



詹帅, 金珊珊. 供应链视角下农产品高质量商品化多元主体行为策略[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(9): 244-254.

ZHAN Shuai, JIN Shanshan. Multi-subject cooperative strategy of high-quality commercialization of agricultural products based on the perspective of supply chain[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(9): 244-254.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.09.21

供应链视角下农产品高质量商品化多元主体行为策略

詹帅^{1,2} 金珊珊¹

(1. 哈尔滨商业大学 管理学院, 哈尔滨 150028;

2. 哈尔滨商业大学 工商管理博士后科研流动站, 哈尔滨 150028)

摘 要 针对农产品供给质量与高品质消费需求不匹配, 供需结构不对等, 供需数量不均衡, 市场价格不稳定等商品化问题, 采用演化博弈与系统动力学相结合的研究方法, 对供应链视角下农产品高质量商品化多元主体行为策略进行研究。结果表明: 1) 当生产商、物流商及零售商进行农产品高质量商品化的收益与成本之差大于不进行农产品高质量商品化的收益时, 有助于供应链上主体向实现农产品高质量商品化的方向演化; 2) 协同收益分配系数的合理设定对博弈结果具有积极影响, 更有益于博弈系统达到稳定状态, 而农产品高质量商品化的投入成本和“搭便车”收益对演化博弈结果具有消极影响; 3) 完善主体收益共享制度, 利用数字化技术强化供应链全链条信息共享, 完善农业扶持政策, 加强政府动态监管等措施能够有效推动农产品高质量商品化的多元主体协同, 实现农产品质量提升、附加值提升、效益提升、品牌提升等多重目标, 推动农业产业提质增效、农民增产增收。

关键词 农产品供应链; 农产品高质量商品化; 演化博弈; 系统动力学

中图分类号 F323

文章编号 1007-4333(2024)09-0244-11

文献标志码 A

Multi-subject cooperative strategy of high-quality commercialization of agricultural products based on the perspective of supply chain

ZHAN Shuai^{1,2}, JIN Shanshan¹

(1. School of Management, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China;

2. Postdoctoral Workstation of Business Administration, Harbin University of Commerce, Harbin 150028, China)

Abstract Aiming at the commercialization problems such as the mismatch between the supply quality of agricultural products and the high-quality consumption demand, the imbalance between supply structure and demand structure, the imbalance between supply quantity and demand quantity, and the instability of market price, this study adopts the research method combining evolutionary game and system dynamics to study the multi-agent behavior strategy of the high-quality commercialization of agricultural products from the perspective of the supply chain. The results show that: 1) When the difference between the benefits and costs of high-quality commercialization of agricultural products by manufacturers, logistics providers and retailers is greater than the benefits of non-high-quality commercialization of agricultural products, it will help each the agent in the supply chain to evolve towards the realization of high-quality commercialization of agricultural products. 2) The reasonable setting of the synergistic revenue-sharing coefficient has a positive

收稿日期: 2023-12-28

基金项目: 国家社科基金青年项目(22CGL023); 中国博士后面上项目(2023M730889); 黑龙江省博士面上项目(LBH-Z22203); 黑龙江省哲学社会科学基金青年项目(21GLC187); 哈尔滨商业大学博士科研启动支持计划项目(22BQ32)

第一作者: 詹帅, 副教授(ORCID: 0009-0008-7943-3314), 博士后, 主要从事农产品供应链、农产品质量安全研究, E-mail: shuaishuai1989lv@163.com

effect on the game result. It is more conducive to the game system reaching a stable state. However, the cost of high-quality commercialization of agricultural products and ‘free rider’ revenue has a negative effect on the evolutionary game result. 3) Measures such as improving the revenue-sharing system of the main body, using digital technology to strengthen the information sharing of the whole chain of supply chain, improving agricultural support policies and strengthening the dynamic supervision of the government can effectively promote the cooperation of multi-agent in the commercialization of high-quality agricultural products, and achieve the multiple goals of improving the quality, added value, efficiency and brand of agricultural products. This will ultimately improve the quality and efficiency of agricultural industries and increase farmers’ production and incomes.

Keywords agricultural product supply chain; high-quality commercialization of agricultural products; evolutionary game; system dynamics

2015—2023年,中国粮食总产量连续9年突破6.5亿t,主要农产品产量位居全球首位,实现了从“吃不饱”到“吃得饱”的历史性转变^[1-2]。但随着居民收入水平不断增强,居民消费水平持续升级,消费内容和消费模式正在发生转变,一个重要特征是从模仿型排浪式消费逐步向个性化、多样化等消费模式转变^[3]。这种转变导致居民对农产品需求的多元化、特产化、品质化和精致化的趋势逐渐显现,如何在保证农产品供给数量充足的情况下契合消费者高品质需求成为农业供给侧结构性改革的关键,这对农产品商品化提出了更高要求。为提高农产品商品化程度与效率,我国政府陆续出台了一系列政策,以优化优质农产品供给,增强农产品商品化处理能力,扩展农产品流通渠道。

随着农业现代化进程的不断加快,农产品产销行业正处于商业变革的关键期,农产品商品化也已成为应对行业变局,推进农业经济水平提升,推动农业高质量发展的重要课题。已有研究充分肯定了农产品商品化对农业经济发展及国家可持续发展的关键作用^[4-5],能够有效推动农业经济变化,提高农民收入,加强城乡联系,促进农村减贫,改善家庭膳食质量与增加农村家庭福利^[6-11]。但已有研究也指出农产品商品化存在商品化质量有待提升、商品化设施发展程度不足、商品流通与营销潜力有待发挥等问题^[12-14]。

由此看来,为应对农业发展过程中的诸多机遇与挑战,实现农业提质增效和可持续发展,仅靠表面的农产品升级还远不能提升农业竞争力,必须把农产品高质量商品化作为重点才能取得更大的发展。已有研究提出应不断培育新型经营主体,实施产地商品化处理,加强高效物流体系建设,促进电商市场化等路径以实现农产品高质量商品化^[15-17]。

探索农产品供应链生产、流通及销售各个环节和主体如何通过自我演化找到最佳协同策略,围绕“农产品”这一核心发挥协同效应成为促进农产品高质量商品化的关键。基于此,本研究旨在运用演化博弈思想,以三方决策主体有限理性为前提,探索生产商-物流商-零售商的行为策略,基于系统动力学探析各因素对多元主体行为策略的影响,以期能够丰富农产品高质量商品化参与主体间的博弈交互机制的理论研究,为构建农产品高质量商品化下多元主体稳定关系的长效机制提供参考,同时,为推进农产品高质量商品化实现农业增效、农民增收提供建议。

1 农产品高质量商品化的内涵

农产品高质量商品化是指在农产品供应链生产、流通、销售等全环节利用农业新质生产力引入科技化、数字化和智能化的新技术、新设备、新模式等整合创新资源,优化组合劳动、知识、技术、管理、数据和资本等农业要素^[18],在提升农产品商品化率的基础上,大幅提升农产品品质,促进供给端优质农产品供给与消费端高品质需求满足相匹配,进而实现农产品品质、商品附加值、流通效率与品牌效益四重提升,深入推动农业增效、农民增收与农业高质量发展,为实现农业强国目标提供新动能。

本研究提出供应链视角下农产品高质量商品化模式见图1。农产品高质量商品化涉及到农产品生产、流通、销售全环节以及供应链中生产商、物流商与零售商在内的多个农产品生产经营主体。在生产环节应用物联网和人工智能等技术做到智能作物监控、智能牲畜检测、自主农业机械等为代表的农业物联化,深度变革农产品生产方式;在流通环节运用数字化互联互通设备驱动冷链云仓系统

构建,优化资源配置与要素匹配,实现高效高产的物流服务;在销售环节开展全品类、全渠道、全媒体、智能化营销模式,精准匹配消费端需求,提升农产品附加值。

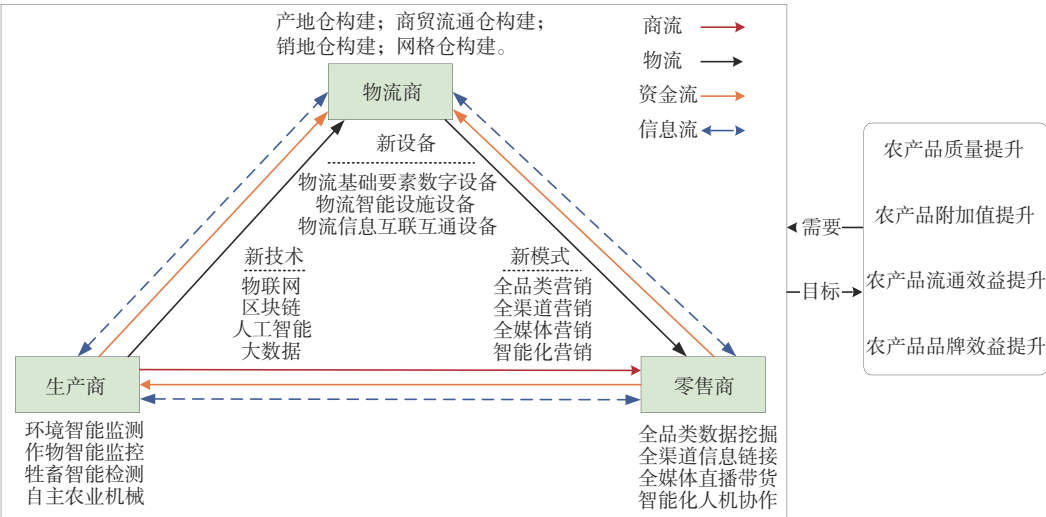


Fig. 1 Mode of high-quality commercialization of agricultural products from the perspective of supply chain

2 演化博弈模型构建与分析

2.1 基本假设与参数设定

为明晰供应链多元主体在有限资源下的行为策略,探索多元主体在供应链视角下实现农产品高质量商品化的最佳协同策略,本研究构建生产商、物流商及零售商三方主体农产品高质量商品化演

化博弈模型,并做出如下假设。

假设1:三方主体的博弈空间策略为(进行,不进行),即进行农产品高质量商品化与不进行农产品高质量商品化,具体博弈主体进行农产品高质量商品化包括的做法见表1。进行的概率分别为 x,y,z ;不进行的概率分别为 $1-x,1-y,1-z$,且 $x,y,z\in[0,1]$,为时间 t 的函数。

表1 博弈主体进行农产品高质量商品化的具体做法

Table 1 The game subject proceeds with the specific approach of high-quality commercialization of agricultural products

博弈主体 Game player	具体做法 Specific approach
生产商 Manufacturer	以新质生产力赋能农产品生产,加大农业物联网、人工智能、大数据等数字技术应用,开展农业信息智能感知与处理技术、智慧场景应用,做到周围环境智能监测、农作物智能监控、牲畜智能检测、无人机耕作、自主农业机械、智能设备管理等,实现以“技术创新+全程监控+智慧管理”的生产农产品高质量商品化,促进农产品标准化、优质化生产。
物流商 Logistics provider	以新质生产力赋能农产品流通,深化大数据、人工智能等研发应用,结合现有设施设备或引进数字化互联设备加速构建农产品产地仓、销地仓、商贸流通仓、网格仓等,制订数字化冷链云仓解决方案,做到农产品全程的温湿度监控与预警,全局的库存管理以及智能调度,实现以“数字应用+全程把控+智能调度”的流通农产品高质量商品化,促进物流全过程的数字化、智能化、高效化。
零售商 Retailer	以新质生产力赋能农产品销售,运用大数据、人工智能、机器学习等数字化技术,挖掘全品类要素数据及消费者行为数据,整合数字资源,利用实体店铺、移动终端、电商平台等多元渠道,采用社区团购、直播带货、网红推荐等方式促进农产品营销,实现以“全品类+全渠道+全媒体”的销售农产品高质量商品化,助力提高农产品附加值和竞争力。

假设2:三方主体不进行农产品高质量商品化前获得的初始收益为 E_M 、 E_L 、 E_R ,当三方主体进行农产品高质量商品化后,农产品质量和附加值有所增加,消费者愿意支付更高的价格,经济收益将增加 ΔE_M 、 ΔE_L 、 ΔE_R ,但需付出投入成本 C_M 、 C_L 、 C_R 。

假设3:当零售商采取进行农产品高质量商品化策略时,若生产商或物流商采取不进行策略会对零售商造成潜在损失 ΔU (如产品质量损失、存货损失)。因此,零售商会分享部分收益增长,作为激励上游生产商和物流商改善产品质量和服务水平的动力。若生产商与零售商进行农产品高质量商品化,农产品品质与附加价值提升,给生产商与零售商带来的协同收益为 R_1 ,此时协同收益分配系数为 α ($0 \leq \alpha \leq 1$),增加生产商与零售商收益。若物流商与零售商进行农产品高质量商品化,使得农产品

流通效率与附加值提升,给物流商与零售商带来的协同收益为 R_2 ,此时协同收益分配系数为 β ($0 \leq \beta \leq 1$)。

假设4:由于生产商、物流商与零售商各自拥有的资源不对等,各自都想追求自身利益最大化,可能导致出现“搭便车”现象。当生产商不进行农产品高质量商品化时,因物流商与零售商进行农产品高质量商品化得到的“搭便车”收益分别为 V_{ML} 、 V_{MR} ;当物流商不进行农产品高质量商品化时,因生产商与零售商进行农产品高质量商品化得到的“搭便车”收益分别为 V_{LM} 、 V_{LR} ;当零售商不进行农产品高质量商品化时,因生产商与物流商进行农产品高质量商品化得到的“搭便车”收益分别为 V_{RM} 、 V_{RL} 。

基于上述假设,本研究构建生产商、物流商和零售商之间的演化博弈收益矩阵见表2。

表2 生产商、物流商和零售商的演化博弈收益矩阵

Table 2 Evolutionary game revenue matrix of manufacturers, logistics providers and retailers

生产商 Manufacturer	物流商 Logistics provider	零售商 Retailer	
		进行 Proceed	不进行 Not to proceed
进行 Proceed	进行 Proceed	$E_M + \Delta E_M - C_M + \alpha R_1; E_L + \Delta E_L - C_L + \beta R_2;$ $E_R + \Delta E_R - C_R + (1 - \alpha)R_1 + (1 - \beta)R_2$	$E_M + \Delta E_M - C_M; E_L + \Delta E_L - C_L;$ $E_R + V_{RM} + V_{RL}$
	不进行 Not to proceed	$E_M + \Delta E_M - C_M + \alpha R_1; E_L + V_{LM} + V_{LR};$ $E_R + \Delta E_R - C_R + (1 - \alpha)R_1 - \Delta U$	$E_M + \Delta E_M - C_M; E_L + V_{LM};$ $E_R + V_{RM}$
不进行 Not to proceed	进行 Proceed	$E_M + V_{ML} + V_{MR}; E_L + \Delta E_L - C_L + \beta R_2;$ $E_R + \Delta E_R - C_R + (1 - \beta)R_2 - \Delta U$	$E_M + V_{ML}; E_L + \Delta E_L - C_L;$ $E_R + V_{RL}$
	不进行 Not to proceed	$E_M + V_{MR}; E_L + V_{LR};$ $E_R + \Delta E_R - C_R - \Delta U$	$E_M; E_L; E_R$

注:进行与不进行分别表示进行农产品高质量商品化与不进行农产品高质量商品化; E_M 、 E_L 、 E_R 分别表示生产商、物流商与零售商的初始收益; C_M 、 C_L 、 C_R 分别表示生产商、物流商和零售商进行农产品高质量商品化的投入成本; V_{ML} 、 V_{MR} 分别表示生产商搭物流商与零售商便车的收益; V_{LM} 、 V_{LR} 分别表示物流商搭生产商与零售商便车的收益; V_{RM} 、 V_{RL} 分别表示零售商搭生产商与物流商便车的收益; R_1 、 α 分别表示生产商与零售商之间的协同收益及协同收益分配系数; R_2 、 β 分别表示物流商与零售商之间的协同收益及协同收益分配系数; ΔU 表示零售商潜在损失。表3同。

Note: To Proceed and not to proceed represents to proceed with the high-quality commercialization of agricultural products and not to proceed with the high-quality commercialization of agricultural products respectively. E_M , E_L and E_R represent the initial revenue of the manufacturer, logistics provider and retailer respectively. C_M , C_L and C_R represent the costs of high-quality commercialization of agricultural products by manufacturers, logistics providers and retailers respectively. V_{ML} and V_{MR} represent the revenue that manufacturers get a free ride from logistics providers and retailers respectively. V_{LM} and V_{LR} represent the revenue that logistics providers get a free ride from manufacturers and retailers respectively. V_{RM} and V_{RL} represent the revenue that retailers get a free ride from manufacturers and logistics providers respectively. R_1 and α represent synergistic revenue and the sharing coefficients of synergistic revenue between the manufacturer and the retailer. R_2 and β represent synergistic revenue and the sharing coefficients of synergistic revenue between the logistics provider and the retailer. Table 3 is the same as Table 2.

2.2 三方动态博弈模型分析

2.2.1 生产商演化策略稳定性分析

设生产商采取“进行”策略的期望收益为 U_{M1} , 生产商采取“不进行”策略的期望收益为 U_{M2} , 以及生产商的平均收益为 U_M :

$$\begin{aligned} U_{M1} = & yz(E_M + \Delta E_M - C_M + \alpha R_1) + \\ & y(1-z)(E_M + \Delta E_M - C_M) + \\ & (1-y)z(E_M + \Delta E_M - C_M + \alpha R_1) + \\ & (1-y)(1-z)(E_M + \Delta E_M - C_M) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} U_{M2} = & yz(E_M + V_{ML} + V_{MR}) + y(1-z) \cdot \\ & (E_M + V_{ML}) + (1-y)z(E_M + V_{MR}) + \\ & (1-y)(1-z)E_M \end{aligned} \quad (2)$$

$$U_M = xU_{M1} + (1-x)U_{M2} \quad (3)$$

根据演化博弈理论, 生产商 $F(x)$ “进行”行为的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(x) = & dx/dt = x(U_{M1} - U_M) = x(1-x) \cdot \\ & (U_{M1} - U_{M2}) = x(1-x) \cdot \\ & [\Delta E_M + \alpha z R_1 - z V_{MR} - y V_{ML} - C_M] \end{aligned} \quad (4)$$

当 $y = (\Delta E_M + \alpha z R_1 - z V_{MR} - C_M) / V_{ML}$, $F(x) = 0$, 此时无论生产商策略如何都处于稳定状态。当 $(\Delta E_M + \alpha z R_1 - z V_{MR} - C_M) / V_{ML} < y \leq 1$ 时, $F'(x)|_{x=0} < 0$, 意味着此时生产商更倾向于选择不进行“技术创新+全程监控+智慧管理”的生产农产品高质量商品化策略; 当 $0 \leq y < (\Delta E_M + \alpha z R_1 - z V_{MR} - C_M) / V_{ML}$ 时, $F'(x)|_{x=1} < 0$, 意味着生产商倾向于选择进行生产农产品高质量商品化策略。

推论1: 在实现农产品高质量商品化过程中, 当物流商积极进行“数字应用+全程把控+智能调度”的流通农产品高质量商品化时, 生产商策略选择会稳定于不进行“技术创新+全程监控+智慧管理”的生产农产品高质量商品化策略, 此时生产商在不花费额外技术与设施投入成本的同时可以享受到“搭便车”的收益。当物流商不进行流通农产品高质量商品化时, 生产商策略选择会倾向于进行生产农产品高质量商品化, 以希望通过进行农产品高质量商品化带来更多收益。

2.2.2 物流商演化策略稳定性分析

设物流商采取“进行”策略的期望收益为 U_{L1} , 物流商采取“不进行”策略的期望收益为 U_{L2} , 以及物流商的平均收益为 U_L :

$$\begin{aligned} U_{L1} = & xz(E_L + \Delta E_L - C_L + \beta R_2) + \\ & x(1-z)(E_L + \Delta E_L - C_L) + \\ & (1-x)z(E_L + \Delta E_L - C_L + \beta R_2) + \\ & (1-x)(1-z)(E_L + \Delta E_L - C_L) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} U_{L2} = & xz(E_L + V_{LM} + V_{LR}) + x(1-z) \cdot \\ & (E_L + V_{LM}) + (1-x)z(E_L + V_{LR}) + \\ & (1-x)(1-z)E_L \end{aligned} \quad (6)$$

$$U_L = yU_{L1} + (1-y)U_{L2} \quad (7)$$

根据演化博弈理论, 物流商 $F(y)$ “进行”行为的复制动态方程为:

$$\begin{aligned} F(y) = & dy/dt = y(U_{L1} - U_L) = \\ & y(1-y)(U_{L1} - U_{L2}) = y(1-y) \cdot \\ & [\Delta E_L + \beta z R_2 - z V_{LR} - C_L - x V_{LM}] \end{aligned} \quad (8)$$

当 $x = (\Delta E_L + \beta z R_2 - z V_{LR} - C_L) / V_{LM}$, $F(y) = 0$, 此时无论物流商策略如何都为稳定状态。当 $(\Delta E_L + \beta z R_2 - z V_{LR} - C_L) / V_{LM} < x \leq 1$ 时, $F'(y)|_{y=0} < 0$, 意味着此时物流商更倾向于选择不进行“数字应用+全程把控+智能调度”的流通农产品高质量商品化策略。当 $0 \leq x < (\Delta E_L + \beta z R_2 - z V_{LR} - C_L) / V_{LM}$ 时, $F'(y)|_{y=1} < 0$, 意味着物流商倾向于选择进行流通农产品高质量商品化策略。

推论2: 在实现农产品高质量商品化过程中, 当生产商进行“技术创新+全程监控+智慧管理”的生产农产品高质量商品化的积极性较高时, 物流商在考虑其投入成本与收益评估后倾向于选择不进行“数字应用+全程把控+智能调度”的流通农产品高质量商品化策略。同时, 物流商协同收益分配较低, 投入成本较高, “搭便车”行为均会阻碍物流商形成进行流通农产品高质量商品化的稳定策略。

2.2.3 零售商演化策略稳定性分析

设零售商采取“进行”策略的期望收益 U_{R1} , 零售商采取“不进行”策略的期望收益为 U_{R2} , 以及零售商的平均收益为 U_R :

$$\begin{aligned} U_{R1} = & xy[E_R + \Delta E_R - C_R + (1-\alpha)R_1 + \\ & (1-\beta)R_2] + x(1-y)[E_R + \Delta E_R - C_R + \\ & (1-\alpha)R_1 - \Delta U] + (1-x)y[E_R + \Delta E_R - C_R + \\ & (1-\beta)R_2 - \Delta U] + (1-x)(1-y) \cdot \\ & (E_R + \Delta E_R - C_R - \Delta U) \end{aligned} \quad (9)$$

$$U_{R2} = xy(E_R + V_{RM} + V_{RL}) + x(1-y)(E_R + V_{RM}) + (1-x)y(E_R + V_{RL}) + (1-x)(1-y)E_R \quad (10)$$

$$U_R = zU_{R1} + (1-z)U_{R2} \quad (11)$$

根据演化博弈理论,零售商 $F(z)$ “进行”行为的复制动态方程为:

$$F(z) = dz/dt = z(U_{R1} - U_R) = z(1-z)(U_{R1} - U_{R2}) = z(1-z)[\Delta E_R + x(1-\alpha)R_1 + y(1-\beta)R_2 - C_R - \Delta U + xy\Delta U - xV_{RM} - yV_{RL}] \quad (12)$$

当 $y = [\Delta E_R + x(1-\alpha)R_1 - xV_{RM} - C_R - \Delta U] / [V_{RL} - (1-\beta)R_2 - x\Delta U]$, $F(z) = 0$ 时,无论零售商策略如何均为稳定状态。当 $0 \leq y < [\Delta E_R + x(1-\alpha)R_1 - xV_{RM} - C_R - \Delta U] / [V_{RL} - (1-\beta)R_2 - x\Delta U]$ 时, $F'(z)|_{z=0} < 0$,意味着零售商倾向于选择不进行“全品类+全渠道+全媒体”的销售农产品高质量商品化策略。当 $[\Delta E_R + x(1-\alpha)R_1 - xV_{RM} - C_R - \Delta U] / [V_{RL} - (1-\beta)R_2 - x\Delta U] < y \leq 1$ 时, $F'(z)|_{z=1} < 0$,意味着零售商选择进行销售农产品高质量商品化是稳定演化策略。

推论3:在实现农产品高质量商品化过程中,物流商积极进行“数字应用+全程把控+智能调度”的流通农产品高质量商品化会对零售商进行“全品类+全渠道+全媒体”的销售农产品高质量商品化产生积极影响,也意味着物流商若不进行流通农产

品高质量商品化,可能会给零售商带来诸多挑战,例如难以及时补货,难以准确预测库存需求,难以及时满足市场变化和 demand 变化等,这将严重制约零售商创新与发展。

2.3 三方演化博弈系统的均衡分析

由公式 $F(x) = 0, F(y) = 0, F(z) = 0$ 求解复制动态方程,得出9个均衡点: $P_1(0,0,0), P_2(1,0,0), P_3(0,1,0), P_4(0,0,1), P_5(1,1,0), P_6(1,0,1), P_7(0,1,1), P_8(1,1,1), P_9(x^*, y^*, z^*)$,其中 P_9 是式(13)的解。

$$\begin{cases} \Delta E_M + \alpha z R_1 - z V_{MR} - y V_{ML} - C_M = 0 \\ \Delta E_L + \beta z R_2 - z V_{LR} - x V_{LM} - C_L = 0 \\ [\Delta E_R + x(1-\alpha)R_1 - xV_{RM} + y(1-\beta)R_2 - yV_{RL} - C_R - \Delta U + xy\Delta U] = 0 \end{cases} \quad (13)$$

由于 P_9 是一种混合策略纳什均衡,不可能成为一个稳定点。所以需要进一步判断其他8个均衡点的稳定性。本研究依据Friedman^[19]提出的方法,应用雅可比矩阵对稳定性进行分析。由三方复制动态方程得到雅可比矩阵,将各个均衡解带入雅可比矩阵,求出相应的特征值见表3。可见,雅可比矩阵特征值的正负取决于参数的数值,但由于参数数量过多,当前条件下难以确认全部点的稳定性。尽管可以使用演化博弈的方法来确定系统在某些条件下的稳定状态,但难以确保这些稳定状态的稳定性。

系统动力学(System dynamics)作为分析现代社会经济系统内部各变量之间反馈结构关系的有

表3 各个均衡点的特征值

Table 3 The eigenvalues of each equilibrium point

均衡点 Equalization point	矩阵特征值 Matrix eigenvalue
$P_1(0,0,0)$	$\Delta E_M - C_M, \Delta E_L - C_L, \Delta E_R - C_R - \Delta U$
$P_2(1,0,0)$	$-(\Delta E_M - C_M), \Delta E_L - C_L - V_{LM}, \Delta E_R + (1-\alpha)R_1 - V_{RM} - C_R - \Delta U$
$P_3(0,1,0)$	$\Delta E_M - V_{ML} - C_M, -(\Delta E_L - C_L), \Delta E_R + (1-\beta)R_2 - V_{RL} - C_R - \Delta U$
$P_4(0,0,1)$	$\Delta E_M + \alpha R_1 - V_{MR} - C_M, \Delta E_L + \beta R_2 - V_{LR} - C_L, -(\Delta E_R - C_R - \Delta U)$
$P_5(1,1,0)$	$-(\Delta E_M - V_{ML} - C_M), -(\Delta E_L - C_L - V_{LM}), \Delta E_R + (1-\alpha)R_1 - V_{RM} + (1-\beta)R_2 - V_{RL} - C_R$
$P_6(1,0,1)$	$-(\Delta E_M + \alpha R_1 - V_{MR} - C_M), \Delta E_L + \beta R_2 - V_{LR} - V_{LM} - C_L, -[\Delta E_R + (1-\alpha)R_1 - V_{RM} - C_R - \Delta U]$
$P_7(0,1,1)$	$\Delta E_M + \alpha R_1 - V_{MR} - V_{ML} - C_M, -[\Delta E_L + \beta R_2 - V_{LR} - C_L], -[\Delta E_R + (1-\beta)R_2 - V_{RL} - C_R - \Delta U]$
$P_8(1,1,1)$	$-(\Delta E_M + \alpha R_1 - V_{MR} - V_{ML} - C_M), -[\Delta E_L + \beta R_2 - V_{LR} - V_{LM} - C_L], -[\Delta E_R + (1-\alpha)R_1 - V_{RM} + (1-\beta)R_2 - V_{RL} - C_R]$

力工具,结合演化博弈论在多个领域得到了广泛应用^[20-22]。为了更好地描述三方主体之间演化所能达到的稳定状态,本研究进一步采用系统动力学对上述演化博弈模型进行分析,研究多元主体行为策略稳定情况,以及各参数变量对多元主体行为策略选择变化的影响。

3 系统动力学模型与仿真分析

3.1 系统动力学模型

本研究应用 Vensim PLE 软件建立生产商、物

流商与零售商三者演化博弈的系统动力学模型见图2。状态变量有3个,分别为生产商进行农产品高质量商品化的概率(x)、物流商进行农产品高质量商品化的概率(y)和零售商进行农产品高质量商品化的概率(z);流率变量有3个,分别为生产商进行农产品高质量商品化的变化率 $F(x)$ 、物流商进行农产品高质量商品化的变化率 $F(y)$ 和零售商进行农产品高质量商品化的变化率 $F(z)$;9个辅助变量,20个外部变量。

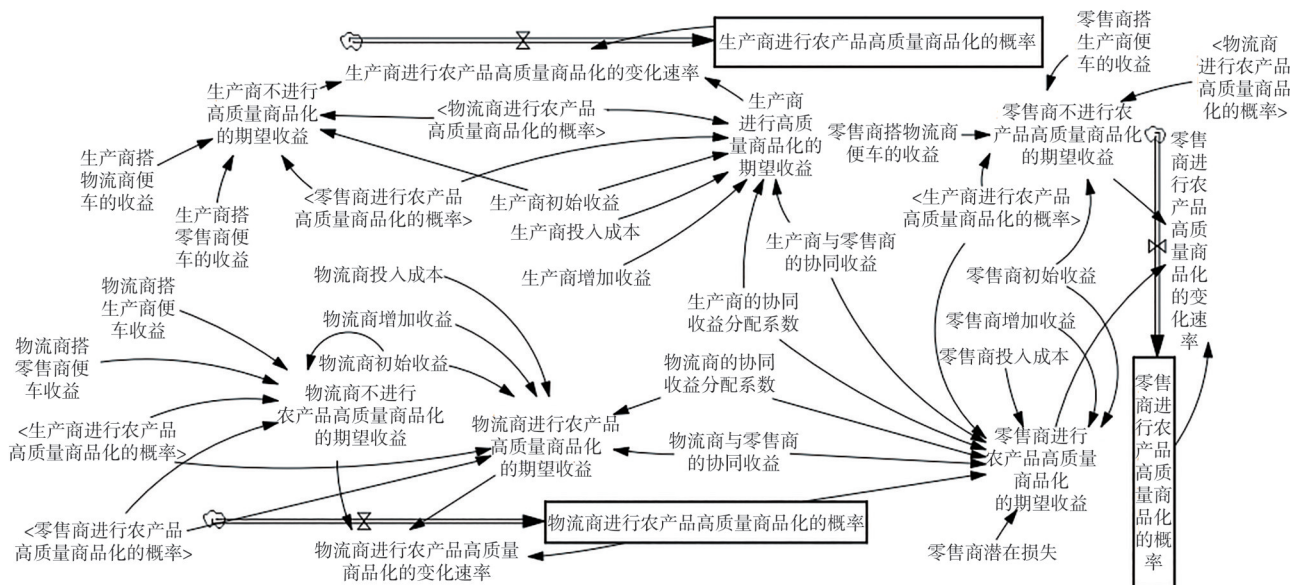


图2 农产品高质量商品化的系统动力学模型

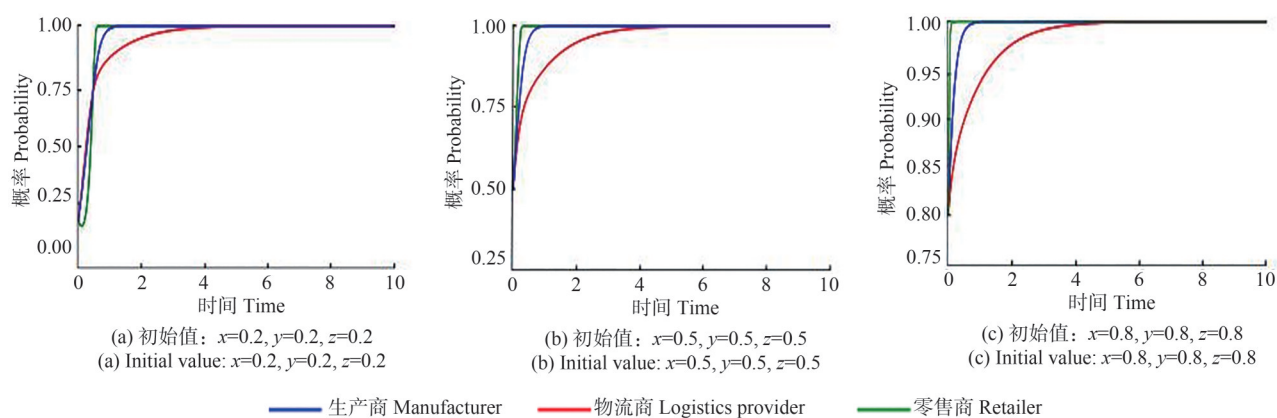
Fig. 2 System dynamics model of high-quality commercialization of agricultural products

3.2 初始策略仿真分析

在对农产品高质量商品化系统演化博弈仿真过程中,根据博弈模型稳定性分析结果,参数赋值应满足 $\Delta E_M + \alpha R_1 > V_{MR} + V_{ML} + C_M$; $\Delta E_L + \beta R_2 > V_{LR} + V_{LM} + C_L$; $\Delta E_R + (1 - \alpha)R_1 + (1 - \beta)R_2 > V_{RL} + V_{RM} + C_R$,同时借鉴已有类似文献^[23-24],查阅《中国统计年鉴》^[25]、《全国农产品成本收益资料汇编》^[26],考虑到农产品商品化成本较高,物流商的风险承担能力和投入成本等小于生产商与零售商,从而其收益增量相应较少,且物流商在农产品供应链中处于中间环节起到连接和运输的作用,更容易获得搭便车收益。本研究相关参数设置如下: $\Delta E_M = 21$, $\Delta E_L = 16$, $\Delta E_R = 20$, $C_M = 15$, $C_L = 8$, $C_R = 20$, $V_{ML} = 3$, $V_{MR} = 4$, $V_{LM} = 6$, $V_{LR} = 7$, $V_{RM} = 6$, $V_{RL} = 5$, $R_1 = 30$, $R_2 = 20$, $\alpha = 0.2$, $\beta =$

0.3。另外,设仿真起始时间(Initial time)为0;结束时间(Final time)为10;仿真步长(Time step)为0.0625。

本研究通过调整生产商、物流商和零售商的初始策略比例,探究初始策略对农产品高质量商品化系统演化结果的影响,结果见图3。生产商、物流商及零售商主体选择策略的初始比例对农产品高质量商品化系统收敛速度有一定程度的影响,且初始比例接近均衡点的策略会加速系统的收敛速度。因此,零售商应采用合理的协调方式鼓励生产商和物流商进行农产品高质量商品化,从而提高生产商及物流商进行农产品高质量商品化的概率,加速整个系统的收敛速度,使系统进入良性循环状态,最终实现农产品高质量商品化的目标。



x, y, z 分别表示生产商、物流商和零售商进行农产品高质量商品化的概率。

x, y and z represent the probabilities of high-quality commercialization of agricultural products by manufacturers, logistics providers and retailers respectively.

图3 初始策略对系统演化结果的影响

Fig. 3 Influence of initial strategy on system evolution results

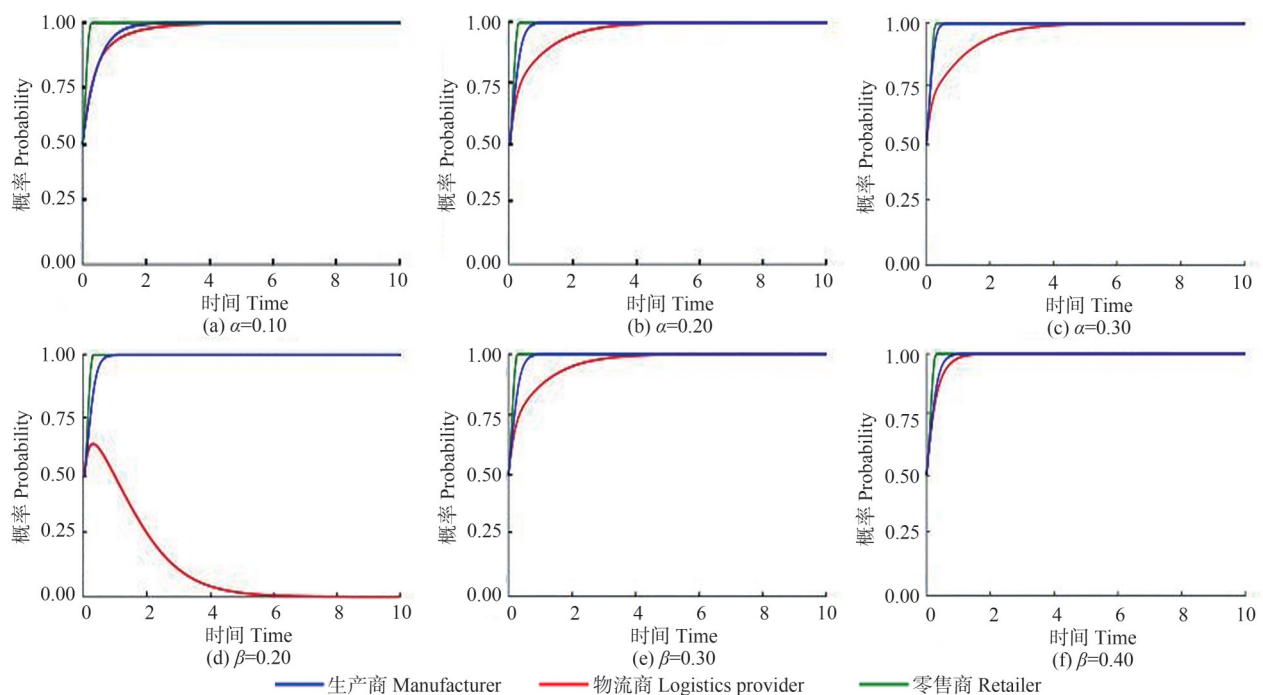
3.3 外生变量仿真分析

由 $P_8(1,1,1)$ 的稳定条件可知,只有当生产商、物流商及零售商进行农产品高质量商品化的收益大于不进行农产品高质量商品化的收益与进行农产品高质量商品化成本之和时,三方行为策略才会逐渐演化为{进行、进行、进行}。因此,以 $P_8(1,1,1)$ 为基

础,改变其中1个参数的数值,其他参数保持不变,探究外部变量对系统演化及主体策略选择的影响。

3.3.1 协同收益分配系数对系统演化结果的影响

为分析协同收益分配系数对农产品高质量商品化系统演化结果的影响,本研究分别针对不同协同收益分配系数进行数值仿真,结果见图4。随着



α 为生产商与零售商之间的协同收益分配系数; β 为物流商与零售商之间的协同收益分配系数。

α represents the sharing coefficients of synergistic revenue between the manufacturer and the retailer. β represents the sharing coefficients of synergistic revenue between the logistics provider and the retailer.

图4 协同收益分配系数对系统演化结果的影响

Fig. 4 Influence of sharing coefficient of synergistic benefits on system evolution results

协同收益分配系数的增大,处于供应链上游的生产商以及物流商的协同收益增多,倾向于进行农产品高质量商品化的速度增快,达到策略演化稳定的时间缩短。同时,也可以得出合理设置与物流商的协同收益分配系数是推进系统更快达到稳定状态的方式之一。

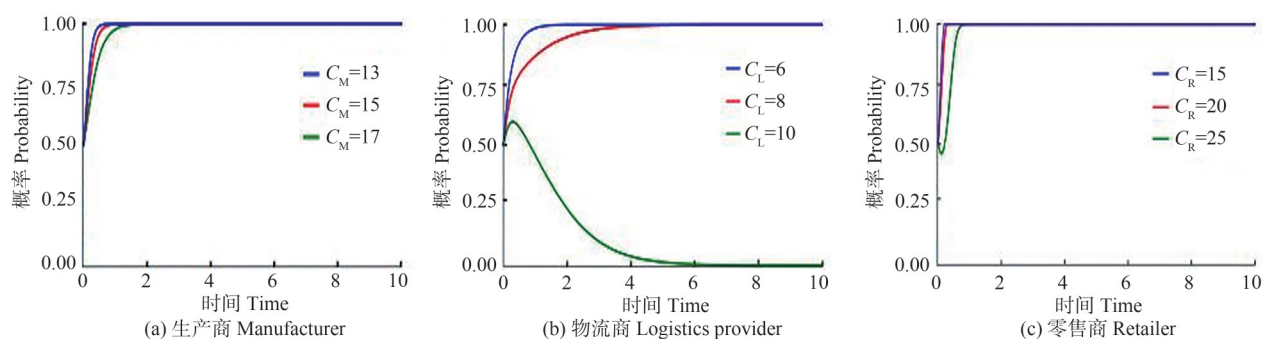
3.3.2 投入成本对系统演化结果的影响

本研究通过改变主体进行农产品高质量商品化的投入成本,进一步分析投入成本对三方主体演化结果的影响,结果见图5。当主体积极进行农产品高质量商品化的成本较高时,三方主体出于自身利益的考虑,倾向于选择不进行农产品高质量商品化。同时,由演化趋势可以看出,物流商进行农产品高质量商品化成本对于博弈系统影响相对显著。

因此,政府应出台并持续完善扶持政策以降低主体进行成本。

3.3.3 “搭便车”收益对系统演化结果的影响

在农产品高质量商品化中,由于主体注重自身利益最大化,参与意识淡薄,可能存在“搭便车”行为。本研究为分析“搭便车”收益对三方主体演化结果的影响,分别对不同的“搭便车”参数赋予不同数值,结果见图6。与正当收益不同,“搭便车”收益在于利用他人资源获得收益,即享受收益却不支付产生收益的均摊成本,对于推动生产商、物流商及零售商进行农产品高质量商品化实现系统稳定具有消极影响。图中可以看出,不断降低三方主体“搭便车”收益,提高参与主体的积极主动性,才有利于农产品高质量商品化的实现。

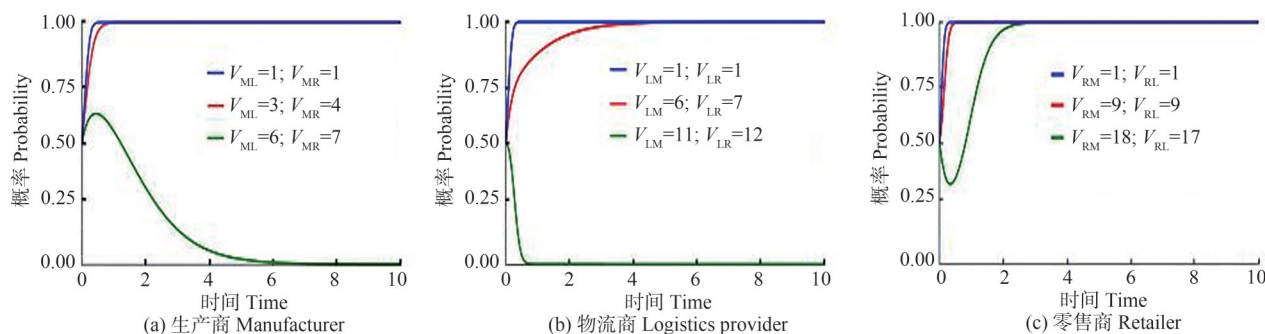


C_M 、 C_L 、 C_R 分别表示生产商、物流商和零售商进行农产品高质量商品化的投入成本。

C_M , C_L and C_R represent the costs of high-quality commercialization of agricultural products by manufacturers, logistics providers and retailers respectively.

图5 投入成本对三方主体演化结果的影响

Fig. 5 Influence of cost on each agent evolution results



V_{ML} 、 V_{MR} 分别表示生产商搭物流商与零售商便车的收益; V_{LM} 、 V_{LR} 分别表示物流商搭生产商与零售商便车的收益; V_{RM} 、 V_{RL} 分别表示零售商搭生产商与物流商便车的收益。

V_{ML} and V_{MR} represent the revenue that manufacturers get a free ride from logistics providers and retailers respectively. V_{LM} and V_{LR} represent the revenue that logistics providers get a free ride from manufacturers and retailers respectively. V_{RM} and V_{RL} represent the revenue that retailers get a free ride from manufacturers and logistics providers respectively.

图6 “搭便车”收益对三方主体演化结果的影响

Fig. 6 Influence of “free rider” revenue on each agent evolution results

4 结论与对策

本研究在生产商、物流商、零售商有限理性的前提下,构建农产品高质量商品化多元主体行为策略的演化博弈模型,结合系统动力学模型仿真,分析三方主体的稳定均衡状态及策略选择并探讨各外部变量对主体行为策略选择的影响。结果表明:1)只有当生产商、物流商及零售商进行农产品高质量商品化的收益与成本之差大于不进行农产品高质量商品化的收益时,才有利于供应链上的主体向实现农产品高质量商品化的方向演化。2)增加生产商与物流商的收益,让处于价值链低的主体获得更多收益是实现农产品高质量商品化的有效办法,对生产商、物流商及零售商三方演化博弈更快达到稳定状态非常有利。3)投入成本是影响博弈三方达成稳定状态的重要因素,成本增加直接影响三方主体积极进行农产品高质量商品化的概率,降低三方主体进行农产品高质量商品化的意愿。4)“搭便车”收益对三方主体进行农产品高质量商品化具有负向影响,防范“搭便车”行为将有效促进三方主体达成合作共赢。

基于以上研究结论,为更好地促进多元主体进行农产品高质量商品化,形成稳定高效的协同策略推进农产品高质量商品化实现,提出以下对策建议:

1)完善多元主体间的收益共享机制,激发并维持多元主体积极性。充分考虑供应链多元主体利益诉求,秉持地位权力平等原则、互惠互利原则、利益与风险挂钩原则、信息透明原则,制订一套公平、透明的收益分配方案,尽可能消除合作收益与投入成本分配不均衡问题,平衡多元主体间的利益关系,激发多元主体参与积极性,加强多元主体深度合作,推进农产品高质量商品化实现。

2)利用数字化技术强化供应链全链条信息共享,增强信息透明度减少主体“搭便车”行为。推动人工智能、大数据、区块链等新技术与供应链的深度融合,构建高效、安全且透明的供应链信息共享与交流新平台,提高多元主体信息交流与共享的效率与频次,减少信息不对称引起的“搭便车”行为。

3)充分发挥政府职能作用,完善农业扶持政策,加强政府动态监管,推动农产品高质量商品化实现。一方面,政府应强化财政保障,适度提高农业补贴力

度,适度调整财政补助范围与标准,降低主体进行农产品高质量商品化投入成本。另一方面,政府应加强信息公开程度和透明度,建立健全的监管体系和法规制度,利用现代科技手段提升监管效能,严格执行监管责任,加大对“搭便车”现象的查处力度,提高违规成本,营造公平竞争的市场环境。此外,政府应建立健全的信息服务体系,促进多元主体协同发展,鼓励主体间的合作,形成合作共赢的发展格局,从根本上减少“搭便车”行为的出现。

参考文献 References

- [1] 何奇龙, 郭萌, 罗兴. 基于电商价值链的农户绿色生产行为演化博弈[J]. 经济与管理, 2023, 37(6): 40-49
He Q L, Guo M, Luo X. Evolutionary game analysis of farmers' green production behavior from the perspective of the E-commerce value chain[J]. *Economy and Management*, 2023, 37(6): 40-49 (in Chinese)
- [2] 李雪, 吕新业. 现阶段中国粮食安全形势的判断: 数量和质量并重[J]. 农业经济问题, 2021, 42(11): 31-44
Li X, Lyu X Y. Judgment of China's food security situation at the present stage: Pay equal attention to quantity and quality[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(11): 31-44 (in Chinese)
- [3] 薛洲, 高强. 从农业大国迈向农业强国: 挑战、动力与策略[J]. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2023, 23(1): 1-15
Xue Z, Gao Q. Moving from a large agricultural country to an agricultural powerhouse: Challenges, drivers and strategies[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2023, 23(1): 1-15 (in Chinese)
- [4] Tabe Ojong M P, Hauser M, Mausch K. Does agricultural commercialisation increase asset and livestock accumulation on smallholder farms in Ethiopia?[J]. *The Journal of Development Studies*, 2022, 58(3): 524-544
- [5] Ogutu S O, Qaim M. Commercialization of the small farm sector and multidimensional poverty[J]. *World Development*, 2019, 114: 281-293
- [6] 张瑞静. 近代华北乡村农产品商品化与农业发展的历史考察[J]. 天津师范大学学报: 社会科学版, 2020(4): 29-34
Zhang R J. A study on the interactive development of rural commercialization and agriculture in modern North China[J]. *Journal of Tianjin Normal University: Social Science*, 2020(4): 29-34 (in Chinese)
- [7] Cazzuffi C, McKay A, Perge E. The impact of agricultural commercialisation on household welfare in rural Vietnam [J]. *Food Policy*, 2020, 94: 101811
- [8] 樊立惠, 王鹏飞. 中国农产品批发市场时空演化与商品化效应[J]. 经济地理, 2019, 39(7): 175-183
Fan L H, Wang P F. The spatial and temporal evolution of China's wholesale market for agricultural products and its commodification effect[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(7): 175-183 (in Chinese)
- [9] 樊立惠, 王鹏飞, 于伟, 赵庆磊, 苏铮. 商品化视角下欠发达地区农业型乡村转型实证研究: 以河北唐县为例[J]. 经济地理, 2023, 43(2): 155-164
Fan L H, Wang P F, Yu W, Zhao Q L, Su Z. Agriculture-type rural transformation in underdeveloped areas of China from the perspective of commercialization: A case study of Tang County in Hebei[J]. *Economic*

- Geography*, 2023, 43(2): 155-164 (in Chinese)
- [10] Ogutu O S, Gödecke T, Qaim M. Agricultural commercialisation and nutrition in smallholder farm households [J]. *Journal of Agricultural Economics*, 2020, 71(2): 534-555
- [11] Zheng H Y, Ma W L. Impact of agricultural commercialization on dietary diversity and vulnerability to poverty: Insights from Chinese rural households[J]. *Economic Analysis and Policy*, 2023, 80: 558-569
- [12] 郭晨光, 熊学萍. 充分发挥期货市场对农业农村现代化的服务功能[J]. 农业经济问题, 2021, 42(3): 75-87
- Guo C G, Xiong X P. Function of agricultural futures market in serving agricultural and rural modernization[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(3): 75-87 (in Chinese)
- [13] 王水平. 农产品商品化设备使用率调查研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(3): 143-150
- Wang S P. Investigation and research on the utilization rate of commercialization equipment for agricultural products [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(3): 143-150 (in Chinese)
- [14] 叶兴庆. 迈向2035年的中国乡村: 愿景、挑战与策略[J]. 管理世界, 2021, 37(4): 98-112
- Ye X Q. China's rural areas toward 2035: Vision, challenges and strategies[J]. *Journal of Management World*, 2021, 37(4): 98-112 (in Chinese)
- [15] 陈德仙, 胡浩, 黄中伟, 戈阳. 现阶段家庭农场的生产经营特征分析: 基于长江中下游地区的监测数据[J]. 农业经济问题, 2021, 42(8): 73-82
- Chen D X, Hu H, Huang Z W, Ge Y. Analysis on the production and operation characteristics of family farms at present stage: Based on monitoring data in the middle and lower reaches of the Yangtze River[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(8): 73-82 (in Chinese)
- [16] 黎红梅, 周冲. 全面推进乡村振兴背景下农村高效物流体系构建分析[J]. 理论探讨, 2021(3): 139-144
- Li H M, Zhou C. Analysis on the construction of rural efficient logistics system under the background of promoting rural revitalization in an all-round way [J]. *Theoretical Investigation*, 2021(3): 139-144 (in Chinese)
- [17] 唐俊杰. 大力推动农产品产地商品化[J]. 北京观察, 2021(3): 30
- Tang J J. Vigorously promote the commercialization of agricultural products[J]. *Beijing Observation*, 2021(3): 30 (in Chinese)
- [18] 罗必良. 加快发展农业新质生产力[N]. 南方日报, 2024-3-18(A07)
- Luo B L. Accelerate the development of new quality agricultural productivity[N]. *Nanfang Daily*, 2024-3-18(A07) (in Chinese)
- [19] Friedman D. Evolutionary games in economics[J]. *Econometrica*, 1991, 59(3): 637
- [20] 储涛, 钟永光, 孙浩, 贾伟强. 考虑消费者碳责任的家电产业“碳中和”路径研究[J/OL]. 系统工程理论与实践, 2023: 1-25 (2023-11-03). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20231102.1713.028.html>
- Chu T, Zhong Y G, Sun H, Jia W Q. Research on the “carbon neutrality” path of the household appliance industry considering consumer carbon responsibility[J/OL]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2023: 1-25 (2023-11-03). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2267.N.20231102.1713.028.html> (in Chinese)
- [21] 靳杰, 赵秋红. 考虑季节因素的非规模畜禽养殖废弃物第三方治理稳定性促进机制研究[J/OL]. 运筹与管理, 2023: 1-8 (2023-03-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1133.G3.20230302.0911.002.html>
- Jin J, Zhao Q H. A study on stability promotion mechanism of the third-party governance pattern of non-scale livestock and poultry waste with consideration of seasonal factor [J/OL]. *Operations Research and Management Science*, 2023: 1-8 (2023-03-02). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1133.G3.20230302.0911.002.html> (in Chinese)
- [22] 邵志国, 李梦笛, 韩传峰, 孟令鹏, 吴启迪. 基于演化博弈的建筑垃圾处理协同机制及仿真[J/OL]. 中国管理科学, 1-14[2023-12-28] <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1728>
- Shao Z G, Li M D, Han C F, Meng L P, Wu Q D. Simulation and cooperative mechanism of construction waste disposal based on evolutionary game[J/OL]. *Chinese Journal of Management Science*, 1-14[2023-12-28] <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2021.1728> (in Chinese)
- [23] 刘晓丽, 傅杰勇, 陈鲲鹏. 农产品电商参与主体的合作行为分析: 基于农产品质量安全可追溯[J]. 管理现代化, 2023, 43(4): 159-166
- Liu X L, Fu J Y, Chen K L. Analysis on the cooperative behavior of participants in E-commerce of agricultural products: Based on traceability of agricultural products quality and safety [J]. *Modernization of Management*, 2023, 43(4): 159-166 (in Chinese)
- [24] 王华辉, 张成堂. 生产商、批发商和销售商信息合作行为的演化博弈[J]. 重庆工商大学学报: 自然科学版, 2022, 39(4): 60-71
- Wang H H, Zhang C T. Evolutionary game of information cooperation behavior of manufacturers, wholesalers and sellers [J]. *Journal of Chongqing Technology and Business University: Natural Science Edition*, 2022, 39(4): 60-71 (in Chinese)
- [25] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023
- Nation Bureau of Statistics. *China Statistics Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023 (in Chinese)
- [26] 中华人民共和国国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社, 2023
- Price Department of the National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. *National Compilation of Cost-Benefit Data of Agricultural Products* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2023 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 詹帅, 博士, 副教授, 服务管理与协同创新研究中心主任。中国农业工程学会农业系统工程专业委员会委员。从事农产品供应链、农产品质量安全研究。主持参与国家级及省部级科研项目20余项, 其中主持国家社科基金项目2项, 中国博士后科学基金项目1项, 浙江省社会科学重点研究项目1项, 黑龙江省博士后基金项目及黑龙江省哲学社会科学项目各1项。获黑龙江省社会科学优秀成果奖二等奖及三等奖, 黑龙江省高校人文社科优秀成果一等奖等奖项。发表论文约20篇, 由国家一级出版社出版专著3部。