



中国物流专家专著系列·2015

ZHONGGUO WULIU ZHUANJIA ZHUANZHU XILIE

果蔬冷链物流系统安全 评估及优化研究

杨 芳◎著



中国财富出版社
CHINA FORTUNE PRESS



中国物流专家专著系列

ZHONGGUO WULIU ZHUANJIA ZHUANZHU XILIE

果蔬冷链物流系统安全 评估及优化研究

杨 芳 著

中国财富出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

果蔬冷链物流系统安全评估及优化研究/杨芳著. —北京: 中国财富出版社, 2015. 5

(中国物流专家专著系列)

ISBN 978 - 7 - 5047 - 5732 - 6

I. ①果… II. ①杨… III. ①水果—冷冻食品—物资供应部门—安全评价—研究—中国②蔬菜—冷冻食品—物资供应部门—优化模型—研究—中国 IV. ①F252. 8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 118554 号

策划编辑 郑欣怡

责任印制 何崇杭

责任编辑 张冬梅 孙妍峰

责任校对 杨小静

出版发行 中国财富出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼 邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部) 010 - 52227588 转 307 (总编室)

010 - 68589540 (读者服务部) 010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.cfpress.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京京都六环印刷厂

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 5732 - 6/F · 2398

开 本 710mm × 1000mm 1/16 版 次 2015 年 5 月第 1 版

印 张 13.25 印 次 2015 年 5 月第 1 次印刷

字 数 231 千字 定 价 35.00 元

版权所有 · 侵权必究 · 印装差错 · 负责调换

作者简介

杨芳，1973年生，湖南长沙人。2015年1月毕业于中南大学交通运输工程学院，工学博士。研究方向：物流与供应链管理，物流成本管理。现为长沙学院经济管理系教师，副教授，湖南省青年骨干教师。公开发表学术论文10余篇，参与国家级研究项目3项，主持省级以上课题5项。湖南省物流与采购联合会常务理事。

前 言

果蔬是人们日常消费的必需食品，果蔬产业在农业产业结构中占有举足轻重的地位，世界各国都非常重视生鲜果蔬食品的生产 and 消费。中国是世界上果蔬生产和消费的第一大国。但是，果蔬农产品流通安全和效率问题十分突出，频频发生的食品流通安全问题不仅极大地威胁了人们的身体健康，也不利于企业物流效率的提高。

果蔬农产品冷链物流安全风险主要存在于供应链各环节的运作过程中，本书在总结分析国内外相关研究成果的基础上，阐述果蔬农产品冷链物流系统安全风险评价理论以及相关优化技术方法和应用实践。全书共分为八章。第1、第2章对食品冷链物流研究的背景、国内外研究现状及食品冷链物流系统安全相关理论方法进行介绍，是全书的铺垫。第3章是果蔬冷链物流系统结构介绍，并对各环节进行风险识别。第4章是对果蔬冷链物流系统安全评价的介绍。第5、第6、第7章是基于系统结构、配送及库存环节对果蔬冷链物流系统进行优化。第8章是研究展望。全书由杨芳撰写。

第1章，绪论，是对全书的铺垫。分析了中国果蔬农产品的发展现状，总结国内外对农产品物流、食品冷链物流及系统安全风险的研究现状及最新进展，提出研究果蔬冷链物流系统安全评价及优化问题的技术路线。



第2章, 食品冷链物流系统安全相关理论基础。介绍供应链理论、食品相关理论及系统相关理论, 介绍食品冷链物流系统安全的概念、风险评估理论及方法。

第3章, 果蔬冷链系统结构分析及安全风险识别。建立了果蔬冷链物流ISM系统结构, 以直观地表示出果蔬冷链物流系统的结构要素、果蔬农产品在各要素间的流动过程以及系统的分级状况, 便于各环节风险因素的分析。在果蔬冷链物流系统的结构的基础上, 对系统的不同环节进行风险识别, 分析影响风险的因素。

第4章, 果蔬冷链物流系统安全评价。基于层次分析法和模糊综合评价方法建立了果蔬冷链物流安全风险评估模型, 以实际调研的资料为依据, 对果蔬冷链种植、运输、配送加工、储藏与销售各环节进行安全风险评价, 分析各种风险因素的影响程度。应用GO- FLOW法对果蔬物流系统进行量化分析与安全评价。

第5章, 基于Multi- Agent的果蔬冷链物流系统的结构优化。针对果蔬冷链物流系统的分布式特征及流通环节的复杂性和难以协调性, 本书基于果蔬冷链物流系统与多Agent系统的共性, 引入Multi- Agent技术对果蔬冷链物流系统进行协同优化研究。

第6章, 果蔬冷链系统配送中心物流运作优化。基于果蔬农产品物流配送特征、配送中心作业流程及Anylogic系统仿真建模技术, 结合长沙市XY蔬菜配送有限公司的案例, 对果蔬农产品配送中心作业流程进行建模与仿真。

第7章, 果蔬冷链系统库存控制优化。利用系统动力学的建模思想, 针对果蔬农产品订货配送特点, 建立果蔬配送中心与零售店库存系统的因果回路图和系统流图, 以此构建了库存控制系统动力学模型。

第8章, 结论与展望。

本书从果蔬农产品冷链物流系统相关的基础研究入手, 探讨了系统安全风险识别、评价及系统优化等问题。

由于笔者水平有限，仍有许多食品物流系统安全控制与优化问题需要深入研究，本书的研究也难免出现疏漏，真心希望广大读者予以批评指正。

杨 芳

2015 年 4 月

目 录

1 绪论	1
1.1 选题背景及研究意义	1
1.2 国内外研究现状综述	8
1.3 研究目的、内容及方法	17
2 食品冷链物流系统安全相关理论基础	22
2.1 供应链理论	22
2.2 食品相关理论	25
2.3 系统相关理论	34
2.4 食品冷链系统安全理论	40
2.5 本章小结	44
3 果蔬冷链系统结构分析及安全风险识别	46
3.1 果蔬冷链物流模式	46
3.2 果蔬冷链物流系统结构	50
3.3 果蔬冷链系统安全风险识别	58
3.4 本章小结	64
4 果蔬冷链物流系统安全评价	66
4.1 果蔬冷链物流系统安全评价指标体系	66
4.2 果蔬冷链物流系统安全风险模糊综合评价	72



4.3	基于 GO - FLOW 的果蔬冷链系统安全评价	87
4.4	本章小结	93
5	基于 Multi - Agent 的果蔬冷链物流系统的结构优化	94
5.1	基于多 Agent 的协同物流系统模型	94
5.2	基于安全与效率的果蔬冷链系统 MAS 体系	98
5.3	果蔬冷链物流系统中的多 Agent 协作	102
5.4	模拟分析	107
5.5	本章小结	111
6	果蔬冷链系统配送中心物流运作优化	112
6.1	果蔬农产品冷链配送及仿真方法概述	112
6.2	果蔬冷链配送中心 Anylogic 建模	117
6.3	本章小结	128
7	果蔬冷链系统库存控制优化	129
7.1	果蔬农产品冷链系统库存管理模式	129
7.2	系统动力学及 SD 模型构建步骤	130
7.3	基于 VMI 两级供应链库存控制 SD 模型的建立	131
7.4	实例分析	134
7.5	本章小结	139
8	结论与展望	141
8.1	结论	141
8.2	本书研究的主要创新点	144
8.3	研究展望	144
	参考文献	146
	附 录	156
	附录 1 果蔬农产品安全生产情况调查	156

附录 2	果蔬农产品零售终端情况调查	159
附录 3	批发市场果蔬农产品个体经营者调查	161
附录 4	果蔬农产品供应链企业协作情况调查	162
附录 5	安全风险指标计算程序	163
附录 6	Anylogic 仿真参数设置	195
后 记		200

1 绪论

1.1 选题背景及研究意义

食品安全问题是全社会最为关注的重要问题之一。从 20 世纪末到 21 世纪初,全球范围内的地区屡次遭受食品安全事件的冲击。1996 年英国出现的疯牛病,比利时的问题饲料,日本毒饺子事件,美国单增李斯特菌事件,印度的毒酒中毒事件,中国的苏丹红、三聚氰胺奶粉等一系列安全事件层出不穷,直接威胁人们的身体健康。2014 年 7 月以来,作为“科学管理”典型的麦当劳、必胜客、肯德基等“洋快餐”国际品牌被“福喜门”事件打破了其安全神话,人们对“食品安全”的信心近乎崩溃:不仅小作坊食品令人生疑,就是国际大型快餐连锁巨头也不值得信任。食品安全在全世界受到广泛关注,世界各国政府大多将食品安全视为国家公共安全。

食品安全问题会造成重大的经济损失,往往也会产生国际食品贸易争端。1996 年英国疯牛病事件给英国经济带来巨大损失,进出口牛肉出现近 40 亿英镑的贸易逆差,养牛产业受到重创。2011 年山东乳制品出口数量也因为三聚氰胺事件的影响而减少了 50%。

1.1.1 中国果蔬农产品的发展背景

果蔬是人们日常消费的必需食品,果蔬产业在农业产业结构中占有举足轻重的地位,任何国家都非常重视其生鲜果蔬食品的生产和消费。中国是世界上果蔬农产品生产和消费的第一大国,以 2013 年为例,蔬菜产量达到 7.35 亿吨,水果产量达到 2.51 亿吨,果蔬类农产品占生鲜农产品的绝大部分。

表 1-1 和图 1-1 反映了我国 2009—2013 年主要生鲜农产品的生产状况,



总体呈现稳步上升的趋势。

表 1-1 中国主要生鲜食品 2009—2013 年生产量 单位：万吨

年份	猪肉	牛肉	羊肉	水果	水产品	蛋类	蔬菜
2009	4890.8	635.5	389.4	20395.5	5116.4	2742.5	60200.0
2010	5071.2	653.1	398.9	21401.4	5373.0	2762.7	65099.4
2011	5053.1	647.5	393.1	22768.2	5603.2	2811.4	67929.7
2012	5335.0	662.0	401.0	24057.0	5906.0	2861.0	70200.0
2013	5493.0	673.2	408.1	25093.0	6172.0	2876.1	73512.0

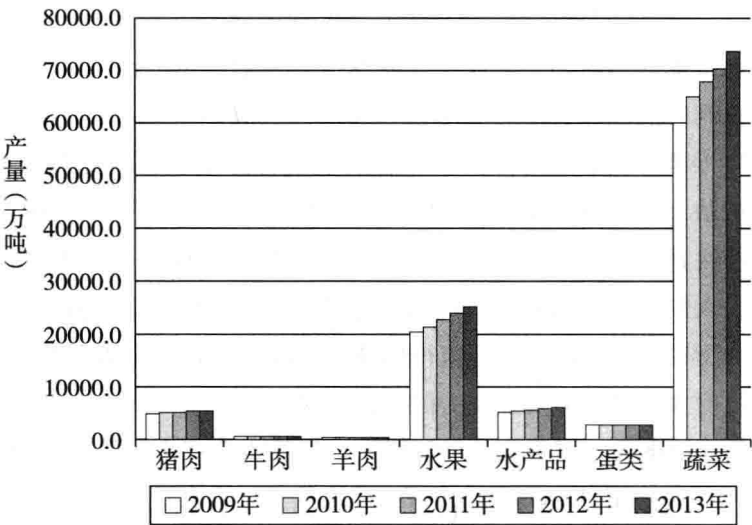


图 1-1 中国主要生鲜食品 2009—2013 年生产量

资料来源：《中国统计年鉴》2009—2013。

中国城乡家庭平均每人每年购买生鲜食品数量总体呈现上升趋势，如图 1-2 和图 1-3 所示。食品类消费品占超市商品种类的 60%。从居民家庭平均购买生鲜食品的消费量图表中可以看出，鲜菜和鲜瓜果是居民日常消费的主要食品。

中国果蔬类农产品生产量和消费量大，但其生产主要以家庭生产模式为主，单位生产规模小而且分散，农产品流通成为解决生产与消费突出矛盾的重要因素。

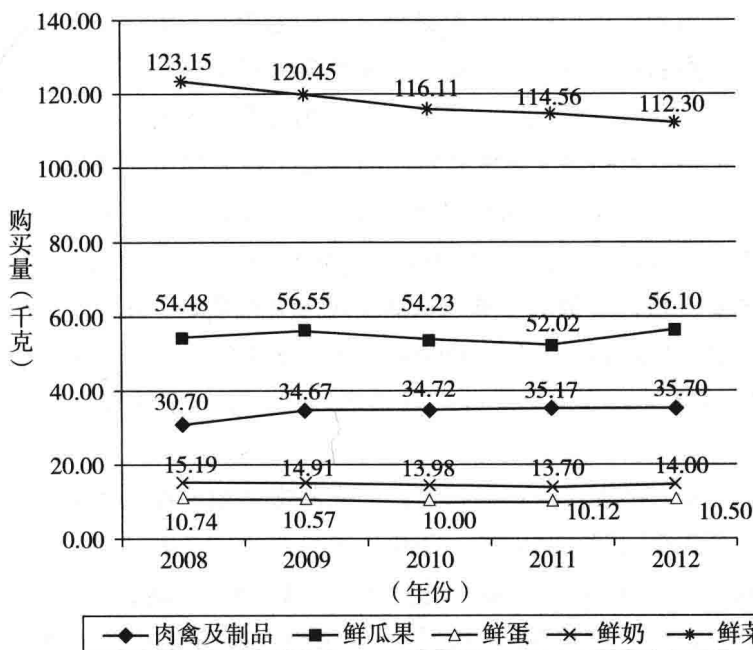


图 1-2 2008—2012 年中国城镇居民家庭平均每人每年购买主要生鲜食品数量
资料来源：《中国统计年鉴》2009—2012 年。

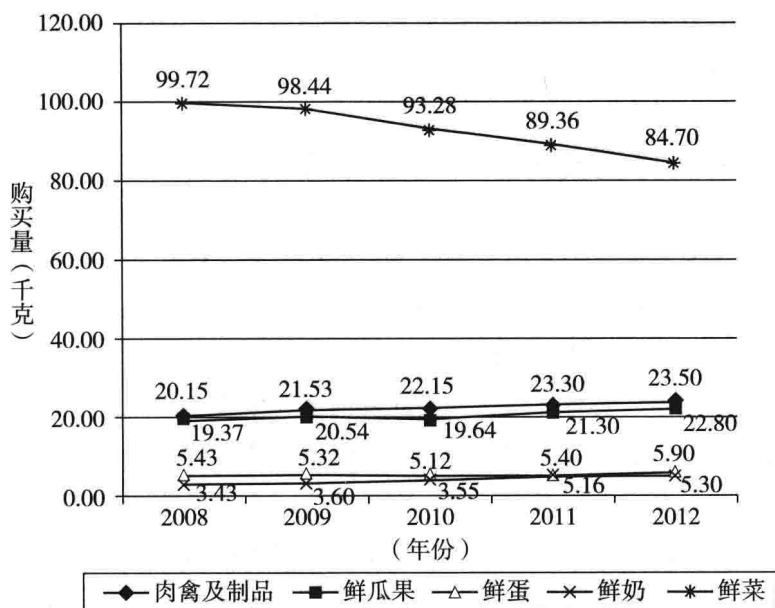


图 1-3 2008—2012 年中国农村居民家庭平均每人每年购买主要生鲜食品数量
资料来源：《中国统计年鉴》2009—2012 年。



在目前物流形式中，中国农产品物流以常温为主，农产品在流通过程中损失很大。果蔬农产品在采摘、运输、存储等物流环节的损失就高达 25% ~ 30%（发达国家仅在 5% 以内）。相比之下中国的果蔬物流成本明显过高。

中国落后的农产品物流保鲜技术和质量安全控制措施难以满足市场对果蔬农产高品质、高安全性及高新鲜度的要求，主要原因在于：第一，中国农产品产销地宽泛分散，货物运输时间长，冷链保鲜运输与储存成本高；第二，生产者与消费者极为分散，生鲜农产品需经过多次集货、转货、分销，不仅增加了成本，也造成信息不畅、质量监管困难等问题；第三，果蔬农产品一般以采摘后初级状态分销，采后处理程度较低，增加了保鲜和质量追溯的难度。

为了进一步发展现代农产品物流，国家制定了相关特殊经济政策。为支持鲜活农产品在全国高效率运销，我国于 2005 年由国务院部署、多部委联合开辟了高速“绿色通道”，车辆运输的农产品符合《鲜活农产品品种目录》规定品类的，在高速公路“绿色通道”（“五纵二横”）即可享受免收过路费的便利待遇。“绿色通道”可直接使 31 个省市区达到互通。

2007 年中央一号文件进一步强调农产品物流产业的战略地位，提出发展农村现代流通产业，构建农村现代市场流通体系是农村经济增长、新农村建设及农民收入提高的有力保障。

1.1.2 冷链物流成为生鲜食品安全的重要保障

易腐食品容易变质的主要原因是微生物的存在、酶的作用以及外界温度与湿度的影响。生鲜果蔬属于易腐食品，其品种繁多，营养价值很高，但果蔬农产品一般存在生产分散、保质期短的特点，加上新鲜果蔬本身的性质较适宜微生物的繁殖、发育与生长，因此其品质容易发生变化，在流通过程中容易损耗。在新鲜果蔬流通过程中，货物受压或在运输途中受到碰撞、震动可能造成表面局部损伤而腐败，在一定条件下，由于微生物的作用，损伤处会迅速扩大以致整体腐败。微生物的生长和活动需要一定的温度与水分条件，因此，为了保证生鲜果蔬食品的质量，防止其腐败变质，就必须杀死有害菌类，或抑制微生物和酶的活动。低温能抑制微生物和酶的活动，延长食品存放时间。因此冷链物流是食品安全的重要保障。

中国的冷链物流萌芽于 20 世纪 50 年代的肉制品外贸出口。1982 年《食品卫生法》颁布,农产品冷链物流体系开始建立,但进展缓慢。随着经济的发展,人们对生鲜农产品的需求日益旺盛,对农产品品质要求提高,冷链物流也随之得到快速发展。冷链物流市场逐步形成,冷链流通量增长较快,市场潜力巨大。据统计,2013 年中国国内各类易腐食品年总产量 11.4 亿吨,易腐类食品年消费量约 2.54 亿吨(根据 2013 年城乡人口和城乡居民人均年消费量统计数据计算),而我国现在冷藏容量占货物需求的 20%~30%。近年来,流通领域进入了约 4 亿吨的生鲜农产品,农产品冷链流通率逐年提高。2011 上半年,肉类、水产及果蔬农产品冷链流通率分别达到 17.24%、25.16% 和 6.6%(中国物流发展报告 2011—2012 年),冷藏运输率分别达 30%、40% 和 15%。2000—2008 年,中国农产品冷链物流年均增长速度达到了 26%,2009—2010 年更是达到了 34%,可见冷链物流市场潜力巨大。

21 世纪以来,各地冷库建设步伐加快,新型制冷技术与冷冻保鲜技术不断更新,高品质的冷冻冷藏运输车辆不断涌现,特别是近年来食品安全事件频出,政府对冷链物流的重视程度大大提升,2010 年制定了相应的发展规划,对农产品冷链物流发展起到指导作用。但从整体上来说,中国的食品冷链物流体系还未形成,与国外相比,农产品冷链物流发展相对落后。农产品冷链物流发展状况国内外对比情况如表 1-2 所示。

表 1-2 农产品冷链物流发展状况国内外对比情况

对比项目	国内状况	国外状况
预冷保鲜率	30% 左右	欧美国家: 80% ~ 100%
冷库容量	1.5 千万立方米	世界总量: 2.478 亿立方米, 美国: 7.07 千万立方米, 日本: 2.77 千万立方米
果蔬采后损失率	20% ~ 40%	5%
冷藏运输能力	冷藏列车近 7000 辆, 冷藏汽车 40000 辆	美国: 冷藏车辆 16 万辆, 保温车 6 万辆; 日本: 冷藏保温车 12 万辆
冷藏运输率	总冷藏运输率 10% ~ 20%, 其中: 铁路 25%, 公路 15%, 水路 1%, 空运 0.1%	美国: 80% ~ 90%, 日本: 98% 以上



续 表

对比项目	国内状况	国外状况
冷藏运输管理	冷藏流通冗长，冷链技术应用不够	冷藏链高效运行
物流成本	60%	10%

具体来说，目前中国食品冷链物流主要存在以下三个问题。

1. 冷链设施设备的建设有长足进展，但较西方国家有较大差距

随着冷链物流市场的扩大，冷链物流相关设施设备更新换代迅速，但是目前产业内相关企业技术仍然比较落后，食品冷链物流设施设备不足，并且从整体上来看，其发展与分布也不均衡，以致食品在物流过程中的安全与品质无法得到应有的保障。截至 2012 年年底，中国共有冷库约 9.85 万座，冷库总容量超过 2500 万吨，同比增长 11.3%。2007—2012 年，中国冷库行业以 14% 以上年均增速发展。新的冷链技术和设备被广泛应用，加快了冻结速度，也提高了冷链农产品品质，但相比西方国家，中国的冷冻冷藏运输设施仍然落后，冷藏保温车占货运汽车的比重仅为 0.3%，美国为 0.8% ~ 10%，英国为 2.5% ~ 2.8%，中国冷藏车辆大部分是机械式冷藏车辆，规范的冷藏保温车较少；冷库容量虽有增加，但大型库多，小型库少，冷库结构失衡。肉类冷库比蔬果冷库多，并且冷库利用率低，人均数量偏低。冷链设施缺乏，技术相对落后，造成了易腐类食品在流通过程中的极大浪费。

2. 冷链物流市场化程度低，不利于提高食品冷链物流效率

食品冷链物流系统较其他物流系统的显著差异在于冷藏冷冻库存与运输的设施设备投资成本高。冷链市场化程度低，缺乏专业物流企业的参与，除对外贸易的农产品以外，中国生鲜食品物流业务多由经销商或生产商自营进行，国内真正能全程提供综合性服务的第三方物流企业还不足总体需求的 5%。冷链物流资源难以共享，大额投资的冷链设施设备未能充分发挥其效率，同时企业也承担相当高的维护成本。另外由于缺乏专业物流平台的参与，食品供求信息网络平台难以建立，相关信息不能得到及时反馈，也不利于 RFID、GPS 等物流技术的应用，使物流服务水平与运作效率受到影响。

3. 冷链相关法律法规有所完善，但相关技术标准仍然欠缺

为了有效监控农产品冷链物流，国家相继颁布相关法律法规。2008 年 8

月,国务院颁布实施《生猪屠宰管理条例》;2009年2月28日,《食品安全法》发布,被称为“中国食品监管法制化进程中的重要里程碑”,食品安全这一“天大的事”有了法律保障;2009年7月,国家工商行政管理总局出台了《食品流通许可证管理办法》和《流通环节食品安全监督管理办法》;国家发改委2010年6月发布的《农产品冷链物流发展规划》提出了肉类、水产品、果蔬的流通环节腐损率、冷链流通率、冷藏运输率等指标的具体目标。为进一步加强食品安全工作,2012—2013年国务院陆续发布了《关于加强食品安全工作的决定》(国发〔2012〕20号)、《国家食品安全监管体系“十二五”规划》(国办发〔2012〕36号)和《国务院办公厅关于印发2013年食品安全重点工作安排的通知》(国办发〔2013〕25号);目前商务部针对流通领域食品安全工作,发布实施《2013年商务系统食品安全工作要点》。2013年中央一号文件将保障主要农产品供给、解决民生问题列为重要日程。一系列文件的出台使中国的农产品冷链物流市场越来越规范。

在法律法规逐步健全的同时,农产品冷链物流相关技术标准也逐步确立。1988年颁布的《速冻食品技术规程》是食品冷链物流较早的国标;在中国尚未形成国家级冷链物流行业规范期间,为确保食品质量,促进食品安全,降低物流损耗,维护消费者和企业权益,上海市于2007年10月,深圳市于2011年8月相继出台了地方标准《食品冷链物流技术与管理规范》;各类农产品冷链物流标准陆续出现如《鲜、冻肉运输条件》《肉与肉制品物流规范》《速冻米面食品标准》《初级生鲜食品配送良好操作规范》《中国苹果冷藏技术标准》《禽畜肉冷链运载治理技能标准》《冷链物流企业效劳环境评价》《水货物冷链物流效劳标准》《食品冷链物流追溯治理请求》等;2012年6月29日,国家标准《冷链物流分类与基本要求》(GB/T 28577—2012)正式发布,该标准规定了冷链物流的相关术语和定义、冷链物流分类和冷链物流的基本要求。

1.1.3 研究意义

以保持低温环境为核心的生鲜食品冷链物流相比其他物流系统来说,系统的结构更为复杂,系统资源与主体环节安全性要求更高。生鲜食品的时效性、安全性要求冷链物流各环节具有更高的组织协调性与安全可靠。而处