第41卷，第1期
2020年1月
中国农业资源与区划
Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning
Vol. 41, No. 1, pp98-104
January, 2020

doi：10.7621/cjarrp.1005-9121.20200113

·现代农业·

农产品供应链重构风险传导SIR建模与仿真研究*

张阐军

（武汉轻工大学经济与管理学院，湖北武汉 430048）

摘 要 ［**目的**］利用动力学SIR模型模拟农产品供应链重构内生风险传导过程，以期在有效把握核心重构风险传导规律基础上为整体管控重构进程风险提出前瞻性思路。［**方法**］基于农产品供应链重构风险整体构架和重构进程风险传导复杂网络，以湖北省243家大型连锁超市生鲜农产品供应链2007—2017年重构样本数据为研究对象，建立重构进程内生风险传导SIR模型和规划演化模式，利用Matlab软件对模型仿真得到有效管控状态下演化趋势。［**结果**］在以战术性重构为主导组织结构战略性重构中进程风险传导安全边际X_{1s}超过50%，决定了其净风险阈α_0（i）、β_0（i），相应的业务单元和功能模块重构进程风险预警和风险恢复能力提高值是主控指标，对进程风险传导感染率x_1（i）和恢复率x_2（i）起主导作用。［**结论**］近年来土地流转驱动农产品供应链重构中组织结构重构整体具有战略性，在以战术性重构为主导风险传导管控中重点应加强业务单元和功能模块重构进程在重构易感状态（S）、感染传播状态（I）管控能力，能有效降低波动幅度。

关键词 农产品供应链 重构风险 传导 SIR建模 土地流转

中图分类号：F324.6 **文献标识码**：A **文章编号**：1005-9121［2020］01098-07

0 引言

当前，我国农业现代化改革进入新阶段，农产品供应链重构日益常态化。与此同时，由于对农产品供应链风险及其传导缺乏有效管控措施导致风险失控甚至重大风险事故履次发生，而供应链重构本身就是高风险事件。国内外研究农产品或食品供应链风险文献较多，但有关重构风险传导研究不多。Roth等[1]研究指出那些低透明度多层次供应链特别容易受到食品质量风险影响。Bekele等[2]对瑞典食品供应链可持续性进行了评价。Diabat等[3]利用解释结构模型（ISM）建立一套分析食品供应链风险模型，将风险分为5类。颜波等[4]在总结物联网环境下农产品供应链风险因素基础上利用OWA算子对其进行定量评估与排序。关于供应链风险传导研究，国内外早期侧重于金融业、制造业风险与危机方面，近年来有所扩展。李刚[5]指出供应链风险传导包括风险源、传导介质、传导节点、风险接受者4个基本构件。程国平，邱映贵[6]通过归纳分析得出供应链风险传导5种基本模式。靳淑平[7]提出我国现代农业发展不协调4种表现状态。陈倬等[8]利用SIR模型模拟粮食供应链网络风险传播过程。此外，更多学者聚焦于供应链风险普遍性问题研究，比如供应链风险概念、识别分类、评估及预警机制和控制策略等。在我国“三农”政策不断持续推进背景下农产品供应链重构相关重构理论支撑和风险保障机制还较薄弱，市场环境和管理实践欠科学和规范。文章基于以往学者供应链风险管理相关研究成果，利用动力学SIR模型模拟农产品供应链重构内生风险传导过程，以期在有效把握核心重构风险传导规律基础上为整体管控重构进程风险提出前瞻性思路。

收稿日期：2018-06-09

作者简介：张阐军（1976—），男，湖北天门人，博士、副教授。研究方向：农业生产管理。Email：zcj99@126.com

*资助项目：教育部人文社科青年基金项目“农村土地流转背景下我国农产品供应链重构保障机制研究”（15YJC630167）；湖北省教育厅哲学社科研究项目“湖北省农村土地流转规模对主粮生产率的影响研究”（19Y076）

1　重构风险传导相关研究进展分析

供应链重构风险传导控制是整体重构风险管理核心和重点，属于供应链重构风险管理研究范畴。国外学者在 20 世纪 90 年代后期正式提出供应链风险，之后引起越来越多学者和企业管理者重视。McFarland 等[9]对供应链网络在不同拓扑模型下风险演化复杂性过程进行了定性分析。Acuna 等[10]利用 SAPI 模型研究验证了供应链风险传导的复杂性。Wieland，Wallenburg[11]利用结构方程模型（SEM）验证了供应链风险管理有助于通过支持健壮性和反应性来支持敏捷性，且稳健性被认为是处理供应商侧风险基本前提，而敏捷性是处理客户侧风险所必需的。Swierczek[12]在研究供应链中断风险过程中指出影响物流和信息流中断程度强弱的因素之一是供应链集成维度。国内对供应链风险的研究始于 20 世纪末 21 世纪初。付焯等[13]研究表明在链式供应链沿单一物流方向传递情况下对关键节点风险要素优化后能有效减少供应链风险值。总体而言，国内外文献专注于农产品或食品供应链重构风险传导研究较有限，现有研究不足主要是在整体传导框架、传导要素和模式设计与方法应用等方面还较模糊和零散。具体表现为：①国内外早期相关研究大多把供应链重构风险及其传导作为供应链风险管理内容整合对待，少有明确、清晰的细分独立研究。②近年来国内外不少学者开始聚焦于供应链重构风险及其传导管理研究，但同供应链风险管理研究路径和内容基本一致，且侧重于金融业、制造业风险管理。在农产品供应链风险管理领域的研究主要是针对农产品产业链和产品特性以风险定义、识别分类、评价及其管理对策等的探讨和改进分析为主。③现有相关农产品供应链风险传导研究多集中于供应链结构风险或某一环节业务风险，主要涉及相关风险要素评估、风险传导模式分析和传导管控战术性对策探讨与传播规则研究等，而战略性要素考虑不足。对农产品供应链重构风险传导针对性评估、管控规则和对策等相关研究不深入。④相关农产品供应链重构风险传导研究路线与方法较零散，少有基于完整、清晰的供应链重构框架与风险传导模式界定下的建模与仿真等研究，导致研究思路和结论代表性、示范性欠明确。基于我国农业改革和农产品供应链发展管理现状与重要性，其重构风险传导管理在政府农业改革政策和部分先行者带动下已成为前沿性研究领域，必将引起越来越多学者和企业管理者重视。

农产品供应链重构风险伴随着整个重构过程，具有典型动态传导特征。综合国内外对供应链风险定义、分类和农产品供应链特点，将农产品供应链重构风险界定为外生风险、内生风险和保障风险。重构外生风险表现较宽泛，比如重构网络连接随机性与结构脆弱性风险、重构个体选择与经营风险、供应链市场运作与经营风险等。基于农产品供应链全周期重构框架[14]，重构方案实施阶段属于内生风险，表现为具体重构活动风险。保障风险与重构全周期各阶段密切相关。因此，在重构风险传导主路径上表现为外生风险传导、内生风险传导和保障风险传导。内生风险是重构风险传导核心，也是农产品供应链重构风险管控重点。

2　重构内生风险传导 SIR 建模

把农产品供应链各成员重构进程抽象成传导节点（如组织结构、业务单元和功能模块重构节点），各重构进程信息关联路径抽象成节点之间边（或弧），形成一个复杂风险传导网络。传导网络中每个节点都是风险载体，边（或弧）是风险传导载体。对重构风险传导起核心控制作用是供应链核心企业，核心企业主导农产品供应链重构内生风险传导与传染病毒传播有高度相似性，加上前期已有学者将 SIR 模型在供应链网络建模中成功应用，证明 SIR 模型在农产品供应链重构内生风险传导建模中可行性。

2.1　模型假设

供应链重构风险传导与传染病毒传播相似，通常有潜伏期、爆发期和恢复期。在农产品供应链重构进程节点所组成网络中，每个节点处于 3 种状态之一，即重构易感状态 S（Susceptible），数量为 S（t），表示 t 时刻未感染但有可能被传染进程数；感染传播状态 I（Infectious），数量为 I（t），表示 t 时刻已被感染具有传染力进程数；恢复状态 R（Recovered），数量为 R（t），表示 t 时刻已从传染进程中移出进程数。

（1）假设针对某一重构方案进程总数（度）为 N_p，且为常数，即 $N_p = S(t) + I(t) + R(t) \equiv K$。特定重构方案中组织结构重构、业务单元重构和功能模块重构进程数分别表示为 N_{pz}、N_{py} 和 N_{pg}，则有 N_{pz}、N_{py} 和 N_{pg}。风险沿重构进程演化路径传导，传导网络的边代表进程之间重构活动往来，权重 w_{ij} 表示进程间重构活动关联密切程度，且每个成员在任意时间 t 只能启动一个重构进程 i。

（2）假设风险传导途径为节点间（有连接边）直接活动，没有信息往来进程之间风险不会传导。净风险阈 $\alpha_0(i)$、$\beta_0(i)$ 分别表示重构节点 i 净风险预警能力和净风险恢复能力，净风险阈值与供应链主体规模有关，取 $\alpha_0(i) = [S_{z0}(i) + S_{y0}(i) + S_{g0}(i)]/K$，$\beta_0(i) = [R_{z0}(i) + R_{y0}(i) + R_{g0}(i)]/K$；风险阈 $\alpha_{ij}(t)$ 表示重构时间 t 易感节点 i 对感染节点 j 风险传染抵抗力（免疫率），$\alpha_{ij}(t)$ 与节点间权重 w_{ij}、重构进程梯度 $\eta_i(t)$（即与农产品供应链核心企业重构进程关联度）正相关，c 表示核心企业，则 $\eta_i(t) = [S_i(t) + I_i(t) + R_i(t)] / [S_c(t) + I_c(t) + R_c(t)]$，$\alpha_{ij}(t) = w_{ij}\eta_i(t)$。相应地，易感节点 i 受到所有连接感染节点综合影响力 $\alpha_i(t) = 1 - \prod(1 - \alpha_{ij}(t))$。

（3）易感节点 i 时间 t 受感染概率 $x_1(i, t)$ 与以下 3 个因素有关，即节点净风险预警能力 $\alpha_0(i)$、供应链重构对节点风险预警能力提高值 $\alpha_h(i, t)$、连接感染节点对其综合影响力 $\alpha_i(t)$。计算公式为：$x_1(i, t) = [1 - \alpha_0(i)][1 - \alpha_h(i, t)][1 - \prod(1 - \alpha_{ij}(t))]$

（4）在农产品供应链重构风险正常管控状态下，已感染节点在经历一段感染期后，能从风险感染状态恢复过来。感染节点 i 时间 t 恢复概率 $x_2(i, t)$ 与 2 个因素有关，即节点净风险恢复能力 $\beta_0(i)$、供应链重构对节点风险恢复能力提高值 $\beta_h(i, t)$。计算公式为：$x_2(i, t) = 1 - [1 - \beta_0(i)][1 - \beta_h(i, t)]$。相应地，在感染期间该节点 i 所受损失 $\theta(i)$ 与其节点风险传染抵抗力 $\alpha_{ij}(t)$ 负相关，与感染时间 $T(i, t)$ 正相关，表现为节点综合影响力 $\alpha_i(t)$ 下降。计算公式为：$\theta(i) = \int T(i, t)dt / \sum_{j=1}^{l} \alpha_{ij}(t)$

2.2 演化规则与模型

根据假设，风险传导路径整体上受核心企业重构战略影响和战术驱动，易感节点 i 在时间 t 以感染概率 $x_1(i, t)$ 被传染风险，同时受感染节点 j 在时间 t 以恢复概率 $x_2(j, t)$ 由风险传染状态恢复为正常状态。此时，节点 j 综合影响力 $\alpha_j(t)$ 下降 $\theta(j)$，即重构进程 j 受感染时间越长综合影响力下降越多，与农产品供应链核心企业重构进程关联度越小，再次被感染概率下降，有利于系统风险传导在较低重构风险阈达到新平衡。整体而言，重构周期方案实施有 3 种风险传导模式。

（1）系统风险传导处于有效管控状态。此模式下风险传导过程始终处于供应链核心企业有效控制下，风险传导安全边际较高，即 $\int T(i, t)dt / \{\sum_{i=1}^{I}[x_1(i, t)] - \sum_{j=1}^{R}[x_2(j, t)]\} \geqslant X_{1s}$，$X_{1s}$ 为系统重构方案安全边际。风险传导网络中整体进程免疫度随着重构进程推进稳定增加（免疫度与风险阈正相关）。通过重构使农产品供应链系统达到新战略与战术高度，重构目标全部或超额完成。

（2）系统风险传导处于次有效管控状态。此模式下系统风险传导过程中有部分进程风险脱离供应链核心企业有效控制，但仍处于供应链重构保障风险控制下，风险传导安全边际居中，即 $0 \leqslant \int T(i, t)dt / \{\sum_{i=1}^{I}[x_1(i, t)] - \sum_{j=1}^{R}[x_2(j, t)]\} < X_{1s}$。通过农产品供应链重构保障策略能够回归正常重构状态，系统风险传导能够在较低重构风险阈达到新平衡，农产品供应链系统达到新战术高度，重构目标部分完成。

（3）系统风险传导失控状态。此模式下风险传导网络中整体进程风险感染率超越临界值，即 $\int T(i, t)dt / \{\sum_{i=1}^{I}[x_1(i, t)] - \sum_{j=1}^{R}[x_2(j, t)]\} < 0$。风险传导安全边际较低，重构实施因中断而失败。

根据 SIR 基础模型，基于以上假设建立农产品供应链重构内生风险传导演化模型为：

$$\begin{cases} \dfrac{dS(t)}{dt} = -x_1(i, t)S(t)I(t) \\ \dfrac{dI(t)}{dt} = x_1(i, t)S(t)I(t) - x_2(i, t)I(t) \\ \dfrac{dR(t)}{dt} = x_2(i, t)I(t) \end{cases} \tag{1}$$

$$s.t.\quad 0\leqslant\int \alpha_i(t)\,\mathrm{d}t-\theta(i)\leqslant 1$$
$$0\leqslant x_1(i,t)\leqslant 1$$
$$0\leqslant x_2(i,t)\leqslant 1$$

2.3　模型推导

由演化模型可知，所建立微分方程组以 3 种状态进程数变化为纽带，求关于 $S(t)$、$I(t)$ 和 $R(t)$ 每一具体重构阶段进程数变系数微分方程组。因此，首先对变系数 $x_1(i,t)$ 和 $x_2(i,t)$ 分别进行分解，忽略$(t)^2$ 项得到：

$$\begin{cases} x_1(i,t)=[1+\alpha_0(i)]\prod(1-\alpha_{ij}(t))+[1-\alpha_0(i)]\alpha_h(i,t) \\ x_2(i,t)=[1-\beta_0(i)]\beta_h(i,t)+\beta_0(i) \end{cases} \tag{2}$$

代入主变量 $S(t)=S_z(t)+S_y(t)+S_g(t)$，将传导模型在传导周期 T 内进行分解求积分。在完整重构周期内假设易感节点 i 所受到综合影响力 $\alpha_i(t)$ 在重构完成后达到理想状态，即节点间相互影响接近 1，达到完全状态，供应链通过重构形成稳定一体化战略联盟，即$\int\prod(1-\alpha_{ij}(t))\mathrm{d}t=0$；此时，重构节点风险预警能力提高值$\int\alpha_h(i,t)\mathrm{d}t$ 和风险恢复能力提高值$\int\beta_h(i,t)\mathrm{d}t$ 趋于 0，且令 $\mathrm{I}(0)=0$。代入分解式化简得到反应重构易感状态 S 具体重构阶段进程数演化函数：

$$\frac{(1+w_i\eta_i)\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}S_z(t)+\frac{1+\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}S_y(t)+(1-\alpha_0(i))S_g(t)+2\beta_0(i)-1=0 \tag{3}$$

同理，代入主变量 $\mathrm{I}(t)=\mathrm{I}_z(t)+\mathrm{I}_y(t)+\mathrm{I}_g(t)$，将传导模型在传导周期 T 内进行分解求积分得到反应感染传播状态 I 具体重构阶段进程数演化函数：

$$\frac{1-\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}I_z(t)+\frac{(1+w_i\eta_i)\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}I_y(t)+(\alpha_0(i)-\beta_0(i))I_g(t)-0.5\beta_0(i)=0 \tag{4}$$

代入主变量 $R(t)=R_z(t)+R_y(t)+R_g(t)$，将传导模型在传导周期 T 内进行分解求积分得到反应感染恢复状态 R 具体重构阶段进程数演化函数：

$$\frac{1-\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}R_z(t)+\frac{1+\alpha_0(i)}{w_i\eta_i}R_y(t)+\frac{(1+w_i\eta_i)\beta_0(i)}{w_i\eta_i}R_g(t)-\beta_0(i)=0 \tag{5}$$

此外，针对 3 种进程风险传导模式，对传导演变概率系数 $x_1(i,t)$ 和 $x_2(i,t)$ 分别求导得到重构传导周期平均感染率和平均恢复率：

$$\begin{cases} \dfrac{\mathrm{d}x_1(i,t)}{\mathrm{d}t}=-[1-\alpha_0(i)]\dfrac{\mathrm{d}(1-\alpha_i(t))}{\mathrm{d}t}-[1+\alpha_0(i)]\dfrac{\mathrm{d}\alpha_h(i,t)\alpha_i(t)}{\mathrm{d}t} \\ \dfrac{\mathrm{d}x_2(i,t)}{\mathrm{d}t}=[1-\beta_0(i)]\dfrac{\mathrm{d}\beta_h(i,t)}{\mathrm{d}t} \end{cases} \tag{6}$$

3　农产品供应链重构风险传导仿真

我国农产品种类多，供应链重构风险要素复杂。王倩等[15]指出流转市场、比较收益、政府引导是保障有效流转三大主要驱动力。谭丹[16]从知识溢出视角探讨集成化农产品绿色供应链市场参与者收益和均衡策略，分析了合作与不合作两种情形风险。以我国目前主流的以大中型连锁超市集团“超市 + 生鲜区”为核心主体生鲜农产品供应链为例，结合以上模型对其重构风险传导进行仿真分析。

3.1　样本处理

以“土地流转引发以大型连锁超市为核心主体农产品供应链向兼具多角色可变核心主体供应链重构”为调研主题，以大型连锁超市集团湖北省分店为主要调查对象，比如沃尔玛（30 家）、家乐福（12 家）、大润发（11 家）、华润苏果（21 家）和中百仓储（169 家）等共计 243 家，基本代表了我国中部地区现代生鲜农产品供应链核心主体。通过实地调研、查阅公司网站和统计报表，针对以上 243 家连锁超市生鲜

农产品供应链供给端成员 2007—2017 年通过土地流转扩大经营规模开展供应链重构组成重构风险传导网络。收集在供应链重构中进程风险传导时间、周期、关联数量、类型以及成功与失败次数等数据以季度为时间单位形成样本数据。考虑供应链重构周期和鲁棒性，参数以年平均重构周期为时间单位。因此，假设每个重构进程节点间权重为 1，每个农产品供应链成员权重 w_i 为其参与重构进程节点数，核心主体权重 w_c 为其影响所有进程数，即 K。核心主体重构进程梯度 η_c 为 1，核心主体各节点净风险预警能力 α_0（c）和净风险恢复能力 β_0（c）取中间值，即 0.5，则农产品供应链其他各节点净风险预警能力 α_0（i）和节点净风险恢复能力 β_0（i）以此为基础按进程梯度 η_i 成比例递减。另外，考虑连锁超市进入湖北时间和地区不平衡性，核心主体规模取对应类型核心主体数量/同期对应类型节点数量，关联规模取关联节点数量/K。通过样本数据处理得到基于土地流转农产品供应链重构风险演化数据年平均值如表 1。

表 1　2007—2017 年基于土地流转农产品供应链重构年风险演化数据整理

时间	供给端核心主体规模	关联规模	K	w_i	α_0（i）	β_0（i）	X_{1a}	超市核心主体规模
2007	0.06	0.51	35	6	0.25	0.21	0.54	0.83
2008	0.11	0.55	30	11	0.30	0.24	0.51	0.85
2009	0.12	0.61	44	15	0.35	0.25	0.49	0.90
2010	0.15	0.68	65	23	0.33	0.24	0.51	0.95
2011	0.19	0.71	73	25	0.38	0.30	0.54	0.97
2012	0.21	0.75	82	30	0.37	0.28	0.55	0.93
2013	0.20	0.77	71	26	0.33	0.30	0.57	0.87
2014	0.21	0.80	89	32	0.35	0.35	0.56	0.83
2015	0.24	0.81	101	45	0.34	0.36	0.58	0.80
2016	0.25	0.85	121	48	0.32	0.33	0.57	0.80
2017	0.28	0.84	106	47	0.30	0.31	0.58	0.81
均值	0.184	0.716	75	28	0.329	0.288	0.545	0.867

3.2　仿真分析

根据模型假设和基于湖北省生鲜农产品供应链重构风险参数设置，首先以重构方案实施风险传导理想模式，即系统风险传导处于有效管控状态进行仿真试验。此时，风险传导安全边际较高，取样本平均值，即 $X_{1s}=0.545$；然后，利用 Matlab 软件对模型推导结果公式（3）、（4）、（5）分别编写 M 函数 sir1.m、sir2.m 和 sir3.m；最后，针对 M 函数编写 M 可执行文件 sirrun.m 调用 M 函数执行样本数据进行仿真。每个 M 函数执行 50 次，仿真结果取平均值。运行显示风险传导模式为系统风险传导处于有效管控状态下年重构周期传导演化结果分别如图 1、2、3 所示。

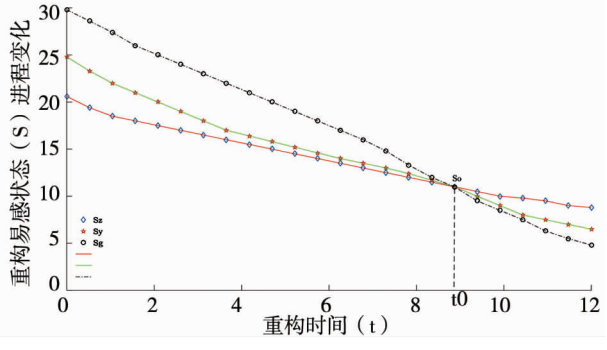

图 1　重构易感状态（S）周期风险传导进程变化

重构易感状态（S）下组织结构重构周期进程数下降较平缓，交叉点 S_0 为供应链重构系统风险传导稳定平衡点，S_0 点之前系统风险以功能模块重构进程为主导，之后则以组织结构重构进程为主导，对应平均进程数 12。相对于样本总体平均 75 进程数，12/75 = 0.16 表明系统重构安全边际，$0.16<\overline{x_{1s}}=0.545$，即核心企业主导绝对安全状态；另一方面也表明在土地流转驱动以大型连锁超市为核心主体农产品供应链向以供应商为核心主体农产品供应链重构过程中重构重点和主要进程为业务单元重构和功能模块重构，而功能模块重构进程风险在重构易感状态是传导主体，是管控关键。相应地，业务单元重构进程风险易感状态进程在 S_0 点之前跟随组织结构重构进程风险较明显，在 S_0 点之后则跟随功能模块重构进程风险较明显。

重构感染传播状态（I）下进程变化呈抛物线状态，重构感染周期内交叉点 I_0 和 I_1 点分别为重构进程感染传播风险“扩散—收敛”转换临界点。图中 I_1 点略高于 I_0 点且转换时间也略有提前说明重构周期内

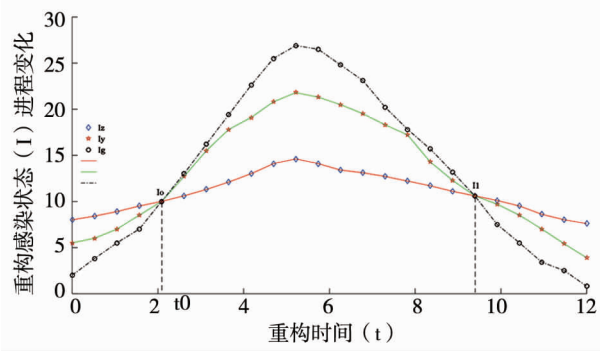

图 2　重构感染状态（*I*）周期风险传导进程变化

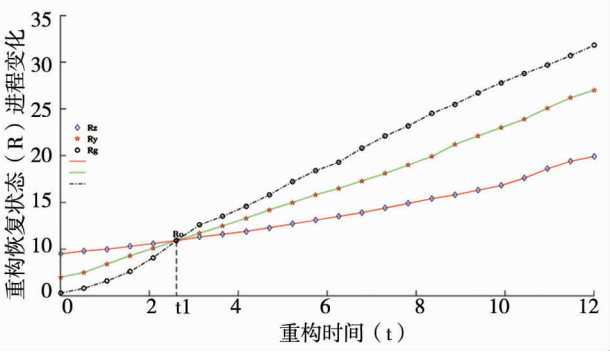

图 3　重构恢复状态（*R*）周期风险传导进程变化

系统整体进程风险在较快速恢复，交叉点 I_0 和 I_1 之间为整体重构进程感染风险爆发状态，随时可能失控。具体而言，组织结构重构进程感染变化起伏较平缓，但初始感染进程数最多；功能模块重构初始感染进程数最少，但周期内进程几乎全部被感染；业务单元重构进程感染变化居于两者之间，且跟随功能模块重构进程感染状态较明显。说明重构周期内风险传导感染主体仍然是功能模块重构进程。

重构恢复状态（*R*）周期内交叉点 R_0 为感染进程风险恢复临界点，R_0 点之前处于高风险状态，之后则进入风险传导管理安全状态。在恢复状态下，组织结构重构初始进程数最多，但恢复最缓慢；功能模块重构初始进程数最少，接近于 0，但恢复速度最快；业务单元重构初始进程数居中，恢复速度也居中。说明功能模块重构进程执行较彻底，也最易于被重构，进程风险传导流动性最强，相对而言组织结构重构进程执行难度最大，最不易被重构，进程风险流动性也最小，而业务单元重构进程居中。

此外，由方程组（6）可知，在系统风险传导处于有效管控状态下重构传导周期平均感染率呈下降趋势和平均恢复率呈上升趋势，图 1、2、3 也证明了此结论；在处于次有效管控状态下平均恢复率和平均感染率受 α_h（i，t）、β_h（i，t）值影响呈梯度波动状态。因此，对于农产品供应链重构系统风险传导模式处于次有效管控状态和风险传导失控状态下仿真可在以上基础上通过调整风险传导安全边际参数 X_{1_s} 和限定各阶段进程风险传导临界点值进行风险分类处理，该文限于篇幅对此不作深入探讨。

4　结论与建议

湖北省地处我国中部地区，历来是全国重要农产品商品基地，所调研土地流转背景下以大型连锁超市为核心主体生鲜农产品供应链向以供应商为核心主体生鲜农产品供应链重构发展基本代表了我国现代农产品供应链重构发展及其风险传导管控能力，以上研究具有一定代表性和示范性。

（1）近年来土地流转驱动农产品供应链重构规模具有明显扩大趋势，具有战略性和战术性。该文以大型连锁超市为核心生鲜农产品供应链向以供应商为核心主体生鲜农产品供应链重构属于战术性重构。

（2）在以战术性重构为主导风险传导管控中，组织结构重构具有战略性，其进程风险传导稳定性是基础保障，此前提下系统风险传导安全边际 X_{1_s} 较高，超过 50%；组织结构重构进程基础稳定性决定了其抵抗风险能力，即净风险阈 α_0（i）、β_0（i），而由农产品供应链核心企业主导业务单元重构和功能模块重构风险传导中进程节点风险预警能力提高值 α_h（i，t）、节点风险恢复能力提高值 β_h（i，t）是主控指标，对进程风险传导感染率 x_1（i）和恢复率 x_2（i）起主导作用。

（3）业务单元重构进程风险传导对重构系统整体进程风险传导起中间连通作用，也是风险传导管控支撑。在以战术性重构为主导风险传导管控中，重点应加强业务单元重构和功能模块重构进程在重构易感状态（*S*）、重构感染传播状态（*I*）风险传导管控，能有效降低整体风险传导波动幅度，避免风险传导失控。

该文重点针对系统风险传导处于有效管控状态下样本数据进行了仿真分析，对风险传导处于次有效管

控状态和失控状态下状况没有进行深入研究；另外，所仿真对象仅仅是针对湖北省战术性重构进程的面板数据处理，下一步要扩大数据处理维度和深度以增加研究结论代表性并更具有推广示范性。

参考文献

[1] Roth A V, Tsay A A, Pullman M E, et al. Unraveling the food supply chain: strategic insights from China and the 2007 recalls. Journal of Supply Chain Management. 2008, 44 (1): 22 – 39.

[2] Bekele A, Bosona T, Nordmark I, et al. Assessing the sustainability of food retail business: the case of Konsum Varmland, Sweden. Journal of Service Science & Management. 2012, 5 (4): 373 – 385.

[3] Diabat A, Govindan K, Panicker V V. Supply chain risk management and its mitigation in a food industry. International Journal of Production Research. 2012, 50 (11): 3039 – 3050.

[4] 颜波，石平，丁德龙. 物联网环境下的农产品供应链风险评估与控制. 管理工程学报，2014，28（3）：196 – 202，173.

[5] 李刚. 供应链风险传导机理研究. 中国流通经济，2011（1）：41 – 44.

[6] 程国平，邱映贵. 供应链风险传导模式研究. 武汉理工大学学报（社会科学版），2009，22（2）：36 – 41.

[7] 靳淑平. 我国现代农业发展的演进分析. 中国农业资源与区划，2014，35（5）：95 – 100.

[8] 陈倬，景琦，王锐. 大型粮商主导的粮食供应链整合研究——基于 SIR 模型的实证分析. 江苏农业科学，2016，44（11）：555 – 559.

[9] McFarland R G, Bloodgood J M, Payan J M. Supply chain contagion. Journal of Marketing. 2013, 72 (2): 63 – 79.

[10] Acuna-Agost R, Michelon P, Feillet D, et al. SAPI: statistical analysis of propagation of incidents. A new approach for rescheduling trains after disruptions. European Journal of Operational Research. 2011, 215 (1): 227 – 243.

[11] Wieland A, Wallenburg C M. Dealing with supply-chain risks: linking risk management practices and strategies to performance. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2012, 42 (10): 887 – 905.

[12] Wierczek A. The impact of supply chain integration on the "snowball effect" in the transmission of disruptions: an empirical evaluation of the model. International Journal of Production Economics. 2014, 157 (9): 89 – 104.

[13] 付焯，严余松，郭茜，等. 生鲜农产品供应链物流风险传递机理及控制. 西南交通大学学报，2018，53（3）：654 – 660.

[14] 张阐军，杨孝伟，杜为公. 土地流转背景下农产品供应链重构的理论基础和行为选择. 安徽农业科学，2016，44（33）：222 – 224，227.

[15] 王倩，肖渊实，余劲. 农地流转对农户土地利用行为及效果影响探究. 中国农业资源与区划，2016，37（2）：231 – 236.

[16] 谭丹. 集成化农产品绿色供应链的风险分析——基于知识溢出视角. 技术经济与管理研究，2015（11）：24 – 28.

STUDY ON SIR MODELING AND SIMULATION OF THE RISK CONDUCTION IN AGRICULTURAL PRODUCTS SUPPLY CHAIN RECONSTRUCTION*

Zhang Chanjun

(College of Economy and Management, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430048, China)

Abstract This research aims to get a forward thinking on reconstruction process risk comprehensive management on basis of grasping core risk conduction law effectively in Agricultural Products Supply Chain (APSC) reconstruction by applying the dynamic SIR model to simulate its endogenous risk conduction process. Based on the total risk framework and complex conduction network of APSC reconstruction processes, this research took reconstruction sample data in fresh APSC leading by 243 large chain supermarkets in Hubei province from 2007 to 2017 as study object, established the SIR model on APSC reconstruction, including its evolution scheme planning, and simulated model evolution trend under effective control status by using the Matlab software. The results showed that in strategic reconstruction process of organization structure leading by tactical reconstruction, the safety margin of risk conduction X1s exceeded 50% which determined its net risk threshold $\alpha 0(i)$ and $\beta 0(i)$. Accordingly, the risk early-warning and recovery ability were the main control indicators in business unit and functional module reconfiguration, which played a leading role in infecting rate X1(i) and recovery rate X2(i) of process risk conduction. So, the organization reconstruction are strategic totally in APSC driving by land circulation in recent years. The emphasis should strengthen control ability in status of Susceptible(S) and Infectious(I) of business units and functional modules reconstruction process leading by tactical reconstructing, and could reduce fluctuation range effectively.

Keywords agricultural products supply chain; reconstruction risk; conduction; SIR modeling; land circulation