

# 农村生物质废弃物沼气化利用回收模式优化

任峰<sup>1,2</sup>, 刘应宗<sup>1</sup>, 牛东晓<sup>2</sup>

(1. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 2. 华北电力大学经济与管理学院, 保定 071003)

**摘要:** 农村生物质废弃物的科学回收是其沼气化利用的基础。在能源不断匮乏的背景下, 提出建立公司化运作的农村沼气产业, 研究如何科学高效地回收我国农村地区存量丰富的生物质废弃物。设计 4 种回收模式, 对每种回收模式从回收率、回收价格、最优利润等角度展开研究, 得出生产商和销售商联合回收模式是兼顾各方利益的最优回收模式, 指出国家加大扶持力度是农村生物质废弃物回收利用产业健康可持续发展的关键。该研究对建立科学的农村能源体系, 满足农村能源需求, 缓解我国能源短缺压力具有重要参考价值。

**关键词:** 生物质, 废弃物, 沼气, 回收, 能源管理, 优化

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.01.034

中图分类号: TKO1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-01-0190-06

任峰, 刘应宗, 牛东晓, 等. 农村生物质废弃物回收模式优化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 190-195.

Ren Feng, Liu Yingzong, Niu Dongxiao, et al. Optimization of rural biomass waste recycling patterns for biogas-oriented utilization[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(1): 190-195. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

人类社会步入 21 世纪, 煤炭、石油、天然气等传统化石能源消耗有增无减, 能源供求矛盾日趋尖锐, 生态环境不断恶化, 特别是温室气体排放导致日益严峻的全球气候恶化, 人类社会可持续发展受到严重威胁。能源安全和环境保护问题引起了国际组织和各国政府的高度关注。如何有效缓解能源短缺、资源匮乏、环境恶化等问题, 已经成为亟需研究的课题。

中国是一个资源与能源相对短缺的国家, 人均煤炭、石油和天然气储量仅为世界平均水平的 56.3%、7.7%和 7.1%。随着我国经济社会的快速发展, 能源需求持续增长, 供求矛盾更加突出, 尤其是广大农村地区, 随着生活条件的改善, 对高品质能源的需求量也越来越大。特殊的国情决定, 我国不可能依靠扩大能源进口来满足农村不断增长的用能需求。中国既是能源相对短缺的国家, 同时也是传统的农业大国, 广大农村地区有存量丰富的生物质资源, 然而这些生物质资源长期被废弃, 既浪费了资源, 也破坏了农业生态环境。倘若将这部分生物质废弃物资源妥善回收并进行资源化利用, 就能够在一定程度上满足农村的用能需求, 缓解中国能源短缺压力。当然, 要实现这一目标就需要对农村能源利用方式和管理体制进行创新, 本文对其进行初步尝试。

大量文献对我国农村能源消费结构和农村生物质资源利用问题进行了研究, 普遍认为沼气化利用是一种非常

理想的利用方式<sup>[1-10]</sup>。沼气可以作为优质的农村生活能源, 也可以很方便地通过小型发电设备转换成高品质的电能; 沼液和沼渣可以应用于农业生产, 尤其是沼渣可以加工生产成高品质的生物有机肥, 能够非常显著地提高土壤的肥力和改善土壤的理化性质。然而由于户用小沼气存在费时费力等缺点, 在农村中有相当一部分沼气池被废弃了。大中型沼气技术的成熟为生物质废弃物规模化高效利用和公司化运作提供了条件。本文结合我国农村实际情况, 提出建立农村沼气产业的设想, 通过沼气及生物有机肥的公司化生产与运作来满足当前农业和农村社会发展的需要。沼气产业的持续发展和沼气公司的高效运作是以生物质原料的科学回收为前提的。众多文献指出, 回收储运成本居高不下是制约农村生物质废弃物回收利用的瓶颈, 并对采购模式、运营模式、服务体系和相关扶持政策等问题展开了研究<sup>[11-20]</sup>。本文主要研究以秸秆为代表的农村生物质废弃物资源的科学回收问题。尽管各种废弃物资源各有特点, 但它们仍有许多共同之处, 比如回收渠道都呈“点-线”辐射状, 最终利用都是针对农村地区的能源和资源供应等等。因此考虑将各种废弃物的回收渠道进行整合, 建立统一的回收系统, 这样不仅有利于废弃物回收和利用的管理, 而且在实际回收工作中也可以减少人员冗余, 节约回收成本。

## 1 生物质废弃物回收模式设计

如果将生物质废弃物回收看作一条供应链, 则该供应链主要由沼气和有机肥生产商、沼气和有机肥销售商、沼气和有机肥使用方(农户)以及第三方回收组织构成。本研究设定 4 种生物质废弃物回收模式, 即沼气生产商回收(M 模式)、沼气销售商回收(R 模式)、第三方回收(3P 模式)、以及生产商和销售商联合回收(C 模式), 如图 1 所示。

收稿日期: 2011-01-23 修订日期: 2011-08-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70671039); 河北省社会科学基金资助项目(HB11GL048)

作者简介: 任峰(1979-), 男, 安徽利辛人, 博士生, 讲师, 研究方向为能源管理。保定 华北电力大学经济与管理学院, 071003。

Email: renfeng2002@126.com

一般来说，生物质废弃物回收价格直接决定回收率的大小，回收价格越高，回收率也越高。另外回收率还与回收宣传投资及初期回收渠道投资有关。本研究通过对回收价格、回收率、利润、产品批发价格、产品销售价格、宣传投资及初期投资的建模讨论，确定最优的农村生物质废弃物回收模式。

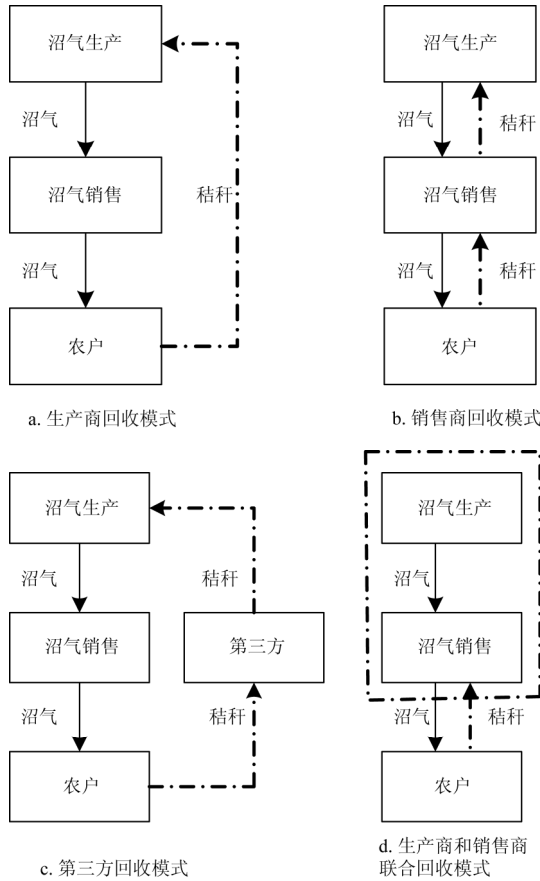


图 1 农村生物质废弃物回收模式  
Fig.1 Rural biomass waste recycling patterns

## 2 符号说明及模型假设

### 2.1 符号说明

为了增加模型的可读性，对模型符号进行如下规定。用上标表示不同的回收模式，用下标区分供应链成员：

上标含义：M 为生产商回收，R 为销售商回收，3P 为第三方回收，C 为联合回收；

下标含义：M 为生产商，R 为销售商，3P 为第三方，T 为生产商与销售商。

$\Pi$  为利润； $\omega$  为沼气批发价格； $p$  为沼气销售价格； $\rho$  为沼气与生物质废弃物价格换算当量； $c_m$  为产品生产成本； $\Delta$  为单位回收率政策补贴； $D(p)$  为市场需求量， $D(p) = \varphi - \beta p$ ， $\varphi$  和  $\beta$  由市场决定； $A$  为实际回收价格； $b$  为生产商支付给销售商或第三方的补贴价格； $r$  为实际回收率； $I$  为废弃物回收初始投入系数。

### 2.2 模型假设

假设 1：除联合回收模式外，生产商、销售商和第三方均为独立决策主体，其决策目标是利润最大化。

假设 2：所回收的有机废弃物资源在运往生产商过程中没有损耗，且全部资源均用于生产。

假设 3：回收率是回收价格的线性函数，结合相关文献<sup>[9-10]</sup>给出回收率与回收价格之间的函数关系式如下

$$r = (A - A_{\min})(r_{\max} - r_{\min}) / (A_{\max} - A_{\min}) + r_{\min} \quad (1)$$

式中， $A_{\min}$  为最低回收价格， $r_{\min}$  最低回收价格对应的回收率； $A_{\max}$  为最高回收价格， $r_{\max}$  最高回收价格对应的回收率。假定  $A_{\min}=0$ ， $r_{\min}=0$ ，（即假定不付费的情况下，农户不会主动将生物质废弃物提供给回收方），则在该假定下，回收率与回收价格之间的函数关系式为

$$r = Ar_{\max} / A_{\max} \quad (2)$$

由于农村生物质废弃物回收利用产业基本是微利甚至是无利的，然而又有非常显著的能源和环保效益，因此假定最大回收价格  $A_{\max}$  为国家补贴  $\Delta$ ，即  $A \leq \Delta$ ， $A_{\max}=\Delta$ ，则式（2）变为

$$r = Ar_{\max} / \Delta \quad (3)$$

假设 4：市场对沼气和有机肥的需求量是销售价格的减函数，即  $D(p) = \varphi - \beta p$ ，其中  $\varphi > 0$ ， $\beta > 0$ ；该产品需求量与有机废弃物之间存在一个等量换算关系，换算系数  $\rho$  为单位有机废弃物与它的产气量的比值，显然  $\rho > 1$ 。当  $p = 0$  时， $D(0) = \varphi$  对应农村对沼气与生物有机肥的最大需求量，以能满足最大需求量  $\varphi$  的生物质废弃物的量  $\rho\varphi$  作为最大可供回收量。

假设 5：假定一定时期内农村对沼气和生物有机肥的需求总量保持稳定，即  $\varphi$  保持不变，回收率定义为实际回收生物质废弃物的量与可满足农村对燃料和肥料最大需求换算成生物质废弃物原料总量之比，亦即当沼气销售价格为  $p$  时，实际回收量为  $r\rho D(p)$ ，显然  $0 \leq r \leq 1$ 。

假设 6：假定初始投入系数  $I$  对各种回收模式都固定不变，且初始投入量与废弃物回收量成正比。

## 3 4 种生物质废弃物回收模式的数学优化模型

下面分别讨论在联合回收、生产商回收、销售商回收、第三方回收的情况下，以生产商和销售商利润为优化目标的数学优化模型。

### 3.1 联合回收模式

生产商和销售商联合在一起，共同决策进行生物质废弃物的回收，以他们的利润之和作为优化目标，此时假定生产商对回收渠道决策占主导地位。生产商与销售商联合利润如式（4）所示

$$\max_{p,r} \Pi_T^C = (\varphi - \beta p)[p - c_m + r\rho\Delta - r^2\rho A_{\max} / r_{\max} - I\rho] \quad (4)$$

对式（4）关于  $r$  和  $p$  求导可得

$$r^{*C} = \Delta r_{\max} / (2A_{\max}) \quad (5)$$

$$p^{*C} = (\varphi + \beta c_m) / (2\beta) - \Delta^2 \rho r_{\max} / (8A_{\max}) + I\rho / 2 \quad (6)$$

当农村生物质废弃物最高回收价格等于国家补贴，即  $A_{\max}=\Delta$ ，此时沼气、生物有机肥的最优价格为

$$p^{*C} = (\varphi + \beta c_m) / (2\beta) - \Delta \rho r_{\max} / 8 + I\rho / 2$$

最优回收率  $r^*$  和最优回收价格  $A^*$  分别为

$$r^{*C} = r_{\max}/2, \quad A^{*C} = \Delta/2$$

此时, 整个系统的最大利润为

$$\Pi_T^{*C} = (\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max} / 4 - I \rho \beta)^2 / (4\beta)$$

### 3.2 生产商回收模式

当生产商负责生物质废弃物回收时, 销售商不涉及回收过程, 其利润只由沼气和生物有机肥的销售和批发的差价产生

$$\max_{w, A, r} \Pi_M^M = (\varphi - \beta p)(p - w) \quad (7)$$

由式 (7) 可知销售商的最优售价为

$$p^{*M} = (\varphi + \beta w) / (2\beta) \quad (8)$$

将式 (8) 代入市场需求函数, 可得销售商对生产商的需求为

$$D(w) = (\varphi - \beta w) / 2 \quad (9)$$

生产商的利润为生产利润扣除回收成本和初期投入, 可得

$$\max_{w, r} \Pi_M^M = \frac{1}{2}(\varphi - \beta w)(w - c_m + \Delta r \rho - r^2 \rho A_{\max} / r_{\max} - I \rho) \quad (10)$$

对式 (10) 关于  $r$  和  $w$  求导可得此时的最优批发价格  $w^{*M}$ 、最优回收率  $r^{*M}$  和最优回收价格  $A^{*M}$  分别为

$$w^{*M} = \frac{1}{2\beta}(\varphi + \beta c_m) - \frac{1}{8} \Delta \rho r_{\max} + \frac{1}{2} I \rho$$

$$r^{*M} = r_{\max} / 2, \quad A^{*M} = \Delta / 2$$

此时, 生产商的最大利润为

$$\Pi_M^{*M} = \frac{1}{8\beta}(\varphi - \beta c_m + \frac{1}{4} \Delta \rho \beta r_{\max} - I \rho \beta)^2$$

最优销售价格为

$$p^{*M} = \frac{3\varphi}{4\beta} + \frac{1}{4} c_m - \frac{1}{16} \Delta \rho r_{\max} + \frac{1}{4} I \rho$$

销售商最大利润为

$$\Pi_R^{*M} = \frac{1}{16\beta}(\varphi - \beta c_m + \frac{1}{4} \Delta \rho \beta r_{\max} - I \rho \beta)^2$$

### 3.3 销售商回收模式

当农村生物质废弃物资源由销售商负责回收时, 生产商要给予销售商一定的价格补贴。销售商的利润等于销售价格与批发价格的价格差加上生产商给予的价格补贴再减去回收成本和初期投入, 即

$$\max_{p, r} \Pi_R^R = (\varphi - \beta p)(p - w + br \rho - \Delta \rho r^2 / r_{\max} - I \rho) \quad (11)$$

对式 (11) 关于  $r$  和  $p$  求导可得

$$r^{*R} = br_{\max} / (2\Delta) \quad (12)$$

$$p^{*R} = \varphi / (2\beta) + w / 2 - b^2 \rho r_{\max} / (8\Delta) + I \rho / 2 \quad (13)$$

此时最优收购价格为

$$A^{*R} = b / 2 \quad (14)$$

生产商对销售商的最优补贴价格 (将国家补贴全部给予销售商)

$$b^{*R} = \Delta$$

生产商的最大利润

$$\max_{w, b} \Pi_M^R = (\varphi - \beta p^{*R})(w - c_m + \Delta \rho r^{*R} - b \rho r^{*R}) \quad (15)$$

求解式 (15) 可得最优批发价格

$$w^{*R} = \varphi / (2\beta) + c_m / 2 + \Delta \rho r_{\max} / 8 - I \rho / 2$$

最优回收率:  $r^{*R} = r_{\max} / 2$

最优回收价格:  $A^{*R} = \Delta / 2$

最优销售价格

$$p^{*R} = \frac{3\varphi}{4\beta} + \frac{1}{4} c_m - \frac{1}{16} \Delta \rho r_{\max} + \frac{1}{4} I \rho$$

生产商的最大利润为

$$\Pi_M^R = \frac{1}{8\beta}(\varphi - \beta c_m + \frac{1}{4} \Delta \rho \beta r_{\max} - I \rho \beta)^2$$

销售商的最大利润为

$$\Pi_R^R = \frac{1}{16\beta}(\varphi - \beta c_m + \frac{1}{4} \Delta \rho \beta r_{\max} - I \rho \beta)^2$$

### 3.4 第三方回收模式

当第三方负责生物质废弃物的回收工作时, 由于销售商不涉及回收过程, 所以销售商的利润表达式与生产商回收模式时的表达式相同, 使用相同的方法可以求得销售价格的表达式为:

$$p^{*3P} = \frac{1}{2\beta}(\varphi + \beta w) \quad (16)$$

第三方的利润等于生产商给予的补贴价格收益扣除回收成本和回收初期投入, 即

$$\max_r \Pi_{3P}^{3P} = \frac{1}{2} \rho (\varphi - \beta w) (br - \frac{\Delta}{r_{\max}} r^2 - I) \quad (17)$$

对式 (17) 关于  $r$  求导可得回收率为

$$r^{*3P} = br_{\max} / (2\Delta) \quad (18)$$

对应的回收价格为

$$A^{*3P} = b / 2 \quad (19)$$

此时, 最大化生产商利润

$$\max_{w, b} \Pi_M^{3P} = (\varphi - \beta p)[w - c_m + (\Delta - b) \rho r] \quad (20)$$

对式 (20) 关于  $b$  求导可得

$$b = \Delta / 2$$

此时

$$r^{*3P} = r_{\max} / 4$$

$$w^{*3P} = \varphi / (2\beta) + c_m / 2 - \Delta \rho r_{\max} / 16$$

$$A^{*3P} = \Delta / 4$$

最优销售价格为

$$p^{*3P} = 3\varphi / (4\beta) + c_m / 4 - \Delta \rho r_{\max} / 32$$

此时对应生产商的最大利润为

$$\Pi_M^{*3P} = (\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max} / 8)^2 / (8\beta)$$

销售商的最大利润为

$$\Pi_R^{*3P} = (\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max} / 8)^2 / (16\beta)$$

第三方最大利润为

$$\Pi_{3P}^{3P} = \rho (\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max} / 8) (\Delta r_{\max} / 16 - I) / 4$$

显然, 只有当  $\Delta r_{\max} / 16 - I > 0$ , 即  $I < \Delta r_{\max} / 16$  的时

候，第三方从事回收工作才是有利可图的，第三方才有可能从事回收工作。因此，这里的推导都假定满足  $I < \Delta r_{\max}/16$ 。事实上，条件可以继续放宽，即只需要满足  $I < \Delta r_{\max}/8$  就能说明不同回收模式指标值的相对优劣。

#### 4 回收模式分析

显然，不同回收模式对应的回收价格、回收率、沼

气销售价格、沼气批发价格、相关方利润等指标的大小关系可能不同。下面从相关方（农户、生产商、销售商）利益最大化的角度出发，对各种回收模式进行分析，从而确定农村生物质废弃物的最佳回收模式。

4 种回收模式对应的回收价格、回收率、产品销售价格、产品批发价格、及相关方利润如表 1 所示。

通过简单分析可以得到如下指标的相对大小关系（注意，这里有  $0 < I < \Delta r_{\max}/16$ ）

表 1 4 种回收模式的对比  
Table 1 Comparison of four types of recycling patterns

	联合回收	生产商回收	零售商回收	第三方回收
回收价格	$\Delta/2$	$\Delta/2$	$\Delta/2$	$\Delta/4$
回收率	$r_{\max}/2$	$r_{\max}/4$	$r_{\max}/2$	$r_{\max}/4$
零售价格	$(\varphi + \beta c_m)/(2\beta) - \Delta \rho r_{\max}/8 + I \rho/2$	$3\varphi/(4\beta) + c_m/4 - \Delta \rho r_{\max}/16 + I \rho/4$	$3\varphi/(4\beta) + c_m/4 - \Delta \rho r_{\max}/16 + I \rho/4$	$3\varphi/(4\beta) + c_m/4 - \Delta \rho r_{\max}/32$
批发价格	无批发价格	$(\varphi + \beta c_m)/(2\beta) - \Delta \rho r_{\max}/8 + I \rho/2$	$\varphi/(2\beta) + c_m/2 - \Delta \rho r_{\max}/8 + I \rho/2$	$\varphi/(2\beta) + c_m/2 - \Delta \rho r_{\max}/16$
生产商利润	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/8 - I \rho \beta)^2/(4\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/4 - I \rho \beta)^2/(8\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/4 - I \rho \beta)^2/(8\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/8)^2/(8\beta)$
销售商利润	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/8 - I \rho \beta)^2/(4\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/4 - I \rho \beta)^2/(16\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/4 - I \rho \beta)^2/(16\beta)$	$(\varphi - \beta c_m + \Delta \rho \beta r_{\max}/8)^2/(16\beta)$

注： $\Pi$  为利润； $\omega$  为沼气批发价格； $p$  为沼气销售价格； $\rho$  为沼气与生物质废弃物价格换算当量； $c_m$  为产品生产成本； $\Delta$  为单位回收率政策补贴； $D(P)$  为市场需求量， $D(P) = \varphi - \beta P$ ； $A$  为实际回收价格； $b$  为生产商支付给销售商或第三方的补贴价格； $r$  为实际回收率； $I$  为废弃物回收初始投入系数。

回收价格与回收率

$$A^{*C} = A^{*M} = A^{*R} > A^{*3P}, \quad r^{*C} = r^{*M} = r^{*R} > r^{*3P}$$

零售价格与批发价格

$$p^{*3P} > p^{*M} = p^{*R} > p^{*C}, \quad w^{*R} > w^{*3P} > w^{*M}$$

生产商及销售商的最优利润及整个系统（生产商+销售商）的总利润

$$\Pi_M^{*M} = \Pi_M^{*R} > \Pi_M^{*3P}, \quad \Pi_R^{*M} = \Pi_R^{*R} > \Pi_R^{*3P}$$

$$\Pi_T^{*C} > \Pi_T^{*M} = \Pi_T^{*R} > \Pi_T^{*3P}$$

从回收价格和回收率来看，联合回收模式、生产商回收模式和销售商回收模式是等效的，都优于第三方回收模式，4 种回收模式的优劣次序为： $C = M = R > 3P$ （符号“ $>$ ”读作“优于”）。

从产品销售价格来看，生产商回收模式和销售商回收模式是等效的；联合回收模式产品销售价格最低，第三方回收模式销售价格最高，即  $p^{*C} < p^{*M} = p^{*R} < p^{*3P}$ ，4 种回收模式的优劣次序为： $C > M = R > 3P$ 。

从产品批发价格来看，生产商回收模式最低，销售商回收模式最高，第三方回收模式居中，即  $w^{*M} < w^{*3P} < w^{*R}$ ，他们的优先次序为： $M > 3P > R$ 。联合回收模式没有产品批发价格。

从生产商及销售商利润来看，生产商回收模式和销售商回收模式是等效的，他们优于第三方回收。联合回收模式不区分生产商利润和销售商利润。回收模式优劣次序为： $M = R > 3P$ 。从整个系统的总利润（即生产商与销售商利润之和）来看，联合回收模式总利润最大，第三方回收模式总利润最小，生产商回收模式和销售商回收模式等效居中，回收模式的优劣次序为： $C > M = R > 3P$ 。

农村生物质废弃物的回收价格越高，则越有利于农民增收；回收率越高，则回收系统效率越高。所以，从

回收价格和回收率来判断，联合回收模式是最优的（C 模式、M 模式和 R 模式同时最优）。沼气和生物有机肥价格越低，市场需求就越大，越有利于农民节支，改善农民生活品质和发展农业生产。所以，从销售价格来判断，也是联合回收模式最优。批发价格只关系到生产商和销售商之间的利润转移，而不直接涉及农户利益，这里可以不予考虑。生产商利润越丰厚越有利于农村沼气产业的持续发展，从而促进农村生物质废弃物的回收利用工作；销售商利润越丰厚越有利于搞活农村能源市场，使农民用上清洁环保的能源。所以，从利润大小来判断，也是联合回收模式最优。综合以上分析可知，在 4 种回收模式中，生产商和销售商的联合回收模式是最优的，它既有助于农民增收节支，改善农民生活条件，又有利于发展农业生产和保证生物质废弃物回收利用企业实现利润最大化。也就是说，联合回收模式同时兼顾了农民、生产商和销售商三方的利益，是一种非常适应当前我国农村生物质废弃物回收利用事业发展要求的理想的回收模式。

#### 5 结论与讨论

从以上分析可知，在能源日益缺乏背景下，农村生物质废弃物的回收利用的紧迫性，也得到农村生物质废弃物资源的最佳回收模式是联合回收模式，这种模式能最大程度保证农村能源相关各方的利益，有利于农村能源产业和农村社会经济可持续发展。

此外，还有一些问题值得进一步讨论。比如，不管哪一种回收模式，最优回收率都没有超过最大回收率的一半，尤其是在第三方回收模式中，最优回收率只有最大回收率的 1/4。高的回收率可以节省更多的成本，从而降低沼气和生物有机肥的批发和零售价格。由于回收率等于国家政策补贴乘以最大回收率的积与最高回收价格

2 倍的比值,所以国家可以通过适当提高对农村生物质废弃物回收利用的补贴力度,使回收率处在一个最优的范围内。再比如,回收价格越高越有利于农民增收,也越能调动农民支持废弃物回收利用事业的积极性,有利于废弃物回收利用事业的持续发展。由于实际回收价格等于国家政策补贴乘以实际回收率的积与最大回收率的比值,可知,在回收率不变的情况下,国家补贴越大,则回收价格越大。也就是说,作为一种微利甚至是无利的带有公益性质的新兴产业,国家补贴对其发展和壮大具有举足轻重的作用。国家无论从三农角度考虑,从缓解能源压力,促进农村能源建设角度考虑,还是从生态环境保护角度考虑,都应该加大对农村生物质废弃物回收利用事业的扶持力度。

农村生物质废弃物的回收和沼气化利用为解决农村不断增长的用能需求,缓解我国能源短缺压力提供了一条途径,其功在当代,利在千秋。本研究结论可在农村能源建设方面可为相关决策者及政策制定者提供重要参考。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王效华,张希成,刘涟淮,等. 户用沼气池对农村家庭能源消费的影响:以江苏省涟水县为例[J]. 太阳能学报, 2005, 26(3): 419—423.  
Wang Xiaohua, Zhang Xicheng, Liu Lianhuai, et al. Infection on rural household energy consumption by household biogas digesters: a case on lianshui county in China[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2005, 26(3): 419—423. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王宇欣,苏星,唐艳芬,等. 京郊农村大中型沼气工程发展现状分析与对策研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 291—295.  
Wang Yuxin, Su Xing, Tang Yanfen, et al. Status analysis and countermeasures of large and medium scale biogas plants in Beijing rural areas[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 291—295. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘宇,匡耀求,黄宁生. 农村沼气开发与温室气体减排[J]. 中国人口资源与环境, 2008, 18(3): 48—53.  
Liu Yu, Kuang Yaoqi, Huang Ningsheng. Rural biogas development and greenhouse gas emission mitigation[J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(3): 48—53. (in Chinese with English abstract)
- [4] 朱四海. 农村能源软化国家能源约束途径分析[J]. 中国农村经济, 2007(11): 52—59, 80.  
Zhu Sihai. Rural energy softening national energy constraint way analysis[J]. Chinese Rural Economy, 2007(11): 52—59, 80. (in Chinese with English abstract)
- [5] 邓启明. 基于循环经济的农村能源与生物质能开发战略研究[J]. 农业工程学报, 2006(增刊 1): 12—15.  
Deng Qiming. Strategy for rural energy and biomass energy development in China: In view of recycle economy[J]. Transactions of the CSAE, 2006(S1): 12—15. (in Chinese with English abstract)
- [6] 沈连峰,王谦,轩轶,等. 户用沼气池建设的节能减排和农民增收效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 220—225.  
Shen Lianfeng, Wang Qian, Xuan Zhan, et al. Effects of household biogas pond construction on energy-saving, emission-reducing and increase in farmers' income[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 220—225. (in Chinese with English abstract)
- [7] 陈豫,杨改河,冯永忠,等. 沼气生态农业模式综合评价[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 274—279.  
Chen Yu, Yang Gaihe, Feng Yongzhong, et al. Comprehensive evaluation of biogas ecosystem modes[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 274—279. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张兴,乔召旗,林郁. 西部贫困地区农村能源刚性研究:基于滇西北的问卷调查[J]. 西南农业学报, 2010, 23(3): 948—952.  
Zhang Xing, Qiao Zhaoqi, Lin Yu. Study on rigidity of rural energy in poor area of west: Based on questionnaires carried out in Northwest Yunnan[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(3): 948—952. (in Chinese with English abstract)
- [9] 李轶,吕绪凤,易维明,等. 北方“四位一体”农村能源生态模式的能流分析及其系统评价[J]. 可再生能源, 2009, 27(3): 70—73.  
Li Yi, Lü Xufeng, Yi Weiming, et al. Study on energy-flow analysis and assessment of "Four-in-One" energy-ecology model in rural area in the North of China [J]. Renewable Energy, 2009, 27(3): 70—73. (in Chinese with English abstract)
- [10] 樊松,张敏洪. 闭环供应链中回收价格变化的回收渠道选择问题[J]. 中国科学院研究生院学报, 2008, 25(2): 151—160.  
Fan Song, Zhang Minhong. Reverse channel selection with changeable unit take-back cost in closed-loop supply[J]. Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2008, 25(2): 151—160. (in Chinese with English abstract)
- [11] Markus K, Hendrickson C T. Reverse-logistics strategy for product take-back[J]. Interfaces, 2000, 30(3): 156—165.
- [12] 张艳丽,王飞,赵立欣,等. 我国秸秆收储运的运营模式、存在问题及发展对策[J]. 可再生能源, 2009, 27(1): 1—5.  
Zhang Yanli, Wang Fei, Zhao Lixin, et al. The operating model, existing problems and development strategies for China's straw storage and transportation system[J]. Renewable Energy Resources, 2009, 27(1): 1—5. (in Chinese with English abstract)
- [13] 聂钰,肖忠东,查仲朋. 电厂秸秆资源采购模式比较研究[J]. 科学与管理, 2009(6): 46—50.  
Nie Yu, Xiao Dongpeng, Zha Zhongpeng. Demonstration study on straw purchasing model of power plant[J]. Science and Management, 2009(6): 46—50. (in Chinese with English abstract)
- [14] 周凌云,罗建锋,赵钢,等. 农作物秸秆资源回收物流网络建设[J]. 江苏农业科学, 2011(1): 474—476, 481.  
Zhou Lingyun, Luo Jianfeng, Zhao Gang, et al. Crops straw resource recovery logistics network construction[J]. Jiangsu Agricultural Science, 2011(1): 474—476, 481.
- [15] 于晓东,樊峰鸣. 秸秆发电燃料收加储运过程模拟分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(10): 215—219.

- Yu Xiaodong, Fan Fengming. Simulation analysis on fuel collection, processing, storage and transportation used in straw power plant in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(10): 215—219. (in Chinese with English abstract)
- [16] 王学峰, 迟瑞娟, 张义斌, 等. 生物质发电燃料物流成本分析[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(7): 198—200.  
Wang Xuefeng, Chi Ruijuan, Zhang Yibin, et al. Analysis on the logistic costs of the fuel in bioenergy[J]. Anhui Agriculture Science Bulletin, 2007, 13(7): 198—200. (in Chinese with English abstract)
- [17] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析[J]. 中国农学通报, 2010, 27(6): 350—354.  
Feng Wei, Zhang Liqun, Pang Zhongwei, et al. The economic and environmental analysis of crop residues burning and reutilization in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 27(6): 350—354. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘罡, 邢爱华, 王焱, 等. 生物质利用优化生产规模分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2008, 48(9): 1494—1498.  
Liu Gang, Xing Aihua, Wang Yao, et al. Analysis of the optimum production scale for biomass utilization[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2008, 48(9): 1494—1498. (in Chinese with English abstract)
- [19] Tan K T, Lee K T. Role of energy policy in renewable energy accomplishment: The case of second generation bio-ethanol[J]. Energy Policy, 2008, 36(9): 3360—3365.
- [20] Solomon B D, Bames J R, Halvorsen K E. Grain and cellulosic ethanol: History, economics and energy policy[J]. Biomass and Bioenergy, 2007, 31(6): 416—425.

## Optimization of rural biomass waste recycling patterns for biogas-oriented utilization

Ren Feng<sup>1,2</sup>, Liu Yingzong<sup>2</sup>, Niu Dongxiao<sup>1</sup>

(1. School of Business and Administration, Tianjin University, Tianjin, 300072, China; 2. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

**Abstract:** Scientific recycling of rural biomass waste is the foundation of its biogas-oriented utilization. In the background of energy shortage in the world, the rural biogas company was proposed to establish to recycle the abundant biomass waste in rural areas efficiently and scientifically. Four recycling patterns were given in this paper. Each recycling pattern was studied from the perspectives of the recovery, recycling price and optimal profit, and the conclusion was drawn that the joint recycling pattern was the best pattern and the increasing fund support was the key factor for the healthy and sustainable development of rural biomass waste recycling industry. The study had an important reference value to establish a scientific rural energy system to meet rural energy needs and ease the pressure of energy shortage.

**Key words:** biomass, wastes, biogas, recycling, energy management, optimization