

doi:10.16055/j.issn.1672-058X.2022.0003.012

可持续供应链下的政府差异化补贴与供求模型研究

王 郑, 张成堂

(安徽农业大学 理学院, 安徽 合肥 230036)

摘要:针对农产品存在细分市场需求和政府补贴力度不同的现象,提出对可持续农产品和环保型农产品供求水平提升的优化建议与政府补贴策略;在假定政府对 3 个异质性制造商采取差异化补贴的基础上,综合考虑农产品的属性水平和消费者的不同偏好程度,并运用 Stackelberg 博弈理论建立了农产品可持续供应链下的供求模型,政府根据社会福利最大化目标制定出最优的补贴政策,以进一步推动可持续供应链的细分市场供求达到均衡状态;最后,通过数值仿真分析了各种参数扰动对相关最优决策结果的影响。结果表明:政府的补贴政策可以有效降低农产品的售价,增加环保型农产品和可持续农产品的细分市场的需求,提升消费者的可持续消费水平,有利于促进经济效益和环保效益的双赢,对供应链的可持续与协调发展具有一定的指导意义和参考价值。

关键词:可持续供应链;差异化补贴;供求模型;消费者偏好

中图分类号:F273;O225

文献标志码:A

文章编号:1672-058X(2022)03-0089-11

0 引言

随着全球经济的日益发展和人们环保意识的不断提高,供应链上的企业开始逐步关注环境绩效^[1]。但是,企业要想达到政府、消费者和社会各界人士的环保理想要求,就必须实施可持续供应链管理^[2-3]。对我国大多数制造商来说,要实施有效且长期的可持续供应链管理还存在着诸多制约:

(1) 由于消费者的环保意识较差,购买农产品时会考虑自身的收益,倾向于购买成本较低的非环保农产品,因此生产环保性农产品就难以赢得市场竞争优势;

(2) 农产品供给者缺乏技术与资金的支持;

(3) 政府对于环保实践的执行力有待加强与提高,就政府如何制定补贴农产品的政策将成为政府和制造商共同面临的现实问题^[4]。

探究政府与制造商在可持续供应链管理中的博弈关系将有助于克服这一难题。鉴于此,本文将考虑可持续供应链下的政府对 3 个异质性制造商差异化补贴情形,利用博弈理论比较和分析了不同补贴情形下的农产品供求模型以及政府的最优补贴策略。

政府对农产品补贴问题的研究在国内外都有涉及。黄建辉等^[5]研究了政府、银行、公司及农户间的四阶段动态博弈问题,并分析了政府补贴对供应链最优决策的影响。曹裕等^[6]建立了制造商和零

收稿日期:2021-05-20;修回日期:2021-07-15.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71771003, 71802004, 71571002);安徽省自然科学基金资助项目(1808085MG215, 1808085QG231, 1908085MG228);安徽农业大学引进与稳定人才项目(WD2018-11).

作者简介:王郑(1994—),男,安徽凤台人,硕士研究生,主要从事物流与供应链管理.

通讯作者:张成堂(1977—),男,安徽六安人,博士,教授,硕士生导师,从事物流与供应链管理、运筹与决策研究. Email:zct@ahau.edu.cn.

售商的 Stackelberg 博弈模型,研究了无政府补贴和单一补贴下的供应链绿色决策,并探讨了政府外部协调与供应链内部协调补贴策略对供应链的影响。王哲等^[7]构建了政府、制造商、分销商和回收处理商的三阶段博弈决策模型,分析了产品在“一征一补一减”政策下利益主体的最优决策。Li 等^[8]考虑社会福利,研究了绿色无补贴,绿色产品补贴和绿色创新补贴下政府的最优绿色补贴方案。He 等^[9]探讨竞争性新产品和再制造产品的制造商渠道结构和定价决策以及政府的最优补贴水平。现有的文献大多数在讨论政府对农产品的补贴问题,并没有给出政府具体补贴多少可以使农产品需求市场达到均衡状态,且多数文献只考虑了对一种产品或者至多两种产品进行补贴,缺乏对 3 种及 3 种以上产品进行差异化补贴的比较和分析。

关于供应链产品属性水平的研究也取得了一些进展。Rashid 等^[10]研究了个人属性服务质量和产品整体服务质量是家用产品可持续性和持续使用的重要决定因素。Xu 等^[11]假定市场需求和产品可持续属性水平与售价相关,并分析得出了碳排放交易价格影响最优决策变量,最后通过两部关税合同完美协调了可持续供应链。Kuo 等^[12]考虑了政府补贴政策、市场需求和社会成本属性水平等,提出了生物燃料模型,根据此模型制定适当的补贴政策。伍健等^[13]以战略性新兴产业为研究对象,探究了政府补贴在企业创新中的资源属性水平和信号属性水平。现有的研究大多数只考虑了一种或者两种产品的属性水平,并没有把政府差异化补贴、消费者偏好程度、细分市场需求以及多种产品的属性水平综合起来考虑。

市场中消费者对产品的行为偏好程度将直接影响着企业的生产方式和运营决策,对供应链的运作和协调起着至关重要的作用。朱庆华等^[14]基于消费者环境偏好存在差异的角度建立了政企三阶段博弈模型,并分析了政府的最优补贴政策和生产商的最优绿色度水平,为政府和生产商的决策提供了理论指导。Ye 等^[15]使用离散选择实验和政策模拟等方法调查了农作物属性的偏好对于设计更好的产品和指导政府补贴政策至关重要。熊中楷等^[16]分析

了消费者环保意识对产品碳排放量、企业利润的影响。金基瑶等^[17]基于消费者环境偏好程度,分别建立了无补贴、补贴本土生产型企业、补贴 FDI 生产型企业 3 种环境补贴模式下两阶段供应链竞争模型,并对该模型进行了优化求解与分析。王永龙和蔡继荣^[18]分别构建了 4 种不同的行为偏好模型旨在探究供应商的缺货厌恶或浪费厌恶偏好对供应链各成员的影响。求解出不同行为偏好模型下的供应链博弈均衡解,得到了供应链成员决策行为和期望利润随供应商偏好程度的变化情况,并进一步考察了缺货与浪费厌恶系数的比值对决策行为大小的影响。

综上,以往的文献大多只将政府补贴作为模型中的一个参数,未对其进行详细探究。此外,政府与制造商之间关于环保方面的博弈,不仅受到市场竞争因素的影响,还受到消费者环境偏好程度等因素的影响。鉴于此,本文受到许建等^[19]的工作启发,将系统考虑政府差异化补贴、农产品价格、产品属性、消费者偏好等因素,建立了可持续供应链中的农产品供求模型,确定政府的最优补贴策略,并通过数值仿真进一步分析了该供求模型中各种参数扰动带来的影响,为可持续供应链的管理与决策提供了理论依据和支持。

1 问题描述与模型构建

1.1 符号说明

本文涉及的相关符号及其含义,如表 1 所示。

1.2 问题描述与模型假设

随着可持续供应链管理在实践生活中的不断应用和发展,市场上销售的农产品要满足国家法规规定的最低属性水平,即企业生产的农产品必须在满足中国能效标识的最低等级才可以进行市场,比如 2010 年国家规定空调必须达到等级 III 才可以出售。实施可持续供应链管理将涉及企业、消费者、政府和社会等多方面因素。因此,本文将考虑只有消费者和制造商两个利益方,假定有 3 个异质性制造商:制造商 0 生产的农产品的属性水平为 h_0 ,制造商 1 生产的农产品的属性水平为 h_1 ,制造商 2 生产的农产品的属性水平为 h_2 ,其中 $h_2 \gg h_1 > h_0$ 。不同的制造

商生产的农产品对环境具有一定的负面影响。因此,为了鼓励制造商生产具有一定环保性能的农产品,政府将给予制造商一定的补贴。本文在可持续供应链的农产品供求模式下,主要以考虑消费者需求量、消费者环境偏好、制造商需求量、农产品属性水平、政府差异化补贴等因素,探究供求关系如何达到均衡。在当前农产品市场中,产品属性水平互异,本文将考虑3种农产品:可持续农产品、环保型农产品和普通农产品。其中,假设可持续农产品和环保型农产品均达到了政府规定的补贴等级,所以政府给予一定的补贴,而普通农产品只是达到了政府规定的最低生产和销售等级但是没有达到补贴等级,

即政府不予补贴。为了模型的简化及研究方便,现作如下假设:

(1) 社会总福利即为政府的总收益,设为可持续农产品的边际环境效益、环保型农产品的边际环境效益、消费者总剩余和制造商总剩余之和,再减去普通农产品的边际环境损失成本和政府对制造商的补贴。

(2) 消费者的收益与自身环保意识、偏好程度、公众压力、农产品价格、市场供给等因素有关,消费者对农产品的偏好程度 θ 在 $[0,1]$ 之间服从均匀分布。

(3) 假设该类产品在市场上有最大容量为1的消费者群体。

表1 相关符号与解释

Table 1 Symbols and explanations

变量	含义	变量	含义
p_2	可持续农产品的价格	q_2	可持续农产品的市场需求
p_1	环保型农产品的价格	q_1	环保型农产品的市场需求
p_0	普通农产品的价格	q_0	普通农产品的市场需求
h_2	可持续农产品的属性水平	c_2	可持续农产品的生产成本
h_1	环保型农产品的属性水平	c_1	环保型农产品的生产成本
h_0	普通农产品的属性水平	c_0	普通农产品的生产成本
h	政府规定最低属性水平要求	X_1	环保型农产品的边际环境效益
s_1	政府对制造环保型农产品的企业补贴	X_2	可持续农产品的边际环境效益
s_2	政府对制造可持续农产品的企业补贴	Y	普通农产品的边际环境损失成本
U	消费者剩余	W	社会福利
M	消费者总人数	V	制造商剩余
Π_i	$i=0,1,2$ 分别表示普通农产品、环保型农产品和可持续农产品的企业利润	θ_i	$i=0,1,2$ 分别表示消费者对普通农产品、环保型农产品和可持续农产品的偏好程度

注: $p_2 > p_1 > p_0, h_2 > h_1 > h_0 \geq h, c_2 > c_1 > c_0, X_2 > X_1, s_2 > s_1 \geq 0$ 。

2 模型分析与求解

消费者和企业都是经济理性人,以自身利益最大化为追求目标,但为了达到农产品的供求均衡,实现环境效益、经济效益和社会效益的有机统一,政府需要对企业进行宏观调控,实行政府奖惩机制等形式才能使市场最终达到供求均衡,实现“三重底线”的目标^[20]。本文主要研究政府如何对企业进行补贴和补贴多少才能使市场供求达到均衡。

2.1 消费者需求链分析

假设在一个完全信息的条件下,市场上存在3种农产品,每个消费者最多只购买一单位的农产品,

且不同的农产品之间具有互异的属性水平,环保性能越好,其农产品的属性水平就越高,价格也就越高。普通农产品的属性水平为 h_0 ,环保型农产品的属性水平为 h_1 ,可持续农产品的属性水平为 h_2 ,其中 h_0, h_1, h_2 为常数, $h_2 > h_1 > h_0 > 0$,3种农产品的销售价格分别为 p_0, p_1, p_2 , θ 在 $[0,1]$ 之间服从均匀分布,则消费者剩余 U 与 θ 满足的关系函数式为

$$U_i = \theta_i h_i - p_i (i=0,1,2)$$

其中, θ_0 表示消费者购买普通农产品的偏好程度,

即此时由 $\theta_0 h_0 - p_0 = 0$,得 $\theta_0 = \frac{p_0}{h_0}$ 。同理,可得 $\theta_1 = \frac{p_1}{h_1}$,

$$\theta_2 = \frac{p_2}{h_2}。$$

假设 M 为消费者总人数,则消费者对普通农产品、环保型农产品和可持续农产品的需求函数 q_0 、 q_1 、 q_2 分别为

$$q_0 = (\theta_1 - \theta_0)M = \left(\frac{p_1}{h_1} - \frac{p_0}{h_0}\right)M \quad (1)$$

$$q_1 = (\theta_2 - \theta_1)M = \left(\frac{p_2}{h_2} - \frac{p_1}{h_1}\right)M \quad (2)$$

$$q_2 = (1 - \theta_2)M = \left(1 - \frac{p_2}{h_2}\right)M \quad (3)$$

2.2 企业供应链分析

政府对环保型农产品的补贴为 s_1 ($s_1 \geq 0$),对可持续农产品的补贴为 s_2 ($s_2 \geq 0$),这里 $s_2 > s_1 \geq 0$,则企业生产普通农产品、环保型农产品和可持续农产品的利润函数分别为

$$\Pi_0 = (p_0 - c_0)q_0 = (p_0 - c_0) \left(\frac{p_1}{h_1} - \frac{p_0}{h_0}\right)M \quad (4)$$

$$\Pi_1 = (p_1 - c_1 + s_1)q_1 = (p_1 - c_1 + s_1) \left(\frac{p_2}{h_2} - \frac{p_1}{h_1}\right)M \quad (5)$$

$$\Pi_2 = (p_2 - c_2 + s_2)q_2 = (p_2 - c_2 + s_2) \left(1 - \frac{p_2}{h_2}\right)M \quad (6)$$

由于企业以利润最大化为原则,其利润最大化的条件是 $\frac{\partial \Pi_0}{\partial p_0} = 0$ 、 $\frac{\partial \Pi_1}{\partial p_1} = 0$ 和 $\frac{\partial \Pi_2}{\partial p_2} = 0$,可得企业的最优销售价格为

$$p_0^* = \frac{h_0(2h_2c_1 + h_1c_2 - h_1s_2 - 2h_2s_1)}{8h_1h_2} + \frac{h_0 + 4c_0}{8} \quad (7)$$

$$p_1^* = \frac{h_1h_2 + 2h_2c_1 + h_1c_2 - h_1s_2 - 2h_2s_1}{4h_2} \quad (8)$$

$$p_2^* = \frac{h_2 + c_2 - s_2}{2} \quad (9)$$

将式(7)一式(9)的结果代入式(1)一式(3)中得到企业的最优供给量为

$$q_0^* = \frac{h_0(2h_2c_1 + h_1c_2 - h_1s_2 - 2h_2s_1)}{8h_0h_1h_2}M + \frac{h_0 - 4c_0}{8h_0}M \quad (10)$$

$$q_1^* = \frac{h_1h_2 + h_1c_2 + 2h_2s_1 - h_1s_2 - 2h_2c_1}{4h_1h_2}M \quad (11)$$

$$q_2^* = \frac{h_2 + s_2 - c_2}{2h_2}M \quad (12)$$

将式(10)一式(12)的结果带入式(4)一式(6)中得到企业的最优利润为

$$\Pi_0^* = \frac{[h_0A - 4h_1h_2c_0]^2}{64h_0h_1h_2^2}M \quad (13)$$

$$(\text{令 } A = h_1h_2 + 2h_2c_1 + h_1c_2 - h_1s_2 - 2h_2s_1)$$

$$\Pi_1^* = \frac{(h_1h_2 + h_1c_2 + 2h_2s_1 - h_1s_2 - 2h_2c_1)^2}{16h_1h_2^2}M \quad (14)$$

$$\Pi_2^* = \frac{(h_2 + s_2 - c_2)^2}{4h_2}M \quad (15)$$

从式(7)一式(15)分别对 s_1 和 s_2 求偏导,并比较结果可得:

$$\frac{\partial p_0^*}{\partial s_1} < 0, \frac{\partial p_0^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial p_1^*}{\partial s_1} < 0, \frac{\partial p_1^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial p_2^*}{\partial s_2} < 0$$

$$\frac{\partial q_0^*}{\partial s_1} < 0, \frac{\partial q_0^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial q_1^*}{\partial s_1} > 0, \frac{\partial q_1^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial q_2^*}{\partial s_2} > 0$$

$$\frac{\partial \Pi_0^*}{\partial s_1} < 0, \frac{\partial \Pi_0^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial \Pi_1^*}{\partial s_1} > 0, \frac{\partial \Pi_1^*}{\partial s_2} < 0; \frac{\partial \Pi_2^*}{\partial s_2} > 0$$

从以上分析结果发现:

(1) 当政府对环保型农产品补贴之后,普通农产品和环保型农产品的销售价格都降低,普通农产品的需求量减少、环保型农产品的需求量增加,普通农产品供给者的利润下降,环保型农产品供给者的利润上升。政府根据此特征提高企业生产和销售环保型农产品的积极性,这正是现有的政府政策给予环保型农产品补贴的主要原因。

(2) 当政府对可持续农产品补贴之后,普通农产品、环保型农产品和可持续农产品销售价格都降低,普通农产品和环保型农产品的需求量减少,而可持续农产品的需求量增加,普通农产品和环保型农产品的利润下降,而可持续农产品的利润上升。这是政府给予可持续农产品补贴的主要原因。

2.3 政府最优补贴分析

政府采用经济政策对生产环保型农产品和可持续农产品的企业进行适当的补贴,以鼓励供应链上的企业进行更好的生产环保性和可持续农产品。政府主要依据社会福利最大化目标制定最优的补贴政策以进一步推动供应链供求达到均衡^[21]。社会福利与消费者总剩余 U_T 、制造商剩余 V 、购买普通农产品带来的环境成本 Y 、购买环保型农产品和可持续农产品带来的环境效益分别为 X_1 、 X_2 、政府补贴金额及其调整因子等相关^[22]。消费者总剩余 U_T 、制造商剩余 V 和社会福利 W 的函数分别为

$$U_T = \int_{\theta_0}^{\theta_1} (\theta h_0 - p_0) d\theta + \int_{\theta_1}^{\theta_2} (\theta h_1 - p_1) d\theta + \int_{\theta_2}^1 (\theta h_2 - p_2) d\theta \Big] M$$

$$V = \Pi_0^* + \Pi_1^* + \Pi_2^*$$

$$W = U_T + V + (X_1 - s_1) q_1 + (X_2 - s_2) q_2 - Y q_0$$

由社会福利最大化的条件 $\frac{\partial W}{\partial s_1} = 0$ 和 $\frac{\partial W}{\partial s_2} = 0$ 联立,可

得到政府的最优补贴金额函数 s_1^* 和 s_2^* 分别为

$$s_1^* = \frac{6h_1c_0 + 4h_1Y}{4h_1 - 3h_0} + (c_2 - X_2) \frac{h_1}{h_2 - h_1} + \frac{6h_0h_1 - 3h_0h_2 - 4h_1h_2}{(4h_1 - 3h_0)(h_2 - h_1)} c_1 - \frac{4h_1^2 - 8h_1h_2 + 3h_0h_1}{(4h_1 - 3h_0)(h_2 - h_1)} X_1 \quad (16)$$

$$s_2^* = \frac{h_2^2 - h_1h_2 + 2h_2c_1}{h_2 - h_1} + \frac{(h_1 + h_2)c_2}{h_2 - h_1} + \frac{2(X_2 - X_1)h_2}{h_2 - h_1} \quad (17)$$

3 算例分析

本文通过变量的敏感度来分析政府的补贴政

策、最优补贴和社会福利的变化^[23]。假定参数: $c_0 = 1, c_1 = 2, c_2 = 3, h_0 = 3, h_1 = 4, h_2 = 5, M = 1\ 000$ 。把参数的取值(以 $h_1 = 4$ 为例,假设政府要求农产品的属性水平达到等级 4 才对企业进行补贴)带入式(16)和式(17),得出普通农产品的边际环境损失成本 Y 、环保型农产品的边际环境效益 X_1 和可持续农产品的边际环境效益 X_2 与最优补贴的关系为

$$s_1^* = \begin{cases} \frac{16}{7}Y + \frac{60}{7}X_1 - 4X_2 + \frac{2}{7}, & \text{if } Y > \frac{14X_2 - 30X_1 - 1}{8} \\ 0, & \text{if } 0 \leq Y \leq \frac{14X_2 - 30X_1 - 1}{8} \end{cases}$$

$$s_2^* = \begin{cases} 10(X_2 - X_1) - 2, & \text{if } X_2 - X_1 > 0.2 \\ 0, & \text{if } 0 \leq X_2 - X_1 \leq 0.2 \end{cases}$$

经过分析,当普通农产品的边际环境损失成本 Y 较小时,政府可以不补贴,则可以通过市场调节机制,实现可持续供应链系统“三重底线”最优化;当普通农产品的边际环境损失成本 Y 较大时,政府应给予补贴,从而可持续供应链系统能够实现“三重底线”最优化。通过 Matlab 计算,当政府确定农产品的属性水平为 4 时对企业进行补贴,此时满足政府的补贴机制条件: $Y = 0.160, X_1 = 0.300, X_2 = 0.800$ 。此时通过数值分析,政府不补贴($s_1 = s_2 = 0$)与政府补贴(s_1, s_2)时,参数如表 2 所示。

表 2 补贴等级为 4 时, $s_1 = s_2 = 0$ 与 (s_1, s_2) 的供求模型

Table 2 Supply and demand model of $s_1 = s_2 = 0$ and (s_1, s_2) , when subsidy level is 4

	p_0	p_1	p_2	q_0	q_1	q_2	Π_0	Π_1	Π_2	W
$s_1 = s_2 = 0$	1.475	2.600	4.000	159	150	200	75.208	90.000	200	677.600
$s_1 = 0.023, s_2 = 3.000$	1.246	1.989	2.500	82	3	500	20.172	0.165	1250	793.148

从表 2 可以明显得出:当政府进行补贴时,普通农产品的价格下降,销售量降低,利润减少;环保型农产品的价格降低,销售量减少,利润下降;可持续农产品的价格下降,销售量增加,制造商的利润大幅增加,社会总福利得到显著提高。究其原因,政府对可持续农产品的补贴力度远远大于对环保型农产品的补贴,从而使得更多的消费者倾向于购买补贴力度较大的可持续农产品,进而

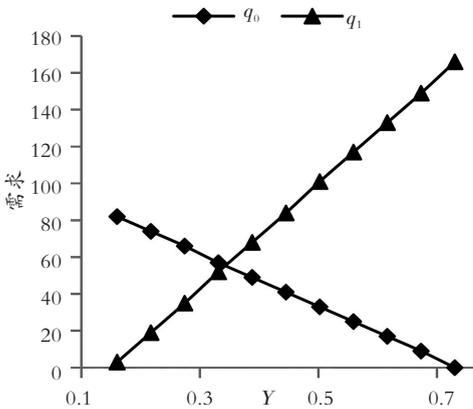
导致环保型农产品销售量减少,利润下降,可持续农产品的销售量增加,利润增加。此分析结果和模型讨论的结果完全一致,且符合市场供求关系的一般规律。

通过分析计算可知:政府对环保型农产品和可持续农产品进行补贴,当普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 达到一定程度时,其需求量为零,制造商无任何利润,如表 3 所示。

表 3 补贴等级为 4 时, $Y=0.160\sim 0.730$, $X_1=0.300$, $X_2=0.800$ 的供求模型Table 3 Supply and demand model of $Y=0.160\sim 0.730$, $X_1=0.300$, $X_2=0.800$, when subsidy level is 4

Y	p_0	p_1	p_2	q_0	q_1	q_2	Π_0	Π_1	Π_2	s_1	s_2	W
0.160	1.246	1.989	2.500	82	3	500	20.172	0.165	1250	0.023	3	793.148
0.217	1.221	1.933	2.500	74	19	500	16.428	7.315	1250	0.153	3	794.778
0.274	1.197	1.859	2.500	66	35	500	13.068	25.028	1250	0.283	3	804.607
0.331	1.172	1.793	2.500	57	52	500	9.747	53.561	1250	0.414	3	823.813
0.388	1.148	1.728	2.500	49	68	500	7.203	92.480	1250	0.544	3	855.883
0.445	1.124	1.663	2.500	41	84	500	5.043	141.961	1250	0.674	3	889.043
0.502	1.099	1.598	2.500	33	101	500	3.267	202.508	1250	0.805	3	935.104
0.559	1.075	1.533	2.500	25	117	500	1.875	273.195	1250	0.935	3	990.000
0.616	1.050	1.468	2.500	17	133	500	0.867	354.445	1250	1.065	3	1053.895
0.673	1.026	1.403	2.500	9	149	500	0.243	446.258	1250	1.195	3	1126.789
0.730	1.000	1.337	2.500	0	166	500	0	549.461	1250	1.326	3	1209.045

从表 3 易知,普通农产品的边际环境损失成本 Y 对供给 q_2 无影响,即 $q_2=500$,对供给 q_0 、 q_1 的影响见图 1。

图 1 市场需求与 Y 的关系Fig. 1 Relationship between market demands and Y

观察表 3 和图 1 可以得出,企业实施可持续农产品供应链在政府进行补贴情况下,随着普通农产品的边际环境损失成本的增加,其变化情况如下:

(1) 普通农产品和环保型农产品的价格呈下降趋势。究其原因,主要是因为普通农产品的边际环境损失成本增加,且环保型农产品的价格下降幅度大于普通农产品;可持续农产品的价格不变。

(2) 普通农产品的需求量与边际环境损失成本 Y 负相关,当普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 达到一定程度时,即 $Y=0.730$ 时,其需求量降为零,究其原因,当普通农产品的边际环境损失成本较大时,消费者以及企业对此类农产品的认可度逐渐下

降,从而导致细分市场下的需求量为零;环保型农产品的需求量与边际环境损失成本 Y 正相关,且上升幅度大于普通农产品下降的幅度,有利于促进细分市场下的农产品的供需平衡;可持续农产品的需求量不变。其中,由图 1 可计算交点为 $(0.344, 55)$,当 $Y \in (0.160, 0.344)$,市场对普通农产品的需求量高于环保型农产品的需求量,当 $Y \in (0.344, 0.730)$,市场对普通农产品的需求量低于环保型农产品的需求量。这主要与普通农产品的边际环境损失成本相关,且符合细分市场下的供需变化的一般规律。

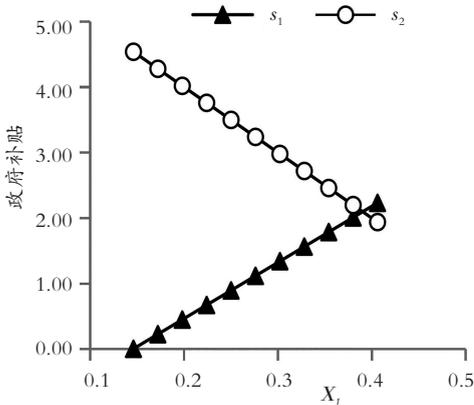
(3) 普通农产品的利润呈下降趋势,当普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 达到一定程度时,即 $Y=0.730$ 时,其利润降为零,其原因是当普通农产品的边际环境损失成本较大时,消费者以及企业对此类农产品的认可度逐渐下降,从而导致细分市场下的利润降为零;环保型农产品的利润呈上升趋势,上升幅度较大,且上升幅度大于普通农产品下降的幅度;可持续农产品的利润不变。这是因为普通农产品的边际环境损失成本的增加直接削弱了自身的市场竞争地位,从而使普通农产品的利润呈下降现象,这有利于政府平衡细分市场对普通农产品和环保型农产品的需求。

(4) 政府对环保型农产品的补贴呈上升趋势,对可持续农产品的补贴不变,虽然普通农产品的利润呈下降趋势,甚至此时制造商不盈利,但是社会总福利呈上升趋势,最终使整个供应链系统的利润达到最优。

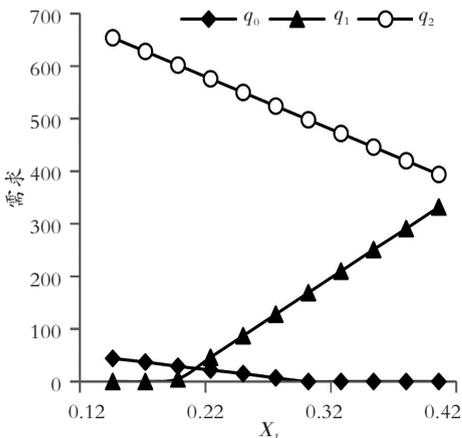
从以上结果可以看出,政府对环保型农产品和

可持续农产品的最优补贴与普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 和环保型农产品的边际环境效益 X_1 、可持续农产品的边际环境效益 X_2 之间密切相关,当普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 达到一定程度时,政府为了实现可持续农产品的供求均衡必须给予企业足够的补贴。

同时,经过观察分析可知,政府对环保型农产品和可持续农产品的补贴函数 s_1 、 s_2 同时与环保型农产品的边际环境效益 X_1 、可持续农产品的边际环境效益 X_2 呈线性关系,且函数 s_1 与普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 也呈线性关系。此时,当普通农产品产生的边际环境损失成本 Y 固定时,通过 Matlab 软件计算可知,假设 $Y=0.730$,当 $X_2=0.800$ 时, $X_1 \in [0.146, 0.406]$ 对政府补贴函数以及农产品供给量的影响如图 2 所示。



(a) 政府补贴与 X_1 的关系

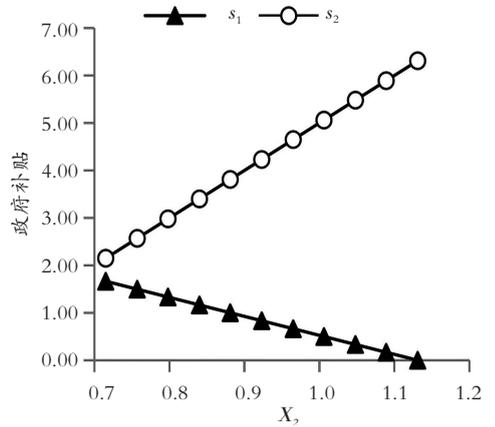


(b) 市场需求与 X_1 的关系

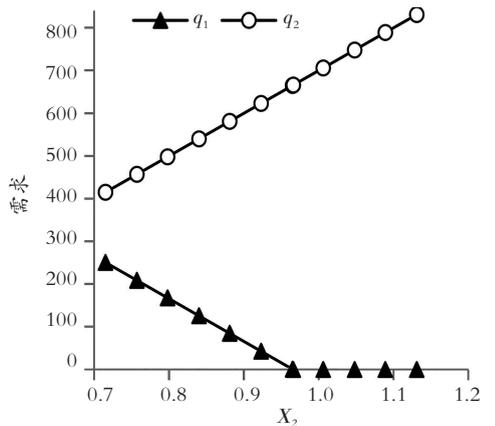
图 2 政府补贴和市场需求与 X_1 的关系

Fig. 2 Relationship between government subsidies, market demands and X_1

$X_1=0.300$ 时, $X_2 \in [0.715, 1.131]$ 对政府补贴函数和农产品供给量的影响如图 3 所示(其中 $q_0=3$)。



(a) 政府补贴与 X_2 的关系



(b) 市场需求与 X_2 的关系

图 3 政府补贴和市场需求与 X_2 的关系

Fig. 3 Relationship between government subsidies, market demands and X_2

$X_1 \in [0.25, 0.70]$, $X_2 \in [0.61, 1.60]$ 时,同时考察 X_1 和 X_2 对政府补贴函数 s_1 的影响如图 4 所示,对政府补贴函数 s_2 的影响如图 5 所示。

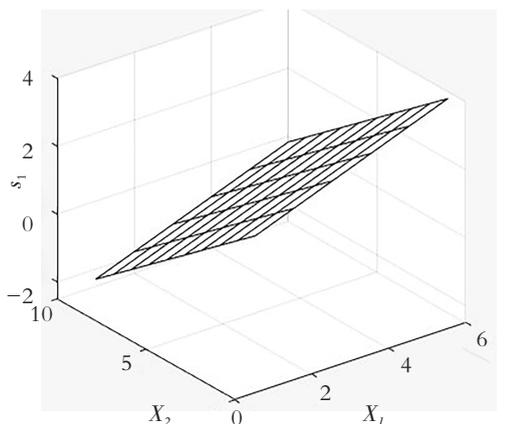
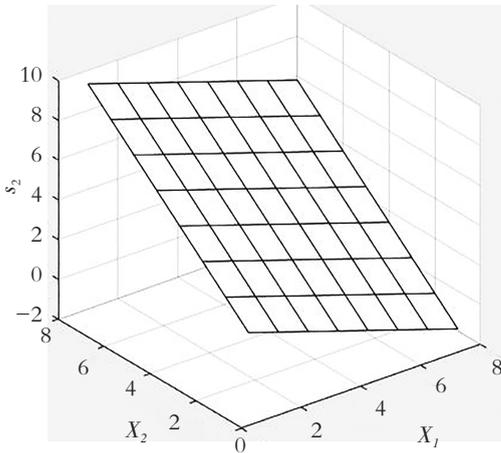


图 4 $s_1(X_1, X_2)$ 图像

Fig. 4 The image of $s_1(X_1, X_2)$

图 5 $s_2(X_1, X_2)$ 图像Fig. 5 The image of $s_2(X_1, X_2)$

由图 2 和图 3 可知,政府补贴函数 s_1 和供给量 q_1 与环保型农产品的边际环境效益 X_1 正相关,与可持续农产品的边际环境效益 X_2 负相关,政府补贴函数 s_2 和供给量 q_2 与环保型农产品的边际环境效益 X_1 负相关,与可持续农产品的边际环境效益 X_2 正相关,供给量 q_0 与环保型农产品的边际环境效益 X_1 负相关,与可持续农产品的边际环境效益 X_2 不相关,且此时 $q_0 = 3$ 恒成立。这是因为随着农产品的边际环境效益的增加,政府会加大对该种农产品的补贴力度,从而扩大该种农产品的市场需求。

在图 2(a)中,函数 s_1 和函数 s_2 相交于一点,通过计算可知此点坐标为 $(0.390, 2.100)$,即为政府对环保型农产品和可持续农产品补贴的临界点,当 $X_1 \in (0.146, 0.390)$ 时,政府对可持续农产品的补贴高于环保型农产品,当 $X_1 \in (0.390, 0.406)$ 时,政府对可持续农产品的补贴低于环保型农产品。在图 2(b)中,通过 Matlab 软件计算可得,当 $q_0 = 0$ 时, $X_1 = 0.302$,当 $q_1 = 0$ 时, $X_1 = 0.195$,供给函数 q_0 与 q_1 相交于 $(0.211, 26)$ 。即当 $X_1 \in (0.146, 0.211)$ 时,细分市场下对普通农产品的需求大于环保型农产品的需求,当 $X_1 \in (0.211, 0.406)$ 时,细分市场下对普通农产品的需求低于环保型农产品的需求。这主要是因为政府给予环保型农产品的补贴较低以及环保型农产品的边际环境效益 X_1 较小,从而使消费者倾向于购买价格较低的普通农产品,随着环保型农产品的边际环境效益 X_1 的增大,政府加大对环保型农产品的补贴,使得消费者倾向于购买政府补贴

下的环保型农产品,从而扩大了市场对环保型农产品的需求,缩小了对普通农产品的市场需求,符合细分市场下的产品供求均衡。进一步分析可得,当 $X_1 \in (0.146, 0.195)$ 时,细分市场下只存在对可持续农产品和普通农产品的需求,当 $X_1 \in (0.195, 0.302)$ 时,细分市场下存在可持续农产品、环保型农产品和普通农产品的需求,当 $X_1 \in (0.302, 0.406)$ 时,细分市场下只存在可持续农产品和环保型农产品的需求。究其原因,当环保型农产品的边际环境效益 X_1 较小时,一方面考虑环保型农产品的研发成本较高,另一方面政府给予环保型农产品的补贴较低,从而导致市场对环保型农产品的需求减少,进而扩大对普通农产品的市场需求,这符合细分市场下的农产品供需均衡。随着环保型农产品的边际环境效益 X_1 的增加,政府加大对环保型农产品的补贴力度,从而扩大市场对环保型农产品的需求,减少对普通农产品的需求。随着环保型农产品的边际环境效益 X_1 的增加,政府逐渐减少对可持续农产品的补贴力度,从而使可持续农产品的市场需求递减,但是市场始终存在对可持续农产品的需求,这与政府的补贴是分不开的,且符合市场一般性规律。

由图 3(a)可以看出,政府对可持续农产品的补贴始终高于环保型农产品,且随着可持续农产品的边际环境效益 X_2 的增大,政府对可持续农产品补贴增加的幅度大于环保型农产品补贴下降的幅度,此时说明了政府更加鼓励企业对可持续农产品的生产与制造。在图 3(b)中,随着可持续农产品的边际环境效益 X_2 的递增,供给量 q_1 递减,通过 Matlab 软件计算可得,当 $q_1 = 0$ 时, $X_2 = 0.966$,即当 $X_2 \in (0.966, 1.131)$ 时,市场中不存在对环保型农产品的需求。究其原因,随着可持续农产品的边际环境效益 X_2 的增大,政府会加大对可持续农产品的补贴力度,缩小对环保型农产品补贴力度,从而使消费者更倾向于购买可持续农产品,减少或者不购买环保型农产品,进而达到市场供求均衡。

由图 4 和图 5 可知,政府对环保型农产品补贴 s_1 与 X_1 正相关,与 X_2 负相关,可持续农产品补贴 s_2 与 X_1 负相关,与 X_2 正相关,且随着 X_1 和 X_2 的

同时增大, s_2 上升的幅度大于 s_1 下降的幅度。为了提升环保型农产品、可持续农产品与其他农产品的市场竞争力,一方面企业需要提高环保型农产品和可持续农产品的边际环境效益,另一方面企业可以通过环保宣传提高环保型农产品和可持续农产品的社会认可度,从而促进企业可持续供应链稳定发展。

4 结 语

本文综合考虑了政府差异化补贴、农产品属性水平、消费者偏好程度、农产品价格等因素,建立了可持续供应链中的农产品供求模型,并且针对模型进行了理论分析,又通过数值仿真作了进一步分析,提出如下建议:

各级政府要努力培养消费者的环保意识水平,建立资源节约和环境友好型社会。首先,要加强政府规制,普及环保法规,规范市场行为,加大奖惩力度等方式积极引导和鼓励广大消费者增强环保意识水平。其次,政府及相关部门应采取行动营造一种规范的宏观环境,努力达到利润和环保双赢的目标,并不断提高可持续供应链管理意识境界。最后,通过社会舆论与监督,使消费者认识到我国当代市场经济条件下可持续管理的重要性。

随着消费者环保意识的不断提高,企业应加大环保研发力度,与其他企业实行知识共享、信息共享和资源共享,提高可持续农产品的环境效益,扩大环保农产品的市场占有率,进一步提高可持续供应链竞争优势。

通过宣传教育,提高全民环保意识和可持续消费意识,让全民认识到环保经济的必要性和重要性。同时,政府应对可持续农产品制造商提供资金支持,或者提高消费者的消费水平意识,真正意义上实现可持续供应链的协调发展。

需要说明的是,本供求模型假定在完全信息的条件下,不完全信息的情形将是以后模型改进与研究的方向。另外,消费者的偏好程度假设服从均匀分布,而实际上可能是正态分布或者其他分布类型。这些都是未来可能研究的方向。

参考文献(References):

- [1] ZAILANI S, JEYAMAN K, VENGAD S G, et al. Sustainable supply chain management(SSCM) in Malaysia: a survey[J]. International Journal of Production Economics, 2012,140(1): 330—340.
- [2] SEURING S, MULLER M. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management[J]. Journal of Cleaner Production, 2008, 16(15): 1699—1710.
- [3] CARTER C R, ROGERS D S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory[J]. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2008,38(5): 360—387.
- [4] 张国兴,张绪涛,汪应洛,等. 节能减排政府补贴的最优边界问题研究[J]. 管理科学学报,2014, 17(11): 129—138.
ZHANG Guo-xing, ZHANG Xu-tao, WANG Ying-luo, et al. Analysis of optimal boundary of government subsidies for energy conservation and emission reduction [J]. Journal of Management Sciences in China, 2014, 17(11): 129—138.
- [5] 黄建辉,林强. 保证保险和产出不确定下订单农业供应链融资中的政府补贴机制[J]. 中国管理科学, 2019,27(3):53—65.
HUANG Jian-hui, LIN Qiang. Government subsidy mechanism in contract-farming supply chain financing under loan guarantee insurance and yield uncertainty[J]. Chinese Journal of Management Science, 2014, 17(11): 129—138.
- [6] 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—316.
CAO Yu, LI Qing-song, HU Han-li. 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—316.
- [7] 王哲,李帮义,刘志,等. 政府规制对双责任双渠道闭环供应链的影响[J]. 计算机集成制造系统,2017, 23(10): 2260—2268.
WANG Zhe, LI Bang-yi, LIU Zhi, et al. Impact of government regulation on closed-loop supply chain with

- dual responsibilities and dual channels [J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2017, 23 (10): 2260—2268.
- [8] LI Y N, TONG Y, Ye F, et al. The choice of the government green subsidy scheme: innovation subsidy vs. product subsidy [J]. *International Journal of Production Research*, 2020, 58(16): 1—15.
- [9] HE P, HE Y, Xu H. Channel structure and pricing in a dual-channel closed-loop supply chain with government subsidy [J]. *International Journal of Production Economics*, 2019, 213: 108—123.
- [10] RASHID M, PANDIT D. Determination of appropriate service delivery level for quantitative attributes of household toilets in rural settlements of India from users' perspective [J]. *Environmental management*, 2018, 61(4): 637—649.
- [11] XU J, CHEN Y, BAI Q. A two-echelon sustainable supply chain coordination under cap-and-trade regulation [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135(11): 42—56.
- [12] KUO T C, LIN S H, TSENG M L, et al. Biofuels for vehicles in Taiwan: using system dynamics modeling to evaluate government subsidy policies [J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 145: 31—39.
- [13] 伍健, 田志龙, 龙晓枫, 等. 战略性新兴产业中政府补贴对企业创新的影响 [J]. *科学学研究*, 2018, 36(1): 158—166.
- WU Jian, TIAN Zhi-long, LONG Xiao-feng, et al. The impact of government subsidies on corporate innovation in strategic emerging industries [J]. *Studies in Science of Science*, 2018, 36(1): 158—166.
- [14] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型 [J]. *管理科学学报*, 2011, 14(6): 86—95.
- ZHU Qing-hua, DOU Yi-jie. A game model for green supply chain management based on government subsidies [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2011, 14(6): 86—95.
- [15] YE T, WANG M, HU W Y, et al. High liabilities or heavy subsidies [J]. *China Agricultural Economic Review*, 2017, 9(4): 588—606.
- [16] 熊中楷, 张盼, 郭年. 供应链中碳税和消费者环保意识对碳排放影响 [J]. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(9): 2245—2252.
- XIONG Zhong-kai, ZHANG Pan, GUO Nian. Impact of carbon tax and consumers' environmental awareness on carbon emissions in supply chains [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2014, 34(9): 2245—2252.
- [17] 金基瑶, 杜建国, 金帅, 等. 消费者环境创新偏好下政府环境补贴对供应链绩效的影响—基于本土和 FDI 生产型企业竞争的视角 [J]. *系统管理学报*, 2020, 29(4): 657—667.
- JIN Ji-yao, DU Jian-guo, JIN Shuai, et al. Effects of government environmental subsidy on supply chain performance considering consumer environmental innovational preferences based on the perspective of competition between local manufacturer and FDI manufacturer [J]. *Journal of Systems & Management*, 2020, 29(4): 657—667.
- [18] 王永龙, 蔡继荣. 考虑供应商不同行为偏好的供应链决策研究 [J]. *重庆工商大学学报(自然科学版)*, 2021, 38(2): 116—121.
- WANG Yong-long, CAI Ji-rong. Study on supply chain decision-making considering different behavioral preferences of suppliers [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition)*, 2021, 38(2): 116—121.
- [19] 许建, 肖亮文, 田宇. 基于政府补贴的绿色供应链供求模型研究 [J]. *资源开发与市场*, 2018, 34(4): 451—462.
- XU Jian, XIAO Liang-wen, TIAN Yu. Study on supply and demand model for green supply chain based on government subsidies [J]. *Resource Development & Market*, 2018, 34(4): 451—462.
- [20] 樊世清, 汪晴, 陈莉. 政府补贴下的三级低碳供应链减排博弈研究 [J]. *工业技术经济*, 2017, (11): 12—20.
- FAN Shi-qing, WANG Qing, CHEN Li. A study on emission reduction game of three level low carbon supply chain under government subsidies [J]. *Journal of Industrial Technological Economics*, 2017, (11): 12—20.
- [21] WANG C X, WANG W, HUANG R B. Supply chain enterprise operation and government carbon tax decisions considering carbon emission [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 152(5): 271—280.
- [22] 金常飞. 基于博弈视角的绿色供应链政府补贴政策研

究[D].长沙:湖南大学,2012.

JIN Chang-fei. Research on the government's subsidy policy in the green supply chain based on game theory [D]. Changsha:Hunan University, 2012.

[23] 李新然,王奇琦. 政府补贴下考虑销售努力的闭环供

应链研究[J]. 科研管理,2017,38(8):51—63.

LI Xin-ran, WANG Qi-qi. A research on the closed-loop supply chain with sales effort under the government subsidy[J]. Science Research Management, 2017, 38 (8): 51—63.

Study on the Government's Differentiated Subsidies and the Supply and Demand Model under the Sustainable Supply Chain

WANG Zheng, ZHANG Cheng-tang

(School of Science, Anhui Agricultural University, Anhui Hefei 230036, China)

Abstract: In view of the phenomenon of different market segments and different levels of government subsidies for agricultural products, optimization suggestions and government subsidy strategies for the improvement of the supply and demand of sustainable agricultural products and environmentally friendly agricultural products are proposed. Based on the assumption that the government adopts differentiated subsidies for three heterogeneous manufacturers and the comprehensive consideration of the properties of agricultural products and the different preferences of consumers, Stackelberg game theory is used to establish a supply and demand model under the sustainable supply chain of agricultural products and the government formulates the optimal subsidy policy according to the goal of maximizing social welfare to further promote the equilibrium of supply and demand in the market segments of the sustainable supply chain. Finally, the influence of various parameter perturbations on the correlative optimal decision results is analyzed by numerical simulation. The results show that the government's subsidy policy can effectively reduce the price of agricultural products, increase market demand for environmentally friendly agricultural products and sustainable agricultural products, and improve consumers' sustainable consumption levels, which is conducive to achieving a win-win situation for economic and environmental benefits. It has certain guiding significance and reference value for the sustainable and coordinated development of the supply chain.

Key words: sustainable supply chain; differentiated subsidies; supply and demand model; consumers' preference

责任编辑:罗珊珊

引用本文/Cite this paper:

王郑,张成堂. 可持续供应链下的政府差异化补贴与供求模型研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2022,39(3): 89—99.

WANG Zheng,ZHANG Cheng-tang. Study on the government's differentiated subsidies and the supply and demand model under the sustainable supply chain[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2022, 39 (3):89—99.