

基于灰色关联模型的黄桃采摘贮藏分析

夏美丽¹, 李 勇¹, 郭敬之¹, 陈国华^{2*}, 陈芷涵¹

¹湖南人文科技学院研究生教育教学部, 湖南 娄底

²湖南人文科技学院数学与金融学院, 湖南 娄底

收稿日期: 2022年6月1日; 录用日期: 2022年7月21日; 发布日期: 2022年7月28日

摘 要

为更好地筛选优质黄桃, 本文通过构建灰色关联分析模型来研究黄桃品质评判指标间的关系。本文将人工评分的三个指标(色泽 x_2 、质地 x_3 、味道 x_4)取均值作为人工评分 y , 通过绘制散点图将 y 和 x_1 、 x_5 、 x_6 可视化, 通过拟合得出机械指标和人工评分的关系表达式, 以此来研究黄桃的机械指标(果实硬度 x_1 、TSS下降含量 x_5 和色差 x_6)与人工评分之间的关系。结果表明: 随果实硬度增加、TSS含量下降率增加以及色差值的增大, 对应的人工评分有下降趋势。进而得出黄桃品质为优质的限制条件为机械指标中硬度 $x_1 > 1.66 \text{ kg/cm}^2$, TSS含量下降率 $x_5 < 11.44\%$, 色差 $x_6 < 6.4747$ 。构建灰色关联分析模型, 先将人工评分 y 作为参考序列, 人工评分(x_2 、 x_3 、 x_4)和机械指标(x_1 、 x_5 和 x_6)作为比较数列, 计算模型比较数列和参考数列的灰色关联系数得, $x_1 = 0.9012$, $x_2 = 0.9886$, $x_3 = 0.9818$, $x_4 = 0.9753$, $x_5 = 0.5720$, $x_6 = 0.8793$, 因此总体上评判机械指标和人工评分两类方法具有较高的一致性。

关键词

灰色关联分析, 一致性

The Analysis of Peach Harvest and Storage Based on Grey Correlation Model

Meili Xia¹, Yong Li¹, Jingzhi Guo¹, Guohua Chen^{2*}, Zhihan Chen¹

¹Department of Graduate Studies, Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi Hunan

²School of Mathematics and Finance, Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi Hunan

Received: Jun. 1st, 2022; accepted: Jul. 21st, 2022; published: Jul. 28th, 2022

Abstract

In order to better screen high-quality yellow peach, this paper studies the relationship between

*通讯作者。

文章引用: 夏美丽, 李勇, 郭敬之, 陈国华, 陈芷涵. 基于灰色关联模型的黄桃采摘贮藏分析[J]. 建模与仿真, 2022, 11(4): 1203-1210. DOI: 10.12677/mos.2022.114111

the quality evaluation indexes of yellow peach by constructing the grey correlation analysis model. In this paper, the mean values of the three artificial scoring indexes (color x_2 , texture x_3 , taste x_4) were taken as the artificial scoring y , and y and x_1 、 x_5 、 x_6 were visualized by plotting to scatter plot. The relationship expression between mechanical indexes and artificial scoring was obtained by fitting, so as to study the relationship between mechanical indexes (fruit firmness x_1 , TSS decline content x_5 , and color difference x_6) of yellow peach and artificial scoring. The results showed that with the increase of fruit hardness, the decrease rate of TSS content and the increase of color difference, the corresponding artificial score showed a downward trend. It was further concluded that the limiting conditions for yellow peach quality to be high quality were as follows: hardness $x_1 > 1.66 \text{ kg/cm}^2$, TSS content decline rate $x_5 < 11.44\%$, and color difference $x_6 < 6.4747$ in mechanical indexes. The grey correlation analysis model is constructed. Firstly, the artificial score y is taken as the reference sequence, and the artificial score (x_2 、 x_3 、 x_4) and mechanical index (x_1 、 x_5 和 x_6) are taken as the comparison sequence. The grey correlation coefficients of the comparison sequence and the reference sequence of the model are calculated, and $x_1 = 0.9012$, $x_2 = 0.9886$, $x_3 = 0.9818$, $x_4 = 0.9753$, $x_5 = 0.5720$, $x_6 = 0.8793$. Therefore, in general, the two methods of evaluating mechanical index and artificial score have high consistency.

Keywords

Grey Relational Analysis, Consistency

Copyright © 2022 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

随着科技的发展, 现代农业逐渐开始进行数字化转型。黄桃是分布于我国长江流域及北部地区的早熟大果型桃, 是商用价值较高的一种水果产品。为一种商用价值较高的水果产品, 由于其易腐烂的特质, 而不易于储存, 故本文通过分析黄桃品质来精准把握其采摘时机和存储运输方式以此来帮助农户与商户更好地采摘、存运与售卖黄桃, 对推动经济的发展和黄桃产业数字化转型具有重大意义。

本文数据源于 2021 年湖南省高校第六届研究生数学建模竞赛 B 题[1]。黄桃的质量与很多因素有关: 可溶性固形物(TSS)、硬度、色差等, 这些因素统称为机械指标, 共同决定了桃子的质量好坏。对于机械指标的测定, 多为有损测试, 如利用 FTA 硬度计、SMS 质构仪对果实质地(硬度)进行有损测试, 利用手持式折光仪对果实可溶性固形物含量进行有损测试等。

位于 S 市的某黄桃种植基地通过多种实验手段对基地内的某品种黄桃进行质量评测, 其实验思路主要是在黄桃成熟期的一周左右分三批进行采摘, 并设置冷库(1°C)和冷柜(8°C)两种储存方式, 每隔 3~5 天取出一部分样本测量各项机械指标与相对应的人工品尝评分, 希望构造一个量化模型来刻画黄桃品质和贮藏运输的关系来推动 S 市黄桃产业的数字化转型。

根据比赛提供的数据, 本文分析机械指标、人工评分之间的关系与两类方法的评判一致性, 构建黄桃品质分析的定量模型, 为商家推荐优质黄桃。

研究机械指标(果实硬度 x_1 、TSS 下降含量 x_5 和色差 x_6)和人工评分之间的关系, 将人工评分的三个指标(色泽 x_2 、质地 x_3 、味道 x_4)取均值作为人工评分 y , 通过绘制散点图将 y 和 x_1 、 x_5 、 x_6 可视化, 通过拟合得出机械指标和人工评分的关系表达式[2] [3]。分析两类方法的一致性, 构建灰色关联分析模型, 先将人工评分三个指标取均值作为参考序列, 机械指标三个指标作为比较数列, 计算模型比较数列和参考

数列的灰色关联系数，以此评判机械指标和人工评分的一致性。

2. 模型假设

2.1. 模型假设

为使模型便于求解，作出以下假设：

为使模型更便于求解与简化数据，特提出限制条件只针对放置 3 天期中的 11 日冷柜 8℃ 的前十个数据命名为 $A\sim J$ ，不考虑其他因素影响。

2.2. 符号说明

论文中的符号说明如表 1 所示。

Table 1. Symbolic description
表 1. 符号说明

符号	说明	符号	说明
X_0	参考序列	P	分辨系数
X_n	比较序列	γ_0	关联度
X_1	果实硬度	x_1, x_2, x_3, x_4	效用型指标
X_3	质地	x_5, x_6	元素型指标
X_4	味道	D	归一化矩阵
X_5	TSS 含量下降率	C_n^*	正确想解
X_6	色差值	C_n^0	负理想解
$A\sim J$	目标对象	f_k^*	综合评价指数
$\Delta_i(h)$	绝对值序列	$\xi_i(h)$	关联系数

3. 模型的建立与求解

3.1. 预备知识及算法介绍

机械指标：果实硬度、TSS 含量下降率、色差

人为评分指标：色泽、质地、香味、味道

元素型指标：数值越大越好

效益型指标：数值越小越好

专家经验：果实硬度 $> 1.5 \text{ kg/cm}^2$

TSS 含量 $< 20\%$

人工评分机制：色泽、质地和味道

TSS 含量下降率：
$$\frac{\text{TSS初始指标} - \text{TSS贮藏指标}}{\text{TSS初始指标}} \times 100\%$$

3.2. 数据预处理

选取黄桃的 10 个值即目标层命名为 $A\sim J$ ， y 代表着人工评分三个指标的均值， x_1 为果实硬度(带皮硬度)、 x_2 为色泽、 x_3 为质地、 x_4 为味道、 x_5 为 TSS 含量下降率、 x_6 为色差值。对原始数据进行整合，得到

表 2 所示数据。

Table 2. Six-index original data table

表 2. 六指标原始数据表

名称	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
A	84.33	6.02	90.00	88.00	75.00	3.25	5.65
B	85.00	5.84	90.00	85.00	80.00	0.81	7.09
C	76.67	3.84	80.00	70.00	80.00	-14.63	5.06
D	78.33	3.87	80.00	75.00	80.00	-9.76	5.30
E	78.33	2.04	80.00	75.00	80.00	-9.76	3.13
F	85.33	3.35	88.00	88.00	80.00	-4.88	3.90
G	83.33	4.02	90.00	85.00	75.00	0.00	2.99
H	83.33	4.95	90.00	85.00	75.00	-3.25	6.36
I	75.00	5.12	75.00	80.00	70.00	4.07	10.38
J	85.00	4.78	90.00	85.00	80.00	1.63	4.69

4. 模型的建立与求解

4.1. 数据处理

首先绘制在 6.11 日采摘第一批冷柜 8 度条件下间隔三天所得的机械指标(硬度、TSS 含量下降率)与人工评分关系的散点图, 通过观察散点图的趋势, 采用拟合方法并从中选择最佳拟合阶数的方程式。得到的实际值与预测值的对比如图 1~3 所示:

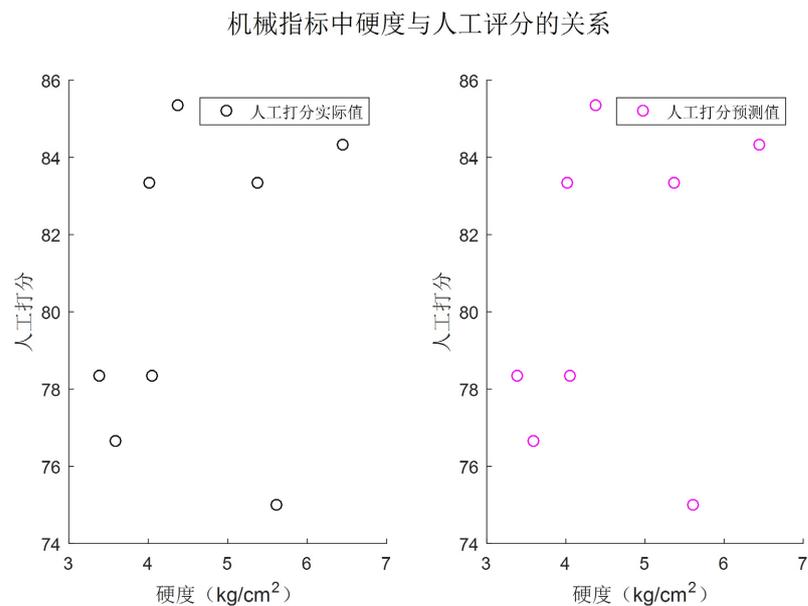


Figure 1. Relationship between hardness and manual scoring in mechanical indexes

图 1. 机械指标中硬度与人工评分关系图

机械指标中TSS含量下降率与人工评分的关系

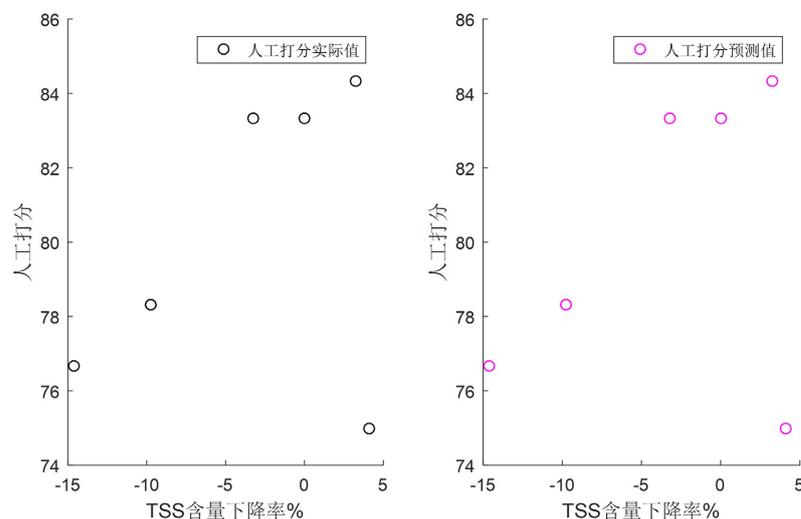


Figure 2. Relationship between TSS content decline rate and manual score in mechanical indicators

图 2. 机械指标中 TSS 含量下降率与人工评分关系图

机械指标中色差与人工评分的关系

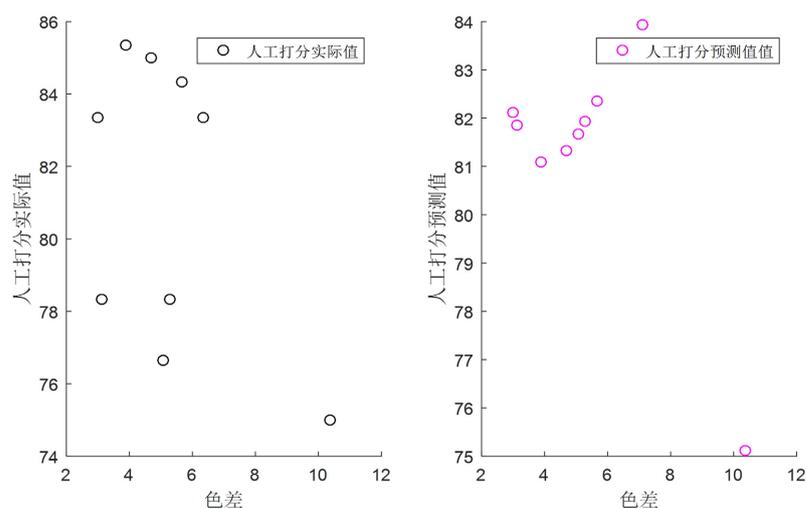


Figure 3. Relationship between chromatic aberration and manual scoring in mechanical indexes

图 3. 机械指标中色差与有人工评分关系图

从图 1~3 中可以得出硬度与人工评分的拟合优度最佳的为 $n - 1 = 9$ 阶, TSS 含量下降率与人工评分的拟合优度最佳的为 7 阶, 色差[4] [5] [6]与人工评分的拟合优度最佳的为 3 阶。

三个指标分别对应拟合优度最佳的拟合方程式的系数如表 3 所示:

结论: 从图 1 中可看出随着果实硬度增高, 对应的评分趋势随之变高。从图 2 中 x 可视化得出随着 TSS 含量下降率增加, 对应的人工评分有下降趋势, 从图 3 中 x 可视化得出随着色差值的增大, 人工评分出现下降。进而得出黄桃品质为优质的限制条件为机械指标中硬度 $> 1.66 \text{ kg/cm}^2$, TSS 含量下降率 $< 11.44\%$, 色差 < 6.4747 。

Table 3. Fitting coefficient table
表 3. 拟合系数表

硬度与人工评分	系数	TSS 与人工评分	系数	色差与人工评分	系数
-345.2841436	x^9	-0.0000428004	x^7	-0.14047	x^3
14905.5270985	x^8	-0.0011533250	x^6	2.452	x^2
-284467.7445898	x^7	-0.0087393880	x^5	-12.982	x
3149989.3856800	x^6	-0.0127564370	x^4	102.7719	常数项
-22302332.3832600	x^5	0.0514451370	x^3		
104695847.4094430	x^4	0.2748044260	x^2		
-325857047.7395190	x^3	0.6279854980	x		
648383323.7248370	x^2	83.6520706700	常数项		
-748395973.8189080	x				
381781828.0896220	常数项				

4.2. 灰色关联分析模型的建立

黄桃品质的影响评分的因素主要由五大指标组成，分别为机械指标中的果实硬度 X_1 、TSS 含量下降率 X_5 和人工评分指标中的色泽 X_2 、质地 X_3 和味道 X_4 。选取色泽、质地和味道三个指标的均值作为评分值即灰色关联分析模型的参考序列 X_0 ，并建立灰色关联分析模型[7] [8] [9] [10]。由于对题进行限制只取前十个数据

STEP 1: 确定反映系统行为特征的参考序列 X_0 和影响系统行为的比较序列 X_n ，其中 n 为 $1, 2, \dots, 5$ 。其中反映系统行为特征的数据序列为参考序列为：

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(m)\}, m = 10 \tag{1}$$

影响系统行为的因素组成的数据序列为比较序列：

$$\begin{aligned} X_1 &= \{X_1(1), X_1(2), \dots, X_1(10)\} \\ X_2 &= \{X_2(1), X_2(2), \dots, X_2(10)\} \\ &\vdots \\ X_6 &= \{X_6(1), X_6(2), \dots, X_6(10)\} \end{aligned} \tag{2}$$

STEP 2: 求各序列的初值像(进行无量纲化处理)。令

$$X' = X_i/x_i(1) = \{X'_i(1), X'_i(2), \dots, X'_i(10)\} \tag{3}$$

其中 $i = 0, 1, 2, \dots, 6$

得到

$$X'_0, X'_1, \dots, X'_6 \tag{4}$$

STEP 3: 求 X_0 与 X_i 的初值像对应分量之差的绝对值序列。

记

$$\Delta_i(h) = |X'_0(h) - X'_i(h)| \tag{5}$$

STEP 4: 求 $\Delta_i(h) = |X'_0(h) - X'_i(h)|$ 的最小值与最大值，分别记为

$$\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(10)), i = 1, 2, \dots, 6; h = 1, 2, \dots, 10 \quad (6)$$

$$\Delta_{\min} = \min_i \min_k \Delta_i(h) \quad (7)$$

$$\Delta_{\max} = \max_i \max_k \Delta_i(h) \quad (8)$$

STEP 5: 求关联系数 $\xi_i(h)$

$$\xi_{0i}(h) = \frac{\Delta_{\min} + p\Delta_{\max}}{\Delta_i(h) + p\Delta_{\max}} \quad (9)$$

其中, p 为分辨系数, $0 < p < 1$, 一般取 $p = 0.5$

STEP 6: 求关联度

$$\gamma_{oi} = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m \beta \xi_{oi}(h) \quad (10)$$

STEP 7: 按 γ_{oi} 大小排序, 区分其关联程度的大小, 若 γ_i 越大, 说明其关联的程度越大; 反之 γ_i 值越小, 则其关联程度越小。

模型的求解

通过灰色关联分析模型逐步求解, 求出机械指标 x_1, x_5, x_6 和人工评分指标 x_2, x_3, x_4 与评分值 y 之间的灰色关联度数值, 如表 4 所示:

Table 4. Numerical table of grey correlation degree

表 4. 灰色关联度数值表

x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
0.9012	0.9886	0.9818	0.9753	0.5720	0.8793

由于评分值 y 为人工评分指标 x_2, x_3, x_4 的均值, 因此这三个指标灰色关联度数值接近 1, 具有高度一致性。而机械指标的果皮硬度 x_1 和色差值 x_6 与评分值 y 之间的关联度数值为 0.9012、0.8793, 也可认为具有高度一致性, 可溶性固形物 x_5 的关联度数值为 0.5720, 一致性一般, 但总体上可以认为机械指标与人工评分具有较高的一致性。

5. 结论

随果实硬度增加、TSS 含量下降率增加以及色差值的增大, 对应的人工评分有下降趋势。得出黄桃品质为优质的限制条件为机械指标中硬度 $x_1 > 1.66 \text{ kg/cm}^2$, TSS 含量下降率 $x_5 < 11.44\%$, 色差 $x_6 < 6.4747$ 。

人工评分指标 x_2, x_3, x_4 与 y 的灰色关联度数值接近 1, 具有高度一致性。

机械指标中果皮硬度 x_1 和色差值 x_6 与评分值 y 之间的关联度数值为 0.9012、0.8793, 具有高度一致性, 可溶性固形物 x_5 的关联度数值为 0.5720, 一致性一般。但总体上可以认为机械指标与人工评分具有较高的一致性。

致 谢

感谢湖南人文科技学院数学与金融学院对本文的支持。

基金项目

湖南省学位与研究生教育改革研究项目“专业学位硕士研究生创新人才培养的数学建模‘两轮驱动’模式研究与实践”(湘教通[2019] 293 号 No. 2019YGYB67)。

参考文献

- [1] 第六届湖南省高校研究生数学建模试题发布[EB/OL]. <https://lxy.hnie.edu.cn/info/1034/2286.htm>, 2022-05-06.
- [2] 刘莉, 张曼玲, 崔娜, 孙妍. 黄桃罐头色泽分类及感官嗜好性分析研究[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(2): 33-39.
- [3] 张群, 舒楠, 张维, 李绮丽. 不同采收期黄桃的品质特性和微观结构变化[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(4): 29-34.
- [4] 范鹏飞. 基于机器视觉的色差检测系统研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2016.
- [5] 李运奎, 韩富亮, 张予林, 王华. 基于 CIELAB 色空间的红葡萄酒颜色直观表征[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 296-301.
- [6] CIELAB 色差计算[EB/OL]. <https://blog.csdn.net/lanmengyiyu/article/details/80374211>, 2021-11-20.
- [7] 袁萍. 基于灰色关联分析的绿色农业产业结构优化模型研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(8): 176-180.
- [8] 黄晓琴, 周传猛, 梁琳, 李科冰, 陈海凤, 肖荣华. 不同香型优质常规稻品种主要农艺性状灰色关联度分析[J]. 中国种业, 2021(9): 62-66. <https://doi.org/10.19462/j.cnki.1671-895x.2021.09.021>
- [9] 魏代巍, 魏超昆, 张惠玲. 基于灰色关联度分析肉味香精电子鼻响应值与感官评分之间的相关性[J]. 肉类研究, 2022, 36(5): 49-53.
- [10] 刘书斌, 杨晓玲, 李喜香, 李成义, 冯晓莉, 张小华, 闫治攀. 基于性状鉴别与灰色关联法对不同规格大黄饮片质量比较研究[J]. 甘肃中医药大学学报, 2022, 39(2): 1-6. <https://doi.org/10.16841/j.jissn1003-8450.2022.02.01>