

政府补贴下乡村农药包装废弃物回收模式研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.03.008

罗定提¹ 罗娟¹
鲁芳²

1. 湖南工业大学
包装经济基地
湖南 株洲 412007
2. 中南林业科技大学
物流与交通学院
湖南 长沙 410004

摘要: 针对农药包装废弃物微小利用价值以及积少成多的环境危害特点,结合政府补贴的激励机制,分别以农药生产商、农药零售商或第三方回收商作为回收主体,基于斯塔克伯格博弈分析回收主体之间的行为,分析在政府补贴下回收系统总利润的变化以及包装废弃物回收率的变化。分析结果表明:零售商回收模式在3种回收模式中为最佳的乡村农药包装废弃物的回收模式,可以同时达到回收系统总利润最优以及回收率最大,能实现经济效益与环境效益双赢。

关键词: 政府补贴; 农药包装废弃物; 回收模式

中图分类号: F272 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2020)03-0060-09

引文格式: 罗定提, 罗娟, 鲁芳. 政府补贴下乡村农药包装废弃物回收模式研究 [J]. 包装学报, 2020, 12(3): 60-68.

1 研究背景

2019年2月份公布的中央一号文件要求,要进一步加强农村污染治理和生态环境保护,广泛开展美丽乡村宜居村庄的清洁行动。各地方陆续开展针对农村环境建设的专项治理活动,政府在资金方面给予了重要支持,并越来越重视农村生态环境的建设。近几年,乡村在很多方面取得了巨大的发展,但环境污染问题随之而来,生态环境呈现恶化的趋势,其中农药包装废弃物污染的问题看起来微不足道,却是个不容忽视的问题。据统计,湖南省年使用农药超过5.2万t,农药包装废弃物超过1000t,农药包装数量超过1.8亿个。但是这些包装废弃物未得到回收处理,随意丢弃在田间地头、沟渠河道,残留的农药直接危

害土壤和水体,影响农业生产,甚至还可能会进入饮用水源地,进而威胁居民的身体健康。由于乡村回收物流成本高,农药包装废弃物基本没有回收价值,又不在强制回收物品之列。美丽乡村的建设急需当地政府加强农药包装废弃物回收处理的激励政策,用最少的成本达到农药包装废弃物回收率的最大化,促进废弃物处理的减量化、无害化和资源化。

国内外学者在较早之前就已经关注到环境污染问题的严重性,并从政府补贴和回收模式入手展开了丰富的研究。对于政府补贴方面的研究:G. Raz等^[1]考虑企业利润、消费者剩余和政府成本等因素,分析了政府对公共利益产品的3种激励模型的博弈结果,并将模型应用到雪佛兰电动汽车的案例中,得到激励机制与社会福利之间的联系。孙迪等^[2]考虑消费

收稿日期: 2020-03-14

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2018JJ3131),湖南省哲学社会科学基金资助项目(17YBA127),湖南省教育厅科学研究基金资助重点项目(18A72)

作者简介: 罗定提(1963-),男,湖南浏阳人,湖南工业大学教授,博士,主要从事物流与供应链方面的教学与研究,
E-mail: zzldt@21cn.com

通信作者: 鲁芳(1979-),女,湖南浏阳人,中南林业科技大学教授,博士,主要从事服务管理方面的教学与研究,
E-mail: lufang31@126.com

者偏好、绿色度等因素, 建立政府补贴绿色生产商、消费者两种补贴的两阶段博弈模型, 研究表明, 政府补贴力度的强弱影响社会福利和绿色产业的发展。曹裕等^[3]建立以制造商领导零售商跟随的斯塔克伯格博弈模型, 探讨政府补贴策略对供应链决策的影响, 研究表明, 不同的协调补贴策略带来的利润与社会福利均不同。J. Chemama 等^[4]在需求不确定的两阶段博弈中, 建立了政府与行业参与者之间的互动模型, 探讨当时间发生推移时, 模型中影响政府补贴计划的条件。Yu J. J. 等^[5]以消费者福利和制造商利润最大化为目标, 在政府补贴的基础上建立政府单独补贴消费者、制造商或同时补贴 3 种博弈模型, 研究表明, 政府可通过制定具体补贴计划来改善消费者福利。陈军等^[6]在政府给补贴的基础上, 考虑回收品的管理成本和再制造成本, 探讨随着商品销售价格及回收价格的变化, 制造商和零售商订货价格、订货量及各自整体收益的变化情况。Tian Y. H. 等^[7]通过建立系统动力学模型, 分析了政府、企业、消费者等利益相关者之间的关系, 研究表明, 环境意识是实现绿色化的关键因素, 并且政府对制造商补贴比对消费者补贴更能促进绿色供应链的管理。

对于回收模式选择的研究: 王文宾等^[8]在政府不干预、政府奖惩制度以及政府税收补贴制度这 3 种决策模式下, 建立动态的回收博弈模型, 探讨了利润最大化情况下模式的选择问题。何晓梅等^[9]运用博弈论建立制造商自主回收或外包给零售商或第三方进行回收 3 种情形下的博弈模型, 研究表明, 消费者支付意愿以及制造商的竞争强度都会影响模式的选择。T. R. P. Ramos 等^[10]在同时考虑经济、环境和社会 3 个目标的基础上, 提出了一种基于混合整数规划 (mix integer linear programming, MILP) 模型的支持可持续逆向物流计划的多目标求解方法。W. Berger 等^[11]提出了一种包装废物管理模式, 以消费者的分类努力和回收废弃物总量为目标, 探讨各国政府根据生产者责任延伸原则, 实施废物管制的政策选择, 研究表明, 最佳的分配政策不一定会得到公众的支持。Ma Z. J. 等^[12]研究了闭环供应链中各成员的相互作用, 探讨各种合作回收模型下的最优决策和系统利润, 研究表明, 联盟成员数量与回收率存在联系, 合作策略与渠道利润间也存在相关关系。倪明等^[13]考虑废弃电子产品市场的不确定性, 构建了 3 种双渠道回收模式下闭环供应链模型, 通过对

比回收价格、回收数量以及渠道成员利润的均衡解, 探讨竞争程度的变化对不同模式均衡解的影响情况。

综合以上文献可以发现: 在政府补贴方面, 综合考虑市场情况和回收难易程度因素的研究比较少; 在回收对象方面, 主要是针对电子、电器这类回收价值较高的产品。农药包装废弃物由于分布稀广、回收难、回收再利用价值基本没有, 所以没有主体愿意主动回收。但是这类产品对环境存在一定程度的污染, 因此本文针对农药包装废弃物这一特殊对象, 构建了 3 种回收模式的博弈模型, 从政府补贴的角度出发研究 3 种模式的最优选择问题, 以期为政府部门开展高效率的回收工作提供参考。

2 问题描述及模型假设

2.1 问题描述

本文研究农药生产商、农药零售商、第三方回收商、政府和农民组成的一个回收系统, 共有 3 种回收模式。1) 模式 M: 生产商直接回收农药包装废弃物; 2) 模式 R: 零售商进行回收农药包装废弃物; 3) 模式 TP: 第三方回收商回收农药包装废弃物。模式中各参与主体之间的关系如图 1 所示。政府根据回收模式中不同的回收主体给予补贴, 补贴力度的大小取决于回收率的高低。本文需解决的问题是: 政府在 3 种回收模式下应当采取多大的补贴力度, 才能使回收率达到最大从而最大程度地改善环境。

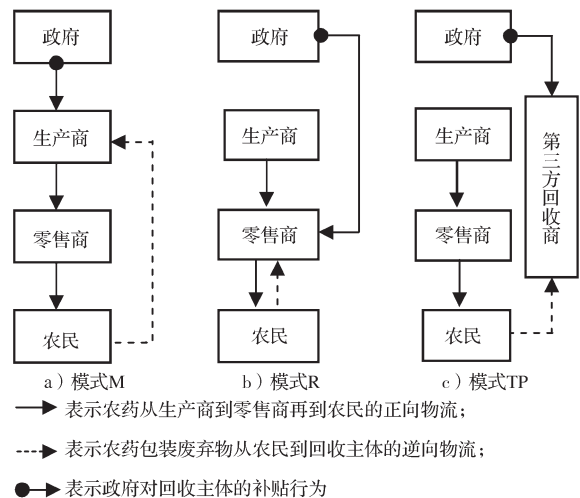


图 1 3 种回收模式结构图

Fig. 1 Structure diagram of three recycling modes

2.2 符号说明和模型假设

本文涉及的基本符号及说明如表 1 所示。

表1 基本符号及说明
Table 1 Symbol description

变量	变量说明
c_m	农药生产商生产农药的单位成本
w	农药生产商批发给农药零售商的批发价格, 是生产商的决策变量
p	农药零售商销售给农民的零售价格, 是零售商的决策变量
h	农药包装废弃物的单位回收价格
C_L	回收农药包装废弃物的难易程度
$D(p)$	农药的市场需求量
τ	农药包装废弃物的回收率, 是决策变量
γ	政府给回收方的单位回收补贴
C	农村地区回收时的总运输成本, $C=kas$, k 为运输频率, a 为单位运输成本, s 为各回收点之间的距离, k 、 a 、 s 都为正参数
Π_j^i	回收模式 i 下渠道成员 j 的利润, 上标 i 取 M、R、TP, 分别表示生产商回收模式、零售商回收模式、第三方回收商回收模式, 下标 j 取 M、R、TP, 分别表示生产商、零售商、第三方回收商

在实际生产和回收过程中, 情况复杂多变且影响因素众多, 本文只研究回收问题的本质, 故特作以下假设:

1) 用逆向回收的农药包装废弃物数量与正向销售的农药数量的比值来表示回收率, 回收率越大表示回收活动越有效, 改善环境的程度就越大。

2) 回收系统中信息共享, 参与决策者风险中性。在农药供应链中, 由于农药生产商有技术、资金、信息等优势, 在与零售商的斯塔克伯格博弈中为领导者, 零售商为跟随者。考虑到农药包装废弃物回收的每个周期情况类似, 故只讨论单周期的情况; 由于农药包装废弃物残值低, 故不考虑回收之后的再制造过程; 由于农药包装废弃物的市场规模小, 故暂不考虑回收主体之间的竞争。

3) 在农药供应链中, 农药生产商生产农药的单位成本为 c_m , 批发给农药零售商的批发价格为 w , 农药零售商销售给农民的零售价格为 p 。 $D(p)$ 为农药的需求量, 它是关于零售价格 p 单调减少的线性函数 $D(p)=\alpha-\beta p$, 其中 α 表示市场容量, β 表示农民对农药价格的敏感系数, 且 $\alpha>0$, $\beta>0$ 。为了保证产品的需求非负, 规定 $\alpha>\beta p$ 。

4) 政府的补贴函数为 $L=\gamma\tau D(p)$, 其中: L 表示政府发放的总回收补贴; γ 表示政府给回收方的单位回收补贴, $\gamma>0$, 为了激励回收所以 $\gamma>h$; τ 表示农药包装废弃物的回收率, 是已回收的农药包装废弃物占所有农药包装废弃物的比率, $0\leq\tau\leq 1$ 。

5) 环境效益函数为 $H=\theta\tau D(p)$, 其中 θ 表示环境

保护因子, $\theta>0$, 即每提高一单位农药包装废弃物的回收率所带来的环境效益。政府的得益为 Π_G 。政府期望通过回收活动发展低碳经济、推进节能减排带来社会效益。由于政府不同于市场中一般的行为主体, 其目标是实现社会福利的最大化, 当有减排活动时, 政府均予以补贴。对政府而言环境效益值的大小是衡量回收活动是否有效的决定因素, 社会福利的最大也就等同于环境效益的最大^[4], 因此政府得益的函数表达式为 $\Pi_G=H-L$ 。

6) 每个回收主体为了提高回收率都需要进行初始投资, 包括对农药包装废弃物回收箱的购买、对废弃物的收集与整理、对不同规格的废弃物分类等。设 I 为初始投资成本, $I=C_L\tau^2$, 其中 C_L 为回收农药包装废弃物的难易程度, $C_L>0$ 。在回收率 τ 一定的情况下, C_L 越大表示回收的努力成本越大。

7) 相较于城市回收来看, 农村回收需要更大的物流成本。因为受田地网状分布这一特殊的地形限制, 所以需要设置许多回收点对农药包装废弃物进行合理归整, 而这些回收点是零散错落的, 通常情况下各个回收点之间的距离不相等。对城市的回收而言, 人群密集, 回收点的设置较少且距离相等, 便于回收。通常情况下, 回收点设置的多少与回收量成正比, 与回收点的构建成本也成正比。逆向物流运输成本只与单位运输距离相关, 运输距离是运输次数的正相关函数, 运输次数根据各回收点回收量确定。因此, 在农村地区进行回收的总运输成本为 $C=kas$ 其中, k 表示运输频率, 以一周作为一个周期计算; a 表示单位运输成本; s 表示各回收点之间的距离。

3 回收模式的构建与对比分析

3.1 生产商回收模式

在生产商回收模式下, 农药生产商负责回收农药包装废弃物, 生产商与零售商进行斯塔克伯格博弈, 具体决策过程为: 农药生产商为领导者, 决策农药的批发价格 w , 进而影响到农药包装废弃物的回收率, 生产商根据回收率的多少获得政府补贴; 零售商为跟随者, 在观察到生产商的批发价格决策后确定其零售价格 p 。

1) 农药生产商的利润函数为

$$\begin{aligned} \Pi_M^M = & w(\alpha - \beta p) - c_m(\alpha - \beta p) + \gamma\tau(\alpha - \beta p) - \\ & C_L\tau^2 - h\tau(\alpha - \beta p), \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $w(\alpha-\beta p)$ 为批发农药取得的收入;

$c_m(\alpha-\beta p)$ 为生产农药付出的成本;

$\gamma\tau(\alpha-\beta p)$ 为政府对回收行为给予的补贴;

$C_L\tau^2$ 为开展回收工作付出的努力成本;

$h\tau(\alpha-\beta p)$ 为鼓励农民参与回收活动所付出的回收成本。

生产商需要决策农药的批发价 w^M 和农药包装废弃物的回收率 τ^M , 以使自己的利润达到最大。

2) 农药零售商的利润函数为

$$\Pi_R^M = p(\alpha - \beta p) - w(\alpha - \beta p), \quad (2)$$

式中: $p(\alpha-\beta p)$ 为销售农药取得的销售收入;

$w(\alpha-\beta p)$ 为购进农药支付的成本。

农药零售商在观察到农药生产商的决策后再确定零售价 p^M , 以使自己的利润达到最大。

3.2 零售商回收模式

在零售商回收模式下, 由农药零售商负责回收农药包装废弃物, 生产商与零售商进行斯塔克伯格博弈, 具体决策过程为: 农药生产商为领导者, 决策农药的批发价格; 零售商为跟随者, 零售商在观察到生产商的决策后, 确定其零售价格和回收率。此时零售商根据回收数量的多少获得政府一定金额的补贴, 生产商不参与回收。

1) 农药生产商的利润函数为

$$\Pi_M^R = w(\alpha - \beta p) - c_m(\alpha - \beta p), \quad (3)$$

式中: $w(\alpha-\beta p)$ 为批发农药取得的收入;

$c_m(\alpha-\beta p)$ 为生产农药付出的成本。

农药生产商需要决策农药包装废弃物的批发价 w^R , 以使自己的利润达到最大。

2) 农药零售商的利润函数为

$$\Pi_R^R = p(\alpha - \beta p) - w(\alpha - \beta p) + \gamma\tau(\alpha - \beta p) - C_L\tau^2 - h\tau(\alpha - \beta p), \quad (4)$$

式中: $p(\alpha-\beta p)$ 为销售农药取得的收入;

$w(\alpha-\beta p)$ 为从生产商处购进农药支付的成本;

$\gamma\tau(\alpha-\beta p)$ 为政府对回收行为给予的补贴;

$C_L\tau^2$ 为开展回收工作付出的努力成本;

$h\tau(\alpha-\beta p)$ 为鼓励农民参与回收活动所支付的回收成本。

农药零售商需要决策农药包装废弃物的回收率 τ^R 和农药的零售价 p^R , 以使自己的利润达到最大。

3.3 第三方回收商回收模式

在第三方回收商回收模式下, 由第三方回收商负

责回收农药包装废弃物, 生产商与零售商进行博弈, 具体决策过程为: 农药生产商为领导者, 决策农药的批发价格; 零售商为跟随者, 零售商在观察到生产商的决策后确定其零售价格; 第三方回收商决策回收率。此时回收商根据回收数量的多少获得政府一定金额的补贴, 生产商与零售商均不参与回收。

1) 第三方回收商的利润函数

$$\Pi_{TP}^{TP} = \gamma\tau(\alpha - \beta p) - C_L\tau^2 - h\tau(\alpha - \beta p) - C\tau(\alpha - \beta p), \quad (5)$$

式中: $\gamma\tau(\alpha-\beta p)$ 为政府对回收行为给予的补贴;

$C_L\tau^2$ 为开展回收工作付出的努力成本;

$h\tau(\alpha-\beta p)$ 为鼓励农民参与回收活动所支付的回收成本;

$C\tau(\alpha-\beta p)$ 为在乡村开展回收工作所发生的总运输成本。

第三方回收商通过对回收率 τ^{TP} 的决策, 以使自己的利润达到最大。

2) 农药生产商的利润函数为

$$\Pi_M^{TP} = w(\alpha - \beta p) - c_m(\alpha - \beta p). \quad (6)$$

与零售商回收模式一样, 农药生产商不参与回收, 因此农药生产商需要决策农药的批发价 w^{TP} , 以使自己的利润达到最大。

3) 农药零售商的利润函数为

$$\Pi_R^{TP} = p(\alpha - \beta p) - w(\alpha - \beta p). \quad (7)$$

与生产商回收模式一样, 农药零售商不参与回收, 因此农药零售商需要决策农药的零售价, 以使自己的利润达到最大。

3种不同回收模式下, 各相关变量的最优值见附表1。

3.4 对比分析

将3种回收模式进行对比, 分析政府相同补贴下不同回收模式的收益。为便于对比, 假定在同一个乡村用的是同一种农药。根据假设条件对上述公式中的市场规模、回收难易程度、制造商的成本都给予固定的参数赋值, 具体赋值如表2所示。

表2 相关参数赋值表

Table 2 Parameter assignments

参数赋值	α	β	c_m	C_L	h	C
	100	1	5	20	0.3	0.3

根据模型计算出的政府补贴 γ 的定义域区间, 将其变动范围设置为 0.8~1.8。把以上各个参数赋值代

入3种回收模型中进行仿真计算,探讨政府补贴的变动对各模式批发价格、零售价格、回收率、供应链总利润的影响,用 Mathematic 9.0 对参数赋值运算,得到的最优解如表3所示。

表3 政府补贴 γ 值变化时模型的最优解
Table 3 Optimal solution under government subsidy changes

变量	政府补贴 γ 取值					
	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8
w^{*M}	52.426	52.354	52.258	52.138	51.993	51.823
w^{*R}	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500
w^{*TP}	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500	52.500
p^{*M}	76.213	76.177	76.129	76.069	75.997	75.911
p^{*R}	76.176	76.104	76.007	75.885	75.738	75.563
p^{*TP}	76.250	76.250	76.250	76.250	76.250	76.250
τ^{*M}	0.2973	0.4169	0.5371	0.6581	0.7801	0.9033
τ^{*R}	0.2978	0.4182	0.5398	0.6632	0.7885	0.9164
τ^{*TP}	0.1188	0.2375	0.3563	0.4750	0.5938	0.7125
Π_M^M	56.495	56.580	56.693	56.836	57.008	57.211
Π_M^R	1131.66	1135.08	1139.66	1145.45	1152.47	1160.77
Π_M^{TP}	1128.13	1128.13	1128.13	1128.13	1128.13	1128.13
Π_R^M	565.829	567.533	569.817	572.692	576.17	580.268
Π_R^R	565.831	567.539	569.832	572.725	576.235	580.386
Π_R^{TP}	564.063	564.063	564.063	564.063	564.063	564.063
Π_{TP}^{TP}	0.2820	1.1281	2.5383	4.5125	7.0508	10.1531

通过对表3中数值分析可得如下结论:

结论1 在生产商回收模式下,政府补贴的增加会使得农药批发价格降低;在零售商回收模式以及第三方回收商回收模式下,批发价格不受政府补贴的影响且两种模式下的批发价格相等。

因为在生产商回收模式下,生产商获得了政府给予的补贴,政府补贴在一定程度上鼓励了生产商回收农药包装废弃物的行为,随着补贴力度的增加,生产商更愿意投入到回收的行列中去,在整个回收系统的平衡下,批发价会随着补贴的增加而降低。在零售商回收模式和第三方回收商回收模式下,政府的补贴对象不是生产商,而批发价由生产商所决定,因此政府补贴数值的变化不影响产品批发价格。

结论2 在生产商回收模式以及零售商回收模式下,农药零售价格会随着政府补贴力度的增加而降低;在第三方回收商回收模式下政府补贴对农药的零售价没有影响。

因为在第三方回收商回收模式下,政府给予的补贴作用于第三方回收商,而零售价由零售商所决定,二者之间没有联系故而零售价不受政府补贴的影响。

由于零售商的零售价处于供应链中决策顺序的第二位,所以当批发价降低时,零售价会随之降低。

当政府补贴发生改变时,3种回收模式下的回收率也会随之变化,其变化趋势如图2所示。

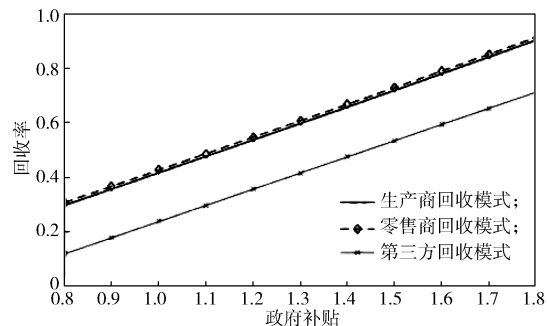


图2 回收率随政府补贴变化图

Fig. 2 Recovery rate chart with government subsidy changes

由表3结合图2可得结论3。

结论3 零售商回收的回收率略高于生产商回收的回收率,两者的趋势线几乎重叠,而第三方回收的回收率最低。

对于零售商回收模式而言,农药零售商最接近市场,与农民关系紧密,因此农药包装废弃物的回收效率最高。在第三方回收商回收回收模式下,由于农民所在地地形或回收周期等因素的影响,使得回收率明显低于零售商回收及生产商回收两种模式。

当政府补贴发生改变时,3种回收模式下的回收系统利润也会随之变化,其变化趋势如图3所示。

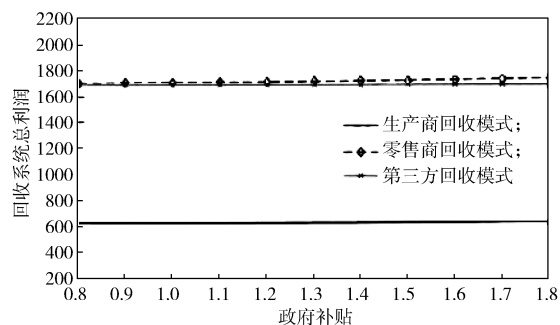


图3 回收系统总利润随政府补贴变化图

Fig. 3 Total profit chart of recovery system with government subsidy changes

由表3结合图3可得结论4。

结论4 零售商回收模式下的回收系统总利润略高于第三方回收商回收时回收系统总利润,两者的变化趋势差别不大。但随着政府补贴力度的增加时,零售商回收的回收系统总利润增速明显。生产商回收

模式的回收系统总利润最低。

当补贴直接作用于零售商时, 会激发零售商对农药的销售热情以及对农药包装废弃物的回收动力, 零售商拥有绝对的市场优势, 因此零售商回收模式的系统总利润高于另外两种模式。对于生产商回收模式而言, 在给定的回收率水平下, 每增加一单位的需求量, 生产商将多获得一单位的政府补贴, 这对生产商起到了激励作用; 与此同时可以降低生产商的批发价格, 从而降低其边际利润 $w-c_m$ 。因此, 生产商回收模式下的系统利润低于第三方回收模式下的系统总利润。

综上所述, 可得结论 5。

结论 5 在乡村的同一地区, 宜采用零售商回收模式, 不仅农药包装废弃物的回收率最大, 而且农药包装废弃物的回收系统总利润也最高。

4 案例研究

由上述理论研究可知, 当地区和农药种类一致的情况下, 零售商回收模式在回收系统的总利润以及回收率上都比其他两种回收模式更佳。因此, 再以零售商回收模式作为案例, 研究模型中的各个因素对回收系统的影响。

4.1 案例背景

高坪镇位于湖南省浏阳市东郊, 全镇总面积 256.8 km², 辖 16 个村 1 个社区, 522 个村民小组, 36 313 人。高坪镇的耕地面积达 2214.8 公顷, 是一个综合型农业大镇, 其中水稻是主要的种植作物, 此外, 蔬菜、小型水果、苎麻等作物的产量约占农作物总产量的 1/2。森林覆盖率超过 70%, 是全市重要的木材之乡。农业产业以特色促发展, “一村一品”品牌效益彰显。种植业以蔬菜、小水果为主导, 形成了以双江、太平、河西等村为主的长株潭地区蔬菜基地和以新辉果木林场为龙头的柑橘、板栗、梨、猕猴桃、西瓜等成片基地。2018 年, 浏阳市高坪镇开启了“蓝天碧水保卫战”模式, 各个农药零售店与镇政府签订协议, 除了售卖农药等农业物资之外, 还需要把卖出去的农药包装废弃物回收回来。在回收过程中结合农村实际情况, 将农药包装废弃物作为农业面源污染防治攻坚战突破口, 推动全镇农药包装废弃物的回收和无害化处理。2018 年 3 月, 高坪镇颁布了关于有偿回收的实施方案:《农药包装废弃物有偿回收处置实施方案》, 指出政府投入专项回收资金 20 万元, 对回收的农药包装废弃物进行补贴, 并

且在全镇 16 家农药零售商处设立回收点, 定点回收农药包装废弃物。

根据实地调研发现, 浏阳市的 32 个乡镇包括 322 个村, 拥有 541 家农药零售商店、32 个农药包装废弃物回收中心和 1207 个回收点。高坪镇的耕地面积为 2 214.8 公顷, 折算成亩为单位大约是 33 222 亩。经测算, 1 亩田地农作物的农药用量约为 55 g, 共需农药 1 827 kg。经市场调研, 草铵膦在一周期内全镇农民施用约 600 瓶, 即市场容量为 600。价格敏感系数的大小, 主要取决于需求量的多少, 在一定时期内基本不变, 除非遭遇严重农作物病虫害, 但这是小概率事件, 因此基准系数为 1。回收的难易程度与回收率相关, 以 100 为标准单位, 换算得到此时的回收难度为 20。

农药的单位生产成本与利润直接挂钩, 100 g/瓶的草铵膦销售价格为 6.3 元左右, 按照 20% 的利润率换算, 单瓶的生产成本约为 5 元。包装的回收价格一般是销售价格的 0.5 折。按照以上算法, 单瓶 6.3 元的草铵膦用完之后其农药包装废弃物的回收价格约为 0.3 元。为鼓励农民的回收行为, 政府补贴比市场回收价格要高, 一般是销售价格的 0.8 折, 因此回收单瓶 6.3 元的草铵膦包装, 政府补贴约为 0.5 元。

4.2 模型仿真分析

1) 市场容量变化对模型结果的影响

高坪镇的初始农药市场容量 $\alpha=600$, 农民对草铵膦的敏感系数 $\beta=1$ 、农药的单位生产成本 $c_m=5$ 、回收难易程度 $C_L=20$ 、单位回收价格 $h=0.3$ 、政府补贴 $\gamma=0.5$ 。如果将市场容量扩大至 650 或 700, 则零售商利润和回收率都会发生变化。通过模型仿真, 结果如表 4 所示。

表 4 市场容量变化模型的仿真结果

Table 4 Simulation of market capacity changes

市场容量	仿真结果	
	零售商利润 / 元	回收率 / %
600	22 137.63	74.41
650	26 014.57	80.67
700	30 204.16	86.92

由表 4 可知: 市场容量从 600 上升至 700, 零售商利润发生了明显的变化, 从 22 137.63 元上升至 30 204.16 元; 回收率也从 74.41% 提高到 86.92%。当市场容量每增加 50, 高坪镇的零售商利润可以提高将近 4 000 元, 同时回收率提高约 6%。可见在当

其他条件不变的情况下,提高市场容量可以同时增加利润以及回收率。

2) 价格敏感系数变化对模型结果的影响

高坪镇的初始价格敏感系数 $\beta=1$,草铵膦农药市场容量 $\alpha=600$ 、草铵膦农药的单位生产成本 $c_m=5$ 、回收难易程度 $C_L=20$ 、草铵膦单位回收价格 $h=0.3$ 、政府补贴 $\gamma=0.5$ 。如果将价格敏感系数调整至1.5或2.0,则零售商利润和回收率都会发生变化。通过模型仿真,结果如表5所示。

表5 价格敏感系数变化模型的仿真结果

Table 5 Simulation of price sensitivity factor changes

价格敏感系数	仿真结果	
	零售商利润 / 元	回收率 / %
1.0	22 137.63	74.41
1.5	14 638.32	74.12
2.0	10 889.01	73.82

由表6可知:价格敏感系数从 $\beta=1.0$ 调整至 $\beta=2.0$,零售商的利润发生明显变化,从22 137.63元下降至10 889.01元;回收率的变化则不太明显,从74.41%降低到73.82%。当价格敏感系数每增加0.5,回收率降低约0.3%,而零售商利润大幅减少。可见在其他情况不变的情况下,价格敏感系数的增加可以同时使利润以及回收率降低。

3) 生产成本变化对模型结果的影响

草铵膦农药生产商的单位生产成本 $c_m=5$,草铵膦农药市场容量 $\alpha=600$ 、初始价格敏感系数 $\beta=1$ 、草铵膦农药包装废弃物的回收难易程度 $C_L=20$ 、单位回收价格 $h=0.3$ 、政府补贴 $\gamma=0.5$ 。如果将生产成本提高至5.5或6,则零售商利润和回收率都会发生变化。通过模型仿真,结果如表6所示。

表6 生产成本变化模型的仿真结果

Table 6 Simulation of production cost changes

生产成本 / 元	仿真结果	
	零售商利润 / 元	回收率 / %
5.0	22 137.63	74.41
5.5	22 100.44	74.35
6.0	22 063.28	74.29

由表6可知:生产成本从5调至6,零售商利润未发生明显变化,从22 137.63元下降至22 063.28元;回收率变化也不太明显,从74.41%降到74.29%。当生产成本每增加0.5时,零售商利润与回收率变动幅度都不大。可见在其他情况不变的情况下,生产成本的增加可以同时使利润以及回收率略有降低。

4) 回收难易程度变化对模型结果的影响

回收农药包装废弃物的初始难易程度 $C_L=20$,草铵膦农药市场容量 $\alpha=600$ 、草铵膦价格敏感系数 $\beta=1$ 、草铵膦农药生产商的单位生产成本 $c_m=5$ 、草铵膦包装单位回收价格 $h=0.3$ 、政府补贴 $\gamma=0.5$ 。如果将回收难易程度提高至25或30,则零售商利润和回收率都会发生变化。通过模型仿真,结果如表7所示。

表7 回收难易程度变化模型的仿真结果

Table 7 Simulation of recycling difficulty changes

回收难易程度	仿真结果	
	零售商利润 / 元	回收率 / %
20	22 137.63	74.41
25	22 135.42	59.52
30	22 133.94	49.60

由表7可知:回收难易程度若从20变为30,零售商利润发生了微弱的变化,从22 137.63元下降至22 133.94元;而回收率存在明显的差异,从74.41%降低到49.60%。回收难易程度每增加5,零售商利润几乎没有变化,回收率的变动幅度很大。可见在其他情况不变的情况下,回收难易程度的增加对回收率的影响很大。

4.3 政策建议

根据案例的数值仿真结果,对浏阳市高坪镇农药包装废弃物的回收提出以下建议:

1) 农作物种植不发达地方农药零售商的利润比种植发达地方的低,从而间接降低了农药包装废弃物的回收率。因此在农作物种植不发达的地方,需要政府提高补贴来促进农药包装废弃物的回收率。

2) 农药价格的增长应在当地农民的价格不敏感区内,否则不仅会缩减农药零售商的利润,还会间接影响农药包装废弃物的回收率。

3) 零售商应当与农药制造商合作为降低农药生产成本出谋划策。成本的减少不仅会增加零售商的利润,也会提高农药包装废弃物的回收率,这样可增加农药正向供应链的利润,也会促进逆向供应链的兴起。

4) 在农作物种植量一定的情况下,建议大面积集中种植,减小农药包装废弃物的回收难度,提高回收率。由于零售商利润受回收难易程度的影响小,因此当地政府的应鼓励集中种植行为。

5 结语

本文以农药生产商、农药零售商或第三方回收商

作回收主体, 分析乡村农药包装废弃物的最佳回收模式, 并以案例分析了零售商回收模式下乡村农药包装废弃物回收的影响因素。结果表明, 零售商回收模式在政府补贴激励机制下, 可以有效回收农药包装废弃物。

本文是将回收主体假设为互相信息对称的情形, 且不存在回收主体之间的竞争。在下一步的研究中, 需要考虑信息不对称并且存在竞争的因素, 从而使得出的结论和建议更具有现实意义。

参考文献:

- [1] RAZ G, OVCHINNIKOV A. Coordinating Pricing and Supply of Public Interest Goods Using Government Rebates and Subsidies[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2015, 62(1): 65-79.
- [2] 孙迪, 余玉苗. 绿色产品市场中政府最优补贴政策的确定[J]. *管理学报*, 2018, 15(1): 118-126.
SUN Di, YU Yumiao. Determination of Optimal Government Subsidy Policy in Green Product Market[J]. *Chinese Journal of Management*, 2018, 15(1): 118-126.
- [3] 曹裕, 李青松, 胡韩莉. 不同政府补贴策略对供应链绿色决策的影响研究[J]. *管理学报*, 2019, 16(2): 297-305, 316.
CAO Yu, LI Qingsong, HU Hanli. Research on the Influence of Different Government Subsidy Strategies on the Green Decision-Making of Supply Chain[J]. *Chinese Journal of Management*, 2019, 16(2): 297-305, 316.
- [4] CHEMAMA J, COHEN M C, LOBEL R, et al. Consumer Subsidies with a Strategic Supplier: Commitment vs. Flexibility[J]. *Management Science*, 2019, 65(2): 681-713.
- [5] YU J J, TANG C S, SHEN Z J. Improving Consumer Welfare and Manufacturer Profit via Government Subsidy Programs: Subsidizing Consumers or Manufacturers?[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2018, 20(4): 752-766.
- [6] 陈军, 田大钢. 闭环供应链模型下的产品回收模式选择[J]. *中国管理科学*, 2017, 25(1): 88-97.
CHEN Jun, TIAN Dagang. Selection of the Recycling Mode Based on Closed-Loop Supply Chain Model[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(1): 88-97.
- [7] TIAN Y H, GOVINDAN K, ZHU Q H. A System Dynamics Model Based on Evolutionary Game Theory for Green Supply Chain Management Diffusion Among Chinese Manufacturers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 80: 96-105.
- [8] 王文宾, 邓雯雯. 逆向供应链的政府奖惩机制与税收-补贴机制比较研究[J]. *中国管理科学*, 2016, 24(4): 102-110.
WANG Wenbin, DENG Wenwen. Comparison Between the Reward-Penalty Mechanism with the Tax-Subsidy Mechanism for Reverse Supply Chains[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2016, 24(4): 102-110.
- [9] 何晓梅, 李梦. 考虑制造商竞争的闭环供应链回收模式的决策研究[J]. *南京工业大学学报(社会科学版)*, 2017, 16(3): 121-127.
HE Xiaomei, LI Meng. Decision Research of Closed-Loop Supply Chain Based on Double Competition of Manufacturers[J]. *Journal of Nanjing Tech University(Social Science Edition)*, 2017, 16(3): 121-127.
- [10] RAMOS T R P, GOMES M I, BARBOSA-PÓVOA A P. Planning a Sustainable Reverse Logistics System: Balancing Costs with Environmental and Social Concerns[J]. *Omega*, 2014, 48: 60-74.
- [11] BERGER W, NAGASE Y. Waste Management Regulation: Policy Solutions and Policy Shortcomings[J]. *Scottish Journal of Political Economy*, 2018, 65(3): 205-223.
- [12] MA Z J, NIAN Z, YING D, et al. Managing Channel Profits of Different Cooperative Models in Closed-Loop Supply Chains[J]. *Omega*, 2016, 59: 251-262.
- [13] 倪明, 张族华, 郭军华, 等. 不确定需求条件下双渠道回收闭环供应链回收模式比较[J]. *系统工程*, 2017, 35(2): 60-68.
NI Ming, ZHANG Zuhua, GUO Junhua, et al. Comparison of the Recycling Model of Closed-Loop Supply Chain for Double-Channel Recycling Under Uncertain Demands[J]. *Systems Engineering*, 2017, 35(2): 60-68.
- [14] 张国兴, 张绪涛, 程素杰, 等. 节能减排补贴政策下的企业与政府信号博弈模型[J]. *中国管理科学*, 2013, 21(4): 129-136.
ZHANG Guoxing, ZHANG Xutao, CHENG Sujie, et al. Signaling Game Model of Government and Enterprise Based on the Subsidy Policy for Energy Saving and Emission Reduction[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2013, 21(4): 129-136.
- [15] 路应金, 徐雪枫, 艾兴政. 第三方规模效应下闭环供应链双渠道回收决策研究[J]. *管理工程学报*, 2018,

32(2): 207-217.
LU Yingjin, XU Xuefeng, AI Xingzheng. Collective Decision-Making of a Closed-Loop Supply Chain Dual-Channel Model Under the Third-Party Economies

of Scale[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2018, 32(2): 207-217.

(责任编辑: 邓光辉)

Recycling Models of Pesticide Packaging Waste in Villages Under Government Subsidy

LUO Dingti¹, LUO Juan¹, LU Fang²

(1. Packaging Economy Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;
2. School of Logistic & Transportation, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: According to the characteristics of pesticide packaging waste with small utilization value and accrued environmental impacts, combined with the incentive system of government subsidy, the changes of profit and recovery rate of the recovery system under government subsidy were analyzed by taking pesticide producers, pesticide retailers and third party recyclers respectively as the recycling principals based on the Stackelberg game analysis of behaviors among recycling principals. The results showed that the retailer recycling was the best rural pesticide packaging waste recovery model with the optimal profit and the maximum recovery rate to achieve the win-win economic and environmental benefits.

Keywords: government subsidies; pesticide packaging waste; recycling model

附表 1 不同回收模式下相关变量的最优值

Table 1 Optimal values of relevant variables under different recycling modes

变 量	生产商回收模式 M	零售商回收模式 R	第三方回收模式 TP
农药批发价格 w	$\frac{4(\alpha+\beta c_m)C_L - \alpha\beta(\gamma-h)^2}{\beta(8C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{\alpha + \beta c_m}{2\beta}$	$\frac{\alpha + \beta c_m}{2\beta}$
农药零售价格 p	$\frac{2(3\alpha + \beta c_m)C_L - \alpha\beta(\gamma-h)^2}{\beta(8C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(3\alpha + \beta c_m)C_L - \alpha\beta(\gamma-h)^2}{\beta(4C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{3\alpha + \beta c_m}{4\beta}$
农药包装废弃物回收率 τ	$\frac{(\gamma-h)(\alpha - \beta c_m)}{8C_L - \beta(\gamma-h)^2}$	$\frac{(\gamma-h)(\alpha - \beta c_m)}{2(4C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(\gamma-h-C)(\alpha - \beta c_m)}{8C_L}$
农药生产商利润 Π_M	$\frac{(\alpha - \beta c_m)^2}{\beta(8C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(\alpha - \beta c_m)^2 C_L}{2\beta(4C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(\alpha - \beta c_m)^2}{8\beta}$
农药零售商利润 Π_R	$\frac{4(\alpha - \beta c_m)^2 C_L^2}{\beta(8C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(\alpha - \beta c_m)^2 C_L}{4\beta(4C_L - \beta(\gamma-h)^2)}$	$\frac{(\alpha - \beta c_m)^2}{16\beta}$
第三方回收商利润 Π_{TP}			$\frac{(\gamma-h-C)^2(\alpha - \beta c_m)^2}{64C_L}$
政府得益 Π_G	$\frac{2(\gamma-h)(\theta-\gamma)(\alpha - \beta c_m)^2 C_L}{(8C_L - \beta(\gamma-h)^2)^2}$	$\frac{(\gamma-h)(\theta-\gamma)(\alpha - \beta c_m)^2 C_L}{2(4C_L - \beta(\gamma-h)^2)^2}$	$\frac{(\gamma-h-C)(\theta-\gamma)(\alpha - \beta c_m)^2}{32C_L}$