海洋水产品安全追溯系统实施的决策行为分析

——基于食品供需网(FSDN)理念

何静,周培璐

(上海海洋大学经济管理学院 上海 201306)

摘要:近年来,我国海洋产业快速发展,海洋水产品产量逐年增加,质量安全问题也层出不穷。海洋水产品实施安全追溯系统对促进海洋产业可持续发展具有重要意义。文章从多功能开放型食品供需网(FSDN)的角度出发,以 FSDN 系统内的海洋水产品企业为研究对象,建立了 FSDN 平台上通过水产废料供需流联系在一起的两节点企业完全合作和完全非合作实施海洋水产品可追溯系统的决策模型,得出结论:在独立决策情形下,FSDN 内不同的海洋水产品市场所代表的两节点独立实施可追溯系统即不分担实施可追溯系统的成本,而是将提高保证海洋水产品安全的生产努力程度作为最优策略;共同决策情形下,FSDN 节点企业选择合作实施海洋水产品可追溯系统使 FSDN 整体收益达到最优,并且此时 FSDN 系统的整体收益大于独立实施可追溯系统时的整体收益。

关键词:食品供需网;海洋水产品;安全追溯系统;合作决策

中图分类号:F307.4;P7 **文献标志码**:A **文章编号**:1005-9857(2017)07-0040-08

Analysis on Decision-making Behavior of Implementing Marine Aquatic Products Traceability System: Based on the Conception of FSDN

HE Jing, ZHOU Peilu

(School of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In recent years, marine industry in China has been developing rapidly, the output of marine aquatic products continually increased, the quality and safety problems also emerged consequently. The implementation of safety traceability system for marine aquatic products has important significance to promote the sustainable development of marine industry. In the term of the concept of Food Supply and Demand Network (FSDN) with multi-function and opening characteristics, with marine aquatic products within FSDN system as the object of the research, a decision model of implementing marine aquatic products traceability system by two node enterprises fully cooperative and completely non cooperative was established on the FSDN platform through

收稿日期:2017-01-16;**修订日期**:2017-06-02

基金项目:教育部人文社会科学规划项目 (13YJA630028);上海市教育委员会科研创新重点项目(13ZS099).

作者简介:何静,副教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为供应链、食品供需网、食品可追溯系统

the supply and demand flow of aquatic waste linked together. It was concluded that under the independent decision situation, two nodes within FSDN represented by different marine aquatic product market independently implementing the traceability system, namely don't share the cost of implementing traceability system, but will increase production efforts to assure the safety of marine aquatic products as the optimal strategy. Under the common decision-making situation, FSDN node enterprises prefer to be cooperated in marine aquatic products traceability system for FSDN achieving optimal overall revenue, and at this time the overall revenue of the FSDN system is greater than the overall return on the implementation of traceability system.

Key words: FSDN, Marine Aquatic Products, Safety Traceability System, Cooperation Decision

1　引言

绿色、有机、健康成为新时代人们追求的一种生活品质，消费人群也更注重追本溯源健康消费。海洋水产品作为餐桌上常见的生鲜食品深受消费者的喜爱，其原因是海洋水产品具有丰富的营养价值、味道鲜美、含有高蛋白和微量矿物质、低脂肪且有一定的保健功能。我国是世界第一水产养殖大国，据农业部统计，2016 年 1－10 月我国水产品出口额占农产品出口总额的 28.46%，成为我国出口创汇最高的农产品。海洋水产品作为海洋渔业资源的一部分，其获得途径主要是通过海水养殖和海水捕捞，我国的海水养殖和捕捞产业虽然起步较晚，但随着技术与模式的创新，海洋水产品产量也在逐年递增，2015 年我国海水产品产量达到 3 409.61万 t，同比增长 3.44%，海水养殖面积达到 231.78 万 hm^2。海水养殖与捕捞过程中存在一些水产品质量安全隐患，例如水域污染影响海洋水产品捕捞质量；生态环境恶化、水产良种覆盖率低、水生动物疫病影响洋海水产品养殖质量。另外，农药残留、违规添加物、假劣问题也是导致我国海洋水产品质量安全事件发生的危害因子。可追溯系统在海洋水产品追踪与溯源的过程中扮演着信息传递工具的角色，能够消除海洋水产品流通过程中的信息不对称现象，保障食品安全。建立和实施海洋水产品追溯系统能够将水产品生产加工信息、质量信息以及价值信息有效记录保存，方便消费者及质监部门查询、企业召回问题产品，以降低海洋水产品质量安全问题事件带给消费者和企业的健康危害和经济损失。海洋水产品企业作为实施可追溯系统的主体，同时也是市场竞争的主体，总是以盈利为目标，并希望实施可追溯系统带来的需求增加收益持平甚至超过供给投入成本，因此企业必须在保证水产品安全和实现企业利益之间作出理性决策。出于海洋渔业资源和海洋生态环境可持续发展考虑，以及我国海洋捕捞技术不成熟，本研究将以海洋水产品养殖、加工、销售企业和企业联盟为主体，分析其实施可追溯系统的必要性，探索参与方的博弈规律和最优方案，对促进海洋水产品企业建立全面、完善的安全追溯体系有重要的意义。

2　海洋水产品安全现状

随着人类社会经济的进步和需求的增加，渔业的概念也随着扩大。除了原始的捕捞业、养殖业外，水产品加工业也被纳入渔业的概念当中。海洋渔业即海洋水产业，包含海洋捕捞业、海水养殖业和海洋水产品加工业[1]。个人和企业是海水养殖业和海洋水产品加工业的操作主体和利益主体，有时受到利益的驱使，养殖和加工企业选择过度使用对人体有害的抗生素、激素来降低成本。这些都是导致海洋水产品安全问题发生的原因[2－4]。

国内外学者对海洋水产品安全问题进行了多方面研究：任信林、李香等[5－6]认为我国水产品安全追溯制度存在技术和管理方面的问题，主要表现在可追溯系统的软硬件产品技术研究能力薄弱，水产品追溯信息采集记录不规范，我国水产品可追溯体系缺乏法律保障和统一标准。牛林伟等[7]通过对水产品养殖企业的调研，得出水产品供应链各环节存在的安全隐患有：劣质育苗、化学物质残留、水质污染等，从“预防控制”“安全认证”“监督监测”“惩罚

机制”4 个角度建议构建水产品供应链质量安全追溯体系。

发达国家的水产品可追溯体系作为解决水产品质量安全问题的有效手段已经进入了实用化阶段。2002 年,欧盟颁布了关于水产品生产流通链的标准细则,制定了构建海捕鱼产品和养殖鱼产品可追溯信息建立、记录和传递的标准。2005 年,美国正式生效鱼贝类产品的原产国标签暂行法规,更加规范了鱼贝类产品的产地信息和生产信息标签[8-10]。

3 FSDN 海洋水产品养殖企业可追溯系统结构

传统供应链上的海水产品养殖企业大多选择在企业内部纵向实施可追溯系统,或是在供应链的部分环节实现海水产品可追溯,很少进行横向协作,主要原因体现在海水产品养殖企业缺乏实施意愿、缺乏合作、海水产品追溯系统实施成本高难度大、信息不完整以及可追溯标准不统一。以食品供需网为平台实施海洋水产品可追溯系统不同于传统供应链上企业的行为。

首先,食品供需网(Food Supply and Demand Network,FSDN)中的供需流不仅包含供应链中的物流、信息流和资金流,更有丰富的技术流、管理流、人才流和知识流等一切企业间可共享的资源。实施可追溯系统所需要的海洋水产品进货信息、加工信息和可追溯技术作为供需流,会在 FSDN 系统内每一个节点间交互流动,节点的需求继而得到相应的满足,从而获得动力创造出更有价值更安全的海洋水产品。

其次,从企业目标的区别来看,在 FSDN 可追溯系统的实施过程中,节点企业的决策不是简单地以各自的利润最大化为目标进行博弈,而是在使各个参与企业获得收益的基础上实现 FSDN 系统整体经济效益、社会效益乃至资源环境效益最大化。

最后,基于实施可追溯系统的决策主体是 FSDN 系统中的网络节点企业,与传统供应链上的节点企业相比,FSDN 系统中的网络节点内涵更为丰富,它既包含独立企业,也包含传统企业联盟、研发中心、科研机构和最终消费者等,因此,基于 FSDN 的企业实施可追溯系统的决策研究不同于传统供应链上企业之间或供应链之间的决策分析。FSDN 海洋水产品养殖企业可追溯系统结构见图 1 所示。

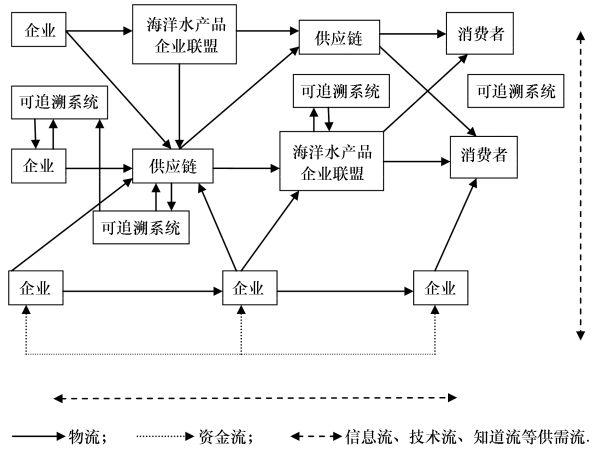

图 1 FSDN 海洋水产品养殖企业可追溯系统结构

4 食品供需网的特征

食品供需网(FSDN)是指以全球资源获取、全球生产加工、全球销售和保障食品安全、健康、营养为目标,通过多种“供需流”在相关企业、组织和机构之间的交互作用而形成的一种多功能开放式的供需动态网络模式[11-14]。组成 FSDN 的网络节点包括海洋水产品养殖企业、加工企业、销售企业、海洋水产品物流企业、金融机构、政府组织、最终消费者以及传统供应链企业联盟等。FSDN 中任何节点成员都可以进行供需流的交互传递,并且建立合作关系,同时,FSDN 的“供需流”呈现丰富多样的特点,不仅局限于节点成员之间的物流、信息流与资金流功能,而且还包括设施设备、人才、技术、管理理念和企业文化等多种供需流功能,形成了 FSDN 的“多边关系”,避免了一种供需关系破裂影响整个供需网的运行。因此 FSDN 海洋水产品可追溯系统具有结构网络性、动态稳定性和多功能开放性的特点。

5 FSDN 可追溯系统模型的描述

如前文所述,FSDN 由海洋水产品养殖企业、企业联盟以及最终消费者等实体节点组成,组成 FSDN 的各类节点包括海洋水产品养殖企业、加工

企业、销售企业、海洋水产品物流企业、金融机构、政府组织、最终消费者以及传统供应链企业联盟等。正因为 FSDN 具有网络组织结构，因此其中任何节点成员都可以进行供需流的交互传递，并建立具有多种供需联系的合作关系。食品供需网理念强调节点企业通过合作，实施食品可追溯系统完善海洋水产品质量安全管理，由于各节点企业的利益目标具有关联性，因此在实施食品可追溯系统的过程中供需网各节点企业的行为一定会产生相互的影响。

不同于传统海洋水产品供应链的链状结构，FSDN 系统中具有丰富内涵的网络节点构成了网络结构，这些网络节点既可以是单个海洋水产品企业，也可以是传统海洋水产品企业联盟（如海洋水产品供应链等），甚至各种产品的最终消费者也能作为网络节点。供需流是维系 FSDN 系统的重要介质，因为供需流的流动性，FSDN 才能成为全球性的动态网络。因此，从某种意义上来说，FSDN 企业合作实施可追溯系统不同于传统企业间或食品供应链间的合作实施，网络节点企业对合作伙伴关系的选择是可变且多样的。

FSDN 系统中的企业实施可追溯系统，不仅强调单链式供应链上海洋水产品企业间的共同实施，更涉及供应链与供应链间的 FSDN 节点的合作，也就是涉及两个或两个以上 FSDN 网络节点在实施海洋水产品可追溯系统的某个环节上的横向一体化协调合作。

为了方便研究 FSDN 系统中实施可追溯系统的主体行为，本章将单链式海洋水产品供应链作为食品供需网中的某个节点，重点讨论 FSDN 系统两个节点（两条单链式海洋水产品供应链）之间实施可追溯系统的博弈行为，通过对包含不同质海洋水产品的供应节点企业和需求节点企业的供需子网进行建模，定量分析食品供需网系统中企业实施可追溯系统的必要性。图 2 为 FSDN 系统中不同的海洋水产品市场两节点合作实施可追溯系统的模型图。

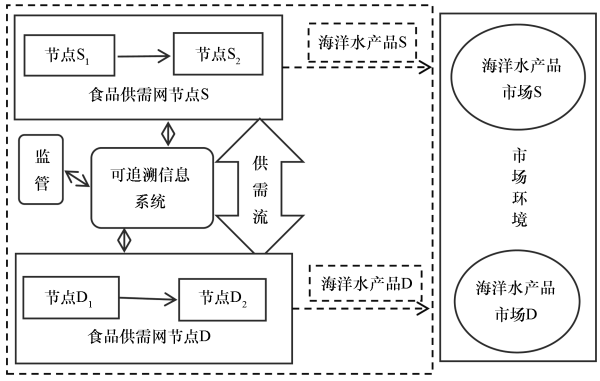

图 2　FSDN 系统中不同的海洋水产品市场两节点合作实施可追溯系统的模型

5.1　FSDN 海洋水产品可追溯系统模型的假设及构建

在图 2 中，FSDN 节点 S 的节点企业 S_2 生产海洋水产品 S，FSDN 节点 D 的节点企业 D_2 生产海洋水产品 D，产品 S 和产品 D 分属不同性质的水产品。根据食品供需网系统的性质，节点 S 不仅在纵向供应链中具有可追溯能力，而且在 FSDN 系统中横向可追溯（即供应链与供应链之间可追溯），因此节点 S 和节点 D 通过海洋水产品可追溯系统在食品供需网上形成的可靠且连续的供需流而联系在一起并具备可追溯性，FSDN 节点企业 S_2 和 FSDN 节点企业 D_2 以合作的态势在海洋水产品可追溯水平和成本分担比例方面争取各自所在的节点获得最大的利益。

FSDN 所倡导的理念要求系统内各企业间的合作兼顾经济利益目标和资源环境效益目标，在我国的沿海地区，每天都有成吨加工剩下的鱼皮、鱼鳞等被送往垃圾场，然而这些“下脚料”并非一无是处甚至可以变废为宝。例如，从鱼皮和鱼鳞中可以提取大分子胶原蛋白或制成制成安全营养的食用增稠剂[15]，虾壳和蟹壳可以用来制作人工皮肤[16]，牡蛎、鲍、海参等海产品加工过程中产生的蒸煮液、裙边、内脏等副产物可以利用开发制成海鲜调味品，鱼骨头可磨成鱼骨粉再进行出售。将有效资源、能源进行再次出售利用，有助于提高海洋水产品附加值、减少环境污染、节约企业成本和海洋渔业资源、延长海洋渔业产业链、实现经济效益与环境效益相统一的目标。上游节点的废料作为下游节点的原材料后同样需要实施可追溯系统，以保证食品的安全可靠性。因此本文假设节点 S 的下游企业 S_2 生产海洋水产品所产生的废料可以作为原材料供应

给节点 D 的下游企业 D_2，那么节点企业 S_2 同时可以作为 D_2 的上游企业，他们之间也具备可追溯性。

(1)假设：$\theta(\theta \geqslant 0)$ 为食品供需网节点海洋水产品企业实施可追溯系统的水平，θ_s 和 θ_d 分别表示 FSDN 系统内节点 S 和节点 D 的海洋水产品可追溯水平。海洋水产品的可追溯水平 θ 与 FSDN 节点企业的投入相关，海洋水产品可追溯水平越高，节点企业投入水平随之加速提升，因此用二次函数描述为

$$C_s = \frac{1}{2}\alpha\theta^2$$

$$C_d = \frac{1}{2}\beta\theta^2$$

其中，C_s 和 C_d 分别表示 FSDN 节点 S 和节点 D 实施海洋水产品可追溯系统所花费的成本，α、β 分别表示 FSDN 节点企业 S_2 和节点企业 D_2 实施海洋水产品可追溯系统的成本系数(实施海洋水产品可追溯系统前一单位海洋水产品的加工成本与实施海洋水产品可追溯系统后一单位海洋水产品的加工成本的比率)，$\alpha \geqslant 0$、$\beta \geqslant 0$。

(2)FSDN 节点企业 S_1 实施海洋水产品可追溯系统后单位产品的生产成本为 C_{s1}，节点企业 D_1 产品单位生产成本为 C_{d1}。

(3)假设节点 S 上节点企业 S_2 对节点企业 S_1 的海洋水产品可追溯成本分担比例为 φ，对上游可追溯原材料的价格补贴系数为 γ_s，节点企业 S_2 向节点企业 S_1 采购原材料的价格为 u_s，节点 S 为保证海洋水产品质量安全作出的生产努力程度为 A；节点 D 上节点企业 D_2 对节点企业 D_1 的海洋水产品可追溯成本分担比例为 η，对上游可追溯原材料的价格补贴系数为 γ_d，节点企业 D_2 向节点企业 D_1 采购原材料的价格为 u_d，节点 D 为保证海洋水产品质量安全作出的生产努力程度为 B。

(4)随着消费者对海洋水产品质量安全的关注度、对可追溯海洋水产品的认知水平的提高，消费者对海洋水产品市场中的可追溯海洋水产品的偏好和支付意愿也日益增加。因此本文将海洋水产品 S 的价格分为两部分：实施海洋水产品可追溯系统前的初始价格 P_0 和实施可追溯系统后提升的价格 ΔP，海洋水产品价格提升的部分与消费者对可追溯海洋水产品的偏好系数相关，表达式为 $\Delta P = P_0 + t\theta$。其中，t 为消费者对可追溯海洋水产品的偏好系数，$t \geqslant 0$。

根据上述定义与假设，可以分别得出 FSDN 系统中节点 S 与节点 D 的期望利润函数。

FSDN 系统节点企业 S_2 实施海洋水产品可追溯系统后获得的利润为：

$$\prod S_2 = (P_0 + t\theta_s - u_s - \gamma_s\theta_s)A - \frac{1}{2}\varphi\alpha\theta_s^2 + P_c - \frac{1}{2}(1-\lambda)\varepsilon\theta_s^2 \quad (1)$$

式中：P_c 为节点企业 D_2 向节点企业 S_2 购买废料作为自己所需一单位原材料的价格；λ 为节点企业 D_2 对节点企业 S_2 实施原材料可追溯的成本分担比例；ε 为加工原材料的成本系数。

FSDN 系统节点企业 S_1 实施海洋水产品可追溯系统后获得的利润为：

$$\prod S_1 = (u_s - c_s + \gamma_s\theta_s)A - \frac{1}{2}(1-\varphi)\alpha\theta_s^2 \quad (2)$$

根据式(1)和式(2)可得 FSDN 系统节点 S 的总利润为：

$$\prod (S_1, S_2) = (P_0 + t\theta_s - c_s)A - \frac{1}{2}\alpha\theta_s^2 + P_c - \frac{1}{2}(1-\lambda)\varepsilon\theta_s^2 \quad (3)$$

FSDN 系统节点企业 D_2 实施海洋水产品可追溯系统后获得的利润为：

$$\prod D_2 = (P'_0 + t\theta_d - u_d - \gamma_d\theta_d)B - \frac{1}{2}\eta\beta\theta_d^2 - P_c - \frac{1}{2}\lambda\varepsilon\theta_d^2 \quad (4)$$

FSDN 系统节点企业 D_1 实施海洋水产品可追溯系统后获得的利润为：

$$\prod D_1 = (u_d - c_d + \gamma_d\theta_d)B - \frac{1}{2}(1-\eta)\alpha\theta_d^2 \quad (5)$$

根据式(4)和式(5)可得 FSDN 系统节点 D 的总利润为：

$$\prod (D_1, D_2) = (P'_0 + t\theta_d - c_d)B - \frac{1}{2}\beta\theta_d^2 - P_c - \frac{1}{2}\lambda\varepsilon\theta_d^2 \quad (6)$$

基于以上分析，可以整理出 FSDN 系统的总体

利润为：

$$\prod(S,D)=(P_0+t\theta_s-c_s)A+(P'_0+t\theta_d-c_d)B-\frac{1}{2}\alpha\theta_s^2-\frac{1}{2}\beta\theta_d^2-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_s^2+\frac{1}{2}\lambda\varepsilon(\theta_s^2-\theta_d^2) \quad (7)$$

5.2　食品供需网海洋水产品企业实施可追溯系统的合作决策模型

根据上文提到的 FSDN 系统两节点合作决策结构模型中，当 FSDN 系统内节点 S 和节点 D 以完全合作的方式协同决策时，两者将以食品供需网系统总利润最大为目标，最优化实施可追溯系统的水平，那么问题可以转化为：

$$\max\prod(S,D)=(P_0+t\theta_s-c_s)A+(P'_0+t\theta_d-c_d)B-\frac{1}{2}\alpha\theta_s^2-\frac{1}{2}\beta\theta_d^2-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_s^2+\frac{1}{2}\lambda\varepsilon(\theta_s^2-\theta_d^2) \quad (8)$$

将式(8)分别对 θ_s、θ_d求导，可得：

$$\theta_s^{**}=\frac{tA}{\alpha+(1-\lambda)\varepsilon},\theta_d^{**}=\frac{tB}{\beta+\lambda\varepsilon} \quad (9)$$

进一步分析将式(9)对 λ 求导得：

$$\frac{\partial\theta_s^{**}}{\partial\lambda}=\frac{t\varepsilon A}{[\alpha+(1-\lambda)\varepsilon]^2}\geqslant 0,$$

$$\frac{\partial\theta_d^{**}}{\partial\lambda}=\frac{-t\varepsilon B}{(\beta+\lambda\varepsilon)^2}\leqslant 0$$

由此可得 FSDN 系统内节点 S 的海洋水产品可追溯水平 θ_s与节点企业 D_2对节点企业 S_2的可追溯成本分担比例 λ 呈正相关，节点 D 的海洋水产品可追溯水平 θ_d与节点企业 D_2对节点企业 S_2的可追溯成本分担比例 λ 呈负相关。发生这个现象的原因可能是：节点企业 D_2对节点企业 S_2的可追溯成本分担比例越高，节点 S 实施海洋水产品可追溯的成本越少，就会有更多的剩余收益用于提高可追溯水平；相反的，节点 D 实施海洋水产品可追溯的成本随着其分担节点企业 S_2可追溯成本的比例的提升而增加，即会导致没有足够的资本对其加大价格补贴力度，以激励节点 D 提高自身的海洋水产品可追溯水平。因此在 FSDN 系统实施海洋水产品可追溯系统的过程中，节点企业 D_2提高可追溯成本分担比例能够有效地激励上游节点企业 S_2提高实施海洋水产品可追溯系统的水平，进而有效缓解节点企业之间可能存在的信息不对称问题，保障海洋水产品质量安全。

将式(9)中节点 S 和节点 D 的最优海洋水产品可追溯水平代入式(8)求出 FSDN 系统的总体利润为：

$$\prod(S,D)^{**}=\frac{t^2(\alpha+\beta+\varepsilon)A^2B^2}{2(\alpha+\varepsilon-\lambda\varepsilon)(\beta+\lambda\varepsilon)} \quad (10)$$

综合上述分析可知，当 FSDN 系统内两节点协同决策合作实施海洋水产品可追溯系统时，节点企业 S_2和节点企业 D_2实施可追溯系统的最优水平分别为 θ_s^{**} 和 θ_d^{**}，此时 FSDN 系统的总体利润为 $\prod(S,D)^{**}$。节点 S 和节点 D 根据节点企业 S_2和节点企业 D_2之间的海洋水产品废料可追溯系统的实施情况决定合作的空间大小，每个节点在考虑自身利益的同时兼顾考虑整个 FSDN 系统的利润，两节点之间的供需流满足一定的条件后，两者会采取完全合作决策，继而使整个 FSDN 系统的社会效益和经济效益达到最优。

5.3　食品供需网海洋水产品企业实施可追溯系统的独立决策模型

食品供需网两节点企业独立决策时，博弈双方往往追求自身利益最大化而忽略 FSDN 系统的整体利益，此时，FSDN 上游节点作为跟随者，总是在观察下游节点向其承诺的实施可追溯系统的成本分担比例后，对自身实施海洋水产品可追溯系统的水平作出决定。最极端的情况是节点企业 D_2拒绝分担节点企业 S_2实施海洋水产品可追溯系统的成本，即 $\lambda=0$，并且独立实施海洋水产品追溯系统。此时节点 S 和节点 D 的利润分别为：

$$\prod(S_1,S_2)=(P_0+t\theta_s-c_s)A-\frac{1}{2}\alpha\theta_s^2+P_c-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_s^2 \quad (11)$$

$$\prod(D_1,D_2)=(P'_0+t\theta_d-c_d)B-\frac{1}{2}\beta\theta_d^2-P_c-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_d^2 \quad (12)$$

FSDN 系统的总收益为：

$$\prod(S,D)=(P_0+t\theta_s-c_s)A+(P'_0+t\theta_d-c_d)B$$

$$-\frac{1}{2}\alpha\theta_s^2-\frac{1}{2}\beta\theta_d^2-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_s^2-\frac{1}{2}\varepsilon\theta_d^2 \quad (13)$$

分别将式(11)和式(12)对 θ_s、θ_d 求导可以得出：

$$\theta_s^*=\frac{tA}{\alpha+\varepsilon},\quad \theta_d^*=\frac{tB}{\beta+\varepsilon} \quad (14)$$

将式(14)分别对 A，B 求导得：

$$\frac{\partial\theta_s}{\partial A}=\frac{t}{\alpha+\varepsilon}\geqslant 0,\quad \frac{\partial\theta_d}{\partial B}=\frac{t}{\beta+\varepsilon}\geqslant 0$$

由此可见，随着节点 S 和节点 D 为保证各自生产的海洋水产品的安全性而付出的生产努力程度的提高，节点 S 和节点 D 的可追溯水平也会得到相应的提升。

以实际为例，企业在提高生产努力程度上的措施有：升级海洋水产品生产器具、维护海洋水产品生产、加工和运输信息系统、创新海洋水产品生产加工的技术等。

将式(14)代入式(13)可以求出两节点独立决策时 FSDN 系统的总利润为：

$$\prod(S,D)^*=\frac{t^2A^2B^2(\alpha+\beta+2\varepsilon)}{2(\alpha+\varepsilon)(\beta+\varepsilon)} \quad (15)$$

综上所述，FSDN 系统内两节点采取非合作的方式独立实施海洋水产品可追溯系统时，节点企业 S_2 和节点企业 D_2 实施可追溯系统的最优水平分别为 θ_s^* 和 θ_d^*，此时 FSDN 系统的总利润为 $\prod(S,D)^*$。节点 S 和节点 D 为了追求自身利益的最大化，仅仅从单个节点企业利益的角度出发，通过提高实施可追溯系统的水平即可实现最大利润目标，所以式(18)对应节点企业 S_2 和节点企业 D_2 独立实施可追溯系统时节点 S 和节点 D 的最优可追溯水平。

在 FSDN 系统中，节点 S 和节点 D 完全合作实施可追溯系统时的系统整体利润为 $\prod(S,D)^{**}$，两节点企业独立实施可追溯系统时的系统整体利润为 $\prod(S,D)^*$，那么相比于非合作决策下系统的整体利润，完全合作决策下 FSDN 系统整体增加的利润为：

$$\Delta\prod(S,D)=\prod(S,D)^{**}-\prod(S,D)^*=$$

$$\frac{1}{\varepsilon}[\alpha^2(1-\lambda)+\alpha\varepsilon(\lambda-1)(\lambda-2)+$$

$$\varepsilon^2(\lambda-1)^2+\varepsilon^2\lambda^2+\lambda\beta\varepsilon(1+\lambda)+\lambda\beta^2] \quad (16)$$

根据上文的模型描述可知 $0<\lambda<1$，由此可推出，$1-\lambda>0$，$(\lambda-1)(\lambda-2)>0$，因此可以得出结论：

$$\Delta\prod(S,D)\geqslant 0 \quad (17)$$

由式(17)可知，协同决策下 FSDN 系统的总体收益优于独立决策下的相应值，在协同决策情形下，FSDN 系统内两节点企业协同合作实施可追溯系统，可实现系统整体收益的帕累托优化，有助于激励各节点企业开展海洋水产品可追溯工作。食品供需网可追溯系统能够有效地降低企业实施可追溯系统的成本，这更加激励了企业通过食品供需网的模式投入实施海洋水产品可追溯系统，既保证了企业的利润，也降低了海洋水产品安全事件发生的概率，同时符合食品供需网提倡的合作共赢理念。由此可见，海洋水产品供应链上的各企业共享可追溯中心数据库、统一海洋水产品可追溯标准、加强合作共同实施食品供需网海洋水产品可追溯系统应当被推行。

6 总结

海洋水产品是海洋渔业产业的一部分，海洋水产品的质量安全可靠性关系着海洋渔业产业能否实现可持续发展。关于海洋水产品企业如何在食品供需网系统内合作实施可追溯系统，既保障企业自身的经济收益，又能保证海洋水产品企业所在的食品供需网系统的整体利益和社会利益，本研究以 FSDN 为平台，研究 FSDN 系统中不同海洋水产品市场所在的海洋水产品供应链跨链间合作实施可追溯系统的问题，通过建立 FSDN 海洋水产品企业合作实施可追溯系统的决策模型，从定量上分析 FSDN 系统节点企业的海洋水产品可追溯水平和成本分担策略，再通过比较协同决策和独立决策下 FSDN 系统整体利润的大小，得出结论：FSDN 节点海洋水产品企业可以通过共同决策的方式合作实施海洋水产品可追溯系统使系统整体收益达到最优，从而激励海洋水产品企业积极投入实施安全追溯系统，提高海洋水产品的质量安全性，优化海洋渔业产业链，促进海洋渔业资源开发利用的良性循环。

参考文献

[1] 孙吉亭.中国海洋渔业可持续发展研究[D].青岛：中国海洋大学，2003.

[2] 陈玉翠.基于不完全信息动态博弈的海洋水产品安全问题研究[D].青岛：中国海洋大学，2013.

[3] 李晓川，翟毓秀，王联珠，等.建立健全我国水产品可追溯体系的若干问题[J].农产品质量与安全，2006(4)：14－17.

[4] 王媛，蔡友琼，徐捷，等.国内外可追溯体系现状及我国水产品可追溯存在的问题[J].中国渔业质量与标准，2012，2(2)：75－78.

[5] 任信林，凌武海.水产品质量安全存在问题及对策[J].水产养殖技术与经验，2011(12)：48－50.

[6] 李香，宋怿，黄磊，等.国外水产品质量安全可追溯体系对我国的启示[J].中国渔业经济，2010，28(4)：92－97.

[7] 牛林伟，张晓忠.基于供应链的水产品质量安全控制体系探究[J].中国水产，2012，13(3)：38－40.

[8] 吕青，王海波，顾绍平.可追溯体系及其在水产品安全控制中的作用[J].渔业现代化，2006(3)：7－9.

[9] REGULATION E C. No. 1830/2003 of the european parliamentand of the council[J]. Offcial Journal of the European Union，L 2003(268)：24－28.

[10] WANG W，YANG M. Safety accidents and control of dairy products：an analysis from the view of information asymmetry[C]//ICIME 2010—2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering，IEEE Computer Society. Cheng Du：IACSIT，2010：1－4.

[11] 何静，马青.基于食品供需网的可追溯体系构建研究[J].食品工业科技，2014，19：22－25.

[12] 何静，马青.食品供需网可追溯体系构建的博弈分析[J].中国农学通报，2015，31(14)：114－118.

[13] 何静，徐福缘.多功能开放型企业供需网成员企业合作关系的经济模型[J].上海理工大学学报，2005，27(1)：37－42.

[14] 何静.食品供应链发展的创新模式：食品供需网研究[R].上海：上海市教育委员会，2011：1－6.

[15] 戴懿菡.段蕊：让水产废料“变废为宝”[J].农产品市场周刊，2016(3)：44－45.

[16] 陈思行.变废为宝水产废弃物的利用[J].海洋渔业，1990(5)：44－46.