有学者在“农户 + 经纪人 + 生物质发电厂”的生物质回收模式下，通过构建生物质发电产业供应链协同化模型，对生物质发电供应链运营机制进行了协同演化研究[3]。对生物质的一种主要利用模式就是生物质发电，来飞，米锋[4]提到林木生物质电能产品供应网络结构包含原料供应、仓储运输、生产加工、仓储运输、终端销售等5大环节。

在生物质供应链模型构建方面，Krishna Teja Malladia、Taraneh Sowlatib [5]认为物流是一种规划生

物质能生产系统的重要方面。他们回顾了生物质物流运营的重要特点，讨论了如何将其纳入数学优化模型，并阐述了生物质物流优化的新趋势。Nathaniel Cooper、Anna Panteli、Nilay Shah [6]研究了一种生物质供应链优化框架，该框架通过将生物质产量分布的分段线性近似结合到优化中来提供关于可用土地质量的信息。Chun Hsion Lim、Hon Loong Lam [7]等人通过研究各种生物质资源的特性，将生物质资源与工艺原料结合起来，通过生物质资源的特性，优化供应链网络，实现生物质的最佳利用和应用。Aryama Raychaudhuria、Sadhan Kumar Ghosh [8]研究了亚欧国家现有生物质供应链，认为不同国家与不同原料有关的现有供应链可持续性可大致分为运作、经济、社会和政策及监管挑战等可持续发展问题。Hao Hu、Tao Lin [9]等人为了更好地了解生物质供应链管理中决策受到生物质产量、采购价格、市场需求、运输成本和加工技术等因素的不确定性影响，通过网络地理信息系统进行统计分析和数据密集型计算，以优化生物质供应链的不确定性。Sikha Chugh、T. Edward Yu [10]等人以美国田纳西州柳枝生物质原料的供应链为例，研究分析了六种不同的物流流程处理模式下柳枝生物质原料供应链的经济性分析。洪博文，冯凯辉，穆云飞[11]在结合分布式可再生能源的概念和特点的基础上，针对分布式可再生能源的发展和农村应用的问题，提出了农村分布式可再生能源的几种典型利用方式。结合不同的应用场景以及资源和需求的特征下，对几种典型的利用模型的基本特征、应用范围和应用条件进行了深入的分析。

我国农村生物质供应链存在的一个主要问题是物流成本问题，目前我国生物质资源化利用产业的收益普遍不高，生物质回收过程中需要投入大量的人力、物力进行收集、运输、存储、加工处理等操作。以秸秆发电为例，在秸秆回收过程中考虑车辆燃油、车辆损耗以及人力投入等因素，就算宽松估计，秸秆的最佳回收半径不宜大于 50 公里，而且研究发现利用木本植物制取生物柴油的工艺路线其费用更加高昂。张茜、李洋、王磊明[12]也认为半径因素是影响回收物流成本最重要的因素，适当减小收集半径可很大程度上降低运输费用。张彩庆，李丽萍，臧鹏飞[13]研究了秸秆物流配送中心选址问题，提出了在秸秆收储点和沼气发电工程之间建设配送中心的秸秆物流配送模式，并在此基础上建立了配送中心选址混合整数规划模型，该选址模型的目标是使物流总成本最低。

对生物质供应链物流成本的进一步研究，有学者对生物质预处理对物流成本的影响进行了关注。刘广建，王茹，沈毅[14]以秸秆的回收为实例，将生物质秸秆的供应模式按照预处理方式的不同划为 4 种，研究发现对秸秆进行预处理操作，能够显著降低秸秆的回收费用。而 Sikha Chugh、T. Edward Yu [10]等人以美国田纳西州柳枝生物质原料的供应链为例，研究分析了六种不同的物流流程处理模式下柳枝生物质原料供应链的经济性分析。

3. 农村生物质供应链相关性概述

3.1. 生物质利用技术途径和产品类型

由于生物质资源组分多样、结构复杂，其利用技术和产品类型也多种多样，我们要协调处理好生物质资源各种利用方式、各种能源利用方式之间的关系，避免恶性竞争。现有生物质利用技术包括生物质材料加工技术、生物质能转化利用技术、有机废弃物处理技术、饲料加工技术等，可加工成生物质材料、生物质能源、肥料、饲料等一系列产品。图 1 整理归纳了我国农村生物质主要利用技术途径和产品类型。

根据生物质产品类型和用户的不同，可以将农村生物质利用技术分为户用技术和规模化技术。户用技术利用是指农户自行收集原料经过技术处理就近利用的一种方式，未形成相应的产业链；规模化技术利用有较长的产业链，包括生物质原料的收集、运输、储存、预处理、生物质加工利用企业进行产品的生产。表 1 展示了生物质能转化利用技术途径。

Table 1. List of biomass energy conversion and utilization technologies
表 1. 生物质能转化利用技术一览表

原料	来源	技术类型	产品	用途
农作物秸秆、林业生物质资源	农业、林业生产	直燃发电技术	电力	发电/供热
		混合燃烧发电技术		
		气化集中供电技术	生物质燃气	炊事
		固体成型燃料技术	固体成型燃料	炊事/采暖
		沼气技术	沼气	炊事
		水解技术	燃料乙醇	运输
		费托合成	生物柴油	
畜禽粪便	农户散养 养殖场或养殖小区	农村户用沼气技术	沼气	炊事
		养殖场沼气工程技术	沼气/电力	炊事/发电/运输
能源作物	甜高粱茎秆、甘蔗木薯等油菜籽、棉籽、麻疯树等	发酵法	燃料乙醇	运输
		化学法	生物柴油	

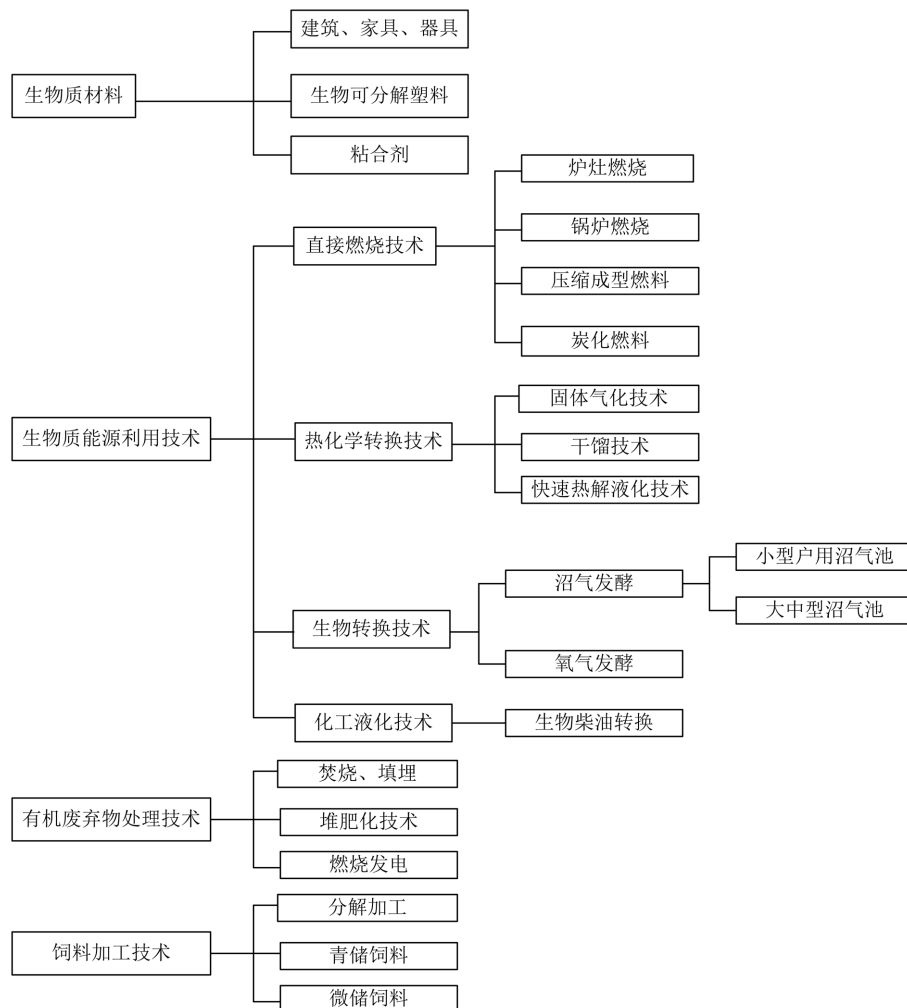


Figure 1. Technical pathways for biomass utilization
图 1. 生物质利用技术途径

3.2. 生物质预处理技术

生物质预处理技术是指以物理、化学或生物手段对生物质进行加工处理，将其转化成更加稳定的形式，以利于生物质原料的运输、存储和能源转化。生物质预处理技术种类繁多，常见的生物质预处理技术有：干燥、研磨、压缩打包/捆、青储、混配、致密成型等。然而处理效率低、处理成本高是现有的预处理技术的缺点。因此，低成本的致密成型技术的发展是该领域的研究重点。

一个典型的生物质供应链包括了一系列离散的过程[15]。以生物质秸秆供应链为例，这一过程包括了田间准备、收获、预处理、中转储藏站存储、运输到电厂的卸载、入库等。

4. 建立系统模型

由前面的分析可知，对生物质进行预处理能够节省空间，便于运输和存储，大大降低物流成本，同时能够改善生物质物理结构和品质，提高生物质能源转化效率，提高电厂等生物质加工利用企业的效益，因此制定生物质供应链投入的激励机制以鼓励供应链相关参与者对生物质原料在流通过程中进行预处理对于提高生物质供应链运营效益起着至关重要的作用。

有关研究表明，供应链成员的共同决策可以通过收益共享契约机制得到不错的反应、有助于决策效率的提高，此外，通过收益共享能够明显的激励供应链成员的预处理努力投入。因此，本文将探讨收益共享契约机制对生物质秸秆供应链中农户、经纪人与电厂联合进行预处理投入的激励与收益协调效果，并且分析收益共享契约机制对参与三方预处理努力投入策略产生的影响。

本文基于“农户 + 经纪人 + 电厂”模式下的生物质秸秆发电供应链，探讨收益共享比例对参与主体预处理努力水平以及收益共享契约的协调效果影响。图 2 为生物质秸秆发电供应链结构图。

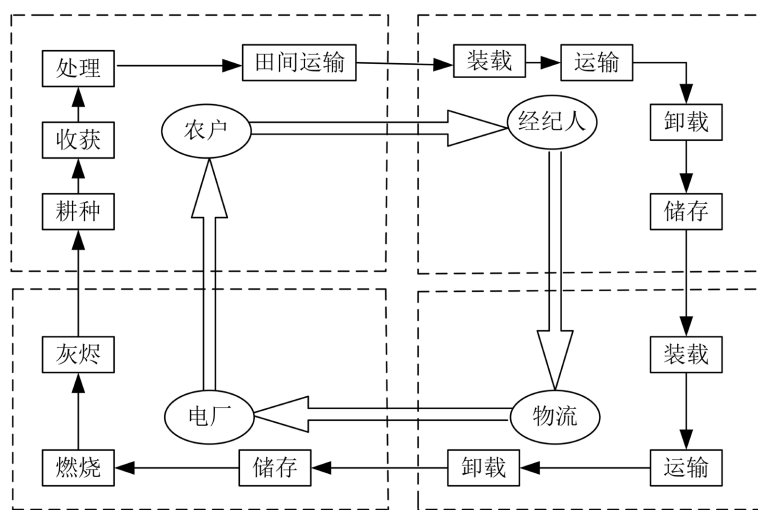


Figure 2. Structure diagram of biomass power generation supply chain
图 2. 生物质发电供应链结构图

4.1. 假设与参数说明

参考熊峰、方剑宇、金鹏、袁俊[16]、杨海平、檀勤良[17]等人的研究，本文作出如下假设：

假设 1 农户预处理努力投入水平为 ρ_1 ，参考契约论提到的努力水平与目标变量一般采用乘积形式，且线性相关，假设预处理努力水平投入后的生物质的预处理度为 $\theta_1 = k_1\rho_1$ ，其中 k_1 为预处理程度影响系数，且

$\theta_1, \rho_1 \in [0,1]$ ；则预处理成本 $C_{\rho_1} = \frac{1}{2}q\tau_1\rho_1^2$ ，其中 τ_1 表示预处理成本影响系数，且 $\tau_1 > 0$ ， q 为秸秆供应量。

假设 2 基于王磊和但斌[18]的假设，由于农户、经纪人和电厂三方都将投入预处理努力，因此，经纪人投入预处理努力为 ρ_2 ，则在经纪人与电厂交割时秸秆预处理程度 $\theta_2 = k_1\rho_1 + k_2\rho_2$ ， k_1 、 k_2 为预处理努力对预处理程度影响因子；预处理成本 $C_{\rho_2} = \frac{1}{2}\tau_2\rho_2^2$ ，单位距离单位秸秆的运输费 $C_{tr1} = (1-\theta_1)C_{tr0}$ ， $C_{tr2} = (1-\theta_2)C_{tr0}$ 。其中， C_{tr0} 表示未经处理单位秸秆单位距离运输成本， C_{tr1} 表示从农户收集点运往中转储藏站的单位运输成本， C_{tr2} 表示经纪人将秸秆从中转站运到电厂的单位运输成本，中转站单位存储成本 $C_{st1} = (1-\theta_2)C_{st0}$ ， C_{st0} 表示未经预处理秸秆单位存储成本。同理，电厂投入预处理努力为 ρ_3 ，最终预处理程度 $\theta = \theta_2 + k_3\rho_3$ ，预处理成本 $C_{\rho_3} = \frac{1}{2}\tau_3\rho_3^2$ ；电厂单位存储成本 $C_{st2} = (1-\theta)C_{st0}$ ；经最终处理后单位秸秆发电量 $EL_{uit} = (1+\theta)EL_{uit0}$ ，其中 EL_{uit0} 表示未经预处理单位秸秆发电量。

假设 3 农户秸秆供应量满足电厂需求量，且电厂秸秆需求量稳定为 q ； p 表示电厂单位秸秆发电收益， $p = C_{on}(1+\theta)EL_{uit0}$ ， C_{on} 为电厂电价。

有关参数说明如表 2 所示：

Table 2. Description of relevant parameters

表 2. 相关参数说明

参数名称	含义	参数名称	含义
ρ_1 、 ρ_2 、 ρ_3	农户、经纪人、电厂预处理努力水平	C_{on}	电厂电价
θ_1 、 θ_2	分别经农户、经纪人预处理后的预处理程度	C_{pu2}	农户单位秸秆出售价格
θ	最终预处理程度	C_{re}	农户单位秸秆操作成本
τ_1 、 τ_2 、 τ_3	农户、经纪人、电厂预处理成本影响系数	C_{pe}	经纪人单位秸秆操作成本
q	秸秆供应量	C_{op}	单位发电运营维护成本
k_1 、 k_2 、 k_3	农户、经纪人、电厂预处理努力程度影响因子	γ_1 、 γ_2	电厂对农户、经纪人的收益共享比例
C_{tr0}	未经处理的秸秆单位运输成本	C_{pu1}	经纪人出售给电厂单位秸秆价格
C_{st0}	未经处理的秸秆单位仓储成本	EL_{uit0}	未经预处理单位秸秆发电量

4.2. 系统模型的建立与分析

本文将考虑供应链参与者处于完全理性状态下，生物质秸秆供应链参与者的预处理努力以及收益共享契约的协调效果，由前文分析可知，对秸秆进行预处理将影响运输、仓储成本以及电厂发电效率，因此建立模型时考虑预处理程度对仓储成本、运输成本、单位秸秆发电量等因素产生的影响。

农户、经纪人与电厂在完全理性下以各自利益最大化为目标进行决策，此时，

农户利润函数为：

$$V_A = (C_{pu2} - C_{re})q - \frac{1}{2}q\tau_1\rho_1^2 + \gamma_1pq \tag{1}$$

其中， C_{pu2} 表示农户单位秸秆出售价格； C_{re} 表示农户单位秸秆操作成本； q 表示秸秆供应量； γ_1 为电厂收益共享比例，(1)式中第一项表示农户平均收益，第二项表示农户预处理成本，第三项为电厂的收益共享。由假设 3 可知 $p = C_{on}(1+\theta)EL_{uit0}$ 。

经纪人利润函数为：

$$V_B = (C_{pu1} - C_{pu2} - C_{pe})q - (C_{tr1}l_1 + C_{tr2}l_2)q - C_{st1}q - \frac{1}{2}q\tau_2\rho_2^2 + \gamma_2pq \tag{2}$$

其中， C_{pe} 表示单位秸秆操作成本； l_1 农户收集点到中转储藏站的运输距离； l_2 表示中转储藏站到电厂的

运输距离; C_{pu1} 表示经纪人出售给电厂秸秆价格。(2)式中第一项为经纪人平均收益,第二项为运输成本,第三项为中转储藏站存储成本,第四项为经纪人预处理成本,第五项表示电厂的收益共享;由前文假设 2 可知 $C_{tr1} = (1 - \theta_1)C_{tr0}$, $C_{tr2} = (1 - \theta_2)C_{tr0}$, $C_{st1} = (1 - \theta_2)C_{st0}$ 。

电厂利润函数为:

$$V_C = (C_{on} - C_{op})EL_{uit}q - C_{pu1}q - C_{st2}q - (\gamma_1 + \gamma_2)pq - \frac{1}{2}q\tau_3\rho_3^2 \quad (3)$$

其中 C_{on} 表示电价; C_{op} 单位发电运营维护成本; EL_{uit} 最终处理后单位秸秆发电量; q 代表秸秆供应量; (3)式中第一项表示电厂平均收益,第二项表示电厂从经纪人回收秸秆的成本,第三项表示电厂存储成本,第四项表示电厂分享给供应链成员的收益,第五项表示电厂的预处理成本;由前文假设 3 可知 $C_{st2} = (1 - \theta)C_{st0}$, $EL_{uit} = (1 + \theta)EL_{uit0}$ 。

假设参与三方处于完全理性状况下,农户以追逐利润最大化为决策目标,决定对生物质秸秆的进行预处理努力水平投入,此时 $\frac{\partial^2 V_A}{\partial \rho_1^2} = -\tau_1 < 0$, 则存在最优农户秸秆预处理努力投入水平,令 $\frac{\partial V_A}{\partial \rho_1} = 0$, 可得最优预处理努力投入水平为:

$$\rho_1^* = \frac{k_1\gamma_1 C_{on} EL_{uit0}}{\tau_1} \quad (4)$$

由(4)式可知,农户预处理努力水平与电厂收益共享有关。对(4)式有 $\frac{\partial \rho_1^*}{\partial \gamma_1} = \frac{k_1 C_{on} EL_{uit0}}{\tau_1} > 0$, 因此电厂收益共享比重越高,农户预处理投入水平越高。

在现实中,当农户将秸秆出售给经纪人后,经纪人在中转储藏站对秸秆继续进行预处理,预处理程度增加,能够节省空间,便于装卸、搬运,降低仓储、运输成本。同时经过曝晒、致密化处理后,秸秆的品质得以提升,这样有利于提高电厂燃烧秸秆发电的转化效率,从而获得高额利润。

由(2)式得: $\frac{\partial^2 V_B}{\partial \rho_2^2} = -\tau_2 < 0$, 此时存在最优经纪人预处理努力水平:

$$\rho_2^* = \frac{k_2(C_{tr0}l_2 + C_{st0} + \gamma_2 C_{on} EL_{uit0})}{\tau_2} \quad (5)$$

由(5)式可知,经纪人预处理努力水平受到经纪人运输成本、仓储成本、电厂收益共享等因素的影响。

由(5)式可知 $\frac{\partial \rho_2^*}{\partial \gamma_2} = \frac{k_2(C_{tr0}l_2 + C_{st0})C_{on} EL_{uit0}}{\tau_2} > 0$, 因此电厂预收益共享比重越高,经纪人预处理努力水平越高,两者呈正相关关系。

同理,由(3)式可得 $\frac{\partial^2 V_C}{\partial \rho_3^2} = -\tau_3 < 0$, 存在最优电厂预处理努力水平:

$$\rho_3^* = \frac{k_3[(C_{on} - C_{op})EL_{uit0} - (\gamma_1 + \gamma_2)C_{on} EL_{uit0} + C_{st0}]}{\tau_3} \quad (6)$$

由(6)式可知,电厂预处理努力水平受到电厂单位利润、仓储成本、电厂收益共享比例等因素的影响。

由上式可得 $\frac{\partial \rho_3^*}{\partial \varphi} = -\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{\tau_3} < 0$, ($\varphi = \gamma_1 + \gamma_2$), 则电厂收益共享比重越高,预处理努力投入水平越低。

通过分析,我们已经基本得出了收益共享契约与参与三方预处理努力投入水平之间的函数关系,而收益共享比例是如何影响预处理努力投入水平的,收益共享契约对参与三方的收益协调效果是怎样的,我们将在下一节中通过引入实例、获取有关数据来进一步探究。

5. 实例分析

以益阳市凯迪生物质发电厂为例，通过收集相关数据对以上模型进行深入的探究。具体有关参数说明如下表 3 所示。

Table 3. Related parameters table

表 3. 相关参数表

参数名称	取值	参数名称	取值
C_{pu2}	40	C_{re}	10
C_{pe}	5	l_1	15
l_2	17	C_{tr0}	4
C_{st0}	20	C_{pu1}	200
C_{on}	0.70	C_{op}	0.05
q	200,000	EL_{air0}	750

5.1. 无收益共享情形

首先我们探讨无收益共享比例的情形下，预处理投入水平与农户、经纪人、电厂的利润以及供应链总利润的关系，此时收益共享比例为 0。我们假设预处理成本影响系数分别为 650、700、1200；为了简化计算取预处理程度影响系数为 1。在不同预处理努力投入下，由(1)、(2)、(3)式可分别计算出农户、经纪人、电厂所获利润，可得到如图 3 所示的利润与预处理水平的关系图。

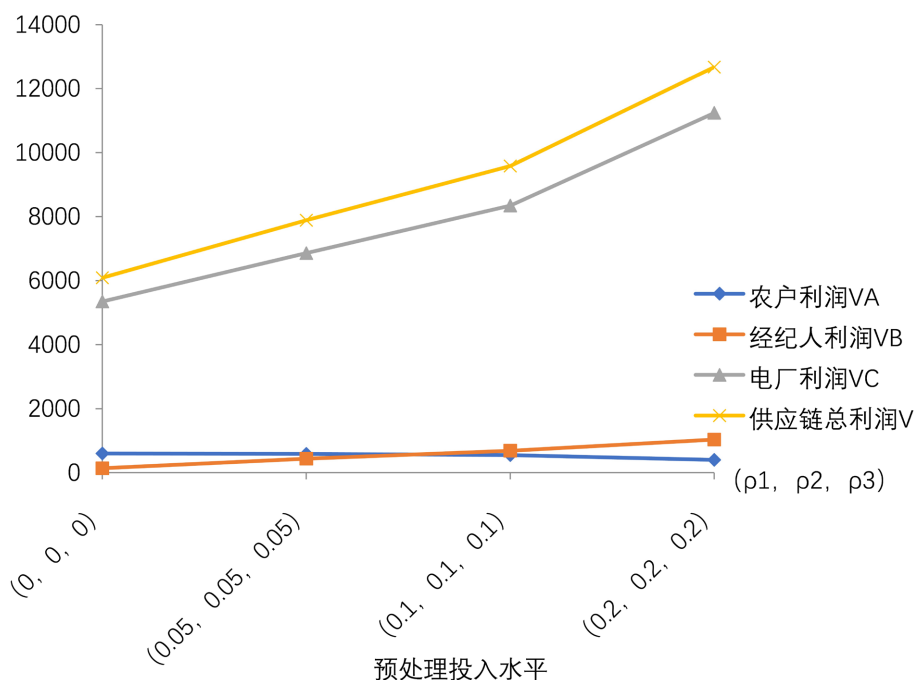


Figure 3. Relationship between profit and pretreatment level investment

图 3. 利润与预处理水平投入关系图

从图 3 可以看出，随着供应链参与者预处理努力水平的提高，经纪人与电厂的利润均增加，同时供应链总体利润也大幅增加，进行预处理投入有利于提升供应链效益。然而农户的利润下降，原因是在无

其他补贴的情况下，农户对秸秆进行预处理时，预处理成本的增加使得其所获利润减少。而对于经纪人和电厂对秸秆进行预处理投入能够降低仓储和运输成本、提高秸秆发电效率从而获得额外利润。

因此要促进供应链秸秆预处理投入，我们要考虑处于弱势地位的农户和经纪人的收益，通过协调机制来激励供应链预处理努力投入，以提高供应链整体效益，调动参与主体的积极性，促进生物质秸秆供应链协调、稳定发展。

5.2. 采用收益共享契约

为了降低电厂预处理成本、提高秸秆发电效率以及调动供应链参与者的积极性，电厂决定采用收益共享契约机制将所得收益按一定比重分享给农户和经纪人以激励其进行预处理投入。接下来我们探讨收

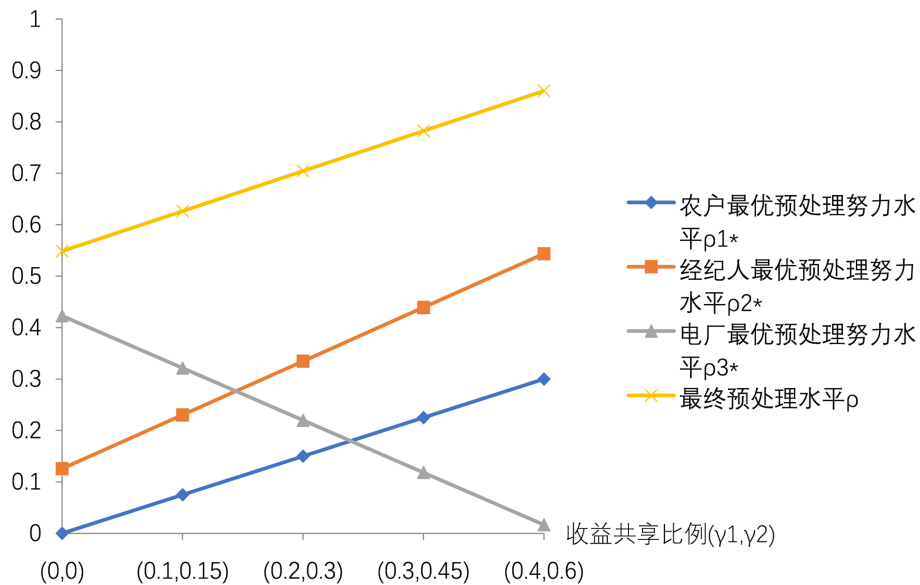


Figure 4. Effect of preprocessing effort incentive for revenue sharing contracts

图 4. 收益共享契约预处理努力激励效果

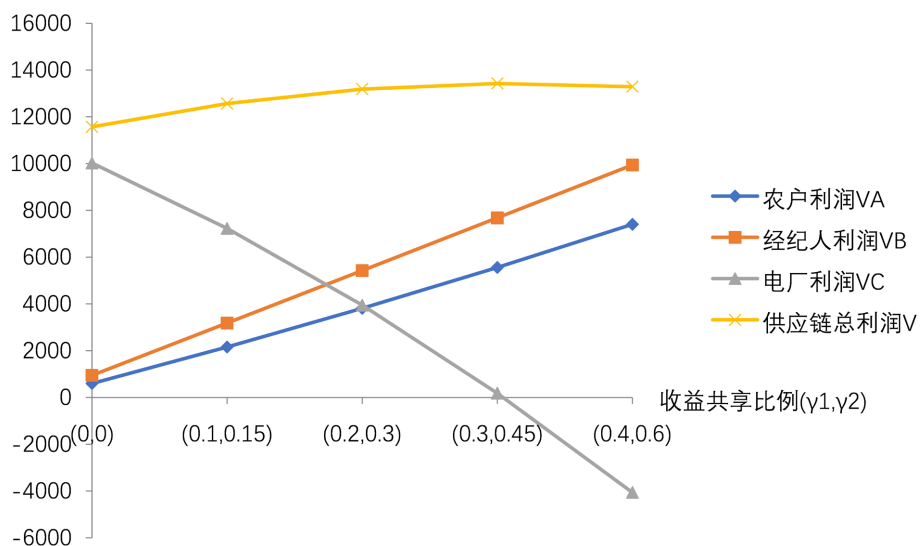


Figure 5. Relationship between revenue sharing ratio and profit

图 5. 收益共享比例与利润关系

益共享契约对预处理水平激励效果的影响,在此考虑电厂收益共享比例与供应链成员的最优预处理投入水平及最大利润的关系。由(4)、(5)、(6)式可得收益共享比例与预处理努力水平的关系,如图4所示。由(1)、(2)、(3)式可得收益共享比例与供应链参与者利润以及总利润的关系,如图5所示。

从图4、图5可以看出,当无收益共享契约激励或者收益共享比重较小时,从预处理努力水平上看,农户和经纪人的预处理水平较低,电厂的预处理努力水平远高于农户和经纪人的预处理水平,提升秸秆预处理程度主要依靠电厂,同时可以看出在该阶段农户和经纪人的利润也较低,主要原因是在电厂收益共享比例较低时,农户和经纪人对秸秆进行预处理产生的预处理成本使利润趋近于0,因此农户和经纪人不愿进行预处理投入。

随着收益共享比例的增加,整个供应链秸秆预处理投入越大,收益共享契约对秸秆预处理水平具有明显的激励作用。同时从利润上看,随着收益共享比例的增加,农户和经纪人的利润上升,供应链总利润上升,而电厂的利润随之下降,当电厂总的收益共享比例接近40%时,电厂与农户和经纪人的利润差距较小,此时的预处理程度在65%左右;而当电厂的收益共享比例达到75%时,电厂的利润趋近于0,因此电厂不宜继续加大收益共享比例。在不同的收益共享比例下,参与主体选择最优预处理努力投入水平从而获得最大收益。通过分析可知电厂通过引入收益共享契约能够有效协调供应链参与者的收益,激励农户和经纪人进行预处理投入。

6. 总结与展望

有效的机制设计是保证供应链顺利运行的关键,本文通过引入收益共享契约机制针对供应链成员生物质秸秆预处理努力投入进行激励,探讨收益共享比例对预处理努力水平以及收益共享契约激励协调效果的影响。研究发现,通过收益共享契约激励供应链参与成员对秸秆进行预处理努力投入,既能保证电厂利益又能保证农户和经纪人的收益,从而提高农户、经纪人的合作意愿,解决生物质发电燃料供应链中燃料收集困难与供应不稳定等问题。本文在“农户-经纪人-电厂”模式下,探讨收益共享契约对供应链成员预处理努力水平和收益的影响,我们得出以下结论:

1、预处理努力水平的提升能够提升供应链整体利润。供应链成员对秸秆进行曝晒、拣选、打包/捆、压缩致密成型等预处理操作能够改善秸秆原料的物理结构,提高生物质原料的堆积密度和能量密度,降低运输和仓储成本,提高秸秆燃料发电效率,从而获得额外利润。

2、收益共享契约通过收益共享比例来激励供应链成员进行预处理努力投入。电厂通过建立收益共享契约机制将自己所得收益分享给其他盟员以激励农户和经纪人进行预处理努力投入。收益共享比例越大,秸秆预处理程度越大,不仅农户和经纪人的利润随之提升,供应链总体利润也有所增加,农户和经纪人更愿意在秸秆收集过程中对秸秆进行预处理。

3、收益共享契约机制对预处理努力水平具有明显的激励效果,电厂通过分享自己的收益来激励预处理努力投入,能够协调参与三方的关系,促进供应链成员之间的长期合作。

收益共享契约机制使各利益群体间的合作程度更加紧密,是维持整个供应链稳定运行的纽扣,本文假设各利益群体都处于完全理性状态,都追逐自身利益的最大化,从而求得最优预处理努力水平和最大利润。电厂通过该机制将预处理带来的收益在供应链成员之间进行分享从而提高供应链成员预处理投入积极性,以提高供应链总体效益,同时平衡利益相关者之间的收益,有利于生物质供应链协调、共赢、可持续发展。

目前国内外学者对农户的秸秆供给意愿、行为和生物质发电燃料供应链的收储运的物流系统研究较多,而对生物质发电燃料供应链运营机制鲜有研究。因此本文重点分析了生物质预处理对于供应链物流成本的影响,以生物质电厂发电为例,通过构建预处理激励机制,引入收益共享契约来激励供应链参与

者进行预处理投入以提升供应链利益相关者的收益并协调好参与主体的相互关系。但本文还存在一些不足, 由于生物质能产业属于专业性较强的领域, 其供应链组织模式受制于多种因素、原料类别以及区域交通状况等, 所以我们对它的分析还存在一定局限性; 未来的研究工作可以通过考虑细分多生物质的情况, 从而研究生物质供应链的运营机制。此外还可以引入博弈论的最新理论成果, 对生物质供应链参与者连续的策略对抗或互动行为进行研究。

参考文献

- [1] 苏世伟, 陈妍, 聂影. 生物质燃料供应链物流成本的文献比较研究[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(15): 7-10.
- [2] 陈玉华, 田富洋, 闫银发, 等. 农作物秸秆综合利用的现状、存在问题及发展建议[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(2): 67-73.
- [3] 马国杰, 常春, 陈俊武. 生物质原料供应链技术经济研究进展[J]. 化工进展, 2019, 38(2): 720-725.
- [4] 来飞, 米锋. 我国林木生物质发电产业中政府角色与发展模式的思考[J]. 世界林业研究, 2020, 33(2): 106-111.
- [5] Malladia, K.T. and Sowlatib, T. (2018) Biomass Logistics: A Review of Important Features, Optimization Modeling and the New Trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **94**, 587-589. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.052>
- [6] Cooper, N., Panteli, A. and Shah, N. (2019) Linear Estimators of Biomass Yield Maps for Improved Biomass Supply Chain Optimisation. *Applied Energy*, **253**, Article ID: 113526. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113526>
- [7] Lim, C.H. and Lam, H.L. (2019) Biomass Supply Chain Optimisation via Novel Biomass Element Life Cycle Analysis (BELCA). *Applied Energy*, **161**, 733-745. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.07.030>
- [8] Raychaudhuria, A. and Ghosh, S.K. (2016) Biomass Supply Chain in Asian and European Countries. *Procedia Environmental Sciences*, **35**, 914-924. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.062>
- [9] Hu, H., Lin, T., Wang, S.W. and Rodriguez, L.F. (2017) A Cyber GIS Approach to Uncertainty and Sensitivity Analysis in Biomass Supply Chain Optimization. *Applied Energy*, **203**, 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.107>
- [10] Chugh, S., Edward Yu, T., Jackson, S.W., Larson, J.A., English, B.C. and Cho, S.-H. (2016) Economic Analysis of Alternative Logistics Systems for Tennessee-Produced Switchgrass to Penetrate Energy Markets. *Biomass and Bioenergy*, **85**, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.017>
- [11] 洪博文, 冯凯辉, 穆云飞, 等. 农村分布式可再生能源利用模式与应用[J]. 中国电力, 2020, 53(2): 99-104.
- [12] 张茜, 李洋, 王磊明. 生物质能秸秆回收物流成本分析及测算[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(12): 185-193.
- [13] 张彩庆, 李丽萍, 臧鹏飞. 沼气发电工程秸秆物流配送中心选址规划研究[J]. 中国沼气, 2017, 35(3): 74-78.
- [14] 刘广建, 王茹, 沈毅. 典型预处理对生物质物流成本影响分析[J]. 电力科学与工程, 2014, 30(1): 8-13.
- [15] 鲍香台, 张永, 林哲建, 等. 生物质能供应链收集运输方式的仿真优化研究[J]. 物流技术, 2011, 30(23): 165-168.
- [16] 熊峰, 方剑宇, 袁俊, 等. 盟员行为偏好下生鲜农产品供应链生鲜努力激励机制与协调研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(4): 115-126.
- [17] 杨海平, 檀勤良. 生物质发电供应链多利益群体协同收益分配研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 华北电力大学, 2016: 29-37.
- [18] 王磊, 但斌. 考虑零售商保鲜和消费者效用的生鲜农产品供应链协调[J]. 运筹与管理, 2015, 24(5): 44-51.