

# 基于灰色GM (1, 1)模型的生鲜农产品冷链物流需求影响因素及预测研究

安志丹, 张步阔

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2023年12月15日; 录用日期: 2024年1月5日; 发布日期: 2024年2月29日

## 摘要

采用灰色关联分析方法对2013~2022年生鲜农产品冷链物流需求与生鲜农产品产量、交通固定资产投资、全国居民可支配收入、货物运输量、冷藏车保有量等相关影响因素的关联度进行分析, 并利用GM (1, 1)模型对全国2023~2027年生鲜农产品冷链物流需求量进行预测。结果显示, 生鲜农产品产量关联度最高, 农产品冷链物流需求量将会持续增长。此外, 从生鲜农产品供给、强化冷链设施建设因素方面, 提出完善生鲜农产品冷链物流的建议。

## 关键词

农产品冷链物流, 灰色关联分析, GM (1, 1)模型

# Gray GM (1, 1) Model-Based Cold Chain Logistics Demand of Fresh Agricultural Products Influencing Factors and Forecasting Research

Zhidan An, Bukuo Zhang

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Dec. 15<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 5<sup>th</sup>, 2024; published: Feb. 29<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Gray correlation analysis is used to analyze the correlation between the demand for cold chain lo-

文章引用: 安志丹, 张步阔. 基于灰色 GM (1, 1)模型的生鲜农产品冷链物流需求影响因素及预测研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(1): 837-845. DOI: 10.12677/orf.2024.141077

istics of fresh agricultural products and the production of fresh agricultural products, investment in fixed assets in transportation, disposable income of the national residents, cargo transportation volume, and the number of reefer trucks, etc., and the GM (1, 1) model is used to forecast the demand for cold chain logistics of fresh agricultural products in China in the period of 2023~2027. The results show that the production of fresh agricultural products has the highest correlation, and the cold chain logistics demand for agricultural products will continue to grow. In addition, from the supply of fresh agricultural products and strengthening the construction of cold chain facilities, it puts forward suggestions to improve the cold chain logistics of fresh agricultural products.

## Keywords

Agricultural Cold Chain Logistics, Gray Correlation Analysis, GM (1, 1) Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

生鲜农产品是冷链物流需求的重要组成部分,农产品冷链物流作为连接农产品生产端和消费端的桥梁,科学分析农产品冷链物流需求影响因素和需求规模是引导农产品冷链物流健康发展的理论基础和前提条件。然而,目前针对全国范围内的生鲜农产品冷链物流研究较为缺乏,更多是从省市范围进行研究;其次,在影响因素研究方面,利用冷链物流数据进行的研究较少[1]。鉴于现存研究的不足,加强对生鲜农产品冷链物流影响因素、需求规模的研究,有利于对制定农产品发展战略、生鲜农产品冷链物流建设等决策过程提供参考。

国家的生鲜农产品冷链物流需求往往与诸多因素相关,各种因素的影响程度不明确,各种影响因素存在量纲方面的区别。灰色关联分析在降低量纲影响、研究影响因素强弱方面具备良好的适用性[2],可以弥补数理统计回归分析等方法做系统分析的不足,故本研究采取灰色关联分析进行影响因素研究。生鲜农产品冷链物流需求量方面,灰色 GM (1, 1)模型广泛地应用于各类数据的预测[3],灰色 GM (1, 1)模型的主要功能是对“样本范围小”、“模型数据较少”等特征数据的不确定性系统的计算与研究,结合中国的生鲜农产品物流的现状而言,物流数据具有数据少、信息不全的特征,相较于其他预测模型,利用灰色 GM (1, 1)模型进行预测不需要知道原始数据的分布规律,便可对所选数据精准预测其发展变化趋势,具有较好的参考性与实际价值。故本研究结合灰色 GM (1, 1)模型对全国生鲜农产品冷链物流需求量及发展趋势进行预测。

## 2. 研究方法

### 2.1. 灰色关联分析

分析灰色系统母因素与相关行为因素的关系紧密程度,对主要影响因素和次要影响因素进行判断,灰色关联分析具有不受量纲的制约的特点,适用于各类样本。灰色关联分析方法步骤如下:

- ① 选择参考序列  $X_0 = (x_{01}, x_{02}, x_{03}, \dots, x_{0m})$ ; 比较序列:  $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{im})$ , 其中  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ;
- ② 对参考序列  $X_0$ 、比较序列  $X_i$  数据进行无量纲处理得到  $X'_0$ 、 $X'_i$ , 即用同一序列的所有数除以

该序列的第一个数;

③ 求出无量纲序列的差序列  $\Delta_{0i}(k) = |x'_i(k) - x'_0(k)|, k=1, 2, \dots, m$  (即无量纲的比较序列与参考序列的差值)、比较序列中所有数据的最大差  $MAX$  和最小差  $MIN$ ;

④ 计算关联度系数  $r(x_0(k), x_i(k)) = (MIN + \rho MAX) / (\Delta_{0i}(k) + \rho MAX)$ , 通常情况下  $\rho = 0.5$ ;

⑤ 求关联度  $r(x_0, x_i) = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (x_0(k), x_i(k))$ , 其中  $i=1, 2, 3, \dots, n$ ;

⑥ 根据关联度的值  $r(x_0, x_i)$  进行比较, 数值越大, 说明该因素与母因素之间的关联性越大, 反之则反。

## 2.2. 灰色 GM (1, 1)模型

灰色 GM (1, 1)模型广泛应用于以年份度量为非负数据序列, 基本逻辑为用累加的方式生成一组趋势明显的新序列, 按照新序列增长的趋势模型进行预测, 随后用累减的方式恢复原始数列, 得到预测结果。

设  $X(0) = (x(0)(1), x(0)(2), \dots, x(0)(n))$ , 称  $\sigma(k) = \frac{x(0)(k-1)}{x(0)(k)}, k=2, 3, \dots, n$  为序列的级比, 若级比  $\sigma(k) \in \left( e^{-\frac{2}{n+1}}, e^{\frac{2}{n+1}} \right)$ , 则可以进行建模。

灰色 GM (1, 1)模型的步骤如下:

将最初的非负数据列  $X(0)$  进行累加, 得到新的数据列  $X(1)$ ,  $X(1) = (x(1)(1), x(1)(2), \dots, x(1)(n))$ , 其中,  $x(1)(k) = \sum_{i=1}^k x(0)(i), k=1, 2, \dots, n$ ;

生成  $X(1)$  的紧邻均值序列  $Z(1) = \{z(1)(2), z(1)(3), \dots, z(1)(k), \dots, z(1)(n)\}$ , 其中  $z(1)(k) = \frac{1}{2}x(1)(k) + \frac{1}{2}x(1)(k-1), k=2, 3, \dots, n$ 。

根据灰色理论建立 GM (1, 1)微分方程模型为  $\frac{dX(1)}{dt} + aX(1) = b$  (1), 将(1)中的  $a$  称为发展系数,  $b$  为内生控制灰数, 设  $\hat{a}$  为待估参数向量,  $\hat{a} = (a, b)^T$ ,  $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n$ 。

$$\text{其中, } B = \begin{pmatrix} -z(1)(2) & 1 \\ -z(1)(3) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z(1)(n) & 1 \end{pmatrix}, Y_n = \begin{pmatrix} x(0)(2) \\ x(0)(3) \\ \vdots \\ x(0)(n) \end{pmatrix}。$$

将  $\hat{a}$  代入得到  $\hat{x}(1)(k+1) = \left[ x(0)(1) - \frac{b}{a} \right] e^{-ak} + \frac{b}{a}, k=1, 2, \dots, n$ ; 将结果进行累减还原得到  $\hat{x}(0)(k+1) = \hat{x}(1)(k+1) - \hat{x}(1)(k)$ 。

## 2.3. 灰色 GM (1, 1)模型可行性检验

### ① 残差检验

残差检验, 用于检验判断模型的可行性, 即对模型值和实际值的残差进行逐点检验。

平均相对残差:  $\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x(0)(i) - \hat{x}(0)(i)}{x(0)(i)} \right|, i=1, 2, 3, \dots, n$ ;

### ② 后残差检验

$$\text{原始序列平均值: } \bar{X}(0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(0)(i);$$

$$\text{原始序列标准差: } S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X(0)(i) - \bar{X}(0)]^2}{n-1}};$$

$$\text{残差均方差: } \bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta(0)(i), \Delta(0)(i) = x(0)(i) - \hat{x}(0)(i);$$

$$\text{绝对误差序列标准差: } S_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\Delta(0)(i) - \bar{\Delta}]^2}{n-1}};$$

$$\text{后验差比值 } C = \frac{S_2}{S_1};$$

$$\text{小误差概率: } P = P\{|\Delta(0)(i) - \bar{\Delta}| < 0.6745 * S_1\};$$

### 3. 指标构建

#### 3.1. 预测指标

为了准确预测冷链物流市场需求总量及需求变化趋势,我国生鲜农产品冷链市场需求主要采取两种方式进行计算,一种方式为以水果、蔬菜、肉类、水产品、禽类、蛋类、奶类等主要生鲜产品产量为基础,分别乘以各类生鲜产品的冷链流通率数据进行加总,进而估算我国农产品冷链物流的市场需求;另一种方式从消费方面计算,用人口规模乘以人均生鲜产品消费量,估算出我国农产品冷链物流市场需求。出于对数据获取难度的考虑,当前各个农产品的冷链流通率收集存在难度,因而采取人口规模乘以人均生鲜农产品消费量作为生鲜农产品市场需求量,并以此作为生鲜农产品冷链物流需求量[4] (见表 1)。

**Table 1.** National cold chain demand for fresh agricultural products, 2013~2022

**表 1.** 2013~2022 年全国生鲜农产品冷链需求量

序号	年份	人口数量(万人)	人均生鲜农产品消费量(千克)	生鲜农产品冷链需求量(万吨)
1	2013	136,726	232	31720.4
2	2014	137,646	236.9	32608.3
3	2015	138,326	240.2	33225.9
4	2016	139,232	246.8	34362.5
5	2017	140,011	247.7	34680.7
6	2018	140,541	247.7	34812.0
7	2019	141,008	257.6	36323.7
8	2020	141,212	263.5	37209.4
9	2021	141,260	274.7	38804.1
10	2022	141,175	255.6	36084.3

#### 3.2. 影响因素指标

生鲜农产品冷链物流需求量受到诸多因素的影响,充分阅读以往研究的基础上,结合领域内已有的研究成果,并结合 2013~2022 年实际数据可获得性、可操作性和准确性的基础上[5],对全国农产品冷链物流需求量影响因素进行归纳和整理,将其归纳为以下 4 个方面(供给方面、经济方面、人文方面、物流

行业规模方面), 包含 11 个因素。

#### 1) 供给方面

农产品供给是冷链物流需求的基础, 持续稳定的农产品供给能够满足消费者对农产品的消费需求。此外, 农产品价格指数直接影响到农户的生产积极性, 对农产品的供给也会产生直接影响, 农产品中对冷链物流需求旺盛的为生鲜农产品, 故供给因素选择生鲜农产品的产量、农产品价格指数。本研究的生鲜农产品产量研究范围包括: 蔬菜、肉类、水产品、禽蛋类、奶类、水果。

#### 2) 经济方面

经济因素对于冷链物流发展完善具有重要的促进作用, 分别选取人均国内生产总值、第三产业增加值、交通固定资产投资作为农产品冷链物流需求量的经济影响因素。

#### 3) 人文方面

居民消费水平代表了对于消费者的购买能力, 影响着居民对于农产品的消费, 分别选取居民可支配收入、居民人均消费支出、第三产业从业人员数量作为生鲜农产品冷链物流需求量的人文影响因素。

#### 4) 物流行业规模方面

物流行业的发展情况会直接影响到生鲜农产品冷链物流的发展水平, 反映了物流基础设施建设、物流技术发展水平等方面的综合能力, 选择货物运输量、冷藏车保有量、公路营运载货汽车拥有量作为物流行业规模影响因素。

除了上面介绍的因素之外, 例如国家宏观政策、冷链物流人员整理的素质水平、预冷技术的应用情况等因素对于生鲜农产品冷链物流需求量也可能存在某些关联, 但由于宏观层面的政策对冷链物流的影响难以量化, 没有相关的数据进行统计, 冷链物流人员整体素质水平、预冷技术的应用情况等因素也难以找到详细的数据, 无法用数据对其影响情况进行分析, 因而无法将国家宏观政策、冷链物流人员整体的素质水平、预冷技术的应用情况等因素考虑在内, 未来有相关统计数据后可进一步改进。

## 4. 实证分析

### 4.1. 数据选取

研究选择 2013~2022 年的相关指标数据作为样本进行影响因素分析, 以生鲜农产品冷链物流需求量为  $Y$  (万吨), 其影响因素指标为: 生鲜农产品产量  $X_1$  (万吨)、农产品价格指数  $X_2$ 、国内生产总值  $X_3$  (元)、第三产业增加值  $X_4$  (亿元)、交通固定资产投资  $X_5$  (亿元)、全国居民可支配收入  $X_6$  (元)、全国居民人均消费支出  $X_7$  (元)、第三产业从业人员数量  $X_8$  (万人)、货物运输量  $X_9$  (万吨)、冷藏车保有量  $X_{10}$  (万辆)、公路营运载货汽车拥有量  $X_{11}$  (万辆), 原始数据来源于国家统计局发布的年鉴、艾瑞《2023 年中国生鲜食材供应链行业洞察》、国家交通运输部发布的公报等, 具体如下表 2 所示:

**Table 2.** Cold chain logistics demand and influencing factors indicator data of fresh agricultural products, 2013~2022

**表 2.** 2013~2022 年生鲜农产品冷链物流需求量及影响因素指标数据

年份	$Y$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$
2013	31720.4	109523.6	101.4	43,497	277983.5	22190.7	18310.8	13220.4	29,321	4,098,900	5.52	1419.48
2014	32608.3	112994.2	101.0	46,912	310,654	25259.5	20167.1	14491.4	30,920	4,167,296	7.59	1453.36
2015	33225.9	115994.2	100.1	49,922	349744.7	26659.0	21966.2	15712.4	32,258	4,175,886	9.34	1389.19
2016	34362.5	113181.6	100.7	53,783	390828.1	28685.0	23,821	17110.7	33,042	4,386,763	11.5	1351.77
2017	34680.7	115779.2	101.1	59,592	438355.9	32020.0	25973.8	18322.1	34,001	4,804,850	14	1368.62
2018	34812.0	117422.5	101.9	65,534	489700.8	32236.0	28,228	19853.1	34,911	5,152,732	18	1355.82

续表

2019	36323.7	120349.2	102.0	70,078	535,371	32450.0	30732.8	21558.9	35,561	4,713,624	21.47	1087.82
2020	37209.4	124900.1	101.4	71,828	551973.7	34783.0	32188.8	21209.9	35,806	4,725,862	28.7	1110.28
2021	38804.1	130386.2	101.6	80,976	609679.7	36220.0	35128.1	24100.1	35,868	5,298,499	34	1173.26
2022	36084.3	133852.0	100.4	85,698	638,698	38545.0	36,883	24,538	34,549	5,066,300	36.9	1166.66

## 4.2. 实证分析

### 4.2.1. 灰色关联系数计算

数据度量单位不同, 本文采用初值化方法对数据进行无量纲处理, 从而消除数据的不一致而引起的误差。初值无量纲处理结果详见表 3。

**Table 3.** Demand for fresh agricultural products' cold chain logistics and influencing factors indicator data dimensionless results, 2013~2022

**表 3.** 2013~2022 年生鲜冷链物流需求量及影响因素指标数据无量纲结果

年份	Y	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11
2013	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2014	1.03	1.03	1.00	1.08	1.12	1.14	1.10	1.10	1.05	1.02	1.38	1.02
2015	1.05	1.06	0.99	1.15	1.26	1.20	1.20	1.19	1.10	1.02	1.69	0.98
2016	1.08	1.03	0.99	1.24	1.41	1.29	1.30	1.29	1.13	1.07	2.08	0.95
2017	1.09	1.06	1.00	1.37	1.58	1.44	1.42	1.39	1.16	1.17	2.54	0.96
2018	1.10	1.07	1.00	1.51	1.76	1.45	1.54	1.50	1.19	1.26	3.26	0.96
2019	1.15	1.10	1.01	1.61	1.93	1.46	1.68	1.63	1.21	1.15	3.89	0.77
2020	1.17	1.14	1.00	1.65	1.99	1.57	1.76	1.60	1.22	1.15	5.20	0.78
2021	1.22	1.19	1.00	1.86	2.19	1.63	1.92	1.82	1.22	1.29	6.16	0.83
2022	1.14	1.22	0.99	1.97	2.30	1.74	2.01	1.86	1.18	1.24	6.68	0.82

将 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11 作为比较序列, Y 作为参考序列, 11 个因素与生鲜农产品冷链物流需求量 Y 的关系, 取  $\rho = 0.5$ , 计算得到关联度如下表 4 所示:

**Table 4.** Gray correlation

**表 4.** 灰色关联度

指标项	关联系数	排名
X1: 生鲜农产品产量	0.989	1
X2: 农产品价格指数	0.964	4
X3: 人均国内生产总值	0.897	8
X4: 第三产业增加值	0.845	10
X5: 交通固定资产投资额	0.908	6
X6: 全国居民人均可支配收入	0.883	9
X7: 全国居民人均消费支出	0.897	7

续表

X8: 第三产业从业人员数量	0.985	2
X9: 货物运输量	0.983	3
X10: 冷藏车保有量	0.626	11
X11: 公路营运载货汽车拥有量	0.936	5

根据灰色关联度分析的结果并对其进行排序可得:

$X1 > X8 > X9 > X2 > X11 > X5 > X7 > X3 > X6 > X4 > X10$ , 11 个指标与生鲜农产品冷链物流需求量均存在较强的关联关系(灰色关联度大于 0.6 判断为存在强关联关系), 其中, 生鲜农产品产量  $X1$  与生鲜农产品冷链物流需求量  $Y$  关系关联度最高, 关联度为 0.989; 冷藏车保有量  $X10$  与生鲜农产品冷链物流需求量  $Y$  关联度最小, 关联度为 0.626。

#### 4.2.2. 生鲜农产品冷链物流需求量 GM (1, 1)模型建立及检验

将生鲜农产品冷链物流需求量  $Y$  建立灰色 GM (1, 1)模型, 并进行求解、检验, 得到发展系数  $a$  为  $-0.0178$ , 灰色作用量  $b$  为 32032.1482, 平均相对误差  $q = 1.57\% < 0.2$ (详见表 5)、后验差比值  $C = 0.0959 < 0.35$ , 小误差概率  $P$  值为  $100\% > 0.95$ , 满足残差检验、后残差检验, 模型精度非常好。

**Table 5.** Forecast model test table of Fresh agricultural products' cold chain logistics demand

**表 5.** 生鲜农产品冷链物流需求量预测模型检验表

年份	实际值	预测值	相对误差	平均相对误差
2013	31720.432	31720.43	0.00%	1.57%
2014	32608.3374	32886.74	0.85%	
2015	33225.9052	33476.08	0.75%	
2016	34362.4576	34075.97	0.83%	
2017	34680.7247	34686.61	0.02%	
2018	34812.0057	35308.20	1.43%	
2019	36323.6608	35940.93	1.05%	
2020	37209.362	36584.99	1.68%	
2021	38804.122	37240.60	4.03%	
2022	36084.33	37907.96	5.05%	

#### 4.2.3. 农产品冷链物流需求量预测

**Table 6.** Demand forecast for fresh agricultural products' cold chain logistics, 2023~2027

**表 6.** 2023~2027 年生鲜农产品冷链物流需求量预测

年份	预测量(万吨)
2023	38587.27
2024	39278.76
2025	39982.64
2026	40699.13
2027	41428.46

GM (1, 1)模型精度通过模拟检验, 将表 1 生鲜农产品冷链需求量数据代入灰色 GM (1, 1)模型, 进行生鲜农产品冷链物流需求量预测, 得到 2023~2027 年预测需求量(见表 6)。将实际值与预测值进行分析(详见图 1), 发现实际值与预测值基本重合, 具备良好的拟合性。

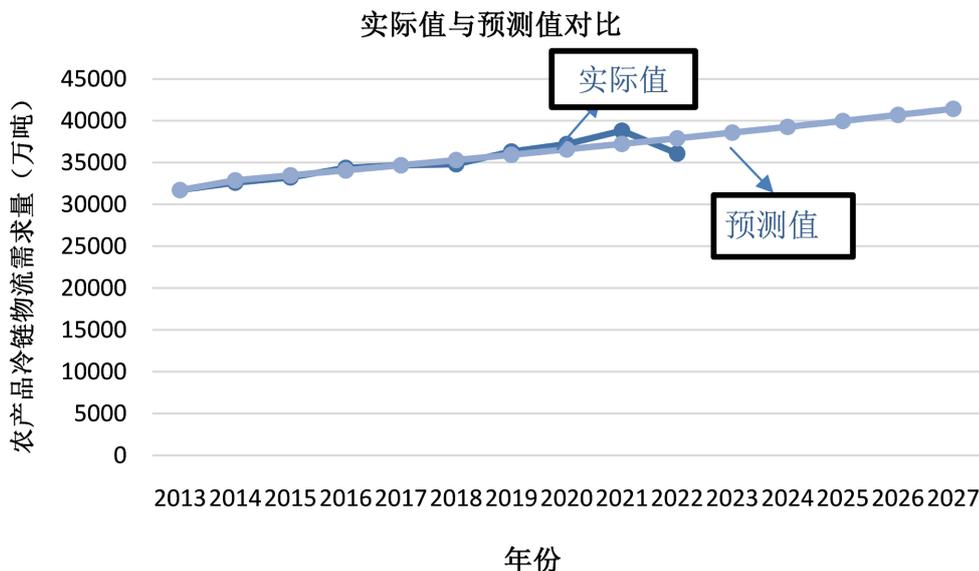


Figure 1. Actual vs. predicted  
图 1. 实际值与预测值对比

## 5. 结论

本研究利用我国生鲜农产品冷链物流需求量的相关数据建立了灰色 GM (1, 1)模型。根据分析结果显示, 未来 5 年我国生鲜农产品冷链物流市场需求仍然整体呈现上升趋势, 需求的整体规模仍在扩大。此外, 随着预制菜的蓬勃发展以及政府政策的颁布实施, 生鲜农产品冷链物流市场的前景广阔。为了促进农产品冷链物流市场的高质量发展, 结合关联度分析结果, 提出以下几点建议:

### 1) 加快生鲜农产品“最初一公里”建设

根据上文的结果得出, 生鲜农产品的产量是对生鲜农产品冷链物流需求量影响最大的因素, 但是长期以来, 对于生鲜农产品“最初一公里”的认识性、重视性不足, 农产品收获后的预冷比例不足 10%, 为了解决该问题, 需要加大对“最初一公里”产地冷链物流设备设施的建设力度, 提高生产地的预冷服务能力, 从源头上确保生鲜农产品的顺畅流通。

### 2) 强化冷藏车辆等设施的有效供给

七大类农产品运输过程中的损耗率和浪费率达到 22.7%, 约为 4.6 亿吨损失, 其中生产流通环节损耗就达到 3 亿吨, 流通环节的损耗高居不下, 从上文的影响因素分析过程中, 冷藏车保有量对于生鲜农产品冷链物流需求存在正向影响, 加强对设施设备的有效供给将有助于生鲜农产品在流通环节的损耗率降低。

## 参考文献

- [1] 李思聪, 叶静. 基于灰色回归模型的农产品冷链物流需求分析及预测[J]. 公路交通科技, 2022, 39(5): 166-174.
- [2] 王耀斌, 蒋金萍, 孙传玲. 基于灰色关联分析的甘肃省旅游收入影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2015, 31(7): 868-871.

- [3] 邵红梅, 杨建华, 兰月新. 基于初值修正的组合 GM(1, 1)模型及其应用[J]. 统计与决策, 2015(2): 89-90.  
<https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyj.2015.02.025>
- [4] 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, 22(2): 19-22.
- [5] 戎陆庆, 黄佩华. 基于灰色理论的广西果蔬冷链物流需求及其影响因素预测研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(12): 227-234.