

# 壳蛋产品供应链的联盟博弈与协调研究

付 晶<sup>1,2</sup>,王贵春<sup>2</sup>

(1.华中科技大学 管理学院,湖北 武汉 430074;

2.湖北省农业科学院 农业经济技术研究所,湖北 武汉 430064)



**摘 要** 中国是壳蛋生产和消费大国,壳蛋产品是居民膳食中重要的食物品种,研究壳蛋产品供应链对加强食品安全、改善壳蛋产品供应链具有重要意义。通过剖析国内壳蛋产品标准不统一、价格波动区间较大的特点以及壳蛋产品供应链收益配置不尽合理的现实,构建壳蛋产品供应链多方模糊合作博弈模型,设计了一种改进的模糊 Shapley 值法对该模型进行求解,并根据实际调研和农业农村部发布的价格指数等数据进行了数值演算。最后,根据模型和计算实例,从促进壳蛋产业发展的角度,建议政府管理部门建立健全壳蛋产品供应链质量和价格监控体系、壳蛋行业组织要鼓励和扶持养殖户发展等一系列政策建议。

**关键词** 农产品;壳蛋;供应链;合作博弈;模糊 Shapley 值

**中图分类号:**F 324.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2020)03-0110-09

**DOI 编码:**10.13300/j.cnki.hnwkxb.2020.03.013

近年来,无论是在发达国家还是发展中国家,农产品供应过程频频报出诸多问题。例如,2013 年欧洲爆出马肉冒充牛肉事件的食物丑闻<sup>[1-2]</sup>;中国近年来先后出现过“苏丹红”“瘦肉精”“三鹿毒奶粉”和“地沟油”等系列事件。农产品供应链关系着人类重要食物来源的安全,且有可能影响社会的安定和团结。壳蛋产品由于富含蛋白质等多种营养,因此成为居民膳食中重要的食物品种,也是人体获取蛋白质的主要来源之一。中国是壳蛋生产和消费大国,根据联合国粮食及农业组织的统计资料,中国壳蛋产品产量自 1985 年首次超越美国以来,一直保持世界领先地位。欧美发达国家和地区的法律中禁止散装壳蛋出售,壳蛋产品必须经过符合卫生标准并分级包装后才能进入市场。但在国内,由于壳蛋供应链收益配置不合理、法律标准尚未完善、信息共享与集成度不高、人文和消费习惯等因素的影响,国产壳蛋大多数都未经过任何加工处理就直接进入市场,导致中国壳蛋市场存在较大的安全隐患。为了满足市场对安全壳蛋日渐增长的需求,响应 2015 年中央“一号文件”提出的“增加农民收入,必须延长农业产业链”<sup>[3]</sup>的号召,壳蛋分级及其供应链升级是未来发展的必然趋势。

中国消费者对农产品品质要求的提升给国内刚刚起步的农产品供应链管理提出了严峻的挑战。供应链管理思想强调通过链上节点企业的通力合作共同把整条供应链的总收益做大,然后再采用“竞争”的方式对供应链总收益进行合理的分配<sup>[4]</sup>。根据这一理念,由壳蛋养殖户、壳蛋产品加工商和大中型超市等节点企业(个人)所构成的壳蛋产品供应链,可先通过信息共享与集成、业务流程重组与优化等方式和手段来建立战略合作伙伴关系乃至联盟组织,采取集中决策的方式来实现资源的集成和优化利用,提高农产品质量安全水平,节约生产和交易成本,从而产生超额收益;然后再通过有效的收益分配机制来分享合作成果。集中决策可使得供应链系统整体绩效得到提升<sup>[5]</sup>,但由于养殖户、加工商和大超市都是相互独立的利益主体,集中决策不可能自动达成,需要通过制定有效的收益分配

收稿日期:2019-07-04

基金项目:中国博士后科学基金面上项目“农业信息化跨企业集成中供应链动态博弈与协调研究”(2019M652611);2019 年度湖北省博士后创新实践岗位资助。

作者简介:付 晶(1987-),女,讲师,博士;研究方向:农业信息化。

通讯作者:王贵春(1968-),男,研究员,博士;研究方向:农业经济管理与科技信息传播。

机制来促使参与者达成合作,这一机制也是优化壳蛋产品供应链联盟形成的根本动因和关键问题,值得深入研究。

## 一、文献综述

近年来,国内学者对壳蛋行业的相关研究逐渐增多。李文康等通过分析美国、加拿大、欧盟、英国等发达国家和地区以及中国的壳蛋分级法规和标准体系,发现中国壳蛋分级管理及实践与发达国家存在较大差距,突出表现在:没有专门针对壳蛋分级法规、分级标准、检验技术和操作方法等<sup>[6]</sup>。覃苏迪等通过调研发现我国以壳蛋初级产品消费为主,加工所占比例不足5%,而美国加工蛋制品占比33%,欧洲约占20%~30%,日本占50%,并因此认为我国壳蛋深加工行业需拓展,也将迎来快速发展期<sup>[7]</sup>。杨东群等通过大量资料和实地调研发现,我国的“农户+批发市场”模式的市场覆盖率为50%~60%，“农户+公司”模式的覆盖率为30%~40%，“产销一体化”模式的产品覆盖率为5%左右<sup>[8]</sup>。白建等调研发现当前散养散放模式饲养下的蛋鸡在管理、疾病、安全等方面存在严重缺陷,并建议完善相关食品安全法律法规和大力发展规模化现代化养殖企业,才能满足消费者不断增长的需求<sup>[9]</sup>。刘涛等认为目前壳蛋行业发展概括起来可以称为“四低五高”:品种国产率低、生产数据掌握度低、规模化养殖比例低、产业上下游结合率低、规模养殖环境控制要求高、生态负债高、生产投入成本趋高、产品质量要求高、舆论关注度高<sup>[10]</sup>。上述研究主要从产业现状的宏观角度出发,均未涉及壳蛋产品供应链的微观运作问题。

国内外有关农产品供应链方面(Agri-food supply chain, AFSC)的研究取得了丰硕的成果,Cai等引入新鲜度因子,考虑农产品市场需求受新鲜度影响,研究了第三方物流服务商的参与对AFSC成员利润的影响<sup>[11]</sup>。Handayati等对有关农产品供应链协调的研究进行了综述,将协调机制分为四种不同的类型:信息共享机制、合同机制、权利机制、联合决策/集体学习机制,并认为应根据供应链成员的交互程度和产品质量要求选择合适的协调机制<sup>[12]</sup>。Wang等在报童模型框架下研究了由一个供应商和一个零售商构成的生鲜供应链系统,考虑了生鲜农产品在运输过程中的流通损失,给出了零售商的最优订货策略和供应商的最优定价策略<sup>[13]</sup>。同时,Wang等研究了实体数量损耗下的二级AFSC协调问题,提出一种可协调供应链的组合投资合同<sup>[14]</sup>。Pham等的研究发现农户愿意参与到供应链中的可能性主要有两个:一个是供应链模型是基于合作的;二是投资者对供应链的促进作用<sup>[15]</sup>。在合作博弈方面,研究人员主要采用Shapley值法来求解AFSC的合作博弈模型。彭小兵等根据Shapley值分配原则提高了农户、信贷机构与保险公司各自的收益<sup>[16]</sup>。杨森利用Shapley值分析了合作解的性质,讨论了带有可置信威胁情景下买家结成大联盟时如何分配利益的问题<sup>[17]</sup>。李治等提出了基于Shapley值法的奶牛产业链利润分配机制<sup>[18]</sup>。黄勇提出了基于Shapley值法的猪肉供应链利益分配机制<sup>[19]</sup>。蔡存凯结合江西省蛋鸡产业的具体情况,提出了江西省蛋鸡产业供应链联盟的构想,并给出了蛋鸡产业供应链联盟的利益分配模型<sup>[20]</sup>。

综上,有关AFSC以及壳蛋产业方面的研究,学界已有了不少研究成果,但鲜有从壳蛋产品供应链博弈与协调方面的研究。本文从壳蛋产品供应链运作模式出发,考虑到国内壳蛋产品标准难以统一,价格波动区间较大的特点,构建了壳蛋产品供应链多方模糊合作博弈模型,设计了一种改进的模糊Shapley值法对该问题进行整体求解,以期对我国壳蛋产业健康快速发展提供借鉴。

## 二、模糊合作博弈模型及其求解算法

### 1. 问题描述

以一个壳蛋养殖户(I)、一个壳蛋产品加工企业(M)和一个大中型超市(S)构成的两级壳蛋产品供应链为研究对象。在市场竞争的压力下和产业升级的过程中,原本相互独立经营的养殖户I、加工商M和超市S寻求开展合作,目标是实现整条供应链的优化整合,使得整体经济利益最大化。由于

I、M 和 S 均为自负盈亏的经营主体,他们之间的合作不会自动形成,需要制定合理有效的收益分配机制来促进合作达成,这一过程构成了典型的多人合作博弈。由于博弈参与者之间是支付可转移的,博弈为联盟型博弈。因此,问题就归结为壳蛋产品供应链联盟博弈中的收益分配。

## 2. 建模的基本假设

本文后续的分析基于如下假设:(1) 该联盟内任意子集可能形成合作;(2) 博弈过程中因为互动而产生的联盟获得最大收益,合作收益大于或等于不合作时收益;(3) 任何子联盟之间不相互派间谍,联盟具有合作性而非对抗性;(4) 养殖户的决策行为有三种:独立经营(I),与加工商合作(IM)或与大超市合作(IS);加工商的决策行为有三种:独立经营(M),与养殖户合作(MI)或与大超市合作(MS);大超市的决策行为有三种:独立经营(S),与养殖户合作(SI)或与加工商合作(SM);(5)  $P_{ij} < P_{ii}$ ,即合作后能大大降低收购价格和成本;(6) 加工商的实际占优决策行为有两种:加工商与养殖户合作(MI)或加工商与大超市合作(MS),其中 MI 中,加工商的收购价格以养殖户占优势的  $P_{12}$  为主导(这里考虑的主要是养殖大户);MS 中,大超市的采购价格以大超市占优势的  $P_{32}$  为主导。

## 3. 符号说明

$n$ : 博弈参与者的个数; $N$ : 博弈参与者的集合  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ ;

$P(N)$ :  $N$  的所有子集形成的集合;

$R$ : 论域  $U$  上的一个模糊集合,  $U \rightarrow \{0, 1\}$ ;

$\tilde{v}$ : 定义为在  $P(N)$  上,取值在模糊集合  $R$  上的模糊支付函数;

$(N, \tilde{v})$ : 博弈参与人集合  $N$  上的具有超可加性的合作对策;

$S$ :  $N$  的任意子集称之为联盟;

$S_i$ : 表示集合  $S$  中任意子集;

$s$ : 联盟  $S$  中的参与者人数;

$G_{OF}(N)$ : 具有模糊集合运算性质的全体对策;

$x_i$ : 表示在联盟  $S$  中第  $i$  名成员获得的利润分配大小;

$x_i^+(\tilde{v})$ : 表示在联盟  $S$  中第  $i$  名成员获得的利润分配的最大值;

$x_i^-(\tilde{v})$ : 表示在联盟  $S$  中第  $i$  名成员获得的利润分配的最小值;

$\tilde{v}(S)$ : 子集  $S$  收益的模糊支付函数;

$\tilde{v}(S|i)$ : 子集  $S$  中除去合作伙伴  $i$  后可取得收益的模糊支付函数;

$\tilde{v}^+(S)$ : 子集  $S$  收益的模糊支付函数的最大值;

$\tilde{v}^-(S)$ : 子集  $S$  收益的模糊支付函数的最小值;

$\tilde{v}^+(S|i)$ : 子集  $S$  中除去合作伙伴  $i$  后可取得收益的模糊支付函数的最大值;

$\tilde{v}^-(S|i)$ : 子集  $S$  中除去合作伙伴  $i$  后可取得收益的模糊支付函数的最小值;

$|S|$ : 集合  $S$  中元素的个数;

$\omega(|S|)$ : 表示集合  $S$  中的不同联盟下的可能性,且  $\omega(|S|) = (n - |S|)! (|S| - 1)! / n!$ ;

$\eta_i(v)$ : 联盟中第  $i$  名博弈的参与人的收益,  $i = 1, 2, 3, 4, 5$ ;

$\tilde{C}_i$ : 用模糊数表示养殖环节的成本,  $\tilde{C}_1$  代表固定成本,  $\tilde{C}_2$  代表可变成本,  $i = 1, 2$ ;

$\tilde{P}_i$ : 用模糊数表示养殖户出售的壳蛋价格,单位为元/克,按照其重量划分为 4 个等级,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

$\tilde{P}_{ij}$ : 用模糊数表示合作伙伴  $i$  和  $j$  联盟之后的出售价格,且  $\tilde{P}_{ij} \neq \tilde{P}_{ji}$ ,  $\tilde{P}_{ij}$  表示联盟谈判中  $i$  占优势,  $\tilde{P}_{ji}$  表示联盟谈判中  $j$  占优势,  $i$  or  $j = 1, 2, 3$ ; 当  $i = j$  的时候,代表市场选择的平均出售价格;

$\tilde{V}_{ij}$ : 用模糊数表示合作伙伴  $i$  和  $j$  联盟之后的所获收益,且  $\tilde{V}_{ij} \neq \tilde{V}_{ji}$ ,  $\tilde{V}_{ij}$  表示联盟谈判中  $i$  占优

势,  $\tilde{V}_{ji}$  表示联盟谈判中  $j$  占优势,  $i$  or  $j = 1, 2, 3$ ;

$\tilde{P}_{i0}$ : 用模糊数表示分为两种情况,  $i = 1, 2$ ,  $\tilde{P}_{10}$ : 大超市线上销售壳蛋的价格, 单位为元/克;  $\tilde{P}_{20}$ : 大超市线下销售壳蛋的价格, 单位为元/克;

$\tilde{W}_i$ : 用模糊数表示养殖户出售的壳蛋重量, 单位为克, 按照其重量划分为 4 个等级,  $i = 1, 2, 3, 4$ ;

$\tilde{W}_0$ : 用模糊数表示养殖户养殖环节的损耗, 例如壳蛋的变形、破裂、血环、沾污等;

$\tilde{\lambda}$ : 用模糊数表示所需饲料和壳蛋重量的比例, 以下简称“料壳比”;

$\tilde{C}_s$ : 用模糊数表示养殖环节中所需的饲料成本;

$\tilde{P}_j$ : 用模糊数表示鸡舍每平方米的平均造价, 单位为元/平方米;

$\tilde{P}_{j0}$ : 用模糊数表示养殖环节中每克壳蛋的平均房屋造价和折旧成本, 单位为元/克;

$\tilde{C}_c$ : 用模糊数表示养殖环节中的固定成本;

$\tilde{C}_0$ : 用模糊数表示养殖环节中平均每克蛋所需人工、水电、防疫消毒和死亡损失费相加起来的固定成本;

$\tilde{C}_{m1}$ : 用模糊数表示加工环节中采购成本和人工水电成本;

$\tilde{C}_{m2}$ : 用模糊数表示加工环节中厂房地租成本和加工设备技术成本;

$\tilde{C}_{n1}$ : 用模糊数表示大超市销售环节中采购成本和人工水电成本;

$\tilde{C}_{n2}$ : 用模糊数表示大超市销售环节中的经营成本。

#### 4. 模糊合作博弈的收益模型

由于我国壳蛋产业标准十分欠缺, 壳蛋产品分级分类工作几未开展, 导致我国壳蛋产品价格波动区间较大, 产品价格具有较为明显的模糊性。相对于经典数学方法, 采用模糊数来描述壳蛋产品供应链中有关成本、价格、收益等变量则更为合适。因此, 以下用模糊数学的理论与方法来构建壳蛋产品供应链的多方联盟博弈模型。

如果局中人 I、M、S 都选择单干而不合作, 则 I 的获利为:

$$\tilde{v}_{11}(S) = \tilde{P}_{11} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (1)$$

M 的获利为:

$$\tilde{v}_{22}(S) = \tilde{P}_{22} - \tilde{C}_{m1} - \tilde{C}_{m2} - \tilde{P}_{12} \quad (2)$$

S 的获利为:

$$\tilde{v}_{33}(S) = \tilde{P}_{i0} - \tilde{C}_{n1} - \tilde{C}_{n2} - \tilde{P}_{32} \quad (3)$$

若局中人两两之间开展合作, I 和 M 联合则各自所得收益为:

$$\tilde{v}_{21}(S) = \tilde{P}_{22} - \tilde{C}_{m1} - \tilde{C}_{m2} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (4)$$

$$\tilde{v}_{12}(S) = \tilde{P}_{21} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (5)$$

若 I 和 S 联合则各自所得收益为:

$$\tilde{v}_{31}(S) = \tilde{P}_{i0} - \tilde{C}_{n1} - \tilde{C}_{n2} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (6)$$

$$\tilde{v}_{13}(S) = \tilde{P}_{31} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (7)$$

若 S 和 M 联合则各自所得收益为:

$$\tilde{v}_{32}(S) = \tilde{P}_{i0} - \tilde{C}_{n1} - \tilde{C}_{n2} - \tilde{C}_{m1} - \tilde{C}_{m2} - \tilde{P}_{12} \quad (8)$$

$$\tilde{v}_{23}(S) = \tilde{P}_{32} - \tilde{C}_{m1} - \tilde{C}_{m2} - \tilde{P}_{12} \quad (9)$$

当三者联盟形成的时候, 供应链的总收益为:

$$\max \tilde{v} = \tilde{P}_{i0} - [\tilde{P}_{j0} + \tilde{C}_c + \tilde{\lambda}\tilde{P}_i(\tilde{W}_i - \tilde{W}_0) + \tilde{C}_0] \quad (10)$$

上述支付函数均可用表 1 的形式表示。

表 1 联盟中单独经营与合作经营的

5.改进的模糊 Shapley 算法

联盟博弈的解有多种形式,其中 Shapley 值法从局中人的理性假定出发,根据联盟中各局中人给联盟带来的边际贡献进行合理分配,使整体理性和个体理性达到均衡。成员贡献越大,其分得的收益就越多,反之则越少。这种分配方式考虑了成员的贡献程度,具有一定的合理性,也因此成为最常用的联盟博弈解法。然而,本文上述模糊多方联盟博弈模型用传统的经典数学 Shapley 值法却难以求解,也即,没有具体准确的数值能够完全表达合作的对策。因此,本文在 Shapley 值法的基础上,设计了改进的模糊 Shapley 值法对模型进行求解。

		得益矩阵		元/克
		I	M	S
I	$I: \tilde{v}_{11}$	$IM: \tilde{v}_{12}$	$IS: \tilde{v}_{13}$	
M	$MI: \tilde{v}_{21}$	$M: \tilde{v}_{22}$	$MS: \tilde{v}_{23}$	
S	$SI: \tilde{v}_{31}$	$SM: \tilde{v}_{32}$	$S: \tilde{v}_{33}$	

定义 1 令  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  为局中人集合,  $\tilde{v}$  是定义在  $P(N)$  上取值在模糊集合  $R$  上的模糊支付函数,即  $\tilde{v}: P(N) \rightarrow R$ , 且  $\tilde{v}(S) = [\tilde{v}^-(S), \tilde{v}^+(S)]$ , 满足:

(1)  $\tilde{v}(\varphi) = 0$ ;

(2) 对于  $S, T \in P(N)$ , 且  $S \cap T = \varphi, \forall \alpha \in [0, 1], \exists \tilde{v}_\alpha^+(S \cup T) \geq \tilde{v}_\alpha^+(S) + \tilde{v}_\alpha^+(T), \tilde{v}_\alpha^-(S \cup T) \geq \tilde{v}_\alpha^-(S) + \tilde{v}_\alpha^-(T)$ 。称  $(N, \tilde{v})$  为  $N$  上具有模糊支付数的合作对策, 记作  $G_{0F}(N)$ 。

定义 2 对于具有区间上的超可加对策  $(N, \tilde{v})$ ,  $\exists$  唯一一个 Shapley 函数  $x_i(\tilde{v}): P(N) \rightarrow \tilde{R}$ , 可以表示为<sup>[21]</sup>:

$$x_i(\tilde{v}) = \sum_{i \in P(N) \in S} w(|S|) [\tilde{v}(S) - \tilde{v}(S|i)], i = 1, 2, \dots, n \tag{11}$$

其中  $w(S) = \frac{(n - |S|)! (|S| - 1)!}{n!}$ 。

函数  $x_i(\tilde{v})$  为模糊 Shapley 函数, 其存在上下界, 可表示为:

$$x_i(\tilde{v}) = [x_i^-(\tilde{v}), x_i^+(\tilde{v})] \tag{12}$$

其中:

$$x_i^+(\tilde{v}) = \sum_{i \in P(N) \in S} w(|S|) [\tilde{v}^+(S) - \tilde{v}^-(S|i)], \forall i \in N \tag{13}$$

$$x_i^-(\tilde{v}) = \sum_{i \in P(N) \in S} w(|S|) [\tilde{v}^-(S) - \tilde{v}^+(S|i)], \forall i \in N \tag{14}$$

性质 1 有效性公理: 若  $S$  是  $\tilde{v}$  的支柱, 则  $\tilde{v}(S) \subseteq \sum_{i \in S} \tilde{\varphi}_i(\tilde{v}) = \sum_{i \in N} \tilde{\varphi}_i(\tilde{v})$ 。

性质 2 替代性公理: 令  $m, n$  是对策博弈中两个不同的参与者,  $\forall S \subseteq P(N - \{m, n\}), \exists \tilde{v}(S \cup m) = \tilde{v}(S \cup n), \therefore \tilde{\varphi}_m(\tilde{v}) = \tilde{\varphi}_n(\tilde{v})$ 。

性质 3 线性公理: 对于任意的联盟  $(N_1, \tilde{v}_1)$  和  $(N_2, \tilde{v}_2), \forall \alpha, \beta \in R$ , 如果存在一个具有区间支付的合作对策  $(N, \tilde{v}_1 + \tilde{v}_2), \exists (\alpha \tilde{v}_1 + \beta \tilde{v}_2)(S) = \alpha \tilde{v}_1(S) + \beta \tilde{v}_2(S), \varphi_i(\alpha \tilde{v}_1 + \beta \tilde{v}_2) = \alpha \varphi_i(\tilde{v}_1) + \beta \varphi_i(\tilde{v}_2), \forall i \in N$ 。

定义 3 令  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  为局中人集合,  $\tilde{v}$  是定义在  $N$  的取值在模糊集合  $R$  上的模糊支付函数, 即  $\tilde{v}: P(N) \rightarrow R$ , 且  $\tilde{v}(S) = [\tilde{v}^-(S), \tilde{v}^+(S)]$ , 满足<sup>[22]</sup>:

(1)  $\tilde{v}(\varphi) = 0$ ;

(2)  $\tilde{v}$  是凸集, 对于任意的  $\lambda \in [0, 1], \tilde{v}_\lambda$  是凸集;

(3) 设  $\tilde{v} \in F(R)$ , 称  $\tilde{v}$  为模糊凸集的。

若模糊集的“重心”或“均值”用  $G(n_i)$  表示, 对于任何  $\sigma, \xi \in R$  有:

$$\tilde{v}(\sigma, \delta)(S) = \begin{cases} \tilde{v}[G(n_i) - \sigma(1 - \xi)] \\ \tilde{v}[G(n_i) + \sigma(1 - \xi)] \end{cases}, \xi \in [0, 1] \tag{15}$$

### 三、数值算例及分析

根据中国农业农村部 2018 年 11 月至 2019 年 5 月发布的“农产品批发价格 200 指数”,鸡蛋的批发价格波动为每千克 $[6, 9]$ ,假设 $\tilde{P}_{j_0}=[0.1, 1], \tilde{C}_c=[0.1, 67], \tilde{\lambda}=[1, 2], \tilde{P}_i=[6, 9], W_i=1$  千克。根据“一亩田”网站对在销鸡蛋按照每个 30~80g 来计算,得到 $\tilde{W}_0=[0.06, 0.16]$ ,随着互联网和移动支付普及鸡蛋销售和运营成本大大降低,所以假设 $\tilde{C}_0=[0, 1.5], \tilde{C}_{m_1}=[0.1, 0.25], \tilde{C}_{m_2}=[0.01, 0.15], \tilde{C}_{n_1}=[0.01, 0.5], \tilde{C}_{n_2}=[0, 1.5]$ 。对“一亩田”网店(多为个体农户网上销售,包装简单或者几乎没有品牌包装,可视为养殖户 I)、“微店”(很多代运营的中间商,有包装有品牌意识,可视为加工商 M)、京东超市(大超市 S)的鸡蛋销售的最低价格至最高价格数据调研,得到 $\tilde{p}_{11}=[0, 25], \tilde{p}_{12}=[10, 53], \tilde{p}_{22}=[20, 68], \tilde{p}_{32}=[15, 58]$ ,测算出每个博弈参与者单独经营时候的利润和各博弈参与者合作经营时候的利润区间。其中,计算合作利润时不计算中间发生的重复成本,仅将合作博弈中各个博弈参与者看成一个整体,用最大总收益减去最小总成本得到象限的右端,再用最小总收益减去最大总成本得到象限的左端。

#### 1. 不同合作状态下的成本收益

根据式(1)~(10)和表 1,不同合作状态下的成本收益可用下面的模糊数表示:

表 2 联盟中单独经营与合作经营的收益状况

元/克

	养殖户	加工商	大超市
养殖户	$[-86.42, 19.76]$	$[-66.82, 62.65]$	$[-78.42, 62.75]$
加工商	$[-66.82, 62.65]$	$[-33.4, 57.89]$	$[-45.4, 57.88]$
大超市	$[-78.42, 62.75]$	$[-45.4, 57.88]$	$[-50, 52.99]$

#### 2. 不同合作状态下博弈各方的收益值

根据式(11)~(15),可计算得到养殖户在不同合作形式下的收益区间。由于模糊数和区间数的对应关系,故用 $\xi$ 截集形式进行表达,如表 3。

表 3 养殖户在不同合作模式下的 $\xi$ 截集收益值

元/千克

S	$w( S )$	$\tilde{v}(S)$	$\tilde{v}(S i)$	$\tilde{v}(S)-\tilde{v}(S i)$
I	0.33	$[58.09\xi-91.42, 24.76-58.09\xi]$	$[0, 0]$	$[58.09\xi-91.42, 24.76-58.09\xi]$
I, M	0.17	$[74.74\xi-76.82, 72.65-74.74\xi]$	$[50.65\xi-38.4, 62.89-50.65\xi]$	$[125.39\xi-139.71, 111.05-125.39\xi]$
I, S	0.17	$[80.59\xi-88.42, 72.75-80.59\xi]$	$[56.5\xi-55, 57.99-56.5\xi]$	$[137.09\xi-146.41, 127.75-137.09\xi]$
I, M, S	0.33	$[90.59\xi-98.42, 82.75-90.59\xi]$	$[61.64\xi-55.4, 67.88-61.64\xi]$	$[152.23\xi-166.3, 138.15-152.23\xi]$

同样的,可计算得到加工商和超市在不同合作模式下的 $\xi$ 截集收益值,如表 4 和表 5。

表 4 加工商在不同合作模式下的 $\xi$ 截集收益值

元/千克

S	$w( S )$	$\tilde{v}(S)$	$\tilde{v}(S i)$	$\tilde{v}(S)-\tilde{v}(S i)$
M	0.33	$[50.65\xi-38.4, 62.89-50.65\xi]$	$[0, 0]$	$[50.65\xi-38.4, 62.89-50.65\xi]$
M, I	0.17	$[74.74\xi-76.82, 72.65-74.74\xi]$	$[58.09\xi-91.42, 24.76-58.09\xi]$	$[132.83\xi-101.58, 164.07-132.83\xi]$
M, S	0.17	$[61.64\xi-55.4, 67.88-61.64\xi]$	$[56.5\xi-55, 57.99-56.5\xi]$	$[118.14\xi-113.39, 122.88-118.14\xi]$
I, M, S	0.33	$[90.59\xi-98.42, 82.75-90.59\xi]$	$[80.59\xi-88.42, 72.75-80.59\xi]$	$[171.18\xi-171.17, 171.17-171.18\xi]$

表 5 大超市在不同合作模式下的 $\xi$ 截集收益值

元/千克

S	$w( S )$	$\tilde{v}(S)$	$\tilde{v}(S i)$	$\tilde{v}(S)-\tilde{v}(S i)$
S	0.33	$[56.5\xi-55, 57.99-56.5\xi]$	$[0, 0]$	$[56.5\xi-55, 57.99-56.5\xi]$
S, M	0.17	$[61.64\xi-55.4, 67.88-61.64\xi]$	$[50.65\xi-38.4, 62.89-50.65\xi]$	$[112.29\xi-118.29, 106.28-112.29\xi]$
S, I	0.17	$[80.59\xi-88.42, 72.75-80.59\xi]$	$[58.09\xi-91.42, 24.76-58.09\xi]$	$[138.68\xi-113.18, 164.17-138.68\xi]$
I, M, S	0.33	$[90.59\xi-98.42, 82.75-90.59\xi]$	$[74.74\xi-76.82, 72.65-74.74\xi]$	$[165.33\xi-171.07, 159.57-165.33\xi]$

根据式(12)~(14),对照表 3 至表 5 计算得到养殖户、加工商和超市的 Shapley 模糊支付截集的右端点和左端点分别为:

$$\tilde{\varphi}_I(\tilde{v})^+ = 94.36 - 114.03\xi, \tilde{\varphi}_I(\tilde{v})^- = 114.03\xi - 133.69, \tilde{\varphi}_M(\tilde{v})^+ = 126.02 - 115.87\xi, \tilde{\varphi}_M(\tilde{v})^- = 115.87\xi - 105.7, \tilde{\varphi}_S(\tilde{v})^+ = 117.77 - 115.87\xi, \tilde{\varphi}_S(\tilde{v})^- = 115.87\xi - 113.95。$$

由此,可计算得到 I、M、S 的模糊收益函数,用  $t(\alpha, \sigma)$  重心法表示为: $\tilde{\varphi}_I(\tilde{v}) = t(-19.67, 114.03)$ ,  $\tilde{\varphi}_M(\tilde{v}) = t(10.16, 115.87)$ ,  $\tilde{\varphi}_S(\tilde{v}) = t(1.92, 115.87)$ 。由此可以得到养殖户、加工商和超市单独经营时的收益分配情况,如图 1。

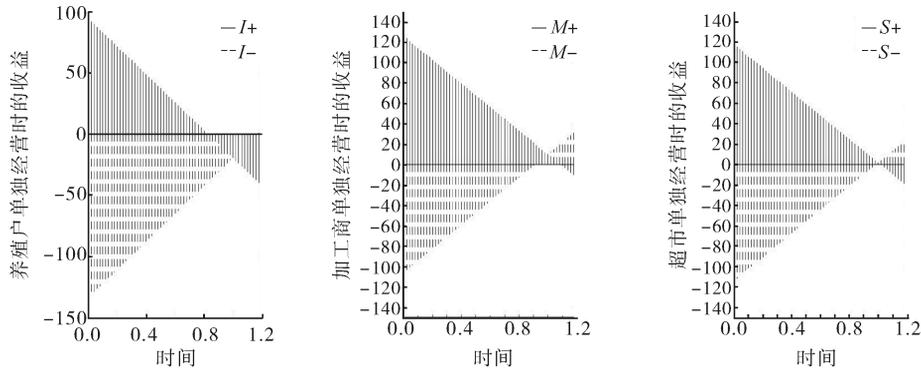


图 1 养殖户、加工商和超市单独经营的收益分配

根据模糊数排序的“重心”值法,计算得到每一局中博弈参与人的最优策略分别为  $-33.33, 12.24, 1.5$ ,即具体含义为:养殖户单独参与市场竞争时,1 千克鸡蛋可从中最少获得收益为  $-33.33$  元,最多获得收益为  $58.09$  元;加工商单独参与市场竞争时,1 千克鸡蛋可从中最少获得收益为  $12.24$  元,最多获得收益为  $50.65$  元;超市单独参与市场竞争时,1 千克鸡蛋可从中最少获得收益为  $1.5$  元,最多获得收益为  $56.5$  元。

上述计算结果表明,当养殖户、加工商和超市三者合作联盟的收益分配值均为模糊数时,其重心值分别为  $-19.67, 10.16$  和  $1.92$ ,偏差度分别为  $114.03, 115.87, 115.87$ ,意味着养殖户、加工商和超市对每千克鸡蛋的收益分配区间分别在  $[114.03\xi - 133.69, 94.36 - 114.03\xi]$ 、 $[115.87\xi - 105.7, 126.02 - 115.87\xi]$ 和  $[115.87\xi - 113.95, 117.77 - 115.87\xi]$ ,  $\forall \xi \in [0, 1]$ 。

### 3. 博弈各方的均衡对策

根据表 3~表 5,将支付函数用重心法形式表达,有: $\tilde{v}(\{I\})(x) = t(-33.33, 58.09)$ ,  $\tilde{v}(\{M\})(x) = t(12.24, 50.65)$ ,  $\tilde{v}(\{S\})(x) = t(1.5, 56.5)$ ,  $\tilde{v}(\{I, M\}) = t(-2.09, 74.74)$ ,  $\tilde{v}(\{I, S\}) = t(-7.83, 80.59)$ ,  $\tilde{v}(\{M, S\}) = t(6.24, 61.64)$ ,  $\tilde{v}(\{I, M, S\}) = t(-7.83, 90.59)$ 。结合表 1,整理出博弈各方在各种合作模式下的收益,如表 6:

表 6 具有模糊数支付合作对策的分配策略表

S	$\tilde{\varphi}_I(\tilde{v})$	$\tilde{\varphi}_M(\tilde{v})$	$\tilde{\varphi}_S(\tilde{v})$
I	$t(-33.33, 58.09)$	0	0
M	0	$t(12.24, 50.65)$	0
S	0	0	$t(1.5, 56.5)$
I、M	$t(-2.09, 74.74)$	$t(-2.09, 74.74)$	0
I、S	$t(-7.83, 80.59)$	0	$t(-7.83, 80.59)$
M、S	0	$t(6.24, 61.64)$	$t(6.24, 61.64)$
I、M、S	$t(-19.67, 114.03)$	$t(10.16, 115.87)$	$t(1.92, 115.87)$

表 6 中的模糊数表示养殖户、加工商和超市三位博弈参与者的收益分配区间。本例中,养殖户单独经营时收益分配区间为  $[-33.33, 58.09]$ ,加工商单独经营时收益分配区间为  $[12.24, 50.65]$ ,超市单独经营时收益分配区间为  $[1.5, 56.5]$ 。养殖户+加工商合作经营时收益分配区间为  $[-2.09, 74.74]$ ,养殖户+超市合作经营时收益分配区间为  $[-7.83, 80.59]$ ,加工商+超市合作经营时收益分配区间为  $[6.24, 61.64]$ 。养殖户+加工商+超市合作经营时收益分配区间为  $[-19.67, 115.87]$ 。若

以收益分配区间的上限作为决策标准,则最优策略是“养殖户+加工商+超市合作经营”,三者获得的总收益可能最大化,同时也面临收益波动最大。

#### 4. 结果分析

(1)从模糊 Shapley 值来看,养殖户的最小收益从合作前的一33.33元/千克上升至-19.67元/千克,提高了41%,养殖户的最大收益从合作前的58.09元/千克上升至114.03元/千克,提高了96%;加工商的最小收益从合作前的12.24元/千克下降至10.16元/千克,下降了17%,加工商的最大收益从合作前的50.65元/千克上升至115.87元/千克,提高了129%;大超市的最小收益从合作前的1.5元/千克上升至1.92元/千克,提高了28%,大超市的最大收益从合作前的56.5元/千克上升至115.87元/千克,提高了105%。这表明该模式中,养殖户和大超市的最小收益和最大收益从合作中获得的提升率较高,并且养殖户选择合作模式后能尽量减少亏损的风险。目前壳蛋产品供应链收益配置极其不均的现象普遍存在,主要原因是加工商和大型超市在产业链中占据优势地位,掌控着定价权和销售渠道,而养殖户往往处于弱势,容易承担较大风险和成本,而获得的收益配比较低。长远来看,若当前这种壳蛋产品供应链收益配置状况不改变,将不利于整个壳蛋行业的发展。

(2)养殖户假设养殖的1千克鸡蛋按照每个30~80克来计算的个数是13~33个,若意味着政府需要100%保障养殖户保本,则在政府帮助养殖户参与农业供应链合作联盟的同时,每个鸡蛋还需要补贴0.6~1.5元。一般而言,普通养殖户既没有销售渠道和平台,又没有深加工技术与设备,因此很难从壳蛋产业供应链中获得较为公平的收益分配。若未来普通养殖户仍然缺少政府补贴,仅依赖家庭农场形式的传统生产模式,普通养殖户在整个壳蛋产品供应链中承担亏损的风险较大,且获得收益的比例较少。这样的情况将极易导致壳蛋市场逐渐驱逐普通养殖户,市场结构将发生较大的变化。

## 四、结论与启示

本文研究了一个养殖户、一个加工商和一个超市组成的壳蛋产品供应链,依据供应链利益分配的基本原则,并结合壳蛋Pg-b供应链的特点,设计了针对壳蛋产品供应链创新升级的联盟协调机制。研究结论如下:

(1)养殖户在现有供应链中获得的收益较少,面临的风险较大,采取合作的方式与加工商和超市共建联盟,可有效改善其收益并降低风险。

(2)加工商和超市在现有供应链中获得的收益较多,面临的风险较小,在与养殖户共同构建的合作联盟后,可实现供应链总体收益最大化。

(3)Shapley 值法根据参与主体的贡献程度来进行收益分配,具有一定的合理性。针对价格区间波动较大的壳蛋产品供应链合作联盟,模糊 Shapley 值法能够较好地求解相应的模糊合作博弈问题。表明模糊合作博弈及模糊 Shapley 值法对于此类难以或不使用经典数学描述与求解的问题具有较好的适用性。

根据上述研究结果,政府相关管理部门和行业组织可制定相关政策或采取一些措施,以促进壳蛋产业健康有序的发展:

(1)政府相关管理部门有必要建立健全壳蛋产品供应链质量和价格监控体系,深入分析影响壳蛋产品供应链联盟收益配置的因素,例如:联盟中参与人个数、国家补贴、收益、固定成本、可变成本、壳蛋重量、损耗、雏鸡、公鸡、饲料等。进一步的,可依据供应链利益分配的基本原则,并结合壳蛋产品供应链的特点,设计针对壳蛋产品供应链创新升级的联盟协调机制。同时,应制定完善的壳蛋产品等级标准并动态监测壳蛋产品的质量,从法律法规或行业标准等基础工作做起,解决当前壳蛋产品供应链存在的交易风险、质量风险和收益不公等问题,实现现代化壳蛋行业全供应链的成本、风险、利益共担当。

(2)壳蛋行业组织要鼓励和扶持养殖户的发展,组建养殖户与加工商的合作,提倡养殖户的规模化和深加工,从而提高养殖户的议价能力,改善养殖户在壳蛋产品供应链中的收益占比。同时,也要鼓励和扶持加工商的发展,国内加工商现在面临成本高、收益过低的困境,地方政府对加工厂的房租、

水电、人工、机械和技术等生产要素尚缺乏必要的支持,未来可通过签订租赁合约或购买合同,引进国外大型智能化壳蛋深加工机械,享受优惠的租赁和税收政策红利,确保加工商的收益。国家和行业管理机构应采取有效措施,降低壳蛋进入大超市的门槛,进一步规范大超市的议价权和定价权,规范超市收取的壳蛋产品上架费,确保消费者的基本权利。

本文的研究也还存在一定的局限性,仅考虑了一个养殖户、一个加工商和一个超市构成的壳蛋产品供应链,未来可以研究多个养殖户、多个加工商和多个超市竞争产生“搭便车”行为的情况<sup>[23]</sup>;进一步的,还可以研究需求、成本以及广告投入等多种信息不对称下生鲜农产品供应链的协调问题。

## 参 考 文 献

- [1] BOYACIA I H, TEMIZ H T, UYSAL R S, et al. A novel method for discrimination of beef and horsemeat using Raman spectroscopy [J]. *Food chemistry*, 2014, 148: 37-41.
- [2] ALLEN G E. Origins of the classical gene concept, 1900-1950: Genetics, mechanistic, philosophy, and the capitalization of agriculture [J]. *Perspectives in biology & medicine*, 2014, 57(1): 8-39.
- [3] 新华网. 中共中央国务院关于加大改革创新力度加快农业现代化建设的若干意见(全文) [EB/OL]. [2019-06-01]. [http://www.mao.gov.cn/ztlz/yhwj2015/zywj/201502/t20150202\\_4378754.htm](http://www.mao.gov.cn/ztlz/yhwj2015/zywj/201502/t20150202_4378754.htm).
- [4] 李金华. 企业社会责任差异化对供应链竞争影响的博弈分析[J]. *系统科学学报*, 2017(2): 64-68.
- [5] HEESE H S. Inventory record inaccuracy, double marginalization, and RFID adoption [J]. *Production and Operations Management*, 2007, 16(5): 542-553.
- [6] 李文康, 刘雪, 杜娟, 等. 壳蛋品质质量分级技术的研究进展和发展趋势[J]. *食品工业科技*, 2018(7): 340-347.
- [7] 覃苏迪, 刘禹辰, 马莹, 等. 我国蛋种鸡养殖状况调研与分析[J]. *中国家禽*, 2017(24): 69-71.
- [8] 杨东群, 钟钰, 刘合光, 等. 世界蛋鸡主产国鸡蛋生产、贸易现状及发展趋势[J]. *中国家禽*, 2013, 35(18): 57-60.
- [9] 白建, 曹靖, 米海兵, 等. 不同饲养方式对蛋鸡生产性能的影响[J]. *中国饲料*, 2018(7): 24-27.
- [10] 刘涛, 王涌鑫, 周凌云, 等. “十三五”畜牧业科技研发重点研究——以中国农业科学院北京畜牧兽医研究所为例[J]. *科技促进发展*, 2016, 12(5): 660-665.
- [11] CAI X, CHEN J, Xiao Y, et al. Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing[J]. *Omega-International journal of management science*, 2013, 41(4): 752-765.
- [12] HANDAYATI Y, SIMATUPANG T M, PERDANA T. Agri-food supply chain coordination: the state-of-the-art and recent developments [J]. *Logistics Research*, 2015, 8(1): 5.
- [13] WANG C, CHEN X. Option pricing and coordination in the fresh produce supply chain with portfolio contracts [J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 248(1-2): 471-491.
- [14] WANG X, CHEN J. Food oral processing: recent developments and challenges [J]. *Current opinion in colloid & interface science*, 2017, 28(1): 22-30.
- [15] PHAM D M, MISHRA D, CHEONG K C, et al. Trade facilitation, value creation, and competitiveness: policy implications for Vietnam's economic growth (English) [R]. Washington DC: World Bank, 2013.
- [16] 彭小兵, 朱江. 农村信贷与农业保险互动的收益分配机制——基于合作博弈 Shapley 值的分析[J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2019, 25(2): 6-18.
- [17] 杨森. 组合拍卖机制设计及拍卖合作问题研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013.
- [18] 李治, 胡志全. 基于 Shapley 值法的奶牛产业链利润分配机制研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2019, 33(1): 77-83.
- [19] 黄勇. 基于 Shapley 值法的猪肉供应链利益分配机制研究[J]. *农业技术经济*, 2017(2): 122-128.
- [20] 蔡存凯. 基于供应链联盟的蛋鸡产业供应链节点间利益分配机制研究——以江西省为例[D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- [21] 于晓辉, 周鸿, 邹正兴, 等. 基于区间与模糊 Shapley 值的合作收益分配策略[J]. *运筹与管理*, 2018(8): 149-154.
- [22] 高洁, 周衍平. Shapley 值在植物品种权价值链利益分配中的应用[J]. *运筹与管理*, 2012, 21(2): 168-172.
- [23] 张笑寒, 汤晓倩. 农民专业合作社联合社成员“搭便车”行为研究——基于演化博弈视角[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2019(4): 45-53.

(责任编辑:陈万红)