

基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测系统

吴卓葵^{1,2}, 何宏浩¹, 张文峰^{1,2}, 张小花^{1,2}, 叶祥^{1,2}

(1. 仲恺农业工程学院 自动化学院, 广东 广州 510225;

2. 广东省农产品冷链运输与物流工程技术研究中心, 广东 广州 510225)

摘要:对生鲜农产品配送需求量进行预测,实现按需配送,可以降低甚至实现生鲜农产品的零库存,减少生鲜农产品变质、腐烂等损耗。为了高效预测生鲜农产品配送需求量,提出一种基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测系统。系统以 Grey-Markov 为预测模型,对生鲜农产品下一日的配送需求量进行预测,与指数回归等预测模型相比, Grey-Markov 模型具有更强的稳定性和更好的准确性。系统设计采用 C/S 架构,实现以按需配送为目标的原始数据导入、原始数据管理、历史销量分析、需求量预测等功能。详细介绍了系统的架构设计、功能设计、数据库设计和程序设计。测试与应用结果表明,系统实现了预期的功能,应用效果良好,可有效减少生鲜农产品的损耗。与使用系统前相比,日剩余未售出生鲜农产品总量可降低 20 个百分点以上。

关键词:需求量预测; Grey-Markov; 配送; 生鲜农产品; C/S

中图分类号: TP311.52

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2023)01-0108-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2023.01.017

Design of Fresh Agricultural Products Distribution Demand Prediction System Based on Grey-Markov Model

WU Zhuo-kui^{1,2}, HE Hong-hao¹, ZHANG Wen-feng^{1,2}, ZHANG Xiao-hua^{1,2}, YE Xiang^{1,2}

(1. School of Automation, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China;

2. Guangdong Agricultural Products Cold Chain Transportation and Logistics Engineering Technology Research Center, Guangzhou 510225, China)

Abstract: Predicting the distribution demand of fresh agricultural products can realize on-demand distribution which can reduce or even realize the zero inventory of fresh agricultural products and reduce the deterioration, decay and other losses of fresh agricultural products. In order to efficiently predict the distribution demand of fresh agricultural products, a fresh agricultural products distribution demand prediction system based on Grey-Markov model is proposed. The system takes Grey-Markov model as the prediction model to predict the distribution demand of fresh agricultural products in the next day. Compared with the prediction models such as exponential regression model, Grey-Markov model has stronger stability and better accuracy. The system adopts C/S architecture and realizes the functions of original data import, original data management, historical sales analysis and demand prediction aimed at on-demand distribution. The architecture design, function design, database design and program design in such system are introduced in detail. The test and application results show that such system realizes the expected function, with excellent application effect, and can effectively reduce the loss of fresh agricultural products. Compared with before using the system, the total daily remaining unsold fresh agricultural products can decrease by more than 20%.

Key words: demand prediction; Grey-Markov; distribution; fresh agricultural products; C/S

0 引言

对生鲜农产品配送需求量进行预测,实现按需配送,可以降低甚至实现生鲜农产品的零库存,减少生鲜农产品变质、腐烂等损耗,降低企业经营成本,提高企

业利润^[1]。

目前存在多种生鲜农产品配送需求量预测方法,主要有时间序列法、因果分析法、现代预测方法和组合预测法等^[2]。其中组合预测法可以弥补单项预测方法

收稿日期: 2022-02-18

修回日期: 2022-06-21

基金项目: 广东省自然科学基金项目(2017A030310650); 广东省农产品保鲜物流共性关键技术研发创新团队项目(2021KJ145); 广东省重点领域研发计划项目(2020B0202080002); 广东省普通高校特色创新项目(2018KTSCX094)

作者简介: 吴卓葵(1980-),男,博士,副教授,通讯作者,研究方向为农业信息化。

的不足,预测结果通常更加准确^[3-4]。相关的组合预测法有 Grey-Markov 模型^[5]、Grey 线性组合模型^[6]、偏二叉树 SVM(Support Vector Machine, SVM)销量区间预测模型^[7]和皇冠模型^[8]等。然而,如何高效应用这些方法对生鲜农产品配送需求量进行预测的问题仍然没有很好地解决。

针对以上问题,该文提出一种基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测系统,利用计算机软件技术、数据库技术和网络技术,实现原始数据导入、原始数据管理、历史销量分析和需求量预测等功能,用于高效预测生鲜农产品配送需求量,实现按需配送,减少生鲜农产品变质、腐烂等损耗。

1 总体设计

1.1 架构设计

系统需要处理海量的生鲜农产品销量数据,为了更流畅地对数据进行处理,达到更好的交互效果,确定系统采用 C/S 架构^[9-10]。

系统架构设计如图 1 所示,其由客户端 PC 和 MySQL 服务器两部分组成。系统软件由系统程序和数据库组成。客户端 PC 安装系统程序,为用户提供生鲜农产品配送需求量预测服务。数据库服务由 MySQL 服务器提供,在 MySQL 服务器中建立系统数据库^[11]。MySQL 是目前最流行的免费开源关系型数据库管理系统。系统程序通过 Internet 连接 MySQL 服务器进行远程数据存取操作。

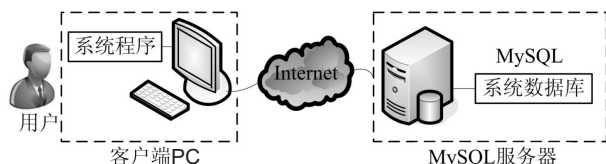


图 1 系统架构

1.2 功能设计

为了高效地实现生鲜农产品配送需求量的预测,结合用户需求分析和调研结果,设计生鲜配送需求量预测系统的功能模块,如图 2 所示^[12]。

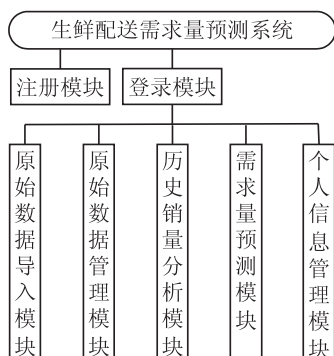


图 2 系统功能模块

表 1 为生鲜配送需求量预测系统各功能模块的详细设计内容。

表 1 系统各功能模块设计内容

功能模块名称	设计内容
注册模块	注册系统使用账号
登录模块	通过账号验证后才能使用系统
原始数据导入模块	通过 Excel 格式的文档导入生鲜农产品销量数据,并存入系统数据库
原始数据管理模块	查看和清除系统数据库中存储的生鲜农产品销量数据
历史销量分析模块	对生鲜农产品销量进行按年、按季度、按月和按日的统计分析
需求量预测模块	以 Grey-Markov 为预测模型,对生鲜农产品下一日的配送需求量进行预测
个人信息管理模块	修改个人信息和修改登录密码

1.3 开发语言和开发工具

根据生鲜配送需求量预测系统的架构,采用 C#语言设计系统。C#是 Microsoft 公司发布的一种由 C 和 C++ 衍生出来的面向对象的编程语言,为当前 Windows 桌面程序开发的最热门语言^[13]。系统程序采用 Visual Studio 2019 开发, Visual Studio 是 Microsoft 公司发布的 Windows 平台应用程序的集成开发环境,是 C#语言的首选开发工具^[14]。数据库管理系统采用 MySQL 8.0。

2 系统详细设计

2.1 数据库设计

根据生鲜配送需求量预测系统的功能,在数据库中设计 users 和 sales 两个数据表,分别用于存储用户信息和生鲜农产品销量信息。表 2 为 sales 表的设计信息。

表 2 sales 表设计信息

字段	数据类型	约束	说明
sale_id	int	主键	记录编号
account	varchar(20)	无	所属用户
product_id	int	无	产品编号
product_name	varchar(45)	无	产品名称
sale_quantity	int	无	销量
sale_unit	varchar(10)	无	产品单位
sale_time	datetime	无	销售日期

2.2 界面设计

界面设计围绕系统需要实现的功能进行,并充分考虑人机交互便利性。设计的系统界面由登录窗体、注册窗体、系统主界面窗体、原始数据导入窗体、原始数据管理窗体、年销量统计窗体、季度销量统计窗体、

月销量统计窗体、日销量统计窗体、需求量预测结果与导出窗体、需求量预测详情窗体、个人信息管理窗体、修改个人信息窗体和修改密码窗体等 14 个窗体组成,分别对应系统设计的各个功能。

系统主界面窗体布局包含窗体头部、左导航栏和窗体主体三部分。窗体头部放置 PictureBox 控件,用于显示系统 Banner。左侧导航栏放置系统主体功能的各个操作按钮,包括原始数据导入、历史销量分析和需求量预测等操作按钮。窗体主体中放置 Panel 容器,程序根据用户操作或者需要在 Panel 容器中载入操作项对应的窗体。

2.3 关键功能模块设计

2.3.1 原始数据导入模块设计

原始数据导入模块主要实现导入销量数据文件和上传销量数据至数据库的功能。销量数据文件为 Excel 文件格式,Excel 文件中表的列名应该包含且名称为:生鲜农产品编号、生鲜农产品名称、销量、单位、时间。采用 ADO. Net 技术读取 Excel 文件数据,图 3 为导入销量数据文件功能实现流程^[15]。

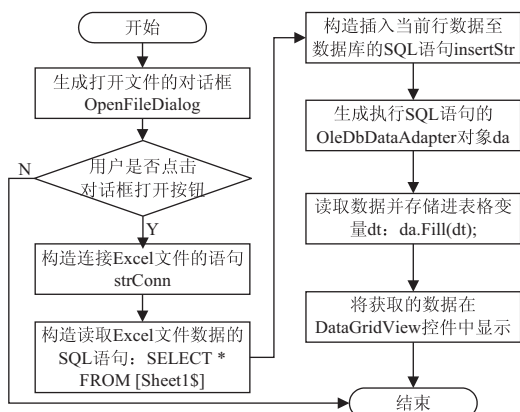


图 3 导入销量数据文件功能实现流程

2.3.2 历史销量分析模块设计

历史销量分析模块包括年销量统计、季度销量统计、月销量统计和日销量统计 4 个子模块,分别对生鲜农产品销量进行按年、按季度、按月和按日的统计分析。在每个子模块中,使用 ListVIEW 控件显示具体的生鲜农产品销量统计数据和使用 Chart 控件以折线的形式显示销量变化趋势,也可将统计结果数据导出至 Excel 文件。对生鲜农产品销量进行按年统计的实现方法如算法 1 所示。

算法 1: 生鲜农产品销量按年统计算法。

(1) //构造对生鲜农产品销量按年统计的 SQL 语句

```
string queryStr = "select product_id,product_name, Year(sale_
time) AS 年份, Sum ( sale_quantity ) As 销量, sale_unit From
sales where account = " + loginUser + " and product_id = " +
product_id + " group by 年份";
```

(2) //执行 SQL 语句,将获取的数据存储进表格变量 dt;

```
(3) MySqlConnection myDap = new MySqlConnection
(queryStr, myCon);
```

```
(4) DataTable dt = new DataTable();
```

```
(5) myDap. Fill( dt );
```

```
(6) //将数据在 ListView 控件 listView1 中显示
```

```
(7) //以折线的形式显示销量变化趋势
```

```
(8) chart1. DataSource = dt; //设置对象的数据源
```

```
(9) chart1. Series[0]. XValueMember = " 年份";
```

```
(10) chart1. Series[0]. YValueMembers = " 销量";
```

```
(11) chart1. Series[0]. Label = "#VAL";
```

2.3.3 基于 Grey-Markov 的配送需求量预测模块设计

系统以 Grey-Markov 为预测模型,对生鲜农产品下一日的配送需求量进行预测,以实现按需配送。Grey-Markov 模型与指数回归等预测模型相比,具有更强的稳定性,且可消除外在因素可能对生鲜农产品销量产生大幅度变化的影响,具有更好的准确性^[16-17]。

2.3.3.1 基于 Grey-Markov 的配送需求量预测方法设计

基于 Grey-Markov 模型,生鲜农产品配送需求量预测方法设计为:

(1) 建立生鲜农产品销量的 Grey 模型 GM(1,1), 确定下一天的生鲜农产品配送需求量的初步预测值。具体为:

① 将前 12 天的生鲜农产品销量数据作为 GM(1,1) 的原始数据序列: $x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(12)\}$;

② 对原始数据序列进行一次累加,生成序列 $x^{(1)}$: $x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(12)\}$, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, 12$;

③ 按 $x^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列 $z^{(1)}$: $z^{(1)} = \{z^{(1)}(2), z^{(1)}(3), \dots, z^{(1)}(12)\}$, 其中 $z^{(1)}(k) = \frac{1}{2} [x^{(1)}(k-1) + x^{(1)}(k)], k = 2, 3, \dots, 12$;

④ 根据 Grey 系统理论建立 GM(1,1) 的灰微分方程模型 $x^{(0)}(k) + \alpha z^{(1)}(k) = \beta$, 其中 $x^{(0)}(k)$ 为灰导数, $z^{(1)}(k)$ 为白化背景值, α 为发展系数, β 为灰色作用量;

⑤ 将 $k = 2, 3, \dots, 12$ 代入 $x^{(0)}(k) + \alpha z^{(1)}(k) = \beta$, 得方程组:

$$\begin{cases} x^{(0)}(2) + \alpha z^{(1)}(2) = \beta \\ x^{(0)}(3) + \alpha z^{(1)}(3) = \beta \\ \dots \\ x^{(0)}(12) + \alpha z^{(1)}(12) = \beta \end{cases}$$

采用最小二乘法对上面的方程组进行求解,求得

发展系数 α 和灰色作用量 β 的值:

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

其中:

$$B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -z^{(1)}(12) & 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(12) \end{bmatrix}$$

⑥根据发展系数 α 和灰色作用量 β 的值,得到灰微分方程 $x^{(0)}(k) + \alpha z^{(1)}(k) = \beta$ 对应的白化微分方程^[18]: $\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + \alpha x^{(1)}(t) = \beta$, 解得:

$$x^{(1)}(t) = (x^{(0)}(1) - \frac{\beta}{\alpha})e^{-\alpha(t-1)} + \frac{\beta}{\alpha}$$

于是得到生鲜农产品销量数据累加值的预测值:

$$x_y^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{\beta}{\alpha})e^{-\alpha k} + \frac{\beta}{\alpha}, k=1, 2, \dots$$

则下一天的生鲜农产品配送需求量的初步预测值为:

$$x_y^{(0)}(k+1) = x_y^{(1)}(k+1) - x_y^{(1)}(k)$$

代入 $k=12$, 求得具体的初步预测值:

$$x_y^{(0)}(13) = (x^{(0)}(1) - \frac{\beta}{\alpha})(1 - e^{-\alpha})e^{-12\alpha}$$

(2)采用 Markov 模型对 GM(1,1)的初步预测值 $x_y^{(0)}(13)$ 进行修正,以提高预测精度。具体为:

①计算残差值 $\xi(k) = x^{(0)}(k)/x_y^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, 12$, 并根据其取值将生鲜农产品销量状态划分为一般 ($0.95 \leq \xi(k) \leq 1.05$)、畅销 ($\xi(k) > 1.05$) 和滞销 ($\xi(k) < 0.95$), 同时计算各个状态数目 p_1, p_2, p_3 。

②计算相邻值变化状态组合的数目。若分别用数字 1, 2, 3 表示状态一般、畅销和滞销, 则为统计 (1 → 1, 1 → 2, 1 → 3, 2 → 1, ...) 等状态趋势的数目:

$$\begin{bmatrix} 1 \rightarrow 1 & 1 \rightarrow 2 & 1 \rightarrow 3 \\ 2 \rightarrow 1 & 2 \rightarrow 2 & 2 \rightarrow 3 \\ 3 \rightarrow 1 & 3 \rightarrow 2 & 3 \rightarrow 3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix}$$

③按最后一次的状态, 分别构造转移概率矩阵。以最后一次状态为“一般”为例介绍。若 $p_1 = 1$, 则转移概率矩阵为: $A = \begin{bmatrix} p_1/12 & p_2/12 & p_3/12 \\ a_4/p_2 & a_5/p_2 & a_6/p_2 \\ a_7/p_3 & a_8/p_3 & a_9/p_3 \end{bmatrix}$;

$$\text{若 } p_1 > 1, \text{ 则转移概率矩阵第 1 行修改为: } a_1/(p_1 - 1) \quad a_2/(p_1 - 1) \quad a_3/(p_1 - 1)。$$

④计算预测转移概率矩阵 B 。同样以最后一次状态为“一般”为例介绍。预测转移概率矩阵为: $B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \times A = \begin{bmatrix} a & b & c \end{bmatrix}$ 。

⑤按预测转移概率矩阵 B 中元素的取值, 对初步预测值 $x_y^{(0)}(13)$ 进行修正: 若 a 为最大值, 则确定预测状态为一般, 修正系数取 1; 若 b 为最大值, 则确定预测状态为畅销, 修正系数取 1.1; 若 c 为最大值, 则确定预测状态为滞销, 修正系数取 0.9。

2.3.3.2 基于 Grey-Markov 的需求量预测程序设计

基于 Grey-Markov 的需求量预测程序由需求量预测结果与输出和需求量预测详情两个子模块组成。需求量预测结果与输出子模块以 Grey-Markov 为预测模型, 预测所有生鲜农产品下一日的配送需求量, 使用 ListVIEW 控件显示预测结果, 并实现将预测结果导出为 Excel 文件的功能^[19]。需求量预测详情子模块以 ListVIEW 控件显示每一种生鲜农产品的需求量预测依赖的原始数据、以折线形式显示的原始数据变化趋势以及需求量预测结果。

图 4 为需求量预测结果与输出子模块中的需求量预测功能实现流程。

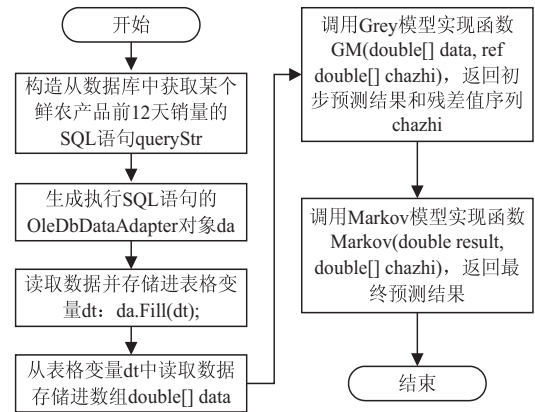


图4 需求量预测功能实现流程

算法2 为基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测算法。

算法2: 基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测算法。

Input: 前 12 天的生鲜农产品销量序列 $x_0[0], \dots, x_0[12]$

Output: 下一天的生鲜农产品配送需求量 result

(1) $x_1[0] = x_0[0]$;

(2) for (int i=1; i<11; i++) $x_1[i] = x_1[i-1] + x_0[i]$;

(3) double[,] derivedData = new double[11, 2];

(4) for (int i=0; i<11; i++) {

(5) derivedData[i, 0] = $-0.5 * (x_1[i] + x_1[i+1])$;

(6) derivedData[i, 1] = $x_0[i+1]$;

(7) LinearRegression(derivedData, out a, out b);

(8) // 配送需求量初步预测值

result1 = $(x_0[0] - b/a) * (1 - \text{Math. Exp}(a)) * \text{Math. Exp}(-a * 12)$;

(9) for (int i=0; i<12; i++) {

(10) if (i == 0) $xxi = x_0[i]$;

(11) else $xxi = (x_0[0] - u/a) * (1 - \text{Math. Exp}(a)) * \text{Math. Exp}(-a * i)$;

```
(12) chazhi[i] = Math. Abs( x0[i]/xxi);
```

```
(13) result=Markov( result1 ,chazhi); //需求量最终预测值
```

3 系统测试与应用

3.1 功能测试与分析

为了测试设计的生鲜配送需求量预测系统是否实现了预期的功能,对系统进行黑盒测试^[20]。根据系统预期的功能,设计 12 个用例对系统进行测试。

图 5 为测试时系统运行界面,为配送需求量预测详情界面。

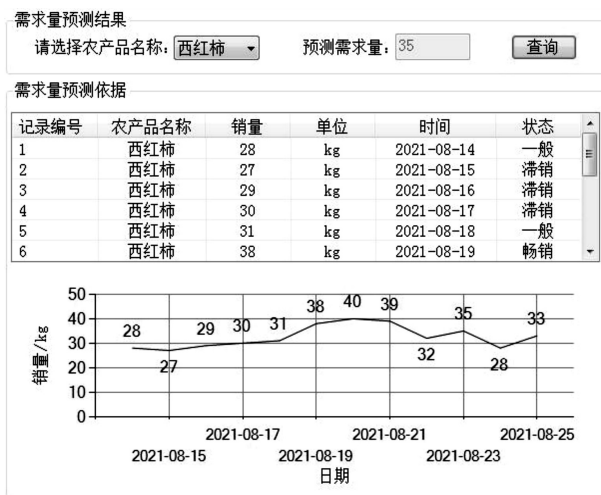


图 5 系统运行界面

表 3 为系统测试结果。由表 3 所示,各个测试用例都取得了预期的输出结果,系统实现了预期的功能。

表 3 系统测试结果

用例编号	用例名称	测试结果
1FU	登录	通过
2FU	注册	通过
3FU	原始数据导入	通过
4FU	原始数据管理	通过
5FU	历史销量分析	-
5.1FU	年销量统计	通过
5.2FU	季度销量统计	通过
5.3FU	月销量统计	通过
5.4FU	日销量统计	通过
6FU	需求量预测	-
6.1FU	需求量预测结果与导出	通过
6.2FU	需求量预测详情	通过
7FU	个人信息管理	-
7.1FU	修改个人信息	通过
7.2FU	修改密码	通过

3.2 性能测试与分析

为了分析系统的预测效果,使用设计的系统和指数回归方法对某农产品销售企业连续 18 天的番茄配

送需求量进行预测,并将预测结果与实际需求量进行对比,图 6 为预测结果。

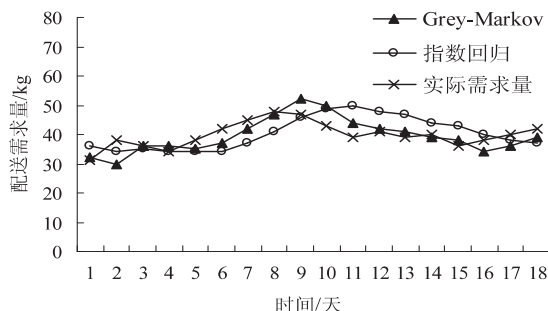


图 6 配送需求量预测结果

由图 6 可见,无论是系统的基于 Grey-Markov 的预测方法,还是指数回归预测方法,都能较好地对配送需求量进行预测,但基于 Grey-Markov 的预测方法的预测结果曲线在总体上更贴近实际需求曲线,具有更好的精度。其中, Grey-Markov 的平均相对误差约为 7.87%,指数回归的平均相对误差约为 12.49%。

3.3 系统应用与分析

为了分析系统的应用效果,将设计的系统在农产品销售企业中进行了应用。采取调查的方式了解系统应用情况,调查主要围绕以下三个方面进行:

- (1) 对操作体验是否满意;
- (2) 对预测结果是否满意;
- (3) 使用系统前后,日剩余未售出生鲜农产品总量变化比例。

表 4 为系统应用调查结果。

表 4 系统应用调查结果

操作体验	预测结果	未售出农产品总量
满意度	满意度	变化比例
100%	100%	>20%

由表 4 可看出,系统应用效果良好,操作方便,可高效对生鲜农产品配送需求量进行预测。与使用系统前相比,日剩余未售出生鲜农产品总量可降低 20 个百分点以上,能有效减少生鲜农产品的损耗。

4 结束语

该文提出一种基于 Grey-Markov 的生鲜配送需求量预测系统,用于实现高效地对生鲜农产品配送需求量进行预测。系统采用 C/S 架构,具有登录模块、注册模块、原始数据导入模块、原始数据管理模块、历史销量分析模块、需求量预测模块和个人信息管理模块等 7 个功能模块。详细介绍了系统的架构设计、功能设计、数据库设计和程序设计,并对系统进行了测试与分析。测试与应用结果表明,系统实现了预期的功能,应用效果良好,可有效减少生鲜农产品的损耗。与使用系统前相比,日剩余未售出生鲜农产品总量可降

低 20 个百分点以上。

参考文献:

- [1] 林东平. 考虑天气因素的生鲜农产品销量预测模型研究[D]. 大连:大连理工大学, 2020.
- [2] 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, 34(9): 55-58.
- [3] HOTODA M, KUMOI G, GOTO M. A study on customer purchase behavior analysis based on hidden topic Markov models[J]. Industrial Engineering & Management Systems, 2021, 20(1): 48-60.
- [4] 张炎亮, 柳亚. 基于分数阶灰色模型的生鲜电商产品销量预测研究[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(10): 95-100.
- [5] ZHOU Y, LIU S. Forecast of agricultural products and cognition of commercial slogans based on Grey Markov model[J]. Dynamic Systems and Applications, 2020, 29(5): 1-8.
- [6] 李夏培. 基于灰色线性组合模型的农产品物流需求预测[J]. 北京交通大学学报: 社会科学版, 2017, 16(1): 120-126.
- [7] 赵亚亚, 张泽人, 代永富. 基于机器学习的农产品销量区间预测[J]. 计算机时代, 2020(7): 22-25.
- [8] 刘晶, 和述群, 朱清香, 等. 基于深度学习的线上农产品销量预测模型研究[J]. 计算机应用研究, 2017, 34(8): 2291-2293.
- [9] 戎文娟, 王永威, 王佳琳, 等. 基于三层架构 C/S 模式的板材等离子切割成形工艺数据库系统[J]. 自动化技术与应用, 2020, 39(4): 27-31.
- [10] 邱忠洋, 雷正翠, 蒋骏. 基于 C/B/S 参与感知气象服务系统的研究与设计[J]. 计算机技术与发展, 2021, 31(2): 202-208.
- [11] 李欢, 谭金玉, 陈惠查, 等. 贵州作物种质资源信息管理平台构建与应用[J]. 种子, 2021, 40(8): 136-140.
- [12] 胡雅淇, 林海. 在线评论特征对生鲜电商农产品销量的影响-来自淘宝羊肉大数据的证据[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(6): 206-218.
- [13] 李明, 刘若愚, 姜春兰, 等. 基于无线智能节点的远程控制系统设计与实现[J]. 北京理工大学学报, 2020, 40(8): 849-855.
- [14] 雷晓荣. 基于 Visual Studio+SQLite 的矿井钻孔成像仪轨迹显示软件[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(11): 255-259.
- [15] 闫伟, 白清, 谷行, 等. 基于云数据处理的分分布式光纤应变远程监测系统设计与实现[J]. 传感技术学报, 2019, 32(6): 950-955.
- [16] RAJAGOPAL R, AGARIYA A K, RAJENDRAN C. Predicting resilience in retailing using grey theory and moving probability based Markov models[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2021, 62(2): 1-10.
- [17] GOVINDAN K, RAMALINGAM S, BROUMI S. Traffic volume prediction using intuitionistic fuzzy grey - Markov model[J]. Neural Computing and Applications, 2021, 33(19): 1-16.
- [18] 李晔, 白雪. 基于新维无偏灰色马尔可夫模型的小麦产量预测[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(15): 181-186.
- [19] 李国强, 赵巧丽, 臧贺藏, 等. 基于 Android 的可定制作物育种数据采集系统设计与实现[J]. 河南农业科学, 2021, 50(7): 174-180.
- [20] BANERJEE S, DEBNATH N C, SARKAR A. An ontology-based approach to automated test case generation[J]. SN Computer Science, 2021, 2(2): 1-12.