华南农业大学学报(社会科学版)
2013 年第 1 期 JOURNAL OF SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY No. 1 2013
(第 12 卷) (SOCIAL SCIENCE EDITION) (Vol. 12)

农产品供应链的质量系统集成与风险评估

张东玲[1], 朱秀芝[1], 邢恋群[1], 杨雪[1], 杨泽慧[2]

(1. 青岛大学 经济学院,山东 青岛 266071;
2. 国家认证认可监督委员会认证认可技术研究所,北京 100020)

摘 要: 从质量安全的视角,针对农产品供应链的质量控制与风险评估问题,提出了农产品供应链的质量系统集成结构,根据良好农业规范标准建立农产品供应链质量安全风险评估指标体系,采用语言信息处理方法,将呈现出面板数据特征的评价信息进行有效集结,建立基于 Logistic 回归的联立方程模型,给出了供应链质量安全风险评估分析的方法,并结合山东省蔬菜供应链的调查信息进行了实证研究。研究表明,该方法可针对农产品供应链质量安全的特有属性,将定性分析与定量分析相结合,建立农产品供应链质量风险评估的系统方法,并能进行质量安全风险预警,从而实现农产品安全的目标。

关键词: 农产品供应链; 质量安全; 质量链; 风险预警; 风险评估

中图分类号: F304 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 0202(2013)01 - 0024 - 11

一、问题的提出

伴随着食品经济和贸易国际化趋势,农产品作为食品链的源头,是全球食品安全领域的焦点。农产品质量安全是建立持续、稳定、合理的全球资源性农产品供应链的关键环节,可促进实现农业的持续稳定和发展。农产品质量安全是一个复杂系统,它以农产品为中心,既包括生物、环境系统,也涉及经济、管理等系统,并包含大量的非数量、非确定和非有序问题,研究农产品安全和质量管理需要有全新的视野和研究方法。在全球食品贸易经济发展过程中,食品安全管理体系和良好农业操作规范(Good Agriculture Practice,GAP)等国际标准的发展和各国技术壁垒都给农产品质量安全带来了新的挑战[1]。食用农产品供应链上的各个组织,包括种植(养殖)环节、加工环节、贮藏及运输环节及批发零售和消费者在内,这些组织的质量管理和控制构成了农产品的质量链,其最终目标是实现农产品质量安全,因此"质量链"环境下的农产品安全风险分析和评估逐渐成为实现农产品安全目标的新的理论和方法。

"质量链"概念的首次提出是基于 QFD(quality function deployment)、SPC(statistics process control)、供应链等重要的质量及其相关概念[2]。众多学者对"质量链"的研究使其内涵和理论基础不断丰富。唐晓青等[3]强调整体的、系统的、集成的观点诠释组织的全过程管理,提出面向全球化制造的"协同质量链管理"概念。丁文琴等[4]提出包括质量意识、人员质量、质量文化、工作质量、产品质量的"质量链"思想。唐晓芬等[5]通过对质量链进行反复研究和论证,进一步提出了质量流、链节点、耦合效应等基本概念。

供应链是质量链的载体,伴随着供应链理论的丰富和发展,供应链环境下的产品质量形成与质量链管理成为新的研究热点[6]。R. G. Batson、Adel Azar、Chu Hua 运用网络模型方法解决供应

收稿日期: 2012 - 12 - 04

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJC630372)

作者简介: 张东玲(1973—),女,山东潍坊人,青岛大学经济学院特聘教授,主要研究方向为农业技术经济、系统综合评价和质量管理.

链质量问题，提出运用控制点控制的方法对供应链质量进行控制[7-9]。Bowon K.、Jon H. Hanf 等将质量控制作为决策变量，将成本最小作为效用函数，建立了供应链质量成本模型[10-11]。刘微等[12]提出了质量链管理的概念及其框架，并进一步分析了供应链与质量链管理的关系。刘斌[13]以铁路建设项目为研究对象，提出了质量链管理的有效运行机制。

本文基于质量安全的视角，结合食物链的生态学概念，将农产品供应链中的“从农场到餐桌”的整个质量实现过程视为一集成质量链，分析其系统构成并探讨农产品供应链质量安全风险评估和预警的计量模型方法。

二、农产品供应链与质量安全

（一）食物链与质量安全

“食物链”是在生态学中捕食者和被捕食者的互相关系所形成的“链”。食品中的有毒有害物质有可能自上而下传递，因此以“食品链”为基础的质量安全控制和管理是保障食品安全的根本所在[14]。伴随着全球食品安全环境的不断变化，联合国粮农组织（FAO）农业委员会于 2003 年明确了“食物链”方式，即“安全、保健和营养的食品供应的责任由参与食品生产、加工、贸易和消费的所有各方在整个食物链中共同承担”，国际标准化组织（ISO）于 2005 年发布了 ISO22000：2005 标准《食品安全管理体系——对食物链中任何组织的要求》，该标准基于 HACCP（Hazard Analysis and Critical Control Point）原理，即食品安全管理系统将采用链的方式来分析和控制。食品链既包括从产前、产后到初级食品的种植（养殖）链，也包括从原料、初级加工到产品的食物制造链，还包括从产品、储存运输、批发零售到消费者的销售链。食品安全食物链将包括种植（养殖）链、食品制造链和销售链 3 个链段。如图 1 所示：

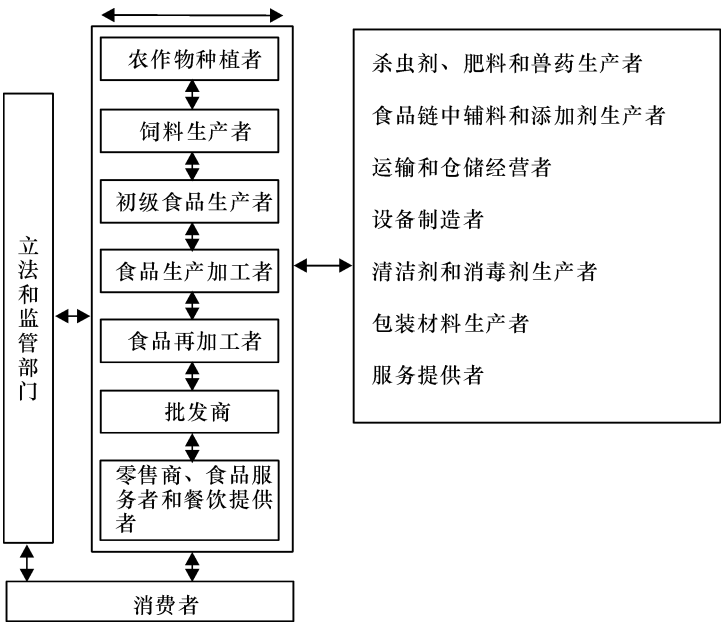


图 1　食品链上的沟通环节

（二）“质量链”环境下的农产品供应链系统集成

食用农产品供应链（agri-food supply chain，ASC）有别于其他产品（包括非农食品）供应链，其特殊性是由食用农产品作用的发挥以及供应链主客体绩效决定的，并贯穿于“从田头到餐桌”各个

环节和整个过程。虽然农产品安全问题往往集中体现在农产品销售终端,但其根源却是农产品供应链管理的问题。

"质量链"环境下的农产品供应链是农产品相关的产业组织群共同参与,并以质量安全为目标的质量过程集合体,也是质量流以及信息流、价值流运行的载体。"从农场到餐桌"这条从食品安全食物链的始端到终端的质量链包括种植、养殖、加工、生产、运输、储藏、销售以及消费者等各种类型的组织。随着农产品的经营消费模式的转变,农产品供应链呈现集成化趋势,表现出多维质量链的特征。一方面,食品链上的农作物种植(养殖)者、各级食品生产制造者以及各级食品经销商等多个组织构造了组织群的外部质量链,另一方面,每个质量链组织内部,从产品设计、生产管理、营销服务等多种要素共同实现质量过程,与组织内部的战略层、战术层及执行层构成纵横交错的内部质量链结构,从而形成了组织群质量链、质量流程和内部质量链,即质量链管理的三个维度。以质量流、信息流、价值流为对象,通过控制关键链节点,构成了农产品供应链的质量系统集成结构(如图2所示)。而以这个质量集成系统为载体的农产品供应链管理将实现质量安全的目标。

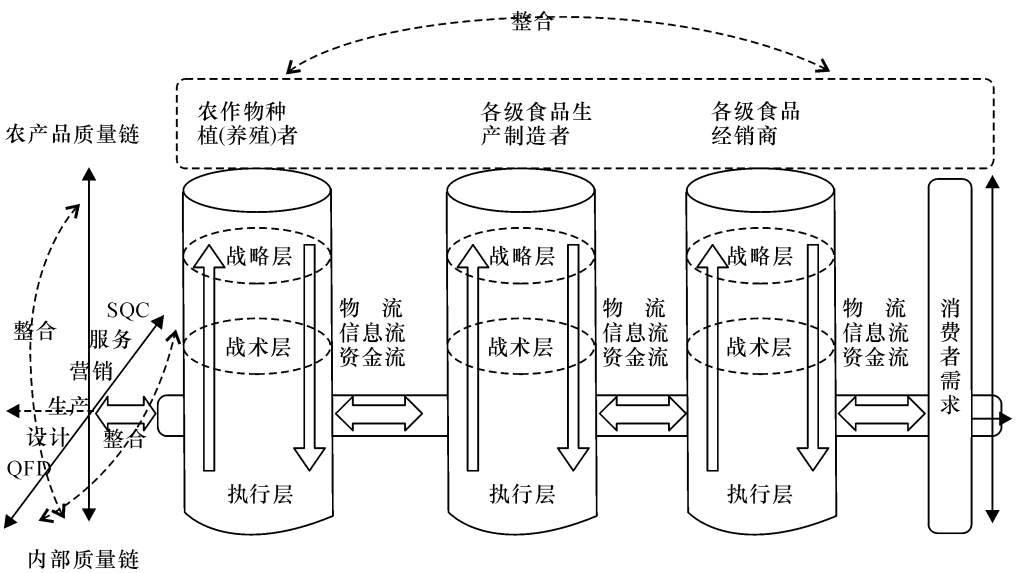


图2 农产品供应链的质量系统集成结构

三、基于良好农业规范的农产品供应链质量安全风险评估

(一)良好农业规范

在迅猛发展的农业生产中,因生产经营不当而导致的生态灾难,以及大量化学物质的使用和能源投入对环境的严重伤害等问题严重阻碍了农产品质量安全目标的实现。"可持续农业和农村发展(SARD)"的概念着眼于资源的最优配置,在保证农业产量的同时,以期达到农业生产和环境保护的和谐和平衡,已逐渐成为世界农业发展的方向。良好农业规范为持续农业发展提供了可能。广义上良好农业规范GAP(good agriculture practice)是针对农场生产和后期的环境、经济和社会可持续性发展的要求,采取有效的措施以获得安全而健康的食物和非食用农产品。GAP标准于1997年由欧洲零售商协会发起,该协会组织零售商、农产品供应商和生产者共同制定了GAP标准。EurepGAP从控制食品安全危害入手,同时兼顾可持续发展及法律法规的要求,一方面降低农产品生产对环境的不利影响,同时涉及到职业健康、安全、员工福利和动物福利的要求。EurepGAP采用危害分析与关键控制点(HACCP)方法,在从生产者到零售商的农产品供应链中的各个环节均

建立了良好农业规范的框架。随着 EurepGAP 的迅猛发展，美国、加拿大等国家均制定了本国良好农业规范标准或法规。

在此背景下，我国自 2003 年开始着手良好农业规范国家系列标准的研究和推广工作，并于 2005 年 12 月 31 号正式发布了中国良好农业规范国家标准（ChinaGAP）。中国良好农业规范以第三方认证的方式来推广实施，使得我国农产品安全质量水平显著提高，农产品生产现状和农产品出口得以有效改善，并增强了消费者信心。ChinaGAP 标准在涵盖食品安全危害的管理要求的基础上，还包括了农业可持续发展的环境保护、员工的职业健康、安全福利和动物福利等方面的要求。

GAP 标准基于可持续发展农业的目标，因此依据 GAP 标准制定农产品质量链各组织的风险评估框架和指标体系将有助于实现农产品安全的目标。ChinaGAP 应用 HACCP 原理，对食品安全危害的识别、评价和控制，以及种植业生产过程中的作物管理、土壤、植保措施等方面均作了规范性的说明。另外，ChinaGAP 标准还以营造农产品生产过程的良性生态环境为目标，提出了遵守环境保护的法规和标准的要求，从而协调农产品生产和环境保护的关系。因此，基于 GAP 标准的质量安全风险分析为农产品供应链的风险评估提供了科学的框架。

（二）农产品质量安全风险预警分析模型

在农产品供应链的质量安全管理实践中，农产品的质量特性大多数呈现感官质量特性，因此面向质量安全的供应链管理是一个涉及到语言评价信息的群决策问题。西班牙 Herrera 教授于 2000 年在 IEEE Transactions on Fuzzy System 上首次提出用二元语义来描述语言信息的方法，它能够有效地避免因简单地将语言信息汇总而导致的信息损失和扭曲[15-16]。应用二元语义信息处理技术，将农产品供应链的质量系统集成结构中各单元的质量安全评价信息加以集结，可以得到农产品供应链的质量安全评价结果。

另一方面，在农产品安全风险评估实践中，用数字代表相应评估结果时，数字的大小反映了一种风险高低次序，与此类问题对应的评价模型可采用有序离散选择模型[17]。实务中通常采用基于 Logistic 回归的联立方程模型，运用该模型对分类因变量进行农产品供应链的质量风险评估分析，使得计算简单而估计参数更容易理解，并能获得风险事件的预测概率，从而能在农产品供应链的质量安全风险评价的基础上进行预警分析。

将农产品供应链的质量安全风险评估指标集设为 $C=\{C_1,C_2,\cdots,C_m\}$，$m\geqslant 2$，其中 C_i 代表第 i 个评价指标，$i=1,2,\cdots,m$。取农产品供应链的质量安全评估样本如下：评估专家对 z 个农产品供应链的质量系统组织单元 $v_1,v_2,\cdots,v_z$ 进行风险评估，v_j 代表第 j 个质量单元，$j=1,2,\cdots,z$。评估信息取自以下语言评价集 S：

$$S=\{s_0=\mathrm{N}(\text{非常低}),s_1=\mathrm{VL}(\text{很低}),s_2=\mathrm{L}(\text{低}),s_3=\mathrm{M}(\text{一般}),s_4=\mathrm{H}(\text{高}),$$
$$s_5=\mathrm{VH}(\text{很高}),s_6=\mathrm{P}(\text{非常高})\} \tag{1}$$

在时间 k，针对第 j 个农产品供应链样本 v_j，质量安全风险评估专家从以上语言评价集 S 中选择一个元素，作为关于指标 C_i 的评价结果，记为 $(D_i^j)^k$，$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,z$。按照 GAP 标准，根据农产品供应链质量安全风险管理的要求，将风险级别设置为“较低（1），低（2），中（3），较高（4），高（5）”五类，记为 $R_1<R_2,\cdots,<R_5$，假定农产品风险级别为“1，2，3，4，5”的概率分写为 $P_1,P_2,\cdots,P_5$，令 $q_1=P(R_1)$，$q_2=P(R_1\cup R_2)$，$\cdots$，$q_4=P(R_1\cup R_2\cup\cdots R_4)$，如有一待判别质量安全风险的供应链质量单元 v^*，其风险评估的指标值为 $x_1^*,x_2^*,\cdots,x_m^*$，若 $P_i=P(R_i)$ 最大，则其质量安全风险级别被判别为 $R_i\in\{R_1,R_2,\cdots,R_k\}$。

考虑到依据 *GAP* 标准所构建的农产品供应链质量安全风险评估指标体系中的各评价指标之间存在多重共线性，采用因子分析法提取 t 个质量风险潜在变量 $F_1,F_2,\cdots,F_t$，则可以建立基于

Logistic回归的联立方程模型:

$$\ln\frac{q_1}{1-q_1}=\beta_{10}+\beta_1F_1+\beta_2F_2+\cdots+\beta_tF_t+\varepsilon_1$$

$$\ln\frac{q_2}{1-q_2}=\beta_{20}+\beta_1F_1+\beta_2F_2+\cdots+\beta_tF_t+\varepsilon_2$$

$$\ln\frac{q_3}{1-q_3}=\beta_{30}+\beta_1F_1+\beta_2F_2+\cdots+\beta_tF_t+\varepsilon_3$$

$$\ln\frac{q_4}{1-q_4}=\beta_{40}+\beta_1F_1+\beta_2F_2+\cdots+\beta_tF_t+\varepsilon_4 \quad (2)$$

式(2)中,$\frac{q_1}{1-q_1},\frac{q_2}{1-q_2},\frac{q_3}{1-q_3},\frac{q_4}{1-q_4}$为被判别的机会比率,$F_1,F_2,\cdots,F_t$为提取的风险评估潜在变量,即预报变量,$\beta_{j0},\beta_1,\cdots,\beta_t$ 是待估计的参数,采用极大似然估计方法,可以得到其估计值 $\hat{\beta}_{j0},\hat{\beta}_1,\cdots,\hat{\beta}_t$,针对待评估的农产品供应链质量单元 v^*,其质量风险的预报标量值为 $F_1^*,F_2^*,\cdots,F_t^*$。

将 $F_1^*,F_2^*,\cdots,F_t^*$ 带入式(2)可以求解出 q_4,q_3,q_2,q_1 的值,进一步得到待评估供应链质量单元的风险级别 $R_1,R_2,\cdots,R_5$ 的概率 $P_1,P_2,\cdots,P_5$:

$$P_1=q_1;P_2=q_2-q_1;\ P_3=q_3-q_2;P_4=q_4-q_3;P_5=1-q_4 \quad (3)$$

若 $P_i=P(R_i)$最大,则待评估质量单元的风险级别判别属于 R_i。在实践中这个风险判别的结果能够针对农产品供应链的质量风险进行预警,并可以对比质量风险评价指标体系,制定相关措施,以避免农产品质量安全恶性事件的发生。

四、实证研究:来自山东省蔬菜供应链的调查

(一)山东省蔬菜供应链调查概况

山东是传统的农产品出口大省,农产品出口已经成为主要经济支柱之一。针对近年来农药残留、兽药残留等化学污染物与非食用添加物等制约山东省食品农产品出口的关键因素, 2008 年以来,山东省政府总结安丘市的经验,在全省 50 多个食品农产品出口主要县市区推动出口食品农产品安全区域化管理示范区建设,建立和完善出口农产品质量安全标准化体系、农业化学投入品控制体系、出口农产品质量安全可追溯体系、出口农产品质量安全监控评估预警体系,在全省种养殖基地推广 GAP 标准,并于现有出口蔬菜种植、加工厂等供应链组织实施 ISO22000 食品管理体系的基础上,试点运行了良好农业操作规范(GAP)并卓有成效,使农产品国际竞争力得以全面提升。

结合 ISO22000 食品管理体系实施和 GAP 推广应用实践,选取山东安丘、乳山、荣成、莱西、莒县、莱阳、巨野、莘县、文登、招远、寿光、胶州、肥城、临朐、泰安等 15 个蔬菜出口备案基地及其相关蔬菜加工生产企业和食品经销商,系统评价和定量分析蔬菜供应链的质量安全管理绩效和风险。

(二)蔬菜供应链质量安全风险评估指标体系的建立

根据 ChinaGAP 标准中农业生产质量控制框架及其要求,从质量安全的角度,建立蔬菜供应链风险评价指标体系,该指标体系包含“蔬菜种植基地”、“蔬菜加工生产企业”、“各级经销商”共三类蔬菜供应链组织。根据农产品质量安全的要求,分别设计评价指标(如表 1 所示)。

(三)样本蔬菜供应链的质量安全风险评估调查信息汇总

根据表 1 构建的蔬菜供应链农产品质量安全评价指标体系,采用语言信息处理技术,对比式(1)给出的语言评价集 S,统计质量安全风险评估专家对各蔬菜种植基地、生产加工企业和各级经

销商基于表 1 的指标体系给出的 2007 至 2012 年的语言评价信息。例如 2007 年针对评价指标“$C_1, C_2, \cdots, C_{10}$”，样本山东安丘的蔬菜供应链的语言评价信息分别为“好”、“一般”、“一般”、“好”、“非常好”、“差”、“一般”、“好”、“很好”、“一般”，则 $(D_1)^1_{1\times 10}$ = (H, M, M, H, P, L, M, H, VH, M)，如表 2 所示（其他各年的语言判断矩阵 D 略去）。

表 1　蔬菜供应链质量安全风险评估指标体系

供应链组织	评价指标	评价指标描述
蔬菜种植基地	C_1 土地使用情况	种植地历史安全性及潜在危害的控制情况。
	C_2 土壤分析检测情况	种植地的农药残留控制、重金属控制情况；土壤营养成分充足性；土壤结构条件的适宜性。
	C_3 灌溉管理情况	种植地的水源充足性、水质适宜性、微生物含量适宜性、灌溉用水污染控制情况。
	C_4 环境问题管理	种植地周围环境情况、生态环境保护、资源保护情况。
	C_5 基地管理系统有效性	种植地品种和母本选择等技术管理、标识和可追溯性管理、肥料使用情况、作物保护情况。
蔬菜加工生产企业	C_6 关键控制点的监视情况	HACCP 计划的制定和实施有效性及纠偏措施。
	C_7 可追溯系统的有效性	生产流程的标识和可追溯性管理。
	C_8 召回措施的管理	召回措施的制定和实施及危害的控制有效性。
各级经销商	C_9 搬运、贮存和防护管理	运输、仓储等环节的食品安全管理情况。
	C_{10} 物流控制	在食品经销的各个阶段，包括包装等的食品安全管理。

表 2　蔬菜供应链农产品安全风险评估信息（山东安丘）

评价指标	2007	2008	2009	2010	2011	2012
C_1 土地使用情况	H	M	H	VH	VH	VH
C_2 土壤分析检测情况	M	M	H	H	VH	H
C_3 灌溉管理情况	M	VH	VH	VH	P	VH
C_4 环境问题管理	H	M	VL	H	H	VH
C_5 基地管理系统有效性	P	VH	H	H	H	H
C_6 关键控制点的监视情况	L	M	VL	L	M	M
C_7 可追溯系统的有效性	M	H	H	VH	M	H
C_8 召回措施的管理	H	H	H	M	H	M
C_9 搬运、贮存和防护管理	VH	H	H	P	VH	VH
C_{10} 物流控制	M	VH	M	H	M	H

注：其他蔬菜供应链样本的评价信息略去。

对所调查的评价信息的分析和利用取决于信息的有效集结。应用郭亚军等[18]提出的熵值赋权方法对 2007 至 2012 年的面板数据进行集结，依据农产品供应链质量风险评估的特点，近期的质量安全风险数据信息更具有参考价值，因此根据时间度 $\lambda = 0.1$ 确定的时间权向量为：$W = (0.0029, 0.0086, 0.0255, 0.0755, 0.2238, 0.6637)^T$，经对面板数据的集结可得到各样本蔬菜供应链针对表 1 所构建的评价指标体系的动态综合评价结果，再进一步统计各样本蔬菜供应链的风险级别信息，综合如表 3 所示。

表3 样本蔬菜供应链质量安全风险评估动态综合评价结果

样本	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	风险级别
1	4.95	4.21	5.22	4.60	4.01	2.82	3.85	3.26	5.04	3.76	3
2	5.56	2.84	4.95	4.99	4.77	5.04	4.13	2.41	4.88	5.15	1
3	4.79	4.82	4.28	5.81	3.19	3.37	3.43	4.23	4.80	3.36	2
4	1.65	2.78	4.81	3.97	1.41	3.86	1.71	3.41	3.93	3.44	5
5	2.72	5.61	4.20	2.58	4.67	2.51	3.95	4.68	3.99	3.41	4
6	4.35	5.73	3.92	4.59	2.88	5.43	3.75	3.31	4.62	5.18	2
7	3.29	5.69	2.74	1.71	3.64	5.43	3.75	3.31	4.83	5.07	3
8	4.88	4.20	3.62	3.14	2.74	4.73	4.81	2.90	5.73	5.21	2
9	4.20	4.86	3.57	3.88	3.20	5.45	4.20	3.77	4.13	3.86	3
10	4.84	3.17	3.84	4.79	3.57	5.57	4.90	3.06	4.59	4.22	3
11	4.03	4.93	3.81	2.72	4.62	3.76	5.03	3.07	5.06	5.13	2
12	4.14	5.09	3.17	4.68	2.86	5.12	4.20	3.90	3.87	3.56	4
13	4.04	4.88	5.54	2.89	2.70	4.18	2.17	4.21	3.85	4.69	3
14	4.79	3.75	4.53	3.19	3.60	4.05	4.72	3.63	2.67	3.53	5
15	3.21	4.07	4.79	4.14	2.01	3.08	5.58	4.59	3.21	2.86	5

(四)蔬菜供应链质量安全风险评估

1. 潜在变量提取

根据表1中构建的蔬菜供应链质量安全评价指标体系,对表3中的数据信息进行因子分析,提取 F_1,F_2,F_3,F_4 四个因子,累计因子载荷79%,如表4和图3所示。

表4 因子分数系数

变量	F_1	F_2	F_3	F_4	公共因子方差
x_1	-0.436	-0.419	0.652	0.039	0.792
x_2	0.087	0.815	0.150	0.142	0.714
x_3	0.083	-0.460	-0.249	-0.776	0.883
x_4	0.122	-0.800	0.179	0.033	0.688
x_5	-0.441	0.258	0.656	-0.346	0.810
x_6	-0.409	-0.126	-0.033	0.835	0.882
x_7	0.103	0.006	0.850	0.223	0.783
x_8	0.841	0.336	-0.071	-0.223	0.875
x_9	-0.786	0.006	0.129	0.051	0.642
x_{10}	-0.900	0.206	0.007	0.221	0.901
方差	2.726	1.933	1.717	1.593	7.970
方差百分比	0.273	0.193	0.172	0.159	0.790

则有因子分数系数:

$$F_1 = -0.436x_1 + 0.087x_2 + 0.083x_3 + 0.122x_4 - 0.441x_5 - 0.409x_6 + 0.103x_7 + 0.841x_8 - 0.786x_9 - 0.900x_{10}$$

$$F_2 = -0.419x_1 + 0.815x_2 - 0.460x_3 - 0.800x_4 + 0.258x_5 - 0.126x_6 -$$

$$0.009x_7 + 0.336x_8 - 0.066x_9 + 0.206x_{10}$$

$$F_3 = 0.652x_1 + 0.150x_2 - 0.249x_3 + 0.179x_4 + 0.656x_5 - 0.033x_6 + 0.850x_7 - 0.071x_8 + 0.129x_9 + 0.007x_{10}$$

$$F_4 = 0.0.39x_1 + 0.142x_2 - 0.776x_3 + 0.033x_4 - 0.346x_5 + 0.835x_6 + 0.223x_7 - 0.223x_8 + 0.051x_9 + 0.221x_{10} \quad (4)$$

结果式(4)表明，因子 F_1，基本上支配了 x_8，x_9，x_{10}，反映了蔬菜供应链的物流控制与应急召回管理措施的有效性；因子 F_2，基本上支配了 x_2，x_4，反映了基地土壤和生态环境等资源管理状况；因子 F_3，基本上支配了 x_1，x_5，x_7，反映了蔬菜种植地的土地管理、可追溯性控制等基地的系统管理有效性；因子 F_4，基本上支配了 x_3，x_5，x_6，反映了蔬菜种植地的灌溉用水及供应链生产加工过程中关键点的质量控制情况。通过潜在变量的提取，体现了在蔬菜供应链中，农产品质量安全风险管理的系统要求。

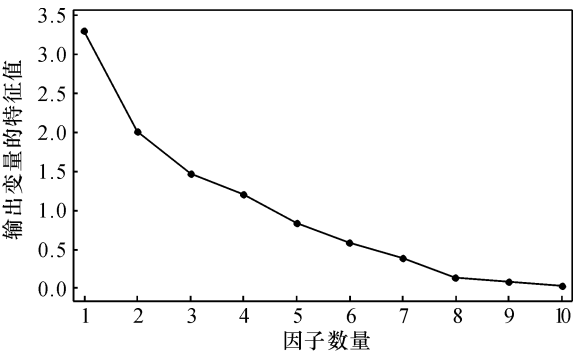


图 3　因子分析碎石图

2. *建立 Logistic 回归联立方程模型*

根据表 3 和式(4)，可以得到潜在变量(因子)的评价值，如表 5 所示。

表 5　潜在变量评价值

样本	F_1	F_2	F_3	F_4	风险级别
1	-7.927	-2.546	9.644	-0.921	3
2	-11.341	-4.181	10.679	1.277	1
3	-6.271	-2.532	9.055	0.261	2
4	-4.930	-2.357	3.545	0.164	5
5	-4.984	2.295	8.574	-0.992	4
6	-9.125	-0.729	8.836	3.110	2
7	-9.514	2.684	8.441	3.600	3
8	-10.477	-1.060	9.768	2.955	2
9	-7.397	-0.656	9.050	2.808	3
10	-9.103	-3.278	10.259	2.809	3
11	-9.752	0.825	10.561	1.364	2
12	-6.419	-0.944	9.033	2.912	4
13	-6.910	-0.307	6.210	-0.016	3
14	-5.984	-1.444	9.479	0.605	5
15	-2.950	-1.550	8.317	0.012	5

据式(2)，建立基于 Logistic 回归的联立方程模型：

$$\ln\frac{q_1}{1-q_1} = -20.2001 - 1.743294.52335F_1 - 0.0528778F_2 + 0.1747375144F_3 - 0.599396F_4$$

$$\ln\frac{q_2}{1-q_2} = -15.9271 - 1.743294.52335F_1 - 0.0528778F_2 + 0.1747375144F_3 - 0.599396F_4$$

$$\ln\frac{q_3}{1-q_3} = -12.1733 - 1.743294.52335F_1 - 0.0528778F_2 + 0.1747375144F_3 - 0.599396F_4$$

$$\ln\frac{q_4}{1-q_4} = -10.3090 - 1.743294.52335F_1 - 0.0528778F_2 + 0.1747375144F_3 - 0.599396F_4 \quad (5)$$

回归分析和拟合优度检验结果如表6和表7所示。

表6 Logistic 回归分析结果

预报变量	回归系数	标准误差	Z值	P值
Const(1)	-20.2004	6.76361	-2.99	0.003
Const(2)	-15.9271	5.63550	-2.83	0.005
Const(3)	-12.1733	4.55465	-2.67	0.008
Const(4)	-10.3090	4.26851	-2.42	0.016
F_1	-1.74329	0.665647	-2.62	0.009
F_2	-0.0528778	0.298062	-0.18	0.859
F_3	0.174737	0.394137	0.44	0.658
F_4	-0.599396	0.460362	-1.30	0.193

注:对数似然函数值 Log-Likelihood = -5.944。

表7 拟合优度检验结果

检验方法	卡方分配	自由度	P值
皮尔逊检验	46.2700	52	0.698
科尔莫戈罗夫检验	24.4399	52	1.000

样本回归模型和总体回归模型的拟合程度可以通过拟合优度检验来验证,通常使用的统计量有皮尔逊(Pearson)和科尔莫戈罗夫(Deviance)检验等。在进行实际统计判决时,拟合优度检验结果中的 P 值越高,则意味着模型越可靠。从表6和表7的分析结果来看,式(5)所列联立方程的可靠性较高。

(五)农产品供应链的质量安全预警分析

根据以上分析得到的联立方程模型式(5),另从待风险评估的蔬菜供应链样本中抽取一样本A,针对表1构建的质量安全风险评价指标体系,其评价信息及经面板数据集结后的各指标综合评价值如表8所示。

表8 待评估蔬菜供应链质量安全评价信息汇总表

评估指标	2007	2008	2009	2010	2011	2012	综合评价值
C_1	M	L	VL	L	M	M	2.8649
C_2	H	H	M	M	M	H	3.6752
C_3	H	M	H	M	M	H	3.6921
C_4	L	M	H	M	H	M	3.2464
C_5	VL	L	L	M	M	H	3.6238
C_6	M	L	L	M	M	H	3.6296
C_7	M	H	VH	VH	P	VH	5.2094
C_8	L	M	M	L	M	M	2.9216
C_9	H	M	H	VH	H	H	4.0669
C_{10}	M	VL	L	M	H	H	3.8448

据表8和式(4),潜在变量(因子)评价值是 $F_1 = -7.927$, $F_2 = -2.546$, $F_3 = 9.111$, $F_4 = 0.921$,将其带入式(5),求解得到 $q_1 = 0.01650225$, $q_2 = 0.54628737$, $q_3 = 0.98090560$, $q_4 =$

0.99699294，并有：

$$P_1 = q_1 = 0.01650225; P_2 = q_2 - q_1 = 0.52978513; P_3 = q_3 - q_2 = 0.43461823;$$
$$P_4 = q_4 - q_3 = 0.01608734; P_5 = 1 - q_4 = 0.00300706 \quad (6)$$

由式(6)可知，$\max P_i = P(R_i) = P_1$，该蔬菜供应链的质量安全风险判别结果为“低”。

通过上述分析，进一步对比表 1 中的各评价指标，结果表明：

(1)该蔬菜供应链样本 A 处于山东内陆地区，其种植地土地历史安全性及生态环境系统管理状况有待改善；

(2)该蔬菜供应链自推广实施良好农业规范以来，建立了有效的蔬菜供应链质量管理系统，土壤及灌溉用水得到有效管理和控制；

(3)供应链各质量组织均采用了系统的可追溯体系，供应链质量系统的关键控制点管理体系已建立并得到有效控制；

(4)该供应链中经销商组织目前缺乏有效的应急召回措施。

五、结　语

农产品质量安全，是关系到国计民生的重要问题。农产品质量安全是建立持续、稳定、合理的全球资源性农产品供应链的关键环节，对实现农业持续稳定发展、长期确保农产品有效供给具有重大的现实意义。以食品链为基础的质量控制将通过源头，即农产品供应链的质量系统集成与控制来实现。每一个供应链的质量单元即基本环节和若干个更小的子环节构成了庞大的质量集成系统。考虑到农产品质量所不同于一般工业产品的特性，传统的定量化质量评价分析方法无法实现其质量安全的目标，基于语言信息处理技术的系统评价方法将避免简单将语言信息集结带来的信息损失。

农产品供应链的风险评估将关系到食品链源头的质量安全，基于计量经济模型的农产品供应链质量系统集成和质量安全风险分析方法可为农产品供应链组织中的种植、加工及经销商企业的农产品安全管理与决策提供科学的参考，并对建立生态农业发展模式提出相应的对策和建议。

另外，在农产品供应链的质量系统集成环境下，质量控制的对象不再是某一个质量活动或过程，而是呈多维网络结构的系统，这将给农产品供应链的质量控制带来极大的挑战，因而，如何将 QFD、SPC 等传统的质量工具应用到农产品供应链的质量集成系统中去将是未来的研究中需要着重解决的问题。

参考文献：

[1] GB/T20014.1～20014.11－2005. 良好农业规范[S].

[2] TROCZYNSKI TOM. The Quality Chain[J]. Quality Progress, 1996, 29(9): 208－212.

[3] 唐晓青，段桂江. 面向全球化制造的协同质量链管理[J]. 中国质量, 2002,(9):25－27.

[4] 丁文琴，赵俊华. “质量链”——质量“多米诺骨牌”[J]. 化工质量, 1999,(6):28－30.

[5] 唐晓芬，邓　绩，金升龙. 质量链理论与运行模式研究[J]. 中国质量,2005,(9):16－20.

[6] 金国强，刘恒江. 质量链管理理论研究综述[J]. 世界标准化与质量管理,2006,(3):21－24.

[7] BATSON R G, MCGOUGH K D. A New Direction in Quality Engineering: Supply Chain Quality Modelling [J]. International Journal of Production Research, 2007, 45(23): 5455－5464.

[8] ADEL AZAR, AHMADI KAHNALI REZA, ALLAHVIRDI TAGHAVI. Relationship between Supply Chain Quality Management Practices and Their Effects on Organisational Performance [J]. Singapore Management Review, 2010, 32(1):45－68.

[9] KUEI CHU-HUA, MADU CHRISTIAN N, LIN CHINHO. Implementing Supply Chain Quality Management [J]. Total Quality Management & Business Excellence, 2008, 19 (11): 1127 - 1141.
[10] BOWON K. Coordination an Innovation in Supply Chain Management [J]. European Journal of Operation Research, 2000, 123(3): 568 - 584.
[11] HANF JON H, GAGALYUK TARAS. Supply Chain Quality and Its Managerial Challenges——Insights from Ukrainian Agri-food Business [J]. Journal for East European Management Studies, 2009, 14(4): 332 - 356.
[12] 刘 微, 王耀球. 供应链环境下的质量链管理[J]. 物流技术, 2005, (6): 10 - 12.
[13] 刘 斌. 铁路建设项目质量链管理[D]. 湖南: 中南大学土木建筑学院, 2010.
[14] 王 强, 郑纪慈等. 食品安全与链理论[J]. 农业质量标准, 2006, (5): 44 - 46.
[15] HERRMANN A, HUBER F, BRAUNSTEIN C. Market-driven and Service Design: Bridging the Gap between Customer Need, Quality Management and Customer Satisfaction [J]. International Journal of Production Economics, 2000, 66: 77 - 96.
[16] HERRERA F, MARTINEZ L. A 2-tuple Fuzzy Linguistic Representation Model for Computing with Words [J]. IEEE Transactions on Fuzzy System, 2000, 8(6): 746 - 752.
[17] 伍德里奇. 横截面与面板数据的经济计量分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2007.
[18] 郭亚军, 姚 远, 易平涛. 一种动态综合评价方法及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2007, (10): 155 - 159.

Research on the System Integration of Supply Chain and Risk Early-Warning for Agricultural Food towards Quality Safety

ZHANG Dong-ling[1], ZHU Xiu-zhi[1], XING Lian-qun[1], YANG Xue[1], YANG Ze-hui[2]
(1. *School of Economics*, *Qingdao University*, *Qingdao* 266071, *China*;
2. *China Certification & Accreditation Institute*, *Beijing* 100020, *China*)

Abstract: From the perspective of the quality safety, in order to solve the quality control of supply chain and risk evaluation for agricultural foods, an integrated quality system model of the agricultural food supply chain is built, and the agricultural food quality chain risk evaluation index system is built based on the Good Agricultural Practice, applying the linguistic information processing method, the panel valuation data is aggregated to obtain the integrated evaluation values. An ordered logistic model is put forward, and the calculation analysis steps are given. This research is illustrated by an example of export vegetable sites in Shandong province. The research indicates that the above method is close centering on the characteristics of agricultural supply chain for quality safety, following the principle of the quantitative with qualitative analysis methods, the systematic approach is put forward for the risk evaluation and early-warning of agricultural food supply chain to achieving the target of quality safety.

Key Words: agricultural supply chain; quality safety; quality chain; risk early-warning; system integration