

中图分类号: F201  
学科分类号: 790.33

论文编号: 193143312  
密 级:

天津理工大学研究生学位论文

# 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流需求预测与对策研究

(申请硕士学位)

专业学位类别: 工程硕士

专业(领域): 物流工程

研究方向: 物流及供应链管理

作者姓名: 李宵香

校内指导教师: 石娟 教授

企业指导教师: 许志新 高工

2022 年 1 月

**Thesis Submitted to Tianjin University of Technology  
for the Master's Degree**

**Cold Chain Products of Fresh  
Agricultural Products under the  
Normalization of the Epidemic  
Flow Demand Forecast and  
Countermeasure Research**

By  
**LI Xiaoxiang**

Supervisor  
**Shi Juan**

**January 2022**

## 独创性声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作和取得的研究成果，除了文中特别加以标注和致谢之处外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得 天津理工大学 或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

学位论文作者签名：李增香 签字日期：2022 年 3 月 2 日

## 学位论文授权使用授权书

本学位论文作者完全了解 天津理工大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 天津理工大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编，以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复本和电子文件。

（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：李增香 导师签名：石明

签字日期：2022 年 3 月 2 日 签字日期：2022 年 3 月 2 日

## 摘要

新冠肺炎的传播严重阻碍了我国生鲜农产品供应链的稳定发展,消费者对他们购买的产品和质量的要求愈来愈高,由简单的解决温饱型逐渐向高质量多样性型转变,故建立更加完善的冷链物流管控方案,对保障我国生鲜农产品质量安全至关重要。我国在疫情防控期间取得了较好的成效,目前属于疫情长期化和常态化阶段,要加强生鲜农产品冷链物流的需求预测并要重视管理上的漏洞,这对于确保生鲜农产品的供需平衡和推动生鲜农产品冷链物流产业高质量发展具有重大意义。

本文以生鲜农产品为研究对象,在疫情常态化背景之下对我国冷链物流需求预测进行研究。第一,从经济发展水平、产业结构、冷链物流发展水平、冷链物流市场规模、人文因素和区位优势等方面出发,选取了疫情常态化下影响我国生鲜农产品冷链物流需求的 14 个主要因素,并利用灰色关联度分析生鲜农产品需求量和影响因素之间的关联性,构建了需求预测指标体系。第二,从非线性预测角度和线性回归预测角度出发,分别构建 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络模型,然后以我国生鲜农产品为例进行实证分析,通过对比分析,证明了采用 Lasso-BP 神经网络组合模型预测冷链物流需求更具有精确性和有效性。第三,考虑新冠疫情的影响,修订 Lasso-BP 神经网络预测模型的输入变量,得出疫情常态化下未来五年我国生鲜农产品冷链物流需求,结果显示我国城乡居民整体上对生鲜农产品的需求量在逐年升高,表明冷链物流的发展具有宽广的市场发展空间。最后,依据需求预测的结果,提出在疫情常态化下促进我国冷链物流产业发展的对策和建议。

**关键词:** 冷链物流, 需求预测, BP 神经网络, Lasso-BP 神经网络, 灰色关联分析

## Abstract

The spread of COVID-19 has seriously hindered the stable development of my country's fresh agricultural product supply chain. Consumers have higher and higher requirements for the products and quality they buy, and gradually change from a simple solution to food and clothing to a high-quality and diverse type. Therefore, it is very important to establish a more perfect cold chain logistics control scheme to ensure the quality and safety of fresh agricultural products in my country. My country has achieved good results during the epidemic prevention and control period. At present, the epidemic is in the long-term and normalized stage. It is necessary to strengthen the demand forecast of cold chain logistics of fresh agricultural products and pay attention to the loopholes in management. This is important to ensure the supply and demand of fresh agricultural products. It is of great significance to balance and promote the high-quality development of the cold chain logistics industry of fresh agricultural products.

This paper takes fresh agricultural products as the research object, and studies the demand forecast of cold chain logistics in my country under the background of the normalization of the epidemic. First, from the perspective of economic development level, industrial structure, cold chain logistics development level, cold chain logistics market size, human factors and location advantages, etc., 14 factors affecting the cold chain logistics demand of fresh agricultural products in my country under the normalization of the epidemic are selected. Main factors, and use the grey correlation degree to analyze the correlation between the demand for fresh agricultural products and the influencing factors, and build a demand forecasting index system. Second, from the perspective of nonlinear forecasting and linear regression forecasting, the BP neural network model and the Lasso-BP neural network model are respectively constructed, and then an empirical analysis is carried out by taking my country's fresh agricultural products as an example. The BP neural network combination model is more accurate and effective in predicting the demand of cold chain logistics. Third, considering the impact of the new crown epidemic, the input variables of the Lasso-BP neural network prediction model were revised, and the demand for cold chain logistics of fresh agricultural products in my country in the next five years under the normalization of the epidemic was obtained. The demand for cold chain logistics is increasing year by year, indicating that the development of cold chain logistics has a broad market

development space. Finally, according to the results of the demand forecast, countermeasures and suggestions for promoting the development of my country's cold chain logistics industry under the normalization of the epidemic are put forward.

**Key words:** Cold Chain Logistics, Demand Forecast, BP neural network, Lasso-BP neural network, Grey relational analysis

# 目 录

第一章 绪论.....	- 1 -
1.1 研究背景.....	- 1 -
1.2 研究目的与意义.....	- 3 -
1.2.1 理论意义.....	- 3 -
1.2.2 实践意义.....	- 3 -
1.3 国内外研究综述.....	- 4 -
1.3.1 冷链物流研究综述.....	- 4 -
1.3.2 物流需求预测方法的研究综述.....	- 7 -
1.3.3 物流需求预测指标的研究综述.....	- 8 -
1.4 研究内容.....	- 10 -
1.5 主要创新点.....	- 10 -
1.6 研究思路.....	- 11 -
1.6.1 研究方法.....	- 11 -
1.6.2 技术路线.....	- 11 -
第二章 生鲜农产品冷链物流相关理论基础及现状分析.....	- 13 -
2.1 生鲜农产品冷链物流的内涵与特点.....	- 13 -
2.1.1 生鲜农产品的定义.....	- 13 -
2.1.2 生鲜农产品冷链物流的定义.....	- 14 -
2.1.3 生鲜农产品冷链物流的特点.....	- 14 -
2.1.4 生鲜农产品冷链物流流程.....	- 15 -
2.2 物流需求预测概述.....	- 16 -
2.2.1 物流需求预测含义及理论.....	- 16 -
2.2.2 物流需求预测的研究目的.....	- 17 -
2.3 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流现状分析.....	- 18 -
2.3.1 发展现状.....	- 18 -
2.3.2 存在问题.....	- 19 -
第三章 生鲜农产品冷链物流需求预测指标体系的构建.....	- 22 -
3.1 指标构建原则.....	- 22 -
3.2 影响因素分析.....	- 23 -
3.3 指标体系的建立.....	- 27 -
3.3.1 指标的选取步骤.....	- 27 -

3.3.2 数据的获取.....	- 29 -
第四章 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流需求预测模型构建.....	- 33 -
4.1 BP 神经网络模型预测 .....	- 33 -
4.1.1 模型概述.....	- 33 -
4.1.2 可行性分析.....	- 34 -
4.1.3 建模步骤.....	- 35 -
4.1.4 模型的构建与实证分析.....	- 36 -
4.2 Lasso-BP 神经网络模型预测 .....	- 38 -
4.2.1 Lasso 变量选择方法概述 .....	- 38 -
4.2.2 可行性分析.....	- 38 -
4.2.3 建模步骤.....	- 39 -
4.2.4 模型的构建与实证分析.....	- 39 -
4.3 生鲜农产品冷链物流需求预测模型对比分析 .....	- 41 -
4.4 生鲜农产品冷链物流需求预测分析.....	- 41 -
第五章 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流发展对策分析.....	- 43 -
5.1 重视生鲜农产品供应链升级 .....	- 43 -
5.2 加快完善人才培养模式和冷链基础设施的建设 .....	- 43 -
5.3 建设更加成熟冷链网络体系 .....	- 44 -
5.4 加速整合城乡冷链物流资源 .....	- 45 -
5.5 积极引导冷链物流企业创新发展 .....	- 45 -
5.6 加大进口冷链物流疫情防控力度.....	- 46 -
第六章 研究结论与展望.....	- 47 -
6.1 研究结论 .....	- 47 -
6.2 展望 .....	- 48 -
参考文献.....	- 49 -
在学期间取得的科研成果和科研情况说明 .....	- 55 -
致谢.....	- 56 -



## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景

中国共产党的十九大报告指出,我国经济社会开始由高速度发展阶段过渡为高质量发展阶段。加强生鲜农产品冷链物流不仅是促使乡村产业振兴和促进生鲜农产品消费升级的客观要求,也是突破生鲜农产品物流发展瓶颈的必然要求。2020 年是我国全面建成小康社会决胜阶段的最后一年,并且也是我国“十三五”计划最后的一年。在此一年中,遭受着突然爆发的新冠疫情带来的伤害,且在这多变的国际形势的严峻挑战之下,我国物流业仍有条不紊的推进着抗击疫情工作且获得了好成绩。在这个特殊节点,很多居民为了保证安全的社交距离,选择在家吃饭而不外出聚餐。很多电商平台反应迅速,为居民提供生鲜农产品配送回家的服务,随着网购需求的增长,冷链物流发挥着重要作用。另外,突如其来的疫情将促使我国政府更加重视食品的质量和安全问题,新冠疫情的爆发也将进一步刺激冷链物流行业,使其加快增长。

生鲜农产品冷链物流的发展与新冠疫情的发生以及我国经济社会发展水平密不可分。一方面,受新冠疫情的影响,人们对生活的要求已经不仅仅满足于解决个人温饱,而是转向食物的安全 and 质量,对于食物的消费方式也是在向体验化、差异化、网络化发展,新鲜、营养和安全已经成为人们消费的主旋律,生鲜农产品已经在人们购买食品时占据绝大部分比率,人们对高品质的生鲜农产品需求量在逐渐扩大。另一方面,我国各地区人民的消费结构也发生了巨大的变化,截止到 2020 年,我国城市居民和农村居民的恩格尔系数分别降至为 29.2%和 32.7%。由于生鲜农产品具有易腐烂、保质期短和对环境要求较为严格的特点。所以,比其他食品的储存难度更大,而大众对生鲜农产品的要求又越来越高,故如何发展生鲜农产品冷链物流至关重要。

生鲜农产品冷链物流的发展受到了我国政府的高度重视,出台了很多确保冷链物流健康发展的政策。例如,2020 年交通运输部颁布的《关于进一步加强冷链物流渠道新冠肺炎疫情防控工作工作的通知》,其中包含对港口的一线工作人员、冷链物流企业和运输车辆等的监管措施。2020 年国务院颁布的《食品冷链生产经营新冠病毒防控技术指南》中提出要重点加强食品冷链物流中每个环节对新冠肺炎病毒的防控。在国家相关利益政策的鼓舞之下,各个省市也开始陆续响应国家的号召依据本地区经济发展的特点和实际情况,重新对冷链物流发展的布局进行

规划, 加大了冷链物流产业的扶持力度, 各地区的物流投资商也开始增加对冷链物流产业建设和专业的冷藏仓库以及购买冷藏车的投资额, 希望在竞争激烈的市场中占据一席之地。在国家政策的有力刺激和各地区物流相关主体的贯彻执行下, 我国冷链物流市场有无限发展的机会, 市场规模迅速扩大, 如图 1.1 所示, 从 2014 年开始我国冷链物流市场交易规模一直在逐步增加, 到 2020 年已达到 4850 亿元, 但受新冠疫情的影响, 2020 年我国冷链物流市场交易规模的增长率由 24.5% 下降到 21.2%, 故在此背景之下, 研究冷链物流具有十分重要的意义。

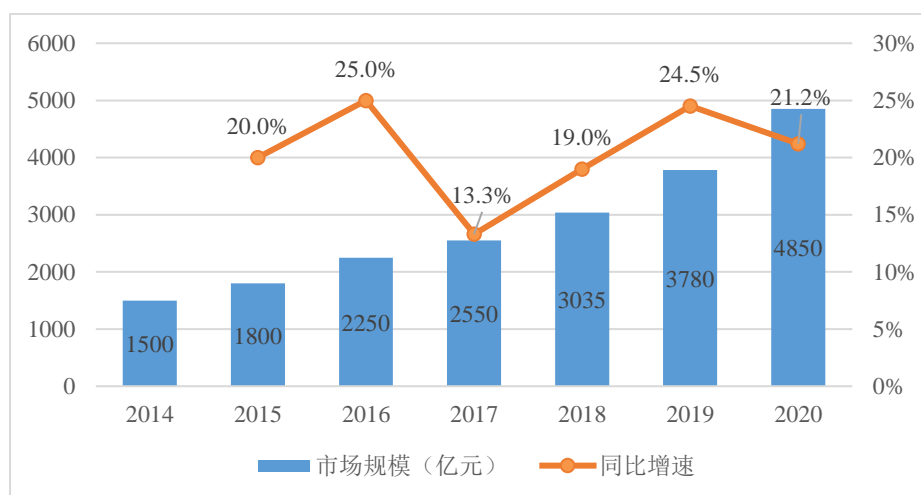


图 1.1 2014-2020 年我国冷链物流市场规模

Fig.1.1 2014-2020 my country's cold chain logistics market scale

数据来源：中物联冷链委

但是, 我国生鲜农产品冷链物流的快速发展也衍生出了许多问题。自从新冠肺炎疫情以来, 我国多次发生冷链食品病毒污染问题, 例如, 在天津生态省海联冷库、上海浦东机场等冷链食品病毒输入事件。大多数可能是因为进口冷链食品在运输的途中存在防疫措施不规范的行为, 监管食品质量不够严格, 最终导致进口食品在冷链运输的过程中接触病毒, 从而产生了链式传播的现象。疫情期间所发生进口食品冷链安全事件, 暴露出我国控制食品冷链物流的安全水平不足, 冷链物流企业对新技术研发、使用和推广滞后, 创新水平减弱, 智能化和信息化水平良莠不齐且大部分偏低, 商品越来越同质化等问题暴露出来, 故探索出能保障冷链物流高质量发展的有效路径十分重要。

## 1.2 研究目的与意义

### 1.2.1 理论意义

突然其来的新冠疫情在某种程度上对我国的城市与农村的生鲜农产品冷链物流系统的发展是具有促进作用的,但目前处于后疫情时代,国内外对生鲜产品冷链物流的理论研究跟不上其发展的速度,这就为我国发展生鲜农产品冷链物流带来了更大的机遇。而本文改变了以往单一的模型预测的模式,采用BP神经网络模型和Lasso-BP神经网络组合模型分别进行预测,从而避免单一预测方法的局限性,有效地对我国生鲜农产品冷链物流需求进行了预测,并给出后疫情时代生鲜农产品冷链物流产业发展的对策和建议。本研究可以丰富生鲜农产品冷链物流需求预测方面的有关理论,对疫情常态化下的生鲜农产品冷链物流的发展具有一定的理论指导意义。

### 1.2.2 实践意义

科学分析疫情常态化下的生鲜农产品冷链物流需求规模,有助于推动生鲜农产品冷链物流产业投入的合理化,促使生鲜农产品冷链物流产业向绿色健康的可持续发展的方向发展。就国家层面而言,可以促使国家从宏观角度出发,围绕量和度等方面进行分析,然后根据分析的结果做出合理的决策,并规划相关检疫规则和制度。就冷链物流企业来说,通过更好地建立后疫情时代生鲜农产品冷链物流信息体系,实施合理的设施布局和有效的前景规划,可以实现目前市场的供需平衡。就消费者来说,近年来,生鲜农产品冷链物流还不完善,通过冷链物流带来的病毒污染引起的食品安全问题频繁出现,现阶段消费者越来越关注食品安全问题,这都促使了生鲜农产品冷链物流行业升级迫在眉睫。

目前研究我国生鲜农产品冷链物流需求和促进其发展的对策,对于提高大众食品安全意识,保障生鲜农产品的产品质量与安全,预防新冠疫情通过冷链传播具有不可替代的意义和作用。受新冠疫情的影响,我国社会各界日益质疑生鲜农产品冷链运输物流的发展,重新建立全国生鲜农产品冷链物流系统,将提供较为完备的信息监管方法,对于保障生鲜农产品质量与安全,维护全国城镇居民与广大农村市民的生活健康,有着重要意义。

### 1.3 国内外研究综述

#### 1.3.1 冷链物流研究综述

冷链的定义,最初是由欧美工程师 Albert Barrier 于十九世纪九十年代中期所提出的。与此同时,大洋彼岸的 J.A.ruddich 也提出了冷藏链这一术语。但在这之后的一段时间内,冷链物流并未受到人们注意<sup>[1]</sup>。随着冷链物流的不断发展,直到 20 世纪 40 年代初期,冷链物流才开始逐渐走入大众的视野。随着世界食品物流组织的成立,有效地改善了目前冷链运输过程中冷藏设备和技术存在的不足,提高了信息沟通的效率。随着冷链物流的不断发展,1958 年美国学者阿萨德、佐尔等人阐述了 3T 原则(时间、温度、耐藏性),指出三个重要因素温度、耐藏性和时间一起影响了冷链食品的口感和质量。在此基础上,阿萨德又提出了 3P 理论(包装、原料产品、加工工艺)和 3C 理论(小心、清洁、冷却),并且通过这三项理论为理论基础,促使冷链物流的发展<sup>[2]</sup>。

随后为了便于冷链物流建立相关体系的建立,各国颁布了相应的法律法规。Lars Eek 指出了冷链物流产业未来的发展方向,目的是改进冷藏冷冻食品的存放效果和降低冷链物流成本<sup>[3]</sup>。为保证国人实际生活中的食品安全问题,国外的相关专家学者决定从食品生产到配送到消费者手中的全过程保障质量,建立具备合理性、实用性和便利性等优势的具有全球影响力的食品安全检测系统。该体系从诞生到现在,始终是世界各地检验食品安全情况和食品物质含量的重要根据。20 世纪 90 年代,英国政府有关组织制定并执行了《食品安全法》,该法案第一次提出了英国在制造、配送、销售生鲜农产品时一定要遵守的底线。21 世纪初期,美国相关组织为了提高易腐蚀食物运输过程中的服务规范标准,也颁布了《冷链质量指标》,促使美国在冷链物流的全过程对易腐产品的质量检验采取更加具有规范和标准的手段。

随着冷链物流的不断发展,国外学者开始将目光转向实践方面的研究,如学者 James Lee 建议采用适当的包装和专业的运输工具,以减少冷藏和冷冻食品在运输过程中的损失。Corbett C J 等认为由于信息的不对称会造成农产品冷链物流成本的提高,由此应该实现冷链物流系统的信息化<sup>[4]</sup>。Tarantilis C D 等指出,物流技术的掌握水平在很大程度上影响着存储农产品的状态和成本的高低,通过引入新的物流技术对解决上述问题有很大帮助<sup>[5]</sup>。Bogataj M 等人指出时间距离或者温度的改变都会造成冷链物流的改变,故在冷链物流的过程中,稳定性十分重要<sup>[6]</sup>。Shabani A 等人提出物流管理的盲区是对保质期、存储和配送要求严格的食品关注度不高,鉴于此产生了冷链物流管理<sup>[7]</sup>。Joshia R 等人依据印度发展的

的现实状况,提出居民在拥有一定的冷链知识时去购买生鲜农产品会提高购买此商品的效率,指出政府、企业和社区应传授消费者常见的食品冷藏知识,以提高消费者的冷链知识水平,从消费者的层面加强监督的力度,来确保生鲜农产品的安全<sup>[8]</sup>。Abad E 等人验证了 RFID 智能标签技术能实时追踪和监测食品在物流全过程的状态,通过全面的监测数据可以提高生鲜食品的质量<sup>[9]</sup>。Cruz R M S 等人提出保存需要冷藏的食品时需要依据食品自身的特点来调节适宜的温度,食品保存温度的不同,可能会导致食品的外观和营养的改变<sup>[10]</sup>。

Loannis Manikas 等人主要通过分析配送中心的经营现状,发现了目前生鲜农产品配送中心业务存在的问题在英国物流配送体系和绩效管理中极少被提及,分析了其存在的问题,并提出建议<sup>[11]</sup>。Ellram L M 等人提出实现物流产业垂直一体化管理,不仅能实现农产品冷链物流的交易成本的降低,而且也是实现质量控制的有效手段<sup>[12]</sup>。Heikkurinen P 认为,挑选适宜的销售代理商是冷链管理的成功原因之一,与此同时许多因素也影响着选择销售代理商。模型的输入变量是销售代理商和分销中心之间的距离、年消费量,输出变量是冷库的容量、年销售量和卫生水平<sup>[13]</sup>。Osvold A 指出在运输过程中由于配送不及时导致难以保持生鲜食品的营养对食品经销商来说一直以来都是痛点,故构建带有时间窗和旅行问题的质量损失模型来解决上述问题<sup>[14]</sup>。Yahia E M 指出了发展中国家冷链物流还没有得到充分的发展,缺少具有冷链物流专业知识的技术人才,基础设施不足,冷链物流行业面临着巨大的挑战,仍然需要改进<sup>[15]</sup>。Banterle A 等在文中指出冷链物流区别于其他物流是因冷链食品生产的季节性、需要保持温度恒定和存储要求等因素<sup>[16]</sup>。

与经济发达西方国家相比,我国冷链物流行业的起步及兴起相对较晚,20 世纪 50 年我国冷链物流开始被人们提及是因为肉类出口贸易的发展。1982 年发布的《食品卫生法》促使我国冷链物流进入了快速发展时期,越来越多的人开始关注起来。不过,与经济发展迅速的国家比较,我国在物流领域的成绩仍然很少<sup>[17]</sup>。我国的学术界在研究问题时的视野和关注点有所不同,对一个问题的认识有所不同,故我国对冷链物流概念并未达到共识。直到 2001 年《物流术语》中明确提出“食品在生产、运输、销售等始终保持新鲜,保证食品质量的低温物流过程称为冷链”,这才明确得到出统一的定义。

我国学者们从不同的角度对冷链物流做了全面的研究,并指出了冷链物流发展对我国国民经济的运转质量和运转效率的重要性,而发展冷链物流又对冷链物流人才的培养、设施设备以及监管控制提出了更多更深层次的要求<sup>[18]</sup>。也有专家认为冷链物流在发展的过程面临若干问题,根据问题给出了对应的措施和意见。赵立娥依据生鲜农产品冷链物流成本过高等的不足之处,指出应对我国冷链物流

的相关法律和标准规范管理采用精益冷链物流的思想,在冷链物流配送时采用共同配送等模式以及提高冷链物流的技术等建议来降低冷链物流的成本<sup>[19]</sup>。刘璐等人发现目前在管理水产品冷链信息时忽视了冷链环境和水产品品质的关系,通过构建水产品冷链管理决策模型,发现如果将二者结合起来,可以提高冷链物流信息管理的效率<sup>[20]</sup>。王汉君等基于序参量计算模型和协同选择理论对当下冷链物流存在的问题进行分析,指出需减少冷链物流的成本,增加设施设备利用效率,提升工作人员素质等,才能提高冷链物流的运作效率<sup>[21]</sup>。郝书池指出冷链物流若想长久发展,它需要政府、企业和物流行业通力合作,缺少任何一方都是难以进行的。但我国冷链物流行业缺少专业的管理人才,因此我国应培养具有冷链物流管理经验的专业人才,并且高校也应该夯实物流专业学生的理论知识<sup>[22]</sup>。

胡天石指出与发达国家相比我国冷链物流的发展水平较并不乐观,充分调动消费者对高品质食品的需求是促进冷链物流快速和高质量发展的关键<sup>[23]</sup>。王微微认为,目前我国冷链物流在硬件和软件方面都出现了若干问题,因此提出要加强政府对冷链物流硬件设备的支持力度,在软件方面也要大力扶持产业和财政金融政策、培养冷链物流企业和对冷链物流发展具有推动作用的全方位人才,加强对物流信息化的建设和鼓励冷链物流技术的研发等<sup>[24]</sup>。孙春华指出为保障我国居民对生鲜农产品的需求和增加农民的收入,政府应越来越重视冷链物流的发展,但我国冷链物流的流通率和欧美国家相比所占比率偏低,且冷链物流的基础设施建设水平低制约商品的进出口,故从政府层面、企业层面冷链物流行业层面、市场层面、人才层面等对冷链物流的发展提出了对策<sup>[25]</sup>。黄颖秋以城乡融合的视角,重点分析了当前冷链物流供需情况的发展现状和存在的问题,并提出了要整合促进城镇和乡村发展的物流资源以及转变冷链物流管理体系的理念的发展思路<sup>[26]</sup>。

由于 2013 年中央一号文件提出了多项冷链物流的相关政策,促使我国冷链物流的发展步入了一个全新时期,在信息化的背景之下,我国冷链物流由小规模向大规模的方向发展<sup>[27]</sup>。冷链物流的主要特征是具备较强的时效性,能够利用互联网、大数据、北斗系统、云计算等现代化信息技术,及时完成我国冷链物流管理情况的信息监测工作,以提高对全国冷链物流信息化的全程化跟踪管理水平,使物流信息和服务信息能够有效连接紧密<sup>[28]</sup>。我国为了确保冷链物流领域的稳步发展,颁布了有关政策法规,支持我国物流企业建设较为健全的冷链物流管理系统,使企业利用成熟的管理体系提高生鲜农产品的运输速度和日常工作效率。一种合理完善的冷链物流管理体系可以通过互联网对企业内部的生产、运输等流程进行及时进行检测,从而平衡市场、消费者和物流企业间的关系<sup>[29]</sup>。2020 年中央一号文件发布了“推进农业高质量发展”的要求,罗千峰等以冷链物流高质量发展为目标,提出促进冷链物流发展的对策和建议,以此来促使冷链物流产业的转

型和升级<sup>[30]</sup>。高维新等分析了我国西部地区冷链物流发展存在的问题，并在双循环新发展格局的背景之下提出促进我国西部地区冷链物流高质量发展的路径<sup>[31]</sup>。

### 1.3.2 物流需求预测方法的研究综述

目前常用的物流需求传统的预测方法有时间级数法、因果分析法和随机法<sup>[32]</sup>，而在此基础上，Korpela J 等又将决策支持系统用作物流需求预测研究，并指出决策支持系统相对于预测的传统方法有很大改进<sup>[33]</sup>。随着科技的发展，Yun S Y 等学者们也把人工智能方法运用在预测货运量之中<sup>[34]</sup>，Carbonneau R 等运用递归、支持向量机以及神经网络等自适应的机器学习技术来研究物流需求的预测<sup>[35]</sup>。与此同时，研究者们还对不同预测模式开展了类比分析，例如 Amirsha ban 等对比了移动平均法、加权移动平均法、指数平滑法以及灰色预测方法，并利用仿真实验确定了灰色预测方法的稳定性最强<sup>[36]</sup>。Benkachcha S 等比较了多元线性回归与神经网络预测模型预测供应链需求的精确度，结果表明，神经网络预测模型的准确性更高<sup>[37]</sup>。Jaipuria S 等对 ARIMA 模型和 DWT-ANN 模型对区域物流需求进行预测研究，经过对比分析发现 DWT-ANN 模型更有效<sup>[38]</sup>。Eksoz C 等采用了神经网络模型和灰色模型，全面的分析了影响需求预测的因素，科学的预测了短期的冷链物流需求<sup>[39]</sup>。Huang L 等人采用 GM(1,1)模型和 BP 神经网络模型对物流需求进行模拟预测。结果表明，和 GM(1,1)模型比较，BP 神经网络模型预测的误差更小，预测结果更稳定<sup>[40]</sup>。Munkhdalai L 等对多元线性回归模型、MLP 模型、LSTM 模型、UBER-LSTM 模型和 MLP-SUL 模型进行对比分析，得出 MLP-SUL 模型对预测韩国的物流需求最为有效<sup>[41]</sup>。

随着研究的深入，单一模型不再能满足学术界对于物流需求预测的研究，有学者认为采用组合预测模型可以更为精准的预测物流需求<sup>[42]</sup>，Bates 等于 20 世纪 60 年代提出基组合预测的思想，依据数据的实际情况和特征的特进行组合，并指出组合预测模型能够比单独预测模型的误差更小<sup>[43]</sup>。Ma H 等结合 logistic 回归算法构建了神经网络算法模型，结合实例来预测物流需求<sup>[44]</sup>。Yu N 等将蚁群算法和支持向量机 (SVM) 结合起来预测城市物流需求，实验结果表明，改进的 SVM 预测结果精度更高、稳定性更强、错误率更低，使预测结果更接近实际<sup>[45]</sup>。

我国目前的物流需求预测方法主要包括两方面，一方面是定性预测，主要有头脑风暴法、市场调查法、德尔菲法等，另一方面是定量预测，主要包括回归分析法、灰色预测模型和时间序列模型、人工神经网络、隐马尔可夫模型和最小二乘支持向量机等<sup>[46]</sup>。但目前我国大多数学者在对物流需求预测时采用定量预测方法，例如牛芳兵采用灰色 GM(1,1)预测模型，使用此模型预测了物流需求规模，并提出了对策<sup>[47]</sup>。周晓娟选取了河北省 1990-2009 年统计年鉴上的相关数据作为

原始数据, 为了达到减弱多重线性的目的, 确定回归模型, 并对模型进行了相关检验, 结果验证了模型的精确性很高<sup>[48]</sup>。兰洪杰等首次将 BP 神经网络用于预测北京奥运会期间对食品冷链物流需求, 并指出对冷链需求预测可以减缓冷链的不确定性<sup>[49]</sup>。李隽波等认为要想满足水产品的市场需求, 必须要对冷链物流需求进行预测, 故使用了多元线性回归分析法来预测冷链物流需求量<sup>[50]</sup>。

由于众多因素影响物流需求, 单一的预测模型已经满足不了实际的要求, 学者们目前纷纷对各种单独的预测模型进行组合, 以满足提升预测精度的需求。例如, 李晓利根据单独的物流需求预测方法的不足, 采用神经网络与灰色系统的组合模型, 构建物流需求预测模型<sup>[51]</sup>。对于应用于复杂非线性系统具有可行性。许利枝等基于 TEI@I 理论提出了综合集成预测模型, 预测和分析了港口物流想需求量, 通过验证得出集成预测模型的预测效果好于单个模型的预测结果<sup>[52]</sup>。黄勤等利用粒子群算法得出单一模型的权重, 然后构造 BP 神经网络、ARIMA 和 SVM 模型的组合预测模型, 然后以重庆市为例进行实证分析<sup>[53]</sup>。张国玲等提出一种可以将 ARIMA 的时间序列预测模型与 BP 神经网络结合在一起的组合预测模型, 通过仿真实验得出组合预测模型更能够全面的反映出物流需求量的变化规律<sup>[54]</sup>。张喜才等将马尔科夫链用于改进灰色预测模型来定量预测京津冀地区的冷链物流需求, 结果显示运用改进后的模型预测相对误差更低<sup>[55]</sup>。

### 1.3.3 物流需求预测指标的研究综述

物流需求作为一种衍生需求, 不能只用商品的货运量来表示, 因此无法用单一的商品的货运量来代替物流需求。在选择物流需求指标时, Lambert D M 基于对物流行业和企业需要的综合分析, 提出物流成本能够在一定程度上反应出代表物流需求, 同时指出管理、服务、仓储、运输四个方面的成本构成了物流的总成本<sup>[56]</sup>。Yaghini M 等在战略、战术和操作三个方面指出了铁路货运量对物流需求预测的影响<sup>[57]</sup>。Liimatainen H 对芬兰未来道路的货运量进行了研究, 通过德尔菲法分析了 GDP 等七个影响货运量的经济指标, 得出了不同的经济发展水平会导致交通运输需求量的不同<sup>[58]</sup>。Nuzzolo A 指出精准预测区域物流对解决一个城市内部和其他城市间的交通运输问题至关重要, 并且根据物流需求预测的特点构建了 O-D 矩阵, 并提出物流需求预测与货物运输服务类型、交货提前期和车辆类型等指标有关<sup>[59]</sup>。还有一些学者针对不同的情况建立了多元化的物流需求预测指标体系。例如, Nguyen TY 基于东南亚物流发展的视角, 提出 GDP、区域物流总量增长率、物流区域吸引力、区域物流分布、区域距离对物流需求的影响是密不可分的<sup>[60]</sup>。Du BC 等提出以全国货运量代表物流需求量, 选取国内生产总值、邮电业务、社会消费品零售总额、居民消费水平四个指标作为影响物流需求量的因



素<sup>[61]</sup>。

国内许多学者针对不同的情况建立了多元化的物流需求预测指标体系,主要以货运量、货运周转量和社会物流总额来替代物流需求。方威等通过线性回归方法构建物流需求预测模型,并选取以社会物流总额来表示物流总需求作为响应变量,以 GDP 为代表的宏观指标和以社会物流总费用为代表的微观指标为解释变量<sup>[62]</sup>。韩慧健等运用模糊认知图和遗传算法来预测我国物流需求,选取社会物流总额作为我国物流需求预测的指标,并将社会固定资产投资平减指数、GDP 平减指数、进出口指数居民消费指数作为影响因素<sup>[63]</sup>。王燕霞等通过灰色关联度分析模型发现货物周转量比货运量更能反映出江苏省的物流需求,然后通过灰色 G(1,1)、指数平滑、回归分析的组合预测模型来预测物流需求<sup>[64]</sup>。

我国学者主要通过使用生鲜农产品冷链物流需求总额、生鲜农产品的产量和生鲜农产品消费量来代表冷链物流需求的量化指标。在生鲜农产品产量层面,杨箐等以水果、肉类、水产品、柑橘、蔬菜、蕉类的产量来预测广西省未来六年的冷链物流需求<sup>[65]</sup>。吴英等采用灰色模型预测了六安市茶叶、蔬菜、水果、肉类和农产品的产量,以此来代替冷链物流需求变量<sup>[66]</sup>。李义华等选取湖南省的主要农产品产量为预测指标,使用灰滑动无偏灰色模型进行预测,获得了较好的结果精度<sup>[67]</sup>。杨丽英等选取了能够代表崇左市农产品的七种农作物的产量,作为冷链物流需求预测的重要指标,并分析了预测结果需求增长的原因,以此为崇左市冷链物流产业的发展提供建议<sup>[68]</sup>。在生鲜农产品冷链物流需求总额层面,李俊瑜以福建省为例,通过构建多元线性回归分析预测生鲜农产品冷链物流需求总额,进而预测冷链物流需求,并验证了模型的有效性<sup>[69]</sup>。冯永岩也选取了社会物流总额作为预测生鲜农产品冷链物流需求的替代变量,通过构建 BP 神经网络和主成分回归分析的组合预测模型来预测北京市的社会物流总额,并将预测结果与实际值进行对比,据此提出促进北京市冷链物流行业的发展建议<sup>[70]</sup>。在生鲜农产品消费量层面,王少然以天津市为例,从区域发展水平、市场供给与需求因素、产业结构水平、区位优势因素和物流行业因素五个层面中选取了影响生鲜农产品消费量的 14 个指标,然后构建基于 SVR 的组合预测模型来预测天津市生鲜农产品冷链物流需求<sup>[71]</sup>。王赫男以河北省为例,采用城乡居民对生鲜农产品的消费需求作为反映冷链物流需求的指标,并优化了冷链物流的市场供需不匹配的问题<sup>[72]</sup>。王秀梅选取农产品的消费量代表冷链物流需求,并提出一种基于集合偏最小二乘法、二次指数平滑法和 ARIMA 时间序列法的权重分配组合方法<sup>[73]</sup>。王晓平等从农产品供给、冷链水平、社会经济指标、物流需求规模、人文发展五个角度,采用遗传算法优化神经网络的方法预测北京城镇生鲜农产品的消费量<sup>[74]</sup>。

## 1.4 研究内容

本文主要研究内容是在后疫情时代背景之下,以我国生鲜农产品物流的需求为研究对象。首先,梳理出影响我国冷链物流需求的因素,并基于灰色关联分析方法,构建了需求预测指标体系。其次,利用 Lasso 方法选择关键影响因素,采用 Lasso-BP 神经网络组合预测模型,以期得到更准确的冷链物流需求预测,利用我国相关数据进行了实证研究。最后,依据我国冷链物流的发展的特点,提出在疫情常态化下促进我国冷链物流的持续发展的对策和建议。

第一章,绪论。本部分重点论述了研究背景、意义及国内外发展现状,同时也介绍了本文的研究方法、主要内容、创新点以及技术路线,为本文的研究奠定了扎实的基础。

第二章,生鲜农产品冷链物流相关理论基础。本部分梳理生鲜农产品冷链物流的内涵和特点,论述了物流需求预测的相关理论及目的,并分析疫情常态化下冷链物流的发展现状,为后续研究提供充分的理论基础。

第三章,生鲜农产品冷链物流需求预测指标体系的构建。本部分首先总结出疫情常态化下我国冷链物流需求的影响因素,然后对模型所需数据进行搜集和处理,最后,通过灰色关联度分析的方法,建立了生鲜农产品冷链物流需求预测的指标体系。

第四章,生鲜农产品冷链物流需求预测模型的构建。本部分对比分析 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络模型,得出 Lasso-BP 神经网络模型预测效果更精确,故通过此模型来预测在疫情常态化背景下我国生鲜农产品冷链物流的需求。

第五章,生鲜农产品冷链物流产业发展对策分析。本部分依据需求预测结果和疫情常态化我国生鲜农产品冷链物流产业的发展现状和存在的不足,据此给出相应的有助于冷链物流产业发展的对策和建议。

第六章,结论与展望。本部分首先梳理出指标体系的构建、预测模型方法的选择和预测我国生鲜农产品需求的结果,然后根据本文存在的不足给出展望。

## 1.5 主要创新点

(1) 在研究背景方面。新冠疫情的突然出现对生鲜农产品的供求关系造成巨大影响,对生鲜农产品供应链的稳定性造成了冲击。因此,在疫情常态化下对生鲜农产品冷链物流需求进行预测是至关重要的。

(2) 在研究视角方面。目前国内外对生鲜农产品冷链物流的研究还不成熟,以往的研究中大多数是对物流需求的预测,对于生鲜农产品冷链物流需求的预测

较少。

(3) 在研究方法方面。本文采用了 Lasso-BP 神经网络组合预测模型的研究方法, 可以结合各个单一预测模型的优点, 弥补单一预测模型的缺点。通过 Lasso 方法对 BP 神经网络模型的输入变量进行筛选, 可以降低影响冷链物流需求预测指标的维度, 提高模型运行的效率和精确度。

## 1.6 研究思路

### 1.6.1 研究方法

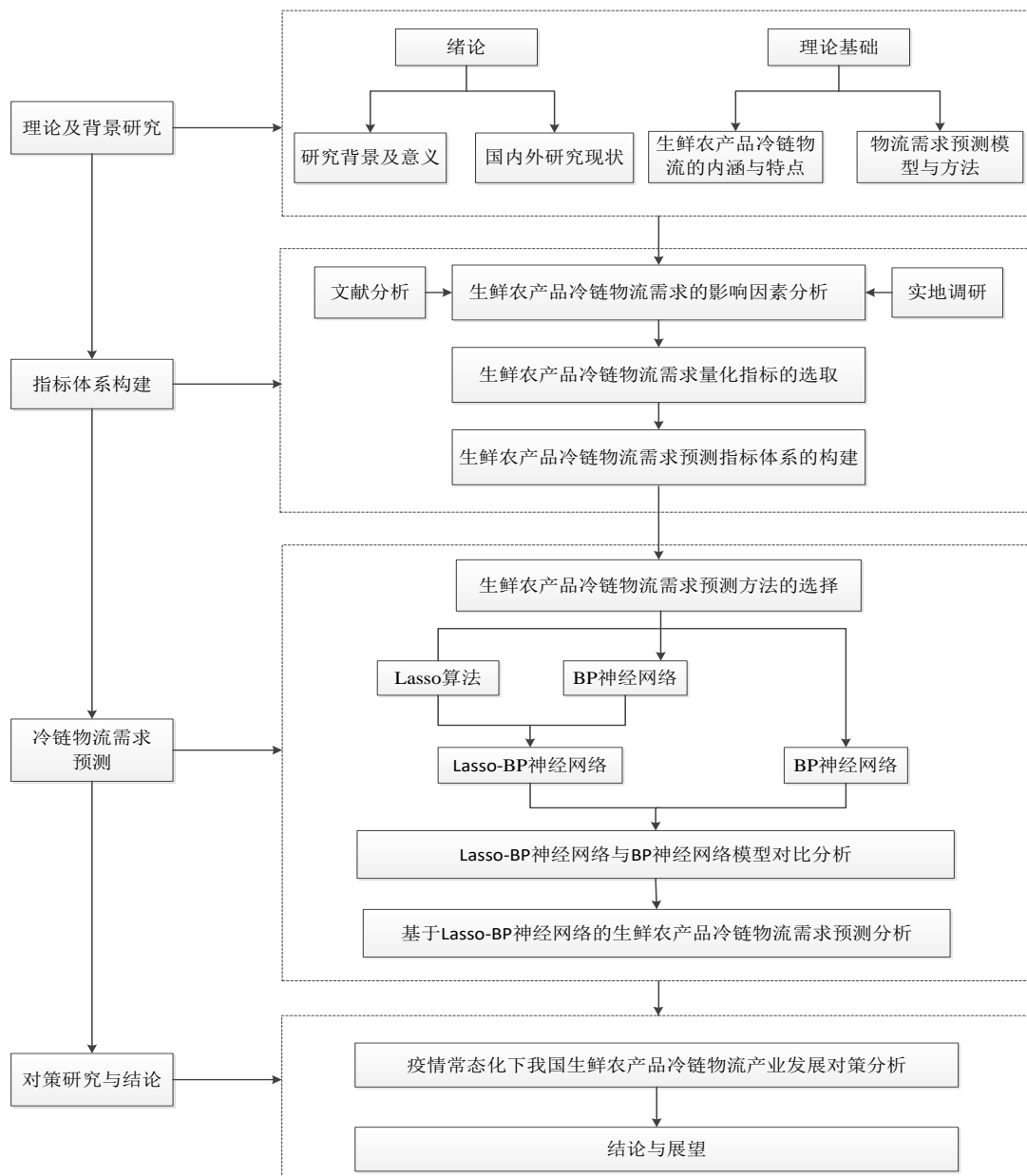
(1) 文献研究法。通过知网、万方和 web of science 阅读了大量冷链物流相关的文章, 对冷链物流的研究现状有了清晰的认识。根据本文的研究对象和目的, 探究适合本文的研究方法, 以此使本文更具有科学性和准确性。

(2) 定量分析法。本文使用了灰色关联分析、Lasso 方法和 BP 神经网络模型, 分别构建了冷链物流的需求预测指标体系和冷链物流的需求预测模型, 通过定量分析的方法预测我国生鲜农产品冷链物流的需求, 使得预测结果更加具有说服力。

(3) 比较分析法。本文通过对比分析 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络模型的预测结果, 选取较小误差的预测模型, 证明组合预测模型比单一预测模型更精准。

### 1.6.2 技术路线

基于以上阐述, 研究的技术路线如图 1.2 所示。



1.2 技术路线图

Fig.1.2 Framework of the objective

## 第二章 生鲜农产品冷链物流相关理论基础及现状分析

本章通过国内外研究现状梳理出生鲜农产品冷链物流的内涵和特点,并论述了物流需求预测的相关理论及目的,并分析疫情常态化下冷链物流的发展现状,为后续研究提供充分的理论基础。

### 2.1 生鲜农产品冷链物流的内涵与特点

#### 2.1.1 生鲜农产品的定义

《农产品质量安全法》将农产品定义为进行农业生产活动获取的动植物、微生物及其附属产物等,但是现有的学术研究成果和有关的资料并不能对农产品有一个统一的概念,但根据农产品的核心特点,已经达成了基本共识。一般指没有经过加工或只进行简单的处理,需要在特定的温度下运输和处理的农业产品。而生鲜农产品大多是指农户或其他生产商养殖、种植的,不做任何加工处理或只进行简易加工后,流入市场,但由于农产品多数具有时效,所以为了保证其特征以及食用安全,在运输环节需要进行冷藏、冷冻保存,最后提供给人们食用的产品。本文的生鲜农产品主要包括新鲜蔬菜、水产品、水果、禽蛋产品、肉类产品以及奶类产品。

生鲜农产品的实质在于“鲜”,但多是容易变质易腐的产品,为提高生鲜农产品的新鲜度和品质,在储、运、销等流通环节都需要温度条件进行严格的控制。所以,生鲜农产品市场对质量管理以及商品保鲜技术的要求,都甚为严格。主要有以下特征:

##### (1) 时效性高

在市场交易流通中,多数产品都具有时效性,时效性影响了产品的价值。在农产品中,时效性更为直观明显,因为多数农产品会因为温度、湿度等一些外部因素,导致其变质腐烂,进而影响其本身的使用价值,自身的营养物质也会发生质变。

##### (2) 难以实现生产标准化

生鲜农产品因受气候、土壤、水、温度、时间等不同因素的影响而千差万别,故不能标准化生产。

##### (3) 季节性特征十分明显

我国是农业大国，生鲜农产品种类繁多多变，不同地质环境培育出的农产品也千差万别。在不考虑外部因素对农产品的生长影响外，农产品自身生长周期也有很大差异，所以农产品的季节性特征十分明显。例如在北方农产品成熟时节，冷链物流的刚需会增大，南方受季节影响冷链物流刚需则更大。

### 2.1.2 生鲜农产品冷链物流的定义

冷链物流的概念于 19 世纪 90 年代被提出，最开始被叫做“货物配送”或“实物分配”。起初大多数人并没有重视冷链物流，各学者直到 20 世纪 40 年代中期才开始认识到生鲜农产品的口感和新鲜程度和冷链物流密不可分，紧接着人们开始重视冷链物流相关的理论研究和知识的学习。我国于 20 世纪 90 年代，才第一次公开提出“冷链物流”的定义。随着 2001 年我国发布了《中华人民共和国国家标准物流专业词》，冷链物流被定义为：为了保持生鲜食品及冷冻食品从生产到消费的整个过程的稳定低温状态和食品原本的状态，从而配有专业的设施设备的物流网络机制<sup>[75]</sup>；《农产品冷链电商物流发展规划》于 2010 年被国家发改委颁布，将冷链物流界定为：为了在源头上保证肉类、水产品、果蔬等生鲜农产品的质量、防止其变质的风险，确保生鲜农产品从生产、流通加工、包装、运输、仓储以及销售等全过程都处于低温的自然流通环境之中的物流系统<sup>[76]</sup>。

生鲜农产品绝大多数被划分为三类冷链产品，包括加工、初级和特殊冷链产品等。生鲜农产品冷链智能物流是以冷链物流作为基础的，在其行业发展的初级阶段，当时的居民对冷链物流认识仅仅停留在基础的操作层面。而随着时间的推移和人们认识的提高，冷链物流已经发展到包含了规划、管理、信息处理等内容。它是基于普通物流基础上产生出的新式服务的主要方式，并且带有典型的现代服务业特征。

### 2.1.3 生鲜农产品冷链物流的特点

生鲜农产品含有丰富的我们生命所需的必要微量元素和有着生命之源之称的水，其内部生命活动的微生物群落相对其他产品更多，所以发生霉变集体腐烂是生鲜农产品的最显著的特性。冷链物流在从原材料生产、分拣、流通加工、仓储、装卸搬运、配送以及销售等整个流通过程中是存在高度不确定性的，而且在物流运作过程中经常会因微小的碰撞或者摩擦，也会对生鲜农产品带来难以挽回的危害，这会造成农作物很快发生质变。进而，在整个冷链物流过程中，就需要根据不同产品的腐坏程度等特点设定对应最适合的环境温度特性，由此保证食品的稳定性以及其价值。生鲜农产品冷链物流与普通物流相比是不同的，具体特征如下：

### （1）温控精确、时效性高

不同生鲜农产品由于其本身的特性差别较大，对存储的湿度、光照、温度等环境条件要求也更严苛敏感，因此，在冷链物流的各个环节，为了保证生鲜农产品的质量，减缓产品新鲜度的下降，不同生鲜农产品的最佳贮藏环境也有很大差异。一般来说，水果、蔬菜和蛋类储存在 5 摄氏度到零下 5 摄氏度，比较通风的环境中，肉类和水产品储存在零下 10 摄氏度与零下 18 摄氏度之间。由于冷链物流产品极易腐烂和冷链物流环节具有较强的时效性的特点，生鲜农产品对交货时间的要求相对比较严格，故为了保证生鲜农产品的品质与经济效益，必须按时配送到顾客手中。

### （2）资金投入多、日常维护频繁

生鲜农产品一般都具有鲜活性、保质期短、较难储存等特点，且在运输过程中易发生霉变，因此对运输车辆的温度和湿度的要求一般较高，在运输途中必须要使用专业的果蔬冷藏车辆，以此来降低生鲜农产品的变质率和损毁率。但是要建立具有温度监控的专业冷库和能吸水防腐的冷藏车辆的投资成本很高，一般是普通冷库和冷藏车的三到五倍。其次专业的冷风循环系统和制冷机也会在运输途中增加运输成本。另外，产品从上游的供应商到下游的消费者的整个运输过程中，道路质量、车辆速度、装卸搬运等多方面原因都能引起车辆内部的温度变化，这会破坏生鲜产品能够赖以生存的外部环境，从而加快了生鲜农产品的变质和腐坏，降低了生鲜产品运输的质量，增加了企业的沉没成本。因此，企业需要加大资金投入，按照专业的要求建立冷库和购买冷藏车辆，且定期也要维护冷藏车辆等物流设施，保证冷藏设备正常控温。

### （3）设备专业性强、安全防护高

生鲜农产品冷链物流的核心要求是保持一定的温度。为确保生鲜农产品的质量，在生鲜农产品运输的全过程中必须持续保持一定温度。在运输过程中，可以使用专用设备和特殊手段来确保生鲜农产品的品质和新鲜程度。比如，使用 GPS 技术实时定位运输车辆的位置，利用温度传感器来控制运输过程中的温度。

## 2.1.4 生鲜农产品冷链物流流程

生鲜农产品在初次采摘（屠宰或捕鱼）、预冷却或简单加工后进入食品流通市场。其中一些是当地消费者直接消费的，它们不需要经过冷藏、冷链运输与配送。其他大部分生鲜农产品需要由批发商和分销商进行转运，或直接销售给大型连锁超市、餐饮企业、个体商贩、小农贸市场或城市分销商场而不加以转移，最终到达消费者手中。整个过程包括预冷处理、冷冻加工、冷藏、冷（冻）运配送、最后一公里冷链服务等，同时也包括信息流和资金流的传递。图 2.1 显示了生鲜

农产品冷链物流的流程图。

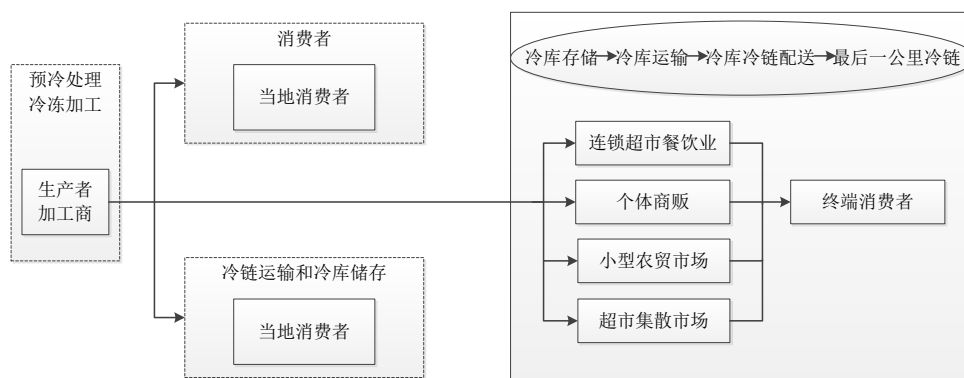


图 2.1 生鲜农产品冷链物流流程图

Fig.2.1 Flow chart of cold chain logistics of fresh agricultural products

## 2.2 物流需求预测概述

### 2.2.1 物流需求预测含义及理论

预测是指通过分析历史数据，以确定所要研究对象的变化趋势和规律。赵启兰指出，物流需求是社会和经济活动有能力支付物流的所有环节（如运输、仓储、配送、流通和加工）的需要<sup>[77]</sup>。所以，为了进一步提高生鲜农产品冷链物流需求预测的精度，本文在进行文献分析之后，选择了科学合理的预测流程进行预测。具体预测流程如图 2.2 所示：

（1）提出合理的目标。设置目标对最后预测结果的合理性有很大影响，也在很大程度上确定了研究和分析的方向。

（2）确定研究对象：确定研究对象是本文的核心步骤。例如，研究冷链物流在哪个区域和产品类型的需求，预测为短期、中期或长期的时间跨度，以及预测的观察视角为宏观、中观或微观，都为今后的预测研究奠定了基石。

（3）关键影响因素分析：由于冷链物流需求影响外部因素很多，同时也受到周围环境因素的影响较大，加上对个体生活预测有很大不确定性，故需考虑降低风险、不可控等多种因素的共同影响。唯有做好全方面、综合性的数据分析，方可实现较为精确的预测。

（4）构建自然科学的评价模型：指标体系的确定是预测分析其他工作的前提，针对行业诸多相关影响因素，利用有效的手段提供信息指标，建立需求预测指标体系。

（5）选择预测方法：准确的分析预测能够为科学的决策提供数据支撑，因



此需要尽量减少误差范围,以提高预测的精度,但是生鲜农产品物流存在多方面的不确定性,因此各项影响因素存在随机变化的情况,唯有选取适当的预测方式,才能提高预测的适用性及精确性。

(6) 构建预测模型。确定了预测方法之后,采取相应的方法,通过科学的手段构建需求预测模型,与此同时还要对新构建的模型进行精度评估、误差分析,如果偏差很大,则需重新选择预测方法或者重新构建模型。

(7) 适当调整预测结果进行深度解析。在开展实际预测工作之前,必须提前判断模型测量结果的准确度,换言之就是分析模型的相对误差状况,如果发现误差相对很大的时候,就必须通过不断调整影响因素和模型系数加以不断调整,并在最终达到之前设置的预测目标。

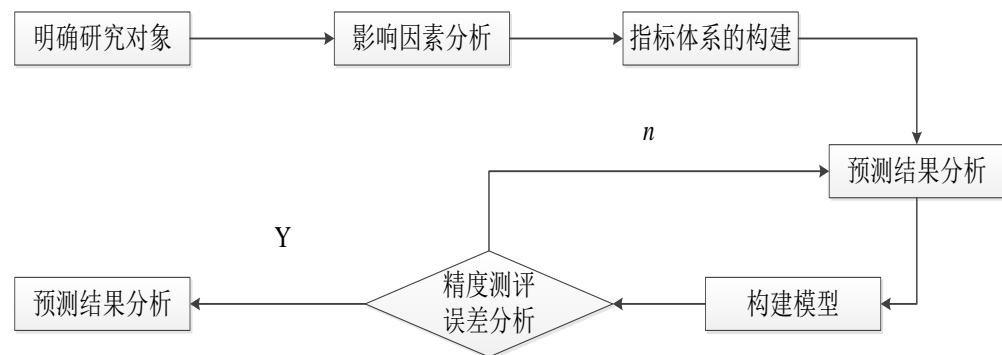


图 2.2 物流需求预测步骤图

Fig.2.2 Logistics demand forecasting step diagram

### 2.2.2 物流需求预测的研究目的

当今社会,随着我国经济的高质量发展,相关专家和学者们对提高生活质量的方法和优化资源配置的策略等方面有了更高的关注。人们在生鲜农产品的安全和物流服务等社会服务等诸多方面提出了越来越多的要求。

从物流产业促进经济社会发展的角度出发,从 2015 年到现在,为紧跟市场经济发展的步伐,以适应广大人民群众个性化消费的需要,我国先后规划和部署了生鲜农产品冷链物流产业的可持续发展工作。生鲜农产品冷链物流需求预测的研究成果对规划我国冷链物流产业具有重要意义。我国物流的主管部门在初步规划生鲜农产品冷链物流的战略发展工作中制定切实可行的差异化战略方针时,对冷链物流需求做出科学合理的预测起到了重大的影响。在制定我国生鲜农产品冷链物流相关税收、财务政策、行业规划和有关企业做出决策时也离不开对冷链物流的需求预测,从而实现优化冷链物流行业的资源配置。从冷链物流行业管理角

度出发,许多原因都影响了冷链物流需求预测,如冷链物流的交易市场等。政府可以结合当前我国整体和每个地区的发展现状和发展瓶颈,建立合理的良性竞争法则,从而使整个冷链物流行业健康良性的发展。另外,在微观经济学的层面来说,无论哪个行业的资源优化都离不开整体的战略规划,包括冷链物流企业也是这样。在冷链物流企业中,管理人员需要基于未来冷链物流需求的预测结果,对资源进行合理的优化配置,达到以最少投资获取最高利润的目的。

因此,冷链物流需求预测,从任何角度对一个国家或区域的冷链物流行业发展都具有举足轻重的意义。在规划冷链物流产业的发展方向时,要根据国家或区域的冷链物流需求,差异化的设计符合人们需要的冷链物流产品,对冷链物流产业的发展规模和增长速度做出有效的规划和控制,最大限度地提高冷链物流产业的发展。

## 2.3 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流现状分析

### 2.3.1 发展现状

#### (1) 无人配送成为疫情期间新常态

在此次疫情期间,生鲜农产品的物流订单量倍增。因各小区都进行一定程度的封闭管理模式,快递进入小区受阻,造成配送困难的问题。此外,在交通运输并不便利的乡村地区以及边远山区等地方,生鲜农产品冷链物流配送的场景也较为复杂。目前,传统快递公司和电商快递公司都在不断探讨无人机的应用。不管是在疫情时期或者后疫情时期,无人物流配送都表现出了自己独有的优越性。无人物流配送的模式不但能够在特殊时候解决问题,同时也能够在一般状况下将配送成本大大降低,物流效率也可以得到提升,还可以减轻劳动力短缺的问题。

#### (2) 市场空间巨大,发展升级受阻

生鲜农产品因为本身具有易变质、鲜活性和存储困难等特征,导致其运输的方式区别于其他一般产品的运输方式。必须有针对性的购买和使用冷库、冷藏车等冷链物流配套基础设施,要对整个流程实施严格和精细化的监管和控制,目的是使生鲜农产品的品质保持良好。生鲜农产品的物流规模已经远远的超过了万亿元的大关,冷链物流种类繁多,且由于冷链物流水平现对于其他的常规物流的水平仍然较低,所以有着巨大的发展潜力与升级空间。

#### (3) 运输工具的联动为物流升级提供新引擎

货运量对我国生鲜农产品冷链物流的需求量关联度很高,而运输货物需要交通运输工具作为载体。我国最初是采用铁路的方式来运输生鲜农产品的,可以满足大规模、定向型产品的运输需求。随着生鲜农产品市场发展的越来越繁荣,公

路运输因其灵活的特点已逐渐成为生鲜农产品主要的运输方式,目前随着高铁和航空业的蓬勃发展,我国目前已经形成了“海陆空”三位一体的综合运输方式。与此同时冷链零担物流的兴起标志着我国冷链物流网络化体系越来越完善,这也是为构建更为立体冷链物流体系提供了基础。

#### (4) 电子商务有助于原产地快递模式

在电子商务的助力之下,各式各样的生鲜农产品纷纷进入千家万户。且随着我国“海陆空”网络的完善和快递运营模式的成熟,已经完全可以直接由产地到消费者手中的流通模式。通过前文的分析可知生鲜农产品大多具有易腐烂、易变质的特征,对物流运输有着极高的要求。而产地直销的生鲜农产品快递模式与传统的贸易模式相比,在保鲜程度、腐坏率和时效性和品控方面都有很大的提升。电子商务的出现很大程度上缩短了生鲜农产品从产地到消费者之间流转的距离,产地快递模式顺应电子商务的潮流而产生,其特点非常突出,因具有较强的时效保证和能够保持新鲜度而得到了消费者的青睐。但也存在一定的缺点,物流成本的增加和物流管理难度的增大都使得原产地快递模式发展受限。

### 2.3.2 存在问题

#### (1) 生鲜农产品供求关系受到冲击

疫情防控期间,生鲜农产品的供应量对农产品市场的稳定起到至关重要的作用。在疫情期间供需关系受到严重的冲击,同时也暴露出我国在生鲜农产品供应方面的一些缺陷。消费者对生鲜农产品的需求不断增加,然而产品供给却不足以满足消费者的需求量。因此,如何优化疫情下生鲜农产品的运输,增加生鲜农产品的供应量,满足消费者的需求,已成为我国生鲜农产品供应链体系亟需解决的问题。新冠肺炎疫情的爆发不仅使得企业的运输成本、原材料成本以及劳动力成本等提高了,而且也造成了生鲜农产品和其他生活必需品供给和需求的失衡。与此同时,疫情也对我国一些大型专业物流企业的高效运营造成了影响。在疫情突发期间,生鲜农产品原料供应、流通加工、运输、配送、生产、销售、金融服务等环节集成化程度不高,由于运输体系连接的不通畅也导致产品库存增多、配送困难。在这个特殊的时期内,生鲜农产品供求关系受到前所未有的冲击,响应速度变慢。

#### (2) 冷链物流发展水平低,基础配套设施迫切需要完善

我国生鲜农产品冷链物流尚处于发展阶段,物流基础设施与配套设施建设速度远不及社会对冷藏冷冻食品需求增长的速度,冷链物流供给无法满足社会需求。第一,在当前冷链物流从业人员中,大多数人员并未经历冷链物流系统专业的培训,业务技能生疏,行业管理人才匮乏。第三产业的从业人员的业务水平对冷链

物流的发展甚为关键,从业人员的业务水平当前仍然落后于冷链物流的发展水平。第二,相比于普通物流,冷链物流在运输、储存等方面有着严格的要求,因此在基础设施方面有着更高的要求。例如,在青海、云南等地,存在着大量当地特产的生鲜农产品,涵盖了粮食、水果等,但由于道路基础设施不完善,导致生鲜农产品由产地运输到销地的冷链成本加大,对冷链物流的发展产生极大地限制,对当地经济的发展也产生了阻碍。第三,当前我国生鲜农产品生产基地与加工基地处于分散状态,冷库容量供给严重不足。虽然我国拥有着世界领先的冷库总容量,但相对于日益增长的冷链物流需求还是显得捉襟见肘。最后,冷链物流的运输方式主要是汽车和火车,配送主要依托道路基础设施的覆盖程度,虽然国家不断加强在道路设施方面的投资,但在某些偏远地区,冷链物流配送仍存在盲点。

### (3) 生鲜农产品冷链物流体系尚未形成

近十年我国生鲜农产品冷链物流发展迅速,但未在全国范围内形成其物流体系。冷链物流与物流行业发展息息相关,我国生鲜产品冷链物流目前仍存在分散、混乱且规模小等问题。第一,存在分散的问题。我国区域经济发展极不平衡,东中西部各省的经济发展方向的不同影响着其冷链物流体系建设,导致其缺乏区域间紧密的联系,形成“体系孤岛”,各省市体系分散。第二,存在混乱的问题。当前行业内各企业规模相差较多,各自存在一定程度的管理问题。大型企业的冷链物流建设初期的标准和机械设备的现代化程度较高,但更新换代较慢,技术发展日渐退步。中小型企业因企业实力受限,其相关配置大多为私自改造,远低于当前行业技术标准。第三,存在规模的问题。物流行业主体仍是农户为主的小型农产品运输企业,这类企业由于业务单一、从业人员素质不高,缺少对农产品加工要深而精的认知,其企业规模偏小,难以快速发展扩大业务范围。综上所述,当前我国生鲜农产品冷链物流仍未形成完整的行业体系。

### (4) 生鲜农产品冷链物流的供应链畅通性不足

伴随着我国城乡一体化的持续深入,当前我国农村运输集散的基础设施建设正在不断完善,一直受到重点关注的“最后一公里”的短板问题也在不断地得到改善,但“第一公里”问题依旧未得到改善仍是明显的短板。并且对于生鲜农产品冷链物流中的配送环节来说,相比于“最后一公里”配送问题,“第一公里”已经变得越来越关键。2020 年两会就如何弥补冷链物流“第一公里”运输短板这一问题展开全方面的探讨及探索制定科学、有效、合理的解决方案,力争畅通生鲜农产品“第一公里”。但是,由于当前我国生鲜农产品的冷链物流“第一公里”总被忽视,从而造成整个生鲜农产品冷链的“断链”。

按照相关统计,2020 年我国冷链物流百强公司基本上是以综合型和运输型的物流公司为主导,其中综合型占据了四分之一左右,运输型公司占据了百分之

四十四左右,生鲜农产品等需配备预冷和加工处理的仓储以及供应链类的物流公司数量所占份额还不到百分之二十。导致“第一公里”物流配送困难的主要因素分别是:其一是农村物流配送网点相较于城镇而言较分散,这些情况会导致集货成本的提高,加之生鲜农产品容易变质的特点,小规模物流配送很难满足其要求。其二就是在整个冷链运输环节中,从质检、分拣以及打包等各种过程都必须在“第一公里”内进行,但是我国农村地区在这些方面的执行力还是比较薄弱。

#### (5) 生鲜农产品冷链物流主体创新动力不足

尽管我国冷链物流企业的经营规模不断扩大,却一直忽视了在生鲜农产品物流技术方面的研究。目前物流技术的发展还不够完善,部分发达地方的冷链运输物流公司的科技基础已逐渐完善,但大多数欠发达地方的冷链物流企业创新活力明显欠缺,尤其是冷链物流保鲜、配送方面和长距离配送仍然面临较大的技术问题。目前冷链物流预冷科技还无法全程的在温度环境、制造、流动加工、运输环节以及温度控制等环节充分发挥出冷链运输物流手段的功能,物流技术手段还没达到普及的层面。同时,目前专业的冷链物流运输车量的比例也尚有待进一步提高,目前实现全程温度自动控制的车量只占物流配送车辆数量的百分之二左右。

#### (6) 新冠疫情对进出口生鲜农产品冷链物流的不利影响

货物的进出口总额对冷链物流的需求影响是十分强烈的。但是,由于国外疫情形势严峻,近期不少家境外的肉食工厂都出现了疫情,三文鱼等进口食品以及部分进口食品的外包装上也都检测出了新冠病毒,这不仅导致我国消费者在短期内对进口食品的需求量下降,同时也给我国生鲜农产品的跨国物流产生了很大负面影响。与此同时,也给原来实现全程监管就面临着很多问题的国外冷链运输物流环节,带来了更大的监管难度。如冷链物流环节中涉及到的各种相关设备,尤其是对国外冷链物流环节所涉及到的各运营主体资源和设施造成的影响更大。对各种设施、资源、环境及其运行过程都能够实现满足统一冷链物流运营条件以及对全过程进行统一的监督和监管,困难很大。

### 第三章 生鲜农产品冷链物流需求预测指标体系的构建

本章从我国的经济发展水平和生鲜农产品冷链物流现状出发,确定在疫情常态化背景之下影响我国生鲜农产品冷链物流需求的因素分别经济发展水平、产业结构、冷链物流发展水平、冷链物流市场规模、人文因素、区位因素这六类一级指标,并细化分为14个二级指标。因为影响生鲜农产品冷链物流需求的因素众多且之间存在复杂的关系,故将这14个主要影响因素与冷链物流需求采用灰色关联度进行分析,得出影响冷链物流需求预测的14个指标和生鲜农产品冷链物流的需求之间具有较高的关联度。最后,据此构建需求预测指标体系,为下一章节的需求预测奠定基础。

#### 3.1 指标构建原则

在选择影响生鲜农产品物流需求的关键因素时,应依据以下原则:

##### (1) 关联性

物流需求预测指标及其影响因素指标是否具有关联性,关联性的的高低与物流需求预测结果的真实性息息相关。影响因素指标与需求预测的量化指标之间存在越高的关联度,解释预测指标的说服力就越强,最后预测出来的结果就越真实可靠。另一方面,如果选取的影响因素指标与需要预测量化指标之间的关联性很低,则使用这些影响因素预测物流需求显然是不合理的,会造成与实际预测结果不相符的情况。因此,在进行影响因素的预测指标选取时,应该首先将与物流需求关联度高的影响因素作为预测指标纳入需求指标体系。

##### (2) 理论和实践性的统一

在选取对物流需求预测的定量指标体系时,不仅要结合理论的科学性与合理性,还同时必须把具体区域的物流状况融入其中。例如,事实上,实际的物流需求是无法全部由物流需求量来体现的,有部分实际需求量也是无法衡量的,但是在实际的运用过程中,从某种程度上来说物流需求量还是能够体现出实际的物流需求中的某些特征。因此,在许多时候使用物流需求量作为评价实际物流需求的客观标准,也是具有一定的实践性与科学性的。

##### (3) 代表性与全面性

因为物流系统的内容多变且复杂,在选取影响因素预测指标的过程中,应尽量考虑到涵盖影响生鲜农产品物流需求的各个方面,并选择能最大限度反映物流

需求发展趋势和水平的影响因素。另外,还要考虑代表性原则,也就是说,选择的影响因素必须能够反映该地区的相关经济状况和物流现状,选择有代表性的指标也有助于提物流需求预测的质量和效率。

#### (4) 可操作性原则

选取影响因素必须明确,影响因素应该容易被量化和容易操作。同时选择的影响因素要具有可操作性强,稳定性的特点,防止因影响因素的量化指标具有波动性而造成预测结果不准确的情况。

#### (5) 量化指标可得性

目前,在进行实际预测时,因我国物流统计制度不太完善、统计方法还不太成熟以及物流相关资料不足的情况下,导致缺少相关实际预测物流需求的历史数据,阻碍了物流需求预测工作。因此,在选择影响因素时,要结合能代表物流需求预测的现实情况,尽量选择能够被量化和使用的,并尽可能收集完整的历史数据,以确保物流需求预测在数据方面上切实可行。

#### (6) 关键性原则

影响物流需求预测的影响因素很多,时常出现突发情况,将所有影响因素都考虑到较难,因此在需求预测指标体系时的构建时需要具有关键性。

#### (7) 独立性原则

物流过程本身就是一个相互关联且复杂的系统,在建立需求指标的预测体系时必须要将独立性强的纳入其中。

### 3.2 影响因素分析

目前国内外学者对衡量冷链物流需求还没有统一的标准,研究冷链物流的需求还处于模糊地带。依据产品产量等量齐观说,有学者<sup>[68]</sup>认为,冷链物流的需求量就是生鲜农产品的总产量。依据模型推算说,有学者<sup>[78]</sup>认为通过人均国民收入等指标可以计算得出冷链物流总需求量,还有学者<sup>[49]</sup>认为居民对生鲜农产品的消费量,可以反映出生鲜农产品冷链物流需求,本文考虑到生鲜农产品冷链物流是运输生鲜农产品的重要载体,也是对生鲜农产品的派生需求,故选取我国居民对生鲜农产品的消费量(我国人口数量与人均生鲜农产品消费量的乘积)作为预测冷链物流的需求量。从统计年鉴可知,我国居民对生鲜农产品的消费量近 20 年整体上呈现上升的趋势,尤其近几年更是突破 30000 万吨的大关,这也符合冷链物流市场规模逐渐扩大的需求。探究影响冷链物流需求的因素是构建冷链物流需求预测指标体系的前提,而预测指标体系的建立也是整个物流需求预测中一个不可或缺的环节。从宏观层面上,运用定性分析方法分析出不同原因对冷链物流需

求的影响情况，可以对定量预测冷链物流需求进行有效补充。鉴于此，本文在前人的研究基础之上，从以下七个方面进行分析。

### 1、经济发展水平

#### （1）人均国内生产总值（人均 GDP）

通过 GDP 指标呈现出来的某些区域的国民经济规模，以最简洁的方式呈现出该区域的经济发展水平，新冠肺炎疫情的发生也影响着经济发展水平，由此可知不管是一个地区甚至一个国家对于冷链物流的依赖程度都会受到人均 GDP 的影响。而事实上，人均 GDP 对一个地区或者国家的物流需求的影响是正相关的，国民经济的体量越大，发展水平越高。人均 GDP 越大的地区或国家，对于冷链物流服务的需求程度就越高，故将人均 GDP 纳入指标体系的构建中。

#### （2）货物进出口总额

在疫情常态化以及世界经济贸易全球化和规模化的快速发展的背景之下，我国与发达国家、各城市地区和城市间之间的经济贸易联系越来越以物流为载体，调整经济贸易结构的步伐也越来越快，所以冷链物流产业的需求预测显得十分重要。另一方面，经济全球化却将全球未开发资源进行重新的组织与调配，这也会给冷链物流行业带来巨大的机遇。通过以上分析可得，经济全球化将促进各世界之间各个地区的经贸协作，进而提高对冷链物流的依赖度，故进出口总额会直接影响冷链物流需求。

#### （3）社会消费品零售总额

在疫情期间，居民的消费能力受到影响，而居民生活水平的提高代表着居民消费能力的提升和整个社会消费能力的增强，能够代表居民购买能力的增强。这使得整个社会物流体系的建设和服务水平得到了提高，与此同时也促进了运输生鲜农产品的工具和服务的转型和升级，进而影响着冷链物流的需求。

### 2、产业结构水平

#### （1）第一产业生产总值

我国一直以来都是农业大国，而第一产业里面又包含生鲜农产品，单位商品的价格会随着产品产量的增加而下降，促使消费者购买力增加。而在疫情期间，居民对生鲜农产品的线上需求极大的增加，从而使得冷链物流需求也会提高。

#### （2）第二产业生产总值

第二产业反映了重工业的发展程度，而在疫情期间建筑业等受到了严重的冲击。且在冷链物流运行的整个过程中，需要海陆空作为运输的载体，也离不开专业的运输车辆、冷库、冷藏车等做后盾。因此，这一因素对需求预测至关重要。

#### （3）第三产业生产总值

在后疫情时代，产业的结构发生了改变，促进了物流行业的发展。第三产业



就包含了物流产业，而冷链物流又是物流产业的一部分，第三产业的发展现状代表了人们的日常生活水准，其发展水平对生鲜农产品冷链物流产生了重要的影响。

### 3、冷链物流发展水平

#### （1）货运量

在疫情常态化下，对交通运输行业提出了更高的要求，交通运输作为冷链物流发展水平的前提，冷链物流发展水平在一定程度上又影响着冷链物流需求，而货运量作为反映交通运输能力的重要指标，代表了交通运输业在推动国民经济发展中的作用。在特定的时间节点，一个国家的综合实力可以被货运量所反映出来，故该指标可以反映出冷链物流的发展程度。

#### （2）货物周转量

在疫情期间，公路运输受到较大的冲击，公路运输货物的周转量相应也受到相应的影响。货物的周转能力不同于货物的运输能力，是在货物运输能力的基础上增加了运输里程的限制，能够反映出我国冷链物流能力和居民对货物运输量的需求。货物周转量越大，就代表着运输能力越强，进而影响着冷链物流的发展程度。

#### （3）基础设施的建设规模

基础设施的建设规模是现代物流快速发展的重要前提和保证，其建设发展水平不仅对提高民众生活质量、培育新的经济增长点和改善投资环境有着密不可分的关系，而且也影响到了冷链物流运作效率和冷链物流服务水平的质量。交通运输和仓储能力是基础设施的重要组成部分，资产的投资额可以反映出某个产业的稳定程度，故本文选取交通运输仓储和邮政业投资额代表基础设施规模的建设。

### 4、冷链物流市场规模

#### （1）生鲜农产品供给因素

在疫情期间，生鲜农产品供需平衡不匹配，生鲜农产品总产量可以代表着其供给量，充足的生鲜农产品供给，能够使供应商去满足不同消费者的多样化需求，与此同时也能在价格合理的情况下促使生鲜农产品达到供需平衡状态，刺激消费者购物的欲望，从而影响生鲜农产品冷链物流需求。

#### （2）居民人均消费支出

由于受到新冠肺炎疫情的影响，促使我国居民个人支出水平和支出结构的变化，导致消费者在购买习惯、行为、结构等方面发生了变化，这在一定程度上影响着生鲜农产品冷链物流需求。

### 5、人文因素

#### （1）人口数量

我国是人口大国，会产生很多物质需求，而物质需求在一方面也影响了市场规模的大小。对于日常生活最基础的生鲜农产品来说，保持其新鲜至关重要。由于生鲜农产品可以满足人们的基本需求，所以消费者数量是一个庞大的群体，但消费者对生鲜农产品的要求主要是其本身的品质，所以在这个保持生鲜农产品品质的过程就需要冷链物流。截至到 2020 年，我国人口已经达到 14.1 亿人口，人口数量规模的改变会影响生鲜农产品的冷链物流需求。

#### （2）第三产业从业人员数

随着进口冷链食品疫情的爆发，我国居民对生鲜农产品的质量和口感提出了更高的要求，故对从事冷链物流人员的素质和业务能力也提出了更高的要求，以满足居民不断增长的生鲜农产品需求。冷链物流人员从属第三产业从业人员，故第三产业从业人员的数量影响着冷链物流的需求。

### 6、区位优势

沿海和平原地区和高原、山地地区相比交通运输能力更为发达，自身条件也更优越，运输能力越强的地区，居民的满意度越高，进而在一定程度上影响着冷链物流的需求。港口货物吞吐量在一定程度上可以反映出沿海地区港口生产能力，故本文选取其作为区位优势的代表指标。

### 7、其他因素

#### （1）政府政策影响

结合新冠肺炎疫情的发展，制定适合我国国情和各地区发展的政策会对我国的经济产生积极的影响，从而带动冷链物流产业的发展，故政府应及时了解大众对生鲜农产品的需求，以此制定合适的发展方针。

#### （2）不可抗力因素

新型冠状病毒肺炎、环境、气候、自然灾害和意外事故等重大公共突发卫生事件是不可预测的因素。这些事件的发生会导致生鲜农产品供给不足以及增加对生鲜农产品的需求，故不可抗力的因素会影响着冷链物流的需求。

结合指标选取原则、影响因素分析以及后续数据的可获得性，总结得出本文的冷链物流需求指标体系如表 3.1 所示。

## 3.1 指标体系表

Tab.3.1 Index system table

一级指标	二级指标
经济发展水平	人均 GDP
	货物进出口总额
	社会消费品零售总额
产业结构	第一产业生产总值
	第二产业生产总值
	第三产业生产总值
冷链物流发展水平	货运量
	货物周转量
	交通运输仓储和邮政业投资额
冷链物流市场规模	生鲜农产品总产量
	居民人均消费支出
人文因素	人口总量
	第三产业从业人员
区位优势	港口货物吞吐量

## 3.3 指标体系的建立

## 3.3.1 指标的选取步骤

灰色关联分析的原理是观察各个指标的发展趋势而得相应的结论，具体来说是依据各个指标之间变化趋势的相同点和不同点，去探索每个指标之间的相关性。所以，在构建需求预测指标时不需要很大的数据样本做支撑，使用的数据也不需要具有一定的规律，这和本文需要研究的影响冷链物流需求的相关因素特点不谋而合。因此本文采用灰色关联分析法，去探寻冷链物流需求和上述论证的 14 项影响因素的内在机理。一般过程如下：

## 1、确定分析数列

参考序列是指能够反映系统行为特征的数据序列，而比较序列是指由可以给整个系统行为带来影响的各种因素所构成的数据序列。

计 参 考 序 列： $y = [y(1), y(2), \dots, y(n)]$ ， 比 较 序 列： $x = x_i(k), k = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m$ 。其中， $x_i(k)$ 为第  $i$  组的第  $k$  个因素。

## 2、对数据序列进行无量纲化处理

因为体系中各要素所代表的意义不一样,不易进行比较,所以优先地要将各种数据序列采用无量纲化处理,从而减少因基础数据量纲差异所带来的预测结果误差。无量纲化的处理方法包括初值化法、均值化法,其中均值化法不但可以反映出原有数据的每一项指标变动程度的差异,并且也可以表现出各个指标之间互相影响程度大小不同的信息,故本文采用均值化法。

(1) 初值化处理:

$$x_i(j) = \frac{x_i(j)}{x_i(1)}, j = 1, 2, \dots, m; i = 0, 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 (3.1)}$$

公式 (3.1) 中:  $x_i(j)$  为第  $i$  组第  $j$  个因素。

(2) 均值化处理:

$$x_i(j) = \frac{x_i(j)}{\bar{x}_i}, j = 1, 2, \dots, m; i = 0, 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 (3.2)}$$

公式 (3.2) 中:  $j$  表示对应时间段;  $\bar{x}_i$  表示比较序列中第  $i$  组数的平均值;  $i$  为对应比较序列的影响因子。

(3) 计算参考序列与比较序列之间的差值

$$\Delta_i(j) = |y(i) - x_i(j)| \quad \text{公式 (3.3)}$$

$$y(i) = \frac{y_i}{\bar{y}} \quad \text{公式 (3.4)}$$

公式 (3.3) 中:  $\Delta_i(j)$  为  $y(i)$  和  $x_i(j)$  之差的绝对值;  $y(i)$  为参考序列中第  $i$  组数的均值化值;

公式 (3.4) 中:  $y_i$  代表参考序列中第  $i$  个值;  $\bar{y}$  为参考序列的平均数;  $x_i(j)$  代表比较序列中第  $j$  个因素在第  $i$  组的值。

(4) 关联系数计算

$$\xi_i(j) = \left[ \min_i \min_j |y(i) - x_i(j)| + \rho \min_i \min_j |y(i) - x_i(j)| \right]^{-1} \quad \text{公式 (3.5)}$$

即

$$\xi_i(j) = \frac{\min_i \min_j \Delta_i(j) + \rho \min_i \min_j \Delta_i(j)}{\Delta_i(j) + \rho \min_i \min_j \Delta_i(j)} \quad \text{公式 (3.6)}$$

公式 (3.5) 中:  $\xi_i(j)$  代表了第  $j$  个因子在第  $i$  组的值与第  $i$  组参考序列之间的关联系数;  $\rho$  为分辨系数,  $\rho \in (0, \infty)$ ,  $\rho$  取值越小, 分辨能力就越大, 通常  $\rho$  的取值区间为  $(0, 1)$ , 但具体取值视情况而定, 当  $\rho \leq 0.5463$  时, 辨识能力最好, 通常取  $\rho = 0.5$ 。

(5) 关联度计算

由于关联系数描述的是比较序列与参考序列在不同时间的相关性影响程度的大小,所以它具有多个数据,但是因为数据太分散难以实现整体性对比。所以,求每个时刻的关联系数的平均值,关联度  $r_i$  计算公式为:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_i(k), k = 1, 2, \dots, n \quad \text{公式 (3.7)}$$

关联度  $r$  越大,则代表因子  $x_i$  就越靠近目标  $y_0$ ,或者说就越影响目标  $y_0$ 。

### 3.3.2 数据的获取

本文通过获取国家统计局的数据,查找并整理了我国 2000 年至 2020 年我国生鲜农产品冷链物流需求相关的指标数据,具体为经济发展水平、产业结构、冷链物流发展水平、冷链物流市场规模、人文因素、区位优势这六类因素指标数据,如表 3.2 所示。根据表 3.2 数据,通过 MATLAB 运用灰色关联分析生鲜农产品冷链需求量和不同因子指标间的关联度,得出的计算结果如表 3.3 所示。从表中可以看出 14 个指标的关联度都大于 0.8,且大多在 0.9 附近,关联度大于 0.8 代表需求量与所选的每个因素的关联程度高度相关。从相关系数的层面来讲,指标体系中的各影响因素和需求量都具有相关性,各影响因素指标可以认为对需求量有着不同程度的影响,可以验证所构建的预测指标体系是否合理,但是还需要进一步分析各影响因素对需求量的大小和方向的影响。

在表 3.2 中, Y: 生鲜农产品需求量(单位:万吨);  $X_1$ : 人均 GDP(单位:亿元);  $X_2$ : 货物进出口总额(单位:亿元);  $X_3$ : 社会消费品零售总额(单位:亿元);  $X_4$ : 第一产业生产总值(单位:亿元);  $X_5$ : 第二产业生产总值(单位:亿元);  $X_6$ : 第三产业生产总值(单位:亿元);  $X_7$ : 货运量(单位:万吨);  $X_8$ : 货物周转量(单位:亿吨公里);  $X_9$ : 交通运输仓储和邮政业投资额(单位:亿元);  $X_{10}$ : 生鲜农产品总产量(单位:万吨);  $X_{11}$ : 居民人均消费支出(单位:元);  $X_{12}$ : 人口数量(单位:万人);  $X_{13}$ : 第三产业从业人员(单位:万人);  $X_{14}$ : 港口货物吞吐量(单位:亿吨)。

表 3.2 我国 2005-2020 年生鲜农产品冷链物流需求量表及其影响因素

Tab.3.2 my country's fresh agricultural products cold chain logistics demand scale and its influencing factors from 2005 to 2020

年份	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
2000	23213	7942	39273	38447	14717	45664	39899	1358682
2001	23685	8717	42184	42240	15503	49659	45701	1401786
2002	24614	9506	51378	47125	16190	54104	51423	1483447
2003	25073	10666	70484	51304	16970	62696	57756	1564492
2004	25103	12487	95539	58004	20904	74285	66651	1706412
2005	25380	14368	116922	66492	21807	88082	77430	1862066
2006	25878	16738	140975	76827	23317	104359	91762	2037060
2007	26025	20494	166924	90638	27674	126631	115788	2275822
2008	26027	24100	179922	110995	32464	149953	136828	2585937
2009	26616	26180	150648	128331	33584	160169	154765	2825222
2010	26166	30808	201722	152083	38431	191627	182062	3241807
2011	26378	36277	236402	179804	44782	227035	216124	3696961
2012	26830	39771	244160	205517	49085	244639	244856	4100436
2013	26924	43497	258169	232253	53028	261952	277984	4098900
2014	28025	46912	264242	259487	55626	277283	310654	41677296
2015	28550	49922	245503	286588	57775	281339	349745	4175886
2016	29726	53783	243387	315806	60139	295428	390828	4386763
2017	30116	59592	278099	347327	62100	331581	438356	4804850
2018	30441	65534	305008	377783	64745	364835	489701	5152732
2019	31910	70078	315627	408017	70474	380671	535371	4713624
2020	33058	72000	322215	391981	77754	384255	553977	4729579

数据来源：国家统计年鉴

续表 3.2 我国 2005-2020 年生鲜农产品冷链物流需求量表及其影响因素

年份	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	X <sub>10</sub>	X <sub>11</sub>	X <sub>12</sub>	X <sub>13</sub>	X <sub>14</sub>
2000	1358682	44321	3642	1506925	3712	126743	19823	125603
2001	1401786	47710	4116	1564476	3968	127627	20165	142634
2002	1483447	50686	4394	1660244	4270	128453	20958	166628
2003	1564492	53859	6289	1762062	4555	129227	21605	201126
2004	1706412	69445	7646	1945343	5071	129988	22725	246074
2005	1862066	80258	9614	2139257	5688	130756	23439	292777
2006	2037060	88840	12138	2357477	6319	131448	24143	342191
2007	2275822	101419	14154	2661487	7454	132129	24404	388200
2008	2585937	110300	17024	3032506	8505	132802	25087	429599
2009	2825222	122133	24975	3320847	9249	133450	25857	475481
2010	3241807	141837	30075	3825838	10575	134091	26332	548358
2011	3696961	159324	28292	4372517	12668	134916	27185	616292
2012	4100436	173804	31445	4844265	14074	135922	27493	665245
2013	4098900	168014	36790	4896667	15586	136726	29321	728098
2014	41677296	181668	43216	42545743	17220	137646	30920	769557
2015	4175886	178356	49200	5092300	18857	138326	32258	784578
2016	4386763	186629	5389	5325177	20801	139232	33042	810933
2017	4804850	197373	61450	5895709	22969	140011	34001	865464
2018	5152732	204686	63846	6340546	25245	140541	34911	922392
2019	4713624	199394	66017	5965550	27504	141008	35561	918774
2020	4729579	202211	66941	6014718	27438	141212	35806	948002

数据来源：国家统计年鉴

表 3.3 生鲜农产品冷链物流需求量与各因子的关联度

Tab.3.3 The relationship between the demand for cold chain logistics  
of fresh agricultural products and various factors

因子	关联度	因子	关联度
r <sub>1</sub>	0.8909	r <sub>8</sub>	0.9205
r <sub>2</sub>	0.9156	r <sub>9</sub>	0.8638
r <sub>3</sub>	0.8790	r <sub>10</sub>	0.8943
r <sub>4</sub>	0.9123	r <sub>11</sub>	0.8921
r <sub>5</sub>	0.8960	r <sub>12</sub>	0.9874
r <sub>6</sub>	0.8746	r <sub>13</sub>	0.9772
r <sub>7</sub>	0.8841	r <sub>14</sub>	0.9069

因为选取的各个影响因素是由社会和经济活动组成的,所以具有高度复杂的特点,所以各个影响因素之间可能存在不同程度的相关性。例如,人口总量对生鲜农产品冷链物流需求量有着显著的影响,从表 3.3 可以看出,我国人口总数与生鲜农产品冷链物流需求量相关系数高达 0.9874,表明相关联程度很高。由于各个指标间可能具有多重共线性的关系,使得需求预测更加复杂,极大的增加了需求预测的难度。因此,在后续构建需求预测模型时,是否将所有的影响因素都纳入到需求预测模型中还有待衡量。



## 第四章 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流需求预测模型构建

本章通过对比分析 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络组合模型两种方法预测我国生鲜农产品冷链物流需求的有效性。结果显示,前者预测结果的误差比后者的预测误差要大得多,从而证明了 Lasso-BP 神经网络预测模型是更具有优越性的。不仅可以提高预测结果的收敛速度而且提高了预测结果的精度,因而使得预测结果更加有效率,故通过此模型来预测未来五年我国冷链物流的需求。

### 4.1 BP 神经网络模型预测

#### 4.1.1 模型概述

##### 1、BP 神经网络的概念和结构

BP 神经网络通常又叫做误差反向传播神经网络,由 Rumelhart<sup>[79]</sup>等学者提出,起源于 20 世纪 80 年代,是目前各行各业广泛使用的神经网络模型之一。BP 神经网络结构由输入层、隐含层以及输出层三部分组成,其结构如图 4.1 所示。

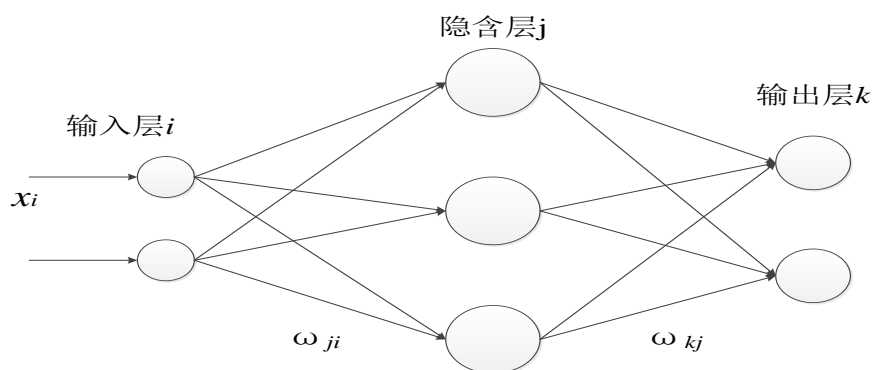


图 4.1 BP 神经网络结构图

Fig.4.1 Neural network structure diagram

##### 2、BP 神经网络的基本原理和算法

BP 神经网络的基本原理是经过处理后的原始数据传入到输入层,输出层来输出预测的结果。BP 神经网络在一定程度上类似于智能系统,它通过自适应和自学习的方式来获取数据,并且存储层与层之间的阈值和连接权重,然后训练好的神经网络可以预测不同的样本数据。BP 网络的学习过程能够分为为两个阶段:

第一阶段信号正向传播，在第二阶段，神经网络反向传播误差信号，这种方式生成的网络具有较强的非线性映射能力。

一般来说，神经网络输出的预测值和实际值之间会存在一定的误差，误差  $E_k$  的一般表达式为：

$$E_k = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (d_i - y_i)^2 \quad \text{公式 (4.1)}$$

在这个表达式中：

$E_k$  是预测值和期望值之间的误差；

$n$  为输出层神经元的个数；

$d_i$  为第  $i$  个输出层神经元期望的输出结果；

$y_i$  为第  $i$  个输出层神经元实际的输出结果；

BP 神经网络各层之间的传递函数如下：

$$y_i = f(\sum w_{ji} x_i + b_i) \quad \text{公式 (4.2)}$$

在这个表达式中：

$y_i$  为网络的输出值；

$x_i$  为网络输入的样本值；

$w_{ji}$  为神经元之间的连接权值；

$b_i$  为阈值；

$f$  为激活函数；

在公式 (4.1) 的基础上，将误差展开传至隐含层有：

$$E_K = \frac{1}{2} \sum_{g=1}^h [d_g - f(\text{net}_g)]^2 = \frac{1}{2} \sum_{g=1}^h [d_g - f(\sum_{j=0}^m w_{jg} v_j)]^2 \quad \text{公式 (4.4)}$$

进一步展开至输入层有：

$$E_K = \frac{1}{2} \sum_{g=0}^h \{d_g - f[\sum_{j=0}^m w_{jg} f(\text{net}_j)]\}^2 \quad \text{公式 (4.5)}$$

所以，在 BP 神经网络的学习过程中，误差梯度下降的方向与权值更正的方向一致，即：

$$\nabla w_{jg} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{jg}} \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad g = 1, 2, \dots, h \quad \text{公式 (4.6)}$$

$$\nabla w_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial w_{ij}} \quad i = 0, 1, 2, \dots, n \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad \text{公式 (4.7)}$$

#### 4.1.2 可行性分析

通过上述论述可以看出，BP 神经网络的核心优点是强大的非线性映射能力、信号正向传播和误差反向传播更新权重，接近期望值。通过这一功能，神经网络模型可以用于预测物流需求，具有其他一般方法无法比拟的优点，具体如下。

(1) 非线性映射能力强。我国生鲜农产品冷链物流需求规模及其影响因素之间存在十分复杂的关系,因此从线性函数的角度不一定能很好地阐述这种关系,非线性函数的协助可以使得这些问题更好的被解决。

(2) 能够容错。神经网络可以允许输入变量的数据具有一定的统计误差,本文选取的冷链物流需求预测的原始数据可能具有统计误差,但神经网络具有能够容错的特点,恰好能够弥补此缺点。

(3) 记忆特性。神经网络在不断的学习过程中,并不会将已使用过的数据样本丢失,这种记忆特性能够处理生鲜农产品冷链物流需求预测中某个数据丢失的问题。

#### 4.1.3 建模步骤

(1) 准备数据。首先,对数据进行归一化处理,输入变量的取值范围通常是在 0 至 1。

(2) 网络结构的确定。目前在神经网络中,确定隐节点的数目还没有统一的标准。一般来说,隐含层节点的数目一般采用经验公式  $H=\sqrt{n+m}+a$  计算 ( $n$  为输入层数量,  $m$  为输出层数量,  $a$  为[1,10]之间的常数),然后在模型训练的过程中逐步调整。

(3) 网络权值的确定。调整网络权值需要反复进行,直到损失函数小于一个较小的正数  $\varepsilon$ ,或者迭代的次数已达到预先设定的数值。

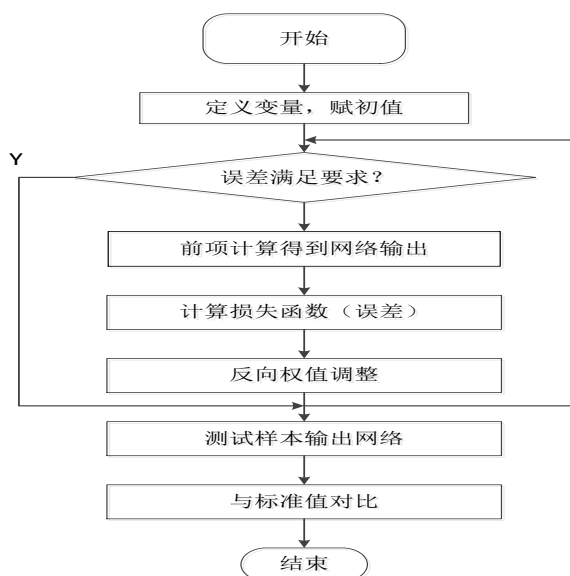


图 4.2 BP 神经网络基本步骤图

Fig.4.2 BP neural network basic steps diagram

#### 4.1.4 模型的构建与实证分析

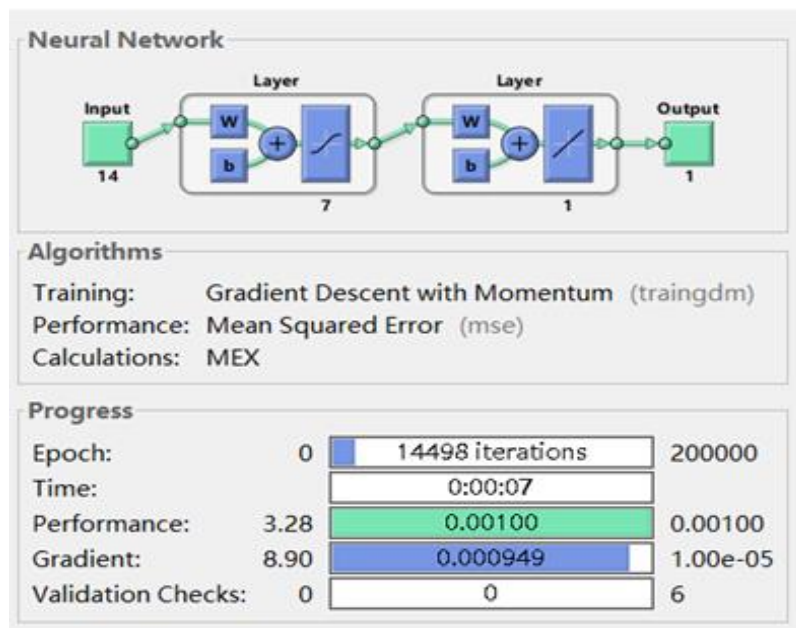
##### 1、变量选择

BP 神经网络模型的特点是具有很强的泛化和非线性映射能力，因此必须建立训练集拟合模型。为了使模型的精确度更高，需要依据误差值反复调整参数，最后采用验证集去验证模型的有效性。在本文的实证分析中，模型的训练集是采用的 2000-2018 年的数据，验证集是采用 2019-2020 的数据。通过第三章的分析可得出各指标间的相关系数都在 0.8 以上，故输入层的输入变量是选择上述影响冷链物流需求的 14 个指标，输出层变量选择的是我国相应年份的生鲜农产品冷链物流需求。

##### 2、模型的训练过程

本文选取的输入变量的数据是不同数量级的，故要将输入变量的数据进行标准化处理，这样可以预防因输入变量数据不同量级而造成的误差<sup>[80]</sup>。相关研究显示，只要 BP 神经网络有足够多的隐藏节点，它就能够以任何精度去预测非线性函数。所以，本研究构建的模型为三层 BP 神经网络。因为选取的影响因素预测指标个数为 14 个，所以设置输入层的节点个数为 14；因为要预测的变量只有生鲜农产品冷链物流需求一个，故输出层节点数为 1；根据公式可以确定隐含层的神经元数目应当在 5 至 14 之间。经过反复迭代，确定 7 个隐含层神经元时收敛的速度和精确度都达到较好的水平。所以，本部分采用 14-7-1 的网络结构，隐含层采用 s 型函数 `tansig`，输出层采用 `purelin` 函数，网络训练采用 `trainlm` 函数<sup>[81]</sup>，训练周期设置为 50，目标误差设置为 0.001，最大训练次数设置为 200000。

BP 神经网络的训练过程如图 4.3 所示。神经网络在第 7s 时达到了之前设定的误差目标值，完成训练，此时误差目标值为 0.001。从图 4.4 可知，BP 神经网络在学习次数达到了 14498 次左右时，预测训练模拟图开始收敛，达到之前设定的网络训练的精确度要求，此时预测精度为 0.00099984，结束训练。



4.3 BP 神经网络训练图

Fig.4.3 BP neural network training diagram

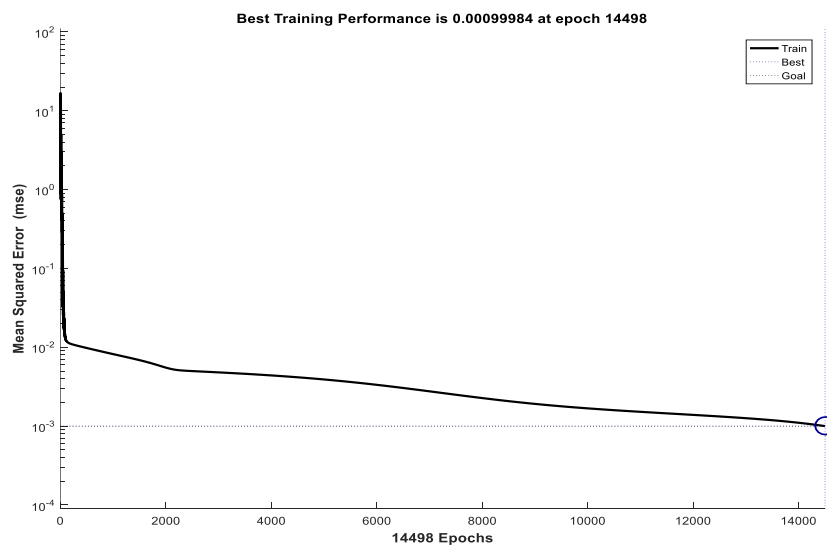


图 4.4 BP 神经网络预测训练模拟曲线图

Fig.4.4 BP neural network prediction training simulation curve

为了验证 BP 神经网络的有效性, 使用 2019-2020 年共 2 年的数据将生鲜农产品需求的预测值与实际值进行对比分析, 对经过训练的网络得出的预测结果进行验证, 结果如表 4.1 所示, 需求的预测值分别为 30247 万吨、30258 万吨, 实际值分别为 31910 万吨、33057 万吨, 相对误差分别为 5.2%、8.4%, 平均相对误差为 6.8%。

表 4.1 BP 神经网络预测误差统计表

Tab.4.1 BP neural network prediction error statistics table

年份	需求实际值（万吨）	需求预测值（万吨）	相对误差（%）
2019	31910	30247	0.052
2020	33057	30258	0.084

## 4.2 Lasso-BP 神经网络模型预测

### 4.2.1 Lasso 变量选择方法概述

在构建模型的初期，通常会全面的选取自变量，以此达到降低模型误差的目的。在极端的条件下模型中包含了全部的自变量，这种情况称为整体模型。然而这样做会造成模型中会包含某些对因变量的预测结果作用较小的自变量。这样一来，不仅工作量会增加，也会降低模型的准确性。因此，在构建模型时，要筛选出对预测结果的影响较大的变量，这样不仅可以减少工作量，也可以使得预测结果更加高效和准确。

近年来，Lasso 方法被广泛用于的变量选择，作为目前最流行的变量选择方法之一，可以较好的弥补自变量之间的多重共线性的确定，在选择变量的方面具有一致性的优势。Lasso 方法于 1996 年由 Tibshirani 首次提出，它是一种正则化方法，能够在估计参数的同时，通过压缩变量的方式，使得对所预测结果影响较小的因素压缩为零。针对传统变量选择方法不能同时选择变量和参数估计的缺点，Lasso 方法进行了改进，而且还能够解决各个变量之间的多重共线性问题<sup>[82]</sup>。从第三章的影响因素的相关性分析可以看出，影响冷链物流需求各个因素之间具有多重共线性，而使用 Lasso 方法恰好可以解决这个问题。故本文采用 Lasso 方法来筛选输入神经网络模型的变量，以此达到降低维度的目的。

### 4.2.2 可行性分析

单一预测模型一般都只从模型的单一角度出发，而组合预测模型可以从各个模型的不同角度出发，结合各个模型的优点，可以多维度的对数据进行处理和分析。由此以来，就会提高预测模型的精确度。Lasso 方法具有良好的稳定性和解释性，从本质上来说是一种线性回归方法，它能够处理自变量间的多重共线性特性。但是，它也具有处理非线性问题困难的缺点。BP 神经网络通过学习训练，不断调整数据间节点的连接权重，从而能够拟合数据间的非线性关系。但是，BP 神经网络的缺点是，输出层只能输出数据，不能够解释数据。所以，结合 Lasso

方法和 BP 神经网络,既可以补充 Lasso 方法不能够处理各变量间的多重线性关系,也能够弥补 BP 神经网络不能解释变量关系的事实。

#### 4.2.3 建模步骤

基于以上分析,得出预测模型的步骤为:

(1) 数据预处理。将 2000 年至 2020 年期间我国生鲜农产品冷链需求量及其 14 个影响因素指标作为建立模型所用的数据集,然后采用 Z-Score 方法对数据集进行标准化。

(2) 基于 Lasso 方法的变量筛选。采用 Lasso 方法对标准化后的 14 个影响因素指标进行选择。

(3) 分离数据集。将变量选择过程中系数为零的变量剔除,选择其余系数不为零的因素指标和冷链物流需求作为预测数据集,并将数据划分为训练集与测试集。

(4) 训练神经网络。神经网络的输入变量为 Lasso 方法选择后的变量,采用训练集数据训练神经网络,反复调整网络权值。

(5) 验证模型。通过计算模型预测结果的平均相对误差,根据误差结果对模型预测精度进行评价。

#### 4.2.4 模型的构建与实证分析

##### 1、基于 Lasso 的变量筛选

首先,通过 python3.8 利用 Lasso 方法对变量进行筛选,因为选择的变量数据的量级不同,同样也要对所训练的数据和测试数据进行标准化处理,这里的标准化使用的是 Z-Score 方法。然后,根据交叉验证的选择惩罚因子的方法(LassoCV),定义收缩估计量,将原始数据样本输入到模型中进行训练,并对惩罚因子的范围不断进行调整。最后,变量选择结果为  $X_3$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{14}$  分别对应社会消费品零售总额、第二产业生产总值、第三产业生产总值、居民人均消费支出、人口总量、港口货物吞吐量,这 6 个系数的回归系数显著不为 0,将其余变量系数均压缩为 0。

##### 2、Lasso-BP 神经网络模型的训练过程

由以上 Lasso 变量选择的结果可知,最终模型的输入变量为  $X_3$ 、 $X_5$ 、 $X_6$ 、 $X_{11}$ 、 $X_{12}$ 、 $X_{14}$ ,所以设置输入层的节点个数为 6,因为要预测的变量仍然为生鲜农产品冷链物流需求,所以输出层的节点数为 1。隐含层的节点数在[4,13]之内,为便于与 4.1 节中建立的单独的 BP 神经网络模型对比,本部分的网络结构仍参照 4.1 节 BP 神经网络模型,所以隐含层的节点数仍然为 7,网络结构为 6-7-1,

训练周期为 50，目标误差值为 0.001，最大训练次数为 200000。在网络训练进行之前，需先选用 2000-2018 年的数据作为训练集，选择 2019-2020 年的数据作为测试集，以此训练和验证 Lasso-BP 神经网络模型的有效性。

Lasso-BP 神经网络的训练过程如图 4.4 所示。组合预测模型在第 1 秒时达到了预先设定的误差目标值，完成了训练，此时值目标误差值为 0.001。从图 4.5 可知，Lasso-BP 神经网络的学习次数达到了 3103 次左右时，预测训练模拟图开始收敛，达到之前设定的网络训练的精确度要求，此时预测精度为 0.00099998，结束训练。

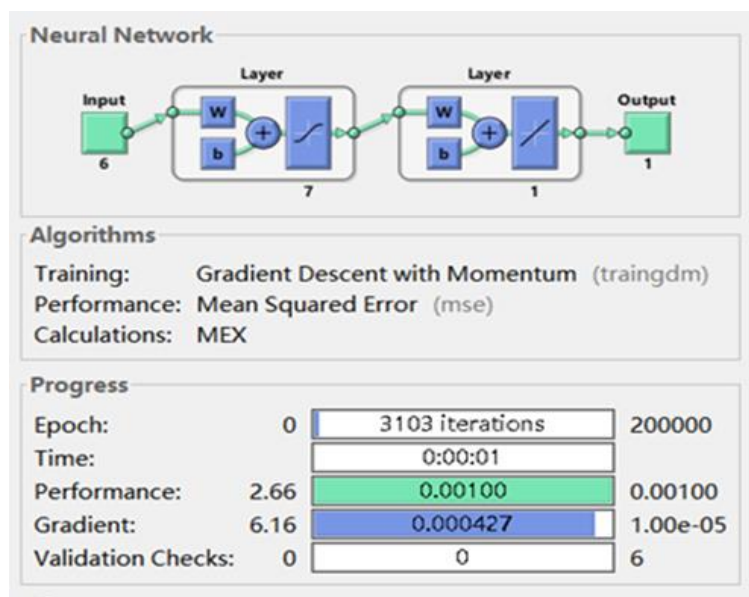


图 4.5 Lasso-BP 神经网络训练图

Fig.4.5 Lasso-BP neural network training diagram

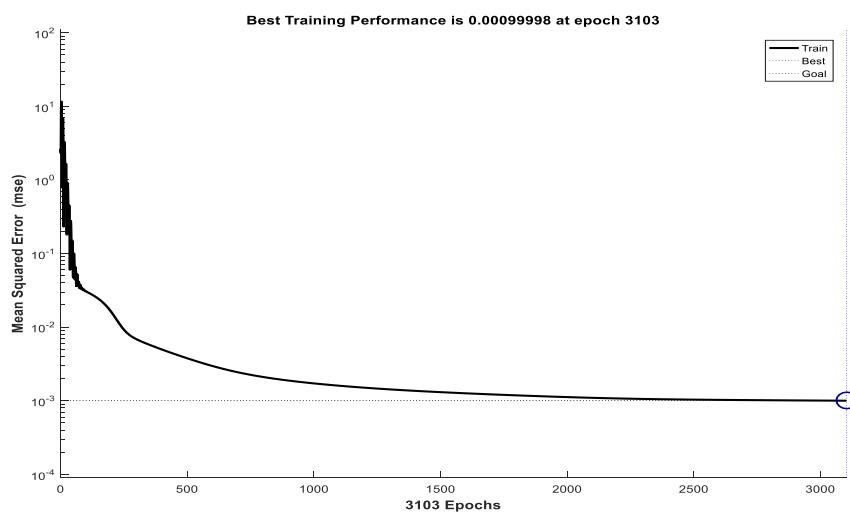


图 4.6 Lasso-BP 神经网络预测训练模拟曲线图

Fig.4.6 Lasso-BP neural network prediction training simulation curve



为了检验 Lasso-BP 神经网络的有效性,使用 2019-2020 年共 2 年的数据将生鲜农产品需求的预测值与实际值进行对比分析,将 Lasso-BP 神经网络预测出的冷链物流需求进行验证,结果如表 4.2 所示,需求量的预测值分别为 32161 万吨、32807 万吨,实际值分别为 31910 万吨、33057 万吨,相对误差分别为 0.78%、0.76%,平均相对误差为 0.77%。

表 4.2 Lasso-BP 神经网络预测误差统计表

Tab.4.2 Lasso-BP neural network prediction error statistics table

年份	需求量实际值 (万吨)	需求量预测值 (万吨)	相对误差 (%)
2019	31910	32161	0.0078
2020	33057	32807	0.0076

### 4.3 生鲜农产品冷链物流需求预测模型对比分析

本章同时采用了 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络模型对我国生鲜农产品需求量的预测结果进行研究,从相对误差上来说,2019 年和 2020 年 2 种预测结果的相对误差分别为 5.2%、8.4%; 0.78%、0.76%。从相对平均误差上来说,2019 年和 2020 年 2 种预测结果的相对误差分别为 6.8%、0.77%。从上述分析可以看出,Lasso-BP 神经网络组合预测模型比单一模型的相比误差小。从收敛速度上来说,Lasso-BP 神经网络组合预测模型在学习次数达到 3103 次时停止训练,BP 神经网络在学习次数达到 14498 次时停止训练,故组合预测模型的收敛速度更快。因此,采用组合预测模型能够提高预测的准确性,而且也能在一定程度上提高神经网络的训练速度,最终从整体上对预测的精度和效率都有了很大的提升。

### 4.4 生鲜农产品冷链物流需求预测分析

基于以上分析,本文选用 Lasso-BP 神经网络模型为预测模型。使用 Lasso-BP 神经网络预测未来五年内我国生鲜农产品冷链物流需求总量,需要知道未来五年的 6 个主要影响因素的预估值,考虑到一些重大影响带来的变化,如 2019 年末突发的新型冠状病毒肺炎,需要对预测结果进行修订,并且因我国经济在前期发展速度比较快,增长率较高。为此,本论文依据每个影响因素在 2017 到 2020 年的平均增长率来设定未来 5 年的影响指标值。通过得到的影响指标数据来预测未来 5 年的冷链物流需求规模,如表 4.3 所示,折线图变化趋势(含预测值)如图 4.7 所示,最终 2021-2025 年预测结果分别为 34462 万吨、36971 万吨、37563 万吨、38784 万吨、39691 万吨。

表 4.3 2021-2025 生鲜农产品冷链物流的需求量预测

Tab.4.3 Forecast of demand for cold chain logistics of fresh agricultural products from 2021 to 2025

年份	2021	2022	2023	2024	2025
需求量(万吨)	34462	36971	37563	38784	39691

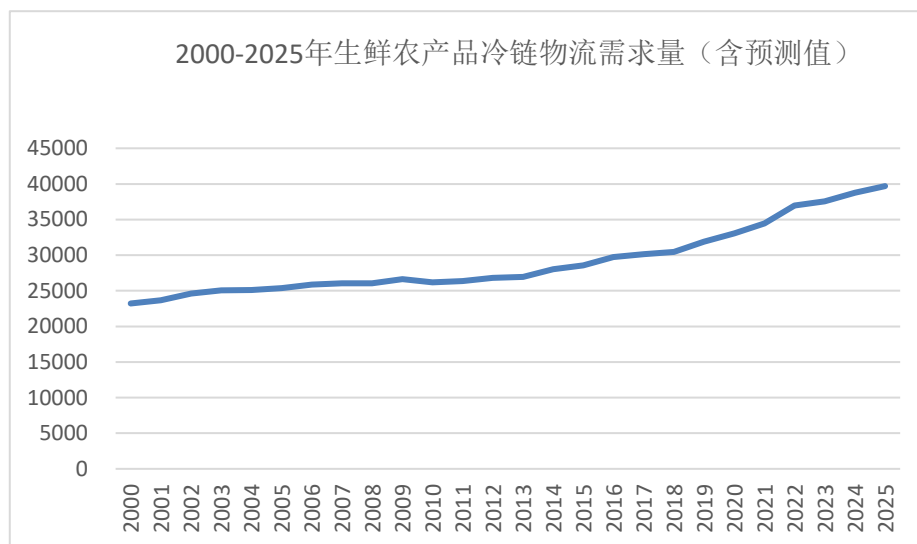


图 4.7 2020-2025 生鲜农产品冷链物流的需求量趋势图

Fig.4.7 Demand trend chart of cold chain logistics of fresh agricultural products from 2020-2025

如图 4.7, 可以发现, 我国生鲜农产品冷链物流需求随着时间的递增一直呈现上升的态势, 显而易见的是, 2000-2013 年我国生鲜农产品冷链物流需求上升较为缓慢, 从 2013 年开始增长速率逐渐加快, 2018-2022 年期间增长速度最快。与此同时, 受到新冠肺炎疫情影响, 尽管全国生鲜农产品的产量总体上仍保持稳定的态势, 但对生鲜农产品冷链物流的服务质量提出了更加严格的要求。全国肉类(猪牛羊肉)产量为 7639 万吨, 虽然出现了小幅度下降的趋势, 但是仍然处于可控范围之内; 全国蔬菜产量为 72102.6 万吨, 同比增长 2.5%; 奶类产量 3529.6 万吨, 同比增长 7%; 水果产量 28692.4 万吨, 同比增长 4.7%; 禽蛋产量 3467.8 万吨, 同比增长 4.8%; 水产品产量 6549 万吨, 同比增长 1.1%。从市场需求的角度来看, 生鲜农产品市场的销售规模也在稳步增长, 目前全年生鲜农产品市场零售总额已超过 5 万亿元, 且随着电商的快速发展及冷链技术的不断完善, 我国生鲜农产品冷链物流市场需求非常旺盛。综上所述, 虽然生鲜农产品产量在稳步提升, 但是和需求增长的幅度相比, 生鲜农产品冷链物流的供给能力不足也很明显, 在未来一段时间内我国生鲜农产品冷链物流的发展空间是无可限量的。

## 第五章 疫情常态化下生鲜农产品冷链物流发展对策分析

本章根据在后疫情时代下影响我国生鲜农产品冷链物流需求的因素、冷链物流需求预测结果、生鲜农产品冷链物流发展现状以及存在的问题,提出了重视生鲜农产品供应链升级、加快完善冷链基础设施的建设、建设更加成熟冷链网络体系、加速整合城乡冷链物流资源、积极引导冷链物流企业创新发展和加大进口冷链物流疫情防控力度的对策建议,从而有助于探索提升疫情常态化下我国生鲜农产品冷链物流产业发展的路径。

### 5.1 重视生鲜农产品供应链升级

依据前文需求预测分析可知,受新冠疫情的影响,我国生鲜农产品供需失衡,冷链物流的发展存在生鲜农产品供求关系受到冲击的问题,提出要重视生鲜农产品供应链升级。“人”、“产品”和“场”是不能割裂的,在疫情期间由于人的消费的变化,极大的增加了产品和场的压力,供应链已成为各企业的核心竞争力。对于“人”来说,在消费升级的背景之下,消费者更加重视的是满足感、便利性和幸福感,故应提高增加生鲜农产品的品质,从而增加消费者的购买意愿。对于“产品”来说,应该重视生鲜农产品的升级和改善技术。在后疫情时代,应该更加重视生鲜农产品的品质问题,但由于民众日常生活水平的提升,人们的观念也出现了很大转变,对于食品的关注点不再局限于产品的价格,而更关注于产品和服务的质量,区块链技术的应用,使生鲜农产品实现了由采摘、包装、运输等全过程可视化,使消费者更加放心食用。对于“场”来说,更加重视场景升级,多方位、全方位的接触到消费者,这样才能保证疫情期间对消费者的服务,在某种程度上解决供给和需求不匹配的问题。特别是在网上订单暴增、物流配送能力不够的情况下,升级新场景、扩展新渠道已成亟需解决的问题。

### 5.2 加快完善人才培养模式和冷链基础设施的建设

根据前文需求预测结果分析可知,第三产业生产总值和第二产业生产总值是影响生鲜农产品冷链物流的关键影响因素,而基础设施又是第二产业的重要组成部分,冷链物流又属于第三产业,冷链物流的发展与冷链物流专业人员的业务水平息息相关,故加快完善专业冷链人才培养模式和冷链基础设施的建设对冷链物

流发展至关重要。推出简洁高效人才培养政策与方案,还需要在以下方面进一步完善:首先通过教育的改革调整全国高校对人才的培养模式,增加在疫情常态化下社会行业紧缺的专业冷链物流人才培养数量,拓宽冷链物流有关学科的培养规模,既要增加高素质科研人才数量,还要培养大量的职业技术工人。鼓励“蓝翔”式的办学模式,注重对学生动手实操能力的培养,在实践中加速培养专业技术扎实的技术工人。二是通过实施偏远贫困地区人才吸引的政策,来推进专业冷链物流人才在地区层面的合理化分布,解决落后的农村地区缺乏专业冷链物流人才的问题。

加速建设完善的冷链物流的基础设施,建立一体化融合、层次分明的城市生鲜农产品冷链物流配送网络,确保生鲜农产品在乡村与城市之间“一冷到底”。配备布局合理的基础设施体系,对解决生鲜农产品冷链物流的“最后一公里”的配送问题十分重要。相较于发达的城市地区,由于偏远的农村地区在吸引资金投资的能力略显不足,所以农村基础设施配套的改善需要依靠城市来带动。而在这一方面,能够利用城市地区的资本优势来提升农村地区的冷链物流配套设施。具体实施方案,可以采取借助城乡社区企业的合力,建立城乡结合的 PPP 机制,由农场所在区县人民政府主导建设,各区县政府主抓市场信息、恒温式加工、运输等管理工作。由乡镇级人民政府协助企业主抓搜集货物、初级分拣、预冷却等冷链物流作业,并吸纳社区资金投入到建设冷链物流的基础设施上,以打造形成分工明晰、集成一体的冷链物流的网络体系。在体系建成后,转交专门的第三方机构管理运作,冷链物流公司能够集中到该平台上来开展专门的物流作业。

### 5.3 建设更加成熟冷链网络体系

由前文的需求预测分析可知,居民人均消费支出和生鲜农产品冷链物流需求预测密不可分,由于新冠疫情我国居民人均消费支出受到了影响,对生鲜农产品的线上订单需求量更大,为此对生鲜农产品冷链物流要求更为严格,但目前我国生鲜农产品冷链物流体系尚未形成,传统物流和冷链物流相比,其物流体系相对较简单。冷链物流的复杂反映在城区与区域网、冷库体系、家庭到户网以及数据网与支线体系。这四级网络体系的运作影响了冷链物流,若这四级网络在每一环节都可以高效有序的运行,那么便能够使其以最快的速度从产地运送到消费者。但这四级网络运行起来仍具有运行不通畅的缺点,所以,需要建设更加成熟的生鲜农产品冷链物流网络体系。

首先,要从源头入手,生鲜农产品冷链物流的起点大多数是农村,但农村相较于城市而言物流覆盖相对薄弱,所以针对这一特点,冷链物流需要对源头做到

精准匹配,精准覆盖,针对性的增加建设冷库等基础设施,实现在源头保障生鲜农产品的质量,加快其流入市场的速度。其次,冷链物流网络体系也至关重要,需要加强电子商务冷链物流与传统生鲜农产品的冷链物流连接,进而形成无缝衔接的生鲜农产品冷链物流网络体系。如今的“一号店”或“顺丰生鲜”等生鲜农产品超市,都在向农村与社区延伸,但这些企业的冷链物流网络具有封闭性,若想改变这一情况,需依托信息化手段,打造更加高效、现代化的生鲜农产品冷链物流网络体系。

#### 5.4 加速整合城乡冷链物流资源

为了解决目前生鲜农产品冷链物流的供应链畅通性不足以及大多数生鲜农产品冷链物流企业小、散、乱的现状,以实现规模性效益为目标,通过整合城市冷链物流资源,不断地开辟并扩大生鲜农产品冷链物流市场。首先,要推进物流行业的横向整合。所谓横向整合,即通过供应链合作方式,使得城镇企业和农村有条件的企业能够实现建立长期利益上的战略协作伙伴关系或是资源整合的统一调配,或者农村有意向企业愿意被城镇企业合并收购,双方为实现冷链物流资源的高度整合达成一致。在推进冷链物流行业的横向整合时,不仅集中了生鲜农产品冷链物流企业的专业化投资,发展其核心竞争力,而且减小了以往生鲜农产品在运输过程中的损耗以及企业小、散、乱带来的行业竞争,从而提高冷链物流效率。其次,要推进物流的纵向整合,立足于电子商务的快速发展,这样能够及时且准确的搜集市场信息,不断地整合优化冷链物流各个环节的资源,有效地降低成本。最后,大力支持企业“集团化发展”,在城市和乡村之间合理有效地建设和部署冷链仓库和前端仓库,将城市与乡村之间用将强大的物流网络体系联系起来,最终实现各主体之间快速调配。

#### 5.5 积极引导冷链物流企业创新发展

为解决生鲜农产品冷链物流主体创新动力不足的问题,我国需要大力引导生鲜农产品冷链物流企业有效贯彻落实现代企业经营的思想,实现现代化企业的规章制度,以市场化方向为导向,以冷链物流技术的标准化为目标,改善冷链物流过程中的“第一公里”的服务质量。以冷链物流重点企业为核心,向其他中小冷链物流辐射,最大限度的促进生鲜农产品抗摔和防震的物流设施提升,促进了冷冻保鲜、食品包装技术等提高,并尽可能的减少了生鲜农产品的损耗率。例如,针对皮薄水多、碰撞时易破裂的果蔬,可探寻分级技术,将果蔬分层后,使用特

殊棉垫等缓冲物料进行包装,再通过相应的专业冷冻保鲜技术进行运输,以此降低果蔬的碰撞率。同时,也要积极加强冷链物流企业的人才培养,地方人民政府要做好与当地中小企业、行业协会和院校等组织的协作,建立生鲜农产品冷链物流的人才培养体系,凭借打造高素质的人才团队,以此促进冷链物流企业创新发展并更具活力。

## 5.6 加大进口冷链物流疫情防控力度

国外疫情形势严峻,新冠疫情对进出口生鲜农产品冷链物流的影响十分密切,由需求预测分析可知,港口货物吞吐量是影响生鲜农产品冷链物流的关键影响因素,港口货物吞吐量是反映货物进出口的重要指标,因此我国在生鲜农产品进口这一环节要严格依据国家标准进行,必须建立科学、有效、安全的监管体系,从根源上杜绝因生鲜农产品冷链物流进口而导致国内出现感染和扩散的风险。相关研究表明,新冠病毒在塑料表面存活时间最长,达三天左右,由此可以推出,有关聚焦包装材料的选择是至关重要的,一定要从这个环节上严抓严打。同样食品包装抗菌的重要性毋庸置疑。鉴于此,政府应该在食品包装上方面,加大研发抗菌抗病毒方面的技术投入,同时也要降低市场应用成本,普及抗菌材料在食品外包装上的应用。智能制造的产生促进了冷链物流产业装备的升级,涉及的冷链物流产业相关的智能装备主要包含自动导引车、分拣机等,从而达到冷链物流全过程完全实现自动化,不需人工的参与,进而降低人工感染新冠病毒的风险。在仓车运输的过程中,结合最新仓储技术、运输技术和管理技术,提高仓储和运输效率。

## 第六章 研究结论与展望

### 6.1 研究结论

本文首先梳理并分析了生鲜农产品的国内外研究现状,总结出了影响我国生鲜农产品冷链物流发展的需求预测因素,据此构建了需求预测指标体系。然后根据 Lasso 方法和 BP 神经网络模型各种的特点,发现二者结合可以优势互补,故提出了基于 Lasso-BP 神经网络的冷链物流需求预测模型。并将其与单独的 BP 神经网络模型预测模型进行对比,得出组合预测模型效果更佳。最后,通过 Lasso-BP 神经网络模型预测 2021 年到 2025 年我国生鲜农产品的需求,根据预测的结果分析冷链物流产业的发展现状,据此提出促进发展的对策和建议。本文主要结论如下:

(1) 依据文献分析和实地调研,可得出影响生鲜农产品冷链物流需求的因素为经济发展水平、产业结构、冷链物流发展水平、冷链物流市场规模、人文因素、区位因素这六类一级指标,细化分为 14 个二级指标。然后,将这 14 个主要影响因素与消费者对生鲜农产品的购买量进行关联度分析,最后得出影响冷链物流需求预测的 14 个指标和生鲜农产品冷链物流的需求之间的关联度都大于 0.8,说明它们之间具有较高的联系,影响程度很高。

(2) 通过 Lasso 方法对我国冷链物流需求的 14 个影响因素进行降维,最终确定选择出 6 个因素作为组合预测模型的输入变量较为合适,这 6 个因素变量分别是:社会消费品零售总额、第二产业生产总值、第三产业生产总值、居民人均消费支出、人口总量、港口货物吞吐量。

(3) 通过案例分析,对比 BP 神经网络模型和 Lasso-BP 神经网络组合模型两种方法预测生鲜农产品冷链物流需求的有效性。结果显示,前者预测结果的误差比后者的预测误差要大得多,从而证明了 Lasso-BP 神经网络预测模型是更具有优越性的,不仅可以提高预测结果的收敛速度而且提高了预测结果的精度,因而使得预测结果更加有效率。

(4) 结合后疫情时代生鲜农产品冷链物流的发展现状和当冷链物流供给情况,分析我国冷链物流需求的变化情况。结果显示,我国冷链物流需求在未来五年内呈现上升的趋势,而目前我国冷链物流的发展存在生鲜农产品供求关系受到冲击、冷链物流发展水平低,基础配套设施迫切需要完善、生鲜农产品冷链物流体系尚未形成、生鲜农产品冷链物流的供应链畅通性不足、生鲜农产品冷链物流

主体创新动力不足、新冠疫情对进出口生鲜农产品冷链物流的影响等问题，这些存在的问题都不能够作为冷链物流持续的高质量发展的支柱。本文依据这些存在的问题提出了促进我国冷链物流产业发展的对策，从而有助于探索提升疫情常态化下我国生鲜农产品冷链物流产业发展的路径。

## 6.2 展望

本文采用 Lasso-BP 神经网络的组合预测模型来预测我国生鲜农产品的需求，具有通过降低影响因素的维度，简化模型且提高预测效率的优势。此外，本文仍然具有不足之处和需要进一步探索的问题，总结起来可以从以下两个方面展开：

（1）能够代表生鲜农产品冷链物流需求变量的种类很多，但是目前本文只选择了比较常见的生鲜农产品类别，且未能够细分冷链物流类型（仓储、运输、配送等）的需求预测。在之后的研究中可以丰富生鲜农产品的种类和细化冷链物流类型，这样能够将生鲜农产品冷链物流产业现阶段的情况更加真实的反映出来。

（2）在选取影响冷链物流需求预测的因素时，仅仅选择了能够量化的影响因素指标，而没有选择不能量化的指标，如国家的政策、重大公共事务、人才等，但是这些非量化的指标同样影响着冷链物流需求，因此需要更加深入的探讨与研究。



## 参考文献

- [1] M.Laurent-Maknavicius,C.Bekara,W.Drira.Light and Simple Security Solution for Cold Chain Supervision[J].IFIP,2008:1-6.
- [2] P L Abada,Vijay Aggarwa. Incorporating transport cost, in the lot size and pricing decisions with downward sloping demand[J].Int.J.Production Economics,2005,(95): 297-305.
- [3] James Lee.Quick-response in the Frozen Food Supply Chain:The Manufacturers' P erspective[M].Christian Salvesen Logistics Research Paper NO. 2:1998:31-33.
- [4] Corbett C J,De Groote X. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J].Management science,2000,46(3):444-450.
- [5] Tarantilis C D,Kiranoudis C T,Theodorakopoulos N D.A Web-based ERP system for business services and supply chain management: Application to real-world process scheduling[J].European Journal of Operational Research,2008,187(3):1310-1326.
- [6] Bogataj M, Bogataj L, Vodopivec R.Stability of perishable goods in cold logistic chains[J].International journal of production economics,2005,93: 345-356.
- [7] Shabani A, Saen R F, Torabipour S M R. A new benchmarking approach in Cold Chain[J]. Applied Mathematical Modelling, 2012, 36(1): 212-224.
- [8] Joshi R,Banwet D K,Shankar R.Consumer link in cold chain: Indian scenario[J]. Food Control,2010,21(8): 1137-1142.
- [9] Abad E, Palacio F, Nuin M,et al.RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain[J].Journal of food engineering,2009,93(4):394-399.
- [10] Cruz R M S,Vieira M C, Silva C L M. Effect of cold chain temperature abuses on the quality of frozen watercress (*Nasturtium officinale* R. Br.)[J].Journal of Food Engineering,2009,94(1):90-97
- [11] Ioannis Manikas,Leon A.Terry. Approximations for the relative out dating of perishable products by combining stochastic modeling,simulation and regression modeling[J].International Journal of Production Economics,2010(140):1021-1025
- [12] Ellram L M.A structured method for applying purchasing cost management tools[J].International Journal of Purchasing and Materials Management, 1996, 32(4):11-19.

- [13] Amir Sha ban,Sari For sman-Hugg.Strategic Corporate Responsibility in the Food Chain[J].Corporate Social Responsibility and Environment a Management,2012,11(5):306- 316.
- [14] Osvald A,Stirn L Z.A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food[J].Journal of food engineering,2008, 85(2): 285-295.
- [15] Yhaia E M.Cold Chain Development and Challenges in the Developing World[J].Acta Horticulturae,2010,127-134.
- [16] Banterle A,Stranieri S.Information,labelling,and vertical coordination:an analysis of the Italian meat supply networks[J].Agribusiness:An International Journal,2008,24(3):320-331.
- [17] 陈蓝荪.水产品物流及其在中国的发展[J].中国流通经济,2006, 20(1):13-16.
- [18] 唐淑芬.淮南市农产品冷链物流现状及发展[J].中小企业管理与科技, 2014 (34):157-158.
- [19] 赵立娥.生鲜农产品冷链系统成本优化问题研究[J].改革与战略,2011, 27(3):61-62.
- [20] 刘璐,岳峻,张健,傅泽田.水产品冷链管理决策模型的构建[J].农业工程学报,2010,26(08):379-385.
- [21] 王汉君,王元元.冷链物流协同选择与序参量计算模型[J].求索, 2010 (11): 24-26.
- [22] 郝书池.我国冷链物流发展前景及对策[J].中国物流与采购, 2010(7):74-75.
- [23] 胡天石.冷链物流发展问题研究[J].北京工商大学学报:社会科学版, 2010 (4):12-17.
- [24] 王微微.我国农产品冷链物流发展存在的问题及对策研究[J].中国物流与采购, 2012 (15):66-67.
- [25] 孙春华.我国生鲜农产品冷链物流现状及发展对策分析[J].江苏农业科学, 2013, 41(1):395-399.
- [26] 城乡融合视角下我国农产品冷链物流发展对策[J].商业经济研究,2021(21):135-138.
- [27] 周祖诚.冷链物流互联网化的探究[J].商场现代化,201712(21):52-53.
- [28] 谢卫航.试析冷链物流大数据下的实时监控优化[J].江西建材,2017,5(23):22-23.
- [29] 张建奎.物联网技术在农产品冷链物流平台上的运用分析[J].中国市场,2017,9(32):137-138.
- [30] 罗千峰,张利庠.农产品冷链物流高质量发展的理论阐释与实现路径[J].中国流通经济,2021,35(11):3-11.

- [31] 高维新,全海恩.双循环新发展格局下冷链物流业促进西部农产品外贸发展研究[J].对外经贸实务,2021(11):91-95.
- [32] Buurman J. Supply chain logistics management[J]. McGraw-Hill,2002, 2002.
- [33] Korpela J,Tuominen M. Inventory forecasting with a multiple criteria decision tool[J].International journal of production economics,1996, 45(1-3):159-168.
- [34] Yun S Y,Namkoong S,Rho J H,et al.A performance evaluation of neural network models in traffic volume forecasting[J].Mathematical and Computer Modelling,1998,27(9-11):293-310.
- [35] Carbonneau R, Laframboise K, Vahidov R. Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting[J].European Journal of Operational Research, 2008, 184(3):1140-1154.
- [36] Amirsha ban.Stratefic Corporate Responsibilitu in the Food Chain[J].Corporate Social Responsibility and Environment a Management,2012,11(5):306~316.
- [37] Benkachcha S, Benhra J, El Hassani H.Demand forecasting in supply chain: comparing multiple linear regression and artificial neural networks approaches[J].International Review on Modelling and Simulations,2014, 7(2):279-286.
- [38] Jaipuria S, Mahapatra S S. An improved demand forecasting method to reduce bullwhip effect in supply chains[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(5): 2395-2408.
- [39] Eksoz C, Mansouri S A, Bourlakis M, et al. Judgmental adjustments through supply integration for strategic partnerships in food chains[J].Omega,2019, 87:20-33.
- [40] Huang L, Xie G, Zhao W, et al. Regional logistics demand forecasting:a BP neural network approach[J].Complex & Intelligent Systems,2021:1-16.
- [41] Munkhdalai L,Park K H, Batbaatar E, et al. Deep learning-based demand forecasting for Korean postal delivery service[J].IEEE Access,2020,8: 188135-188145.
- [42] P.J.Wu and K.C. Lin,Unstructured big data analytics for retrieving e-commerce logistics knowledge[J].Telematics and Informatics,2018,35(1): 237-44.
- [43] BATES J M,GRANGER C W.The combinnation of forecasts[J].Journal of Operational Research Society,1996,20(4):1114-1118.
- [44] Ma H,Luo X.Logistics demand forecasting model based on improved neural network algorithm[J].Journal of Intelligent & Fuzzy Systems,2021 (Preprint): 1-11.

- [45] Yu N, Xu W, Yu K L. Research on regional logistics demand forecast based on improved support vector machine: a case study of Qingdao city under the New Free Trade Zone Strategy[J]. IEEE Access, 2020, 8: 9551-9564.
- [46] 张璐,木仁.物流需求预测方法概述[J].物流科技,2015,38(07):104-106.
- [47] 牛芳兵.基于灰色系统理论的山东物流需求预测分析[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2011,11(05):96-99.
- [48] 周晓娟,景志英.基于多元线性回归模型的河北省物流需求预测实证分析[J].物流技术,2013,32(09):270-272.
- [49] 兰洪杰,汝宜红.2008 北京奥运食品冷链物流需求预测分析[J].中国流通经济,2008(02):19-22.
- [50] 李隽波,孙丽娜.基于多元线性回归分析的冷链物流需求预测[J].安徽农业科学,2011,39(11):6519-6520+6523.
- [51] 李晓利,王泽江.基于改进的灰色神经网络煤炭物流需求预测模型[J].统计与决策,2015(18):82-85.
- [52] 许利枝,汪寿阳.港口物流预测研究:基于 TEI@I 方法论[J].交通运输系统工程与信息,2012,12(01):173-179.
- [53] 黄勤,赵海茹,陈玲.基于改进 PSO 的组合预测模型研究[J].计算机工程与应用,2015,51(14):258-263.
- [54] 张国玲,徐学红.一种基于 ARIMA-BPNN 的物流需求预测模型[J].控制工程,2017,24(05):958-962.
- [55] 张喜才,李海玲.基于灰色与马尔科夫链模型的京津冀农产品冷链需求预测[J].商业经济研究,2019(15):109-111.
- [56] Lambert D M, Stock J R. Strategic logistics management[M]. Homewood, IL: Irwin, 1993:333-351
- [57] Yaghini M, Akhavan R. Multicommodity network design problem in rail freight transportation planning[J].Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2012,43:728-739.
- [58] Liimatainen H, Kallionpää E, Pöllänen M, et al. Decarbonizing road freight in the future—Detailed scenarios of the carbon emissions of Finnish road freight transport in 2030 using a Delphi method approach[J].Technological forecasting and social change,2014,81:177-191.
- [59] Nuzzolo A,Comi A.Urban freight demand forecasting: a mixed quantity/delivery/vehicle-based model[J].Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,2014,65:84-98.
- [60] Nguyen T Y. Research on logistics demand forecast in southeast Asia[J]. World Journal of Engineering and Technology,2020,8(03):249.
- [61] Du B,Chen A. Research on logistics demand forecast based on the combination of grey GM (1, 1) and BP neural network[C]//Journal of Physics:

- Conference Series. IOP Publishing, 2019, 1288(1):012055.
- [62] 方威,肖衡,任湘郴.基于线性回归模型的物流需求预测分析[J].生产力研究,2009(12):94-95+110.
- [63] 韩慧健,韩佳兵,张锐.基于模糊认知图的物流需求预测模型研究[J].系统工程理论与实践,2019,39(06):1487-1495.
- [64] 王燕霞,钱存华,陈淼.基于组合预测法的江苏省物流需求预测[J].物流技术,2015,34(07):128-131+162.
- [65] 杨笋,曹志强,黎嘉慧.基于灰色预测法的广西农产品冷链物流需求预测[J].物流工程与管理,2017,39(09):86-88+83.
- [66] 吴英,甘霖,刘猛.基于灰色 GM(1,1)模型的六安市农产品冷链物流需求预测[J].阜阳师范学院学报(自然科学版),2019,36(04):89-93.
- [67] 李义华,王冲,文哲,杜康,孙雅伦,尹楚萱.基于滑动无偏灰色模型的湖南省农产品冷链物流需求预测[J].中南林业科技大学学报,2021,41(08):161-168.
- [68] 杨丽英,黄婧兰.基于 GM(1,1)模型的崇左农产品冷链物流需求预测分析[J].物流工程与管理,2020,42(10):132-136.
- [69] 李俊瑜.基于需求分析的福建省生鲜农产品物流发展研究[D].福州:福建农林大学,2018.
- [70] 冯永岩.北京市农产品冷链物流需求预测研究[D].华北电力大学(北京),2016.
- [71] 王少然.生鲜农产品冷链物流需求预测研究[D].西安:西安工程大学,2017.
- [72] 王赫男.河北省农产品冷链物流市场分析[D].石家庄:河北师范大学,2014.
- [73] 王秀梅.基于权重分配组合法的农产品冷链物流需求趋势预测[J].统计与决策, 2018 (9): 55-58.
- [74] 王晓平,闫飞.基于 GA-BP 模型的北京城镇农产品冷链物流需求预测[J].数学的实践与认识,2019,49(21):17-27.
- [75] 雷国.我国冷链物流业发展现状及对策[J].对外经贸,2015(04):59-61.
- [76] 冉宝松.《农产品冷链物流发展规划出台[J].中国物流与采购, 2010 (16): 24-26.
- [77] 赵启兰,王稼琼,刘宏志.物流规划中的需求与潜在需求分析[J].中国软科学, 2004 (2): 92-95.
- [78] 张喜才.中国农产品冷链物流经济特性, 困境及对策研究[J].现代经济探讨, 2019, 12: 100-105.
- [79] Šarić T, Šimunović G, Vukelić Đ, et al. Estimation of CNC grinding process parameters using different neural networks[J]. Tehnički vjesnik, 2018, 25(6):1770-1775.
- [80] 高青.基于 PCA-GA-SVM 的蚌埠市物流需求预测研究[D].安徽理工大学,

2017.

- [81] 岳佳佳,庞博,张艳君,刘佳明.基于神经网络的宽浅型湖泊水质反演研究[J].南水北调与水利科技,2016,14(02):26-31.
- [82] 郭文军.中国区域碳排放权价格影响因素的研究——基于自适应 Lasso 方法[J].中国人口·资源与环境,2015,25(S1):305-310.
- [83] 叶冰心,李倩然,张晓莹,张家婷.浅析互联网+背景下冷链物流成本管理优化[J].现代商业, 2018(11):91-92.

## 在学期间取得的科研成果和科研情况说明

### 取得的科研成果：

[1]石娟，李宵香，郑光宇，张敏，“社会网络视角下建筑工人不安全行为传播仿真研究”，《安全与环境学报》，2021年3月，已录用

### 参与的科研项目：

[1]本人参与了国家自然科学基金项目《基于情景模拟的大学生危机行为产生机理及防控策略研究》（项目编号：71603181）

[2]本人参与了天津市科学技术普及项目《面向不同受众群体需求的工业机器人科普成果开发及推广》（项目编号：21KPXMRC00080）

## 致谢

转眼间，二年半的硕士研究生生活即将结束。回想 2019 年 8 月份刚刚踏入天津理工大学的时候，对自己的学业生涯还是充满了迷茫与未知的，而经过这段学习的经历，也使自己成熟与进步。

感谢我的导师石娟教授，在我的心中，石老师不仅仅只是我的老师，更是如同家人般的存在。在我迷茫的时候，给予我方向；在我气馁的时候，给予我鼓励；在我写科研项目想要放弃的时候，给予我帮助。特别是我的毕业论文，石老师对我的论文的选题、论文框架和内在逻辑等都提出了有效的建议，石老师不厌其烦的用她那清晰的思路点醒我，让我知道自己论文的问题所在。石老师也是我前进的榜样，她不管多累多忙，始终坚守在自己工作的岗位上，从不会气馁和放弃，她经常和我们说“只争朝夕、和时间赛跑”，现在已经深深的印在我的脑海里。

感谢我的任课教师，他们不仅传授给我学习上的知识，也教会我一些生活上的道理，我听过的每一堂课，都对我受益匪浅。也要感谢在论文开题和中期检查时，给我论文提出宝贵意见的老师，他们的意见对我的论文也起到了重要的作用。

感谢我的室友们，她们见证了我的喜怒哀乐，快乐时一起分享，难过时给我肩膀。感谢 412 工作室的师兄师姐、师弟师妹以及同一届的小伙伴们，记得刚入校门的时候，师兄师姐们不仅在学习上传授经验，也在生活上照顾有加，我们同一届的小伙伴们，遇到困难时，总能互相帮助，互相加油打气，师弟师妹们一直在后方默默支持着我。

感谢我的父母，无论发生什么事情，他们总是能够无条件的支持和鼓励我，告诉我成长的路上，可能会遇到很多困难，但是一切都会好的，要始终相信自己！无畏艰难，勇敢向前走。