

第六届湖南省研究生数学建模竞赛

题 目 黄桃的采摘储藏问题研究

摘 要：

黄桃是在我国长江流域及北部地区广泛分布的大果型桃，果实成熟后可挂树 10 天左右，提供了较宽的采摘窗口。采摘后也具有较强的耐储运能力，是一款具有较高商用价值的水果产品。然而，黄桃本身是一种容易腐烂变质的水果。因此，为了保证黄桃在风味最佳时上架各个水果店铺，需要精准把握其采摘时机和存储运输方式。本文针对题设，通过研究 2018 和 2019 年黄桃机械指标与人工评分数据，分析两种评判标准的一致性，建立了黄桃品质定量分析数学模型；根据黄桃品质定量分析数学模型，对 2020 年黄桃的人工评分等级进行了预测；考虑贮藏环境和贮藏时长对黄桃品质的影响，建立了黄桃品质随贮藏环境和贮藏时间变化的预测数学模型。通过该模型可大大减少有损检测的次数，既提高了果农的经济效益，也避免了资源的浪费。

针对问题一，根据题目附件给出了 2018 年和 2019 年黄桃 TSS、色泽数据以及人工评分，建立黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ ，黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 以及黄桃人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$ 。引入评价因子 μ_e 、 τ_p 用于评价黄桃机械指标品质和黄桃的人工评分品质。采用聚类分析的方法，构建映射函数矩阵 $\vec{F}$ ，得到机械指标与人工评分的数学映射关系，使得变换后的评价因子 $\mu'_e = \tau_p$ ，从而得到基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型。

针对问题二，利用 2020 年黄桃的相关机械指标和色泽测试结果，建立 2020 年黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ ，根据问题一所建立的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型，对选定样本的人工评分等级进行了判断和预测。

针对问题三，在第一问的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型的基础上，进一步考虑采摘时间、储存条件、储存时间对黄桃的品质的影响，建立黄桃储存矩阵 $\vec{S}_{m \times 3}$ ，分别构建黄桃储存矩阵 $\vec{S}_{m \times 3}$ 对黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 的映射关系矩阵，建立时空相关的黄桃品质预测模型。根据改模型，只需要对第一批采摘的黄桃进行全面的有损检测，即可对后续采摘以及多种储存手段储存的黄桃品质进行有效地预测，从而大大减少了检测的工作量，既提高了果农的经济效益，也避免了资源的浪费。

关键词：品质预测，聚类分析，映射函数，时空相关

1 问题重述

黄桃是在我国长江流域及北部地区广泛分布的大果型桃，是一款具有较高商用价值的水果产品。然而，黄桃本身是一种容易腐烂变质的水果。因此，为了保证黄桃在风味最佳时上架各个水果店铺，需要精准把握其采摘时机和存储运输方式，研究机械指标与人工评价的评判一致性，准确地对黄桃品质进行预测。

1.1 问题一

以题目给出 2018 年和 2019 年机械指标和人工评分结果为依据，分析机械指标与人工评分之间的关系，探索基于两类方法的评判一致性数学映射函数，构建黄桃品质分析的定量模型。并在该模型的计算结论的基础上，比较结论与题中给出的“专家经验”和“普遍认知”的差异。

1.2 问题二

在问题一得到的基于评判一致性黄桃品质分析定量数学模型的基础上，根据题中给出的 2020 年黄桃机械测试样本数据，对样本的人工评分等级（“优质”或“非优质”）进行评估和预测。

1.3 问题三

为了简化检测流程，提高经济效益，需要考虑黄桃采摘时间、贮藏方式及贮藏时间对黄桃品质的影响。在问题一的黄桃品质预测模型的基础上，建立时空相关的黄桃品质预测模型，评估黄桃采摘时间、贮藏方式及贮藏时间对黄桃品质的影响。为商家推荐合适的贮藏方式和时间。比较模型数据分析结果与题中“普遍认为”的观点的异同；从基于该预测模型的角度，给出下一年需要进行的有损检测次数。

2 模型假设

- (1) 由于不同年度数据采集方式的不同，忽略黄桃机械指标对色泽的影响，即黄桃机械指标与色泽为相互独立的参数；
- (2) 假设题中所给出的黄桃机械指标样本数充足，可以完全反映该类型黄桃的整体水平；
- (3) 忽略人工评价中由于检测员个体差异所引起的测评误差，即所有黄桃的人工评价数据都是公平的；
- (4) 假设不同年份第一次采摘时的果实成熟情况相当，即忽略初次采摘时间对不同年度测评数据带来的影响；

3 符号说明

表 1 符号说明

数学符号	物理意义
$\vec{P}_{m \times 6}$	机械指标矩阵
$\vec{Q}_{m \times 4}$	色泽测试矩阵
$\vec{C}_{m \times 5}$	人工评价矩阵
$\vec{S}_{m \times 3}$	时空相关矩阵
$\vec{F}_{8 \times 5}$	机械指标对人工评价的映射函数矩阵
$\vec{F}_{3 \times 8}$	储存矩阵对机械指标的映射函数矩阵
μ_e	机械指标的评价因子
τ_p	人工评价的评价因子
μ	机械指标结果, $\mu = 1$ 优质, $\mu = 0$ 非优质
τ	人工评价结果, $\tau = 1$ 优质, $\tau = 0$ 非优质
S	带皮硬度
S'	去皮硬度
T	可溶固形物总量
G	单果重
D	单果尺寸
i	色泽得分
q	质地得分
f	香得分
t	味得分
s	储存方式
d	贮藏时间
A	采摘时间

4 问题分析

黄桃是在我国长江流域及北部地区广泛分布的大果型桃，果实成熟后可挂树 10 天左右，提供了较宽的采摘窗口。采摘后也具有较强的耐储运能力，是一款具有较高商用价值的水果产品。然而，黄桃本身是一种容易腐烂变质的水果。因此，为了保证黄桃在风味最佳时上架各个水果店铺，需要采用机械和人工测评相结合的方式对黄桃品质进行检测。虽然多种测评手段能保障黄桃的品质，但无疑会造成人力物力的浪费以及经济成本的提高。因此，需要研究黄桃机械指标与人工评分两种评判标准的一致性，建立了黄桃品质定量分析数学模型。

由于黄桃主要分布在长江流域及北部地区，因此其销售必然需要考虑采摘时间以及贮藏方式对黄桃品质的影响。科学地刻画黄桃品质与贮藏运输的关系，可以帮助果农与商户更好的采摘、存运与售卖，推动黄桃产业的数字化转型。

4.1 问题一

黄桃的品质检测分为机械指标和人工评分两类。问题一要求分析机械指标与人工评分之间的关系，探索基于两类方法的评判一致性数学映射函数，构建黄桃品质分析的定量模型。本题的解题思路如下：

根据题目附件给出了 2018 年和 2019 年黄桃机械指标、色泽数据以及人工评分，建立黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ ，黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 以及黄桃人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$ 。引入评价因子 μ_e 、 τ_p 用于评价黄桃机械指标品质和黄桃的人工评分品质。采用聚类分析的思想和非线性回归拟合的方法，构建映射函数矩阵 $\vec{F}$ ，得到机械指标与人工评分的数学映射关系，使得变换后的评价因子 $\mu'_e = \tau_p$ ，从而得到基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型。

4.2 问题二

利用 2020 年黄桃的相关机械指标和色泽测试结果，建立 2020 年黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ ，根据问题一所建立的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型，对选定样本的人工评分等级进行了判断和预测。

4.3 问题三

在问题一的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析的定量数学模型的基础上，进一步考虑采摘时间、储存条件、储存时间对黄桃的品质影响，建立黄桃储存矩阵 $\vec{S}_{m \times 3}$ ，分别构建黄桃储存矩阵 $\vec{S}_{m \times 3}$ 对黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 的映射关系矩阵，建立时空相关的黄桃品质预测模型。根据改模型，只需要对第一批采摘的黄桃进行全面的有损检测，即可对后续采摘以及多种储存手段储存的黄桃品质进行有效地预测，从而大大减少了检测的工作量，既提高了果农的经济效益，也避免了资源的浪费。

5 模型建立与求解

首先，依据 2018 年和 2019 年的机械指标测试数据和人工评分数据，将同一年份同一天采摘同样贮藏方式的黄桃归为一组，以 2018 年黄桃机械指标数据（TSS）为例，2018 年 6.11 采摘，并通过冷柜 8℃贮藏 0 天的黄桃为同一数据组数据。对 2018 年和 2019 年的机械指标测试数据和人工评分数据的所有数据组进行编号。编号规则为：对于年份而言，2018 年数据先编号，2019 年数据后编号；对于贮藏方式而言，冷柜先编号，冷库后编号；对于采摘时间而言，先采摘黄桃先编号，后采摘黄桃后编号；对于贮藏时间而言，贮藏时间短的先编号，贮藏时间长的后编号。以 2018 年黄桃机械指标数据（TSS）为例，2018 年 6.11 采摘，并通过冷柜 8℃贮藏 0 天的黄桃数据组为 1；2018 年 6.11 采摘，并通过冷柜 8℃贮藏 3 天的黄桃数据组为 2；其余数据组编号以此类推，共计有 m 组数据。根据制定的编号规则，可以实现机械指标数据与人工评分数据在数学统计上的同一，便于进一步的分析和计算。

5.1 问题一

5.1.1 基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型

首先，依据 2018 年和 2019 年的机械指标 TSS 和色泽测试数据，建立黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ ，黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ ：

$$\vec{P}_{m \times 6} = \begin{bmatrix} \vec{P}_1 \\ \vec{P}_2 \\ \vdots \\ \vec{P}_m \end{bmatrix}, \quad \vec{P}_i = [\bar{S}_i \quad \bar{S}'_i \quad \bar{T}_i \quad \bar{G}_i \quad \bar{D}_i \quad \mu_{ei}] \quad (1)$$

$$\vec{Q}_{m \times 5} = \begin{bmatrix} \vec{Q}_1 \\ \vec{Q}_2 \\ \vdots \\ \vec{Q}_m \end{bmatrix}, \quad \vec{Q}_i = [\bar{L}_i \quad \bar{a}_i \quad \bar{b}_i \quad \bar{c}_i \quad \bar{h}_i] \quad (2)$$

其中， m 为黄桃总共数据组组数， i 为第 i 组黄桃， $\vec{P}_i$ 为第 i 组黄桃的 TSS 矩阵， $\vec{Q}_i$ 为第 i 组黄桃的色泽矩阵， $\bar{S}_i$ 为第 i 组黄桃带皮硬度平均值， $\bar{S}'_i$ 为第 i 组黄桃去皮硬度平均值， $\bar{T}_i$ 为第 i 组黄桃 TSS 数据平均值， $\bar{G}_i$ 为第 i 组黄桃单果重平均值， $\bar{D}_i$ 为第 i 组黄桃单果尺寸平均值， μ_{ei} 为第 i 组黄桃依据机械指标判定的“优质”率，其定义为在第 i 组的所有黄桃中，依据机械指标判定为“优质”的黄桃个数，占该组黄桃总个数比例， $0 \leq \mu_{ei} \leq 1$ ； $\bar{L}_i$ 为第 i 组黄桃色泽数据 L 的平均值， $\bar{a}_i$ 为第 i 组黄桃色泽数据 a 的平均值， $\bar{b}_i$ 为第 i 组黄桃色泽数据 b 的平均值， $\bar{c}_i$ 为第 i 组黄桃色泽数据 c 的平均值， $\bar{h}_i$ 为第 i 组黄桃色泽数据 h 的平均值。

对于第 i 组黄桃的 TSS 矩阵 $\vec{P}_i$ 和色泽矩阵 $\vec{Q}_i$ 而言，其具体数值大小由该组内所有黄桃的具体测试指标共同决定。假设第 i 组黄桃共有 n 个黄桃，其中第 j 个黄桃的机械指标测试结果表示为：

$$\vec{P}_{ij} = [S_{ij} \quad S'_{ij} \quad T_{ij} \quad G_{ij} \quad D_{ij} \quad \mu_{ij}], \quad \vec{Q}_{ij} = [L_{ij} \quad a_{ij} \quad b_{ij} \quad c_{ij} \quad h_{ij}] \quad (3)$$

$$\begin{cases} \bar{S}_i = \frac{\sum_1^n S_{ij}}{n} \\ \bar{S}'_i = \frac{\sum_1^n S'_{ij}}{n} \\ \bar{T}_i = \frac{\sum_1^n T_{ij}}{n} \\ \bar{G}_i = \frac{\sum_1^n G_{ij}}{n} \\ \bar{D}_i = \frac{\sum_1^n D_{ij}}{n} \\ \mu_{ei} = \frac{\sum_1^n \mu_{ij}}{n} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} \bar{L}_i = \frac{\sum_1^n L_{ij}}{n} \\ \bar{a}_i = \frac{\sum_1^n a_{ij}}{n} \\ \bar{b}_i = \frac{\sum_1^n b_{ij}}{n} \\ \bar{c}_i = \frac{\sum_1^n c_{ij}}{n} \\ \bar{h}_i = \frac{\sum_1^n h_{ij}}{n} \end{cases} \quad (5)$$

其中, S_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的带皮硬度, S'_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的去皮硬度, T_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的 TSS, G_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的单果重, D_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的单果尺寸, μ_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的机械指标评价结果, 当去皮硬度和带皮硬度均大于 1.5 kg/cm^2 , TSS 含量下降率小于 20% 时, $\mu_{ij} = 1$, 否则 $\mu_{ij} = 0$; L_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽 L, a_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽 a, b_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽 b, c_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽 c, h_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽 h。

值得注意的是, 2018 年黄桃机械指标中没有单果重和单果尺寸的数据, 因此对于 2018 年数据不考虑单果重和单果尺寸对人工评分的影响。

在采用同样的方法构建 2018 年和 2019 年黄桃人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$:

$$\vec{C}_{m \times 5} = \begin{bmatrix} \vec{C}_1 \\ \vec{C}_2 \\ \vdots \\ \vec{C}_m \end{bmatrix}, \quad \vec{C}_i = [\bar{l}_i \quad \bar{q}_i \quad \bar{f}_i \quad \bar{t}_i \quad \tau_{pi}] \quad (6)$$

其中, $\bar{l}_i$ 为第 i 组黄桃色泽平均得分, $\bar{q}_i$ 为第 i 组黄桃质地平均得分, $\bar{f}_i$ 为第 i 组黄桃香平均得分, $\bar{t}_i$ 为第 i 组黄桃味平均得分, τ_{pi} 为第 i 组黄桃依据人工评分标准所得到的“优质”率, 其定义为在第 i 组的所有黄桃中, 依据人工评分判定为“优质”的黄桃个数, 占该组黄桃总个数比例, $0 \leq \tau_{pi} \leq 1$ 。

对于第 i 组黄桃的人工评分矩阵 $\vec{C}_i$ 而言, 其具体数值大小由该组内所有黄桃的具体评分共同决定。假设第 i 组黄桃共有 n 个黄桃, 其中第 j 个黄桃的人工评分结果表示为:

$$\vec{C}_{ij} = [l_{ij} \quad q_{ij} \quad f_{ij} \quad t_{ij} \quad \tau_{ij}] \quad (7)$$

$$\begin{cases} \bar{l}_i = \frac{\sum_1^n l_{ij}}{n} \\ \bar{q}_i = \frac{\sum_1^n q_{ij}}{n} \\ \bar{f}_i = \frac{\sum_1^n f_{ij}}{n} \\ \bar{t}_i = \frac{\sum_1^n t_{ij}}{n} \\ \tau_{pi} = \frac{\sum_1^n \tau_{ij}}{n} \end{cases} \quad (8)$$

其中, l_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的色泽得分, q_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的质地得分, f_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的香得分, t_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的味得分, τ_{ij} 为 i 组第 j 个黄桃的人工评分评价结果, 当所有得分均大于 80 分时, $\tau_{ij} = 1$, 否则 $\tau_{ij} = 0$ 。

经过对数据的数字化处理, 以及分别采用机械指标和人工评分对“优质”果进行了定义约束, 得到了黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$, 黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 以及黄桃人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$ 。为了研究机械指标与人工评分的一致性, 需要建立机械指标对人工评分的映射函数矩阵 $\vec{F}$, 通过该矩阵将 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 中的机械指标参数与 $\vec{C}_{m \times 5}$ 中的人工评分参数建立数学联系, 得到由黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 和黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 决定的黄桃映射人工评分矩阵 $\vec{C}'_{m \times 5}$, 使该矩阵的人工评价的评价因子 τ'_{pi} 尽可能与黄桃人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$ 的 τ_{pi} 相等, 即求解 $\min \sum_{i=1}^m (\tau'_{pi} - \tau_{pi})^2$, 可采用最小二乘法进行拟合计算。

5.1.2 模型求解

将黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 与黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 合并为黄桃机械指标矩阵, 通过映射函数矩阵 $\vec{F}$, 得到黄桃映射人工评分矩阵 $\vec{C}'_{m \times 5}$, 即:

$$[\vec{P}_{m \times 6} \quad \vec{Q}_{m \times 5}] \times \vec{F} = \vec{C}'_{m \times 5} \quad (9)$$

值得注意的是, 中的 μ_{ei} 为人工定义参数, 对人工评分不产生影响, 因此映射函数 $\vec{F}$ 第 6 行为零, 即:

$$\begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}'_1 & \bar{T}_1 & \bar{G}_1 & \bar{D}_1 & \mu_{e1} & \bar{L}_1 & \bar{a}_1 & \bar{b}_1 & \bar{c}_1 & \bar{h}_1 \\ \bar{S}_2 & \bar{S}'_2 & \bar{T}_2 & \bar{G}_2 & \bar{D}_2 & \mu_{e2} & \bar{L}_2 & \bar{a}_2 & \bar{b}_2 & \bar{c}_2 & \bar{h}_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{S}_m & \bar{S}'_m & \bar{T}_m & \bar{G}_m & \bar{D}_m & \mu_{em} & \bar{L}_m & \bar{a}_m & \bar{b}_m & \bar{c}_m & \bar{h}_m \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} \\ a_{71} & a_{72} & a_{73} & a_{74} & a_{75} \\ a_{81} & a_{82} & a_{83} & a_{84} & a_{85} \\ a_{91} & a_{92} & a_{93} & a_{94} & a_{95} \\ a_{01} & a_{02} & a_{03} & a_{04} & a_{05} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{l}'_{11} & \bar{q}'_{12} & \bar{f}'_{13} & \bar{t}'_{14} & \tau'_{p15} \\ \bar{l}'_{21} & \bar{q}'_{22} & \bar{f}'_{23} & \bar{t}'_{24} & \tau'_{p25} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{l}'_{m1} & \bar{q}'_{m2} & \bar{f}'_{m3} & \bar{t}'_{m4} & \tau'_{pm5} \end{bmatrix} \quad (10)$$

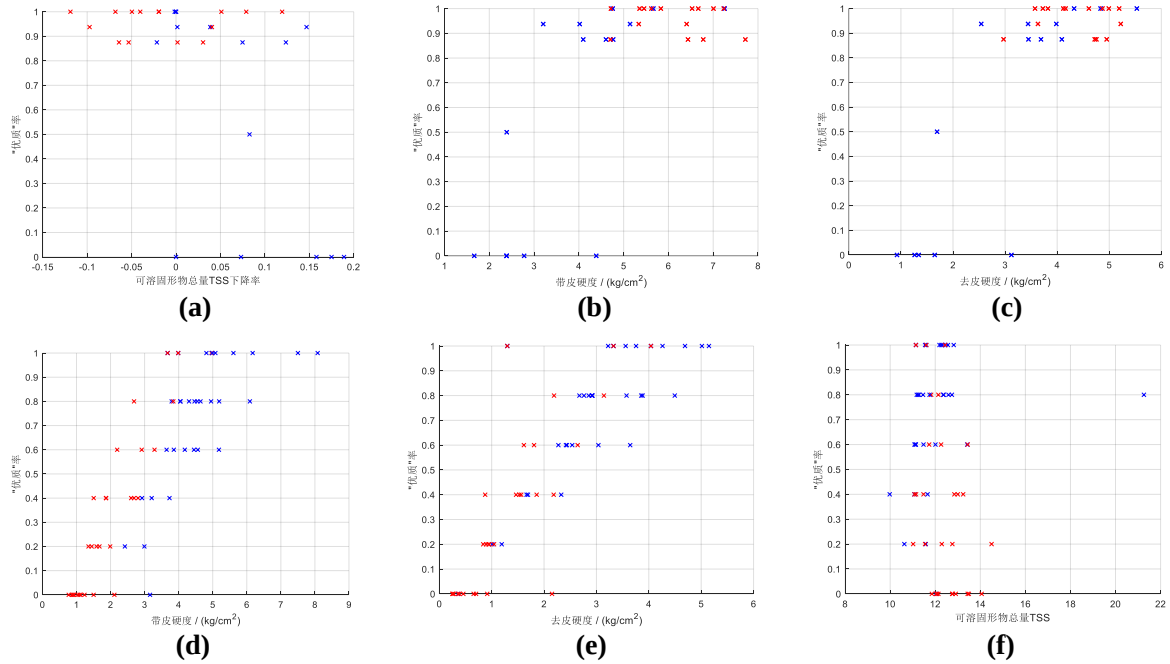
观察式(10)可以发现, 要确定映射函数 $\vec{F}$, 就需要对其各个参数进行求解, 共有 40 个未知数, 而通过式(10)可以建立 $4m$ 个方程。而对于 2018 和 2019 年数据来说, $m \gg 10$, 所以需要求解方程数大于未知数的超定方程组, 可以采用非线性回归进行求解。

通过 Matlab 对模型进行编程计算, 相关程序见附录, 得到映射函数 $\vec{F}$ 如下所示 (由于 2018 年数据中没有单果重及果径相关数据, 且二者对人工评分影响较小, 因此实际计算中忽略两者对人工评分的作用):

$$\vec{F} = \begin{bmatrix} 0.1671 & 1.3189 & 0.6311 & 1.0308 & -0.0074 \\ -0.0082 & -1.0975 & -1.3031 & -1.1739 & -0.0245 \\ 0.3070 & -0.2240 & 0.3514 & 0.7911 & 0.0282 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3507 & 0.3556 & 0.1425 & 0.1807 & -0.0135 \\ 0.3930 & 0.4633 & 0.3304 & 0.2122 & -0.0129 \\ -0.4834 & 1.0164 & -0.5596 & -0.0466 & 0.0596 \\ 0.8084 & -0.9402 & 0.6707 & 0.4593 & -0.0412 \\ 0.3517 & 0.5374 & 0.6262 & 0.3517 & 0.0022 \end{bmatrix} \quad (11)$$

通过观察映射函数 $\vec{F}$ 各列数据可以发现：对于人工评分中的色泽而言，机械数据中的色泽数据对其影响较为明显，其中C（彩度）和h（色调角）对色泽的评分的影响尤为明显，这是因为彩度和色调角与人类的色彩判断力直接相关，说明计算结果与物理常识相吻合；对于人工评分中的质地而言，果实的带皮硬度、去皮硬度和色泽数据中的a（红绿色）和b（黄蓝色）影响最显著，果实的硬度直接决定了人工测评对质地的直观感受，而a和b则反映了果实中成分（叶绿素、叶黄素）的含量，也反映了果实的质地水平，因此该项也与实际情形相一致；对于人工评分中的香而言，起决定性作用的指标有带皮硬度、去皮硬度、色泽指标中的C和h，因为果实的香往往是由其内部的芳香族、脂类化学成分的含量决定的，而这类化学物质的含量恰好与果实硬度等指标相关；对于人工评分中的味而言，主要受带皮硬度、去皮硬度、色泽指标中的C和h影响，与香的影响一致，与实际情况符合较好。因此，所建立的映射函数 $\vec{F}$ 能够很好的反映各个机械指标对人工评分的影响强弱，且与实际物理情形吻合度较好，具有较好的实际意义。

为了评价机械指标与人工评分之间的一致性与差异性，对2018年和2019年机械评价指标下的“优质”率与评判标准的关系，以及人工评分下的“优质”率与评判标准的关系进行作图分析，如图1所示。



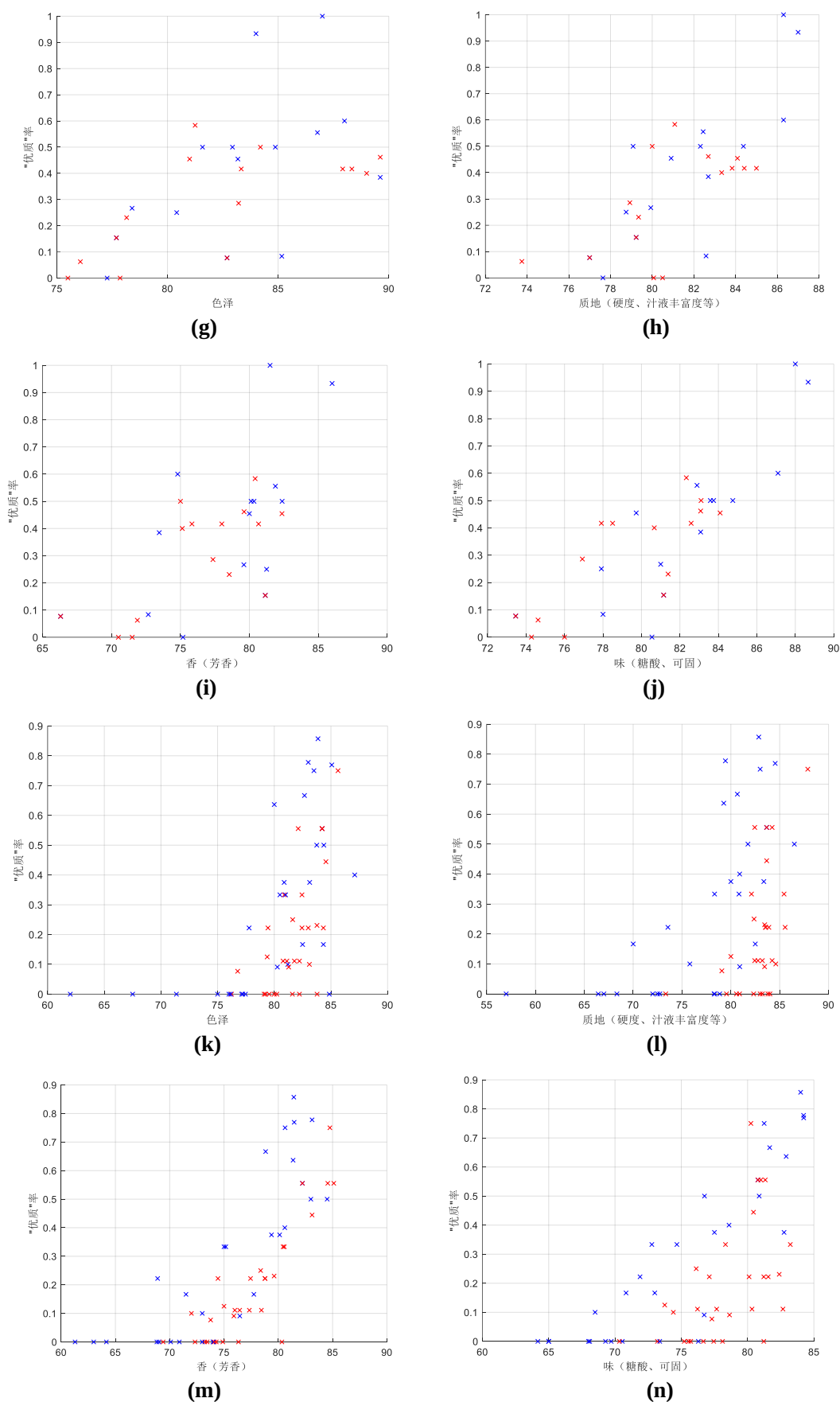
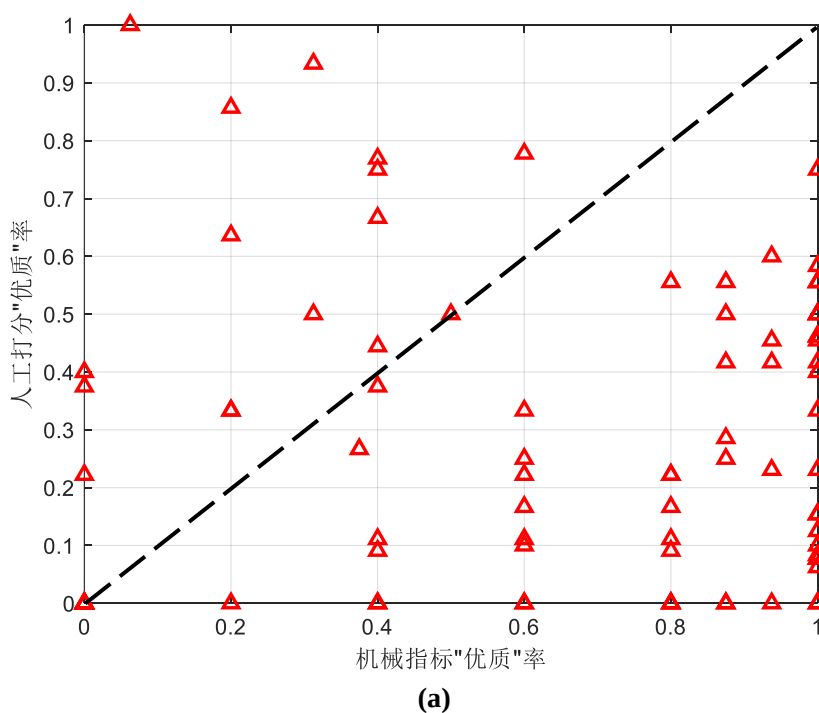


图 1. 机械指标与人工评分“优质”率与判定标准的关系。（a-c）2018 年带皮硬度、去皮硬度及 TSS 下降率及其模型数据与“优质”率的关系，（d-f）2019 年带皮硬度、去皮

硬度及 TSS 下降率及其模型数据与“优质”率的关系，(g-j) 2018 年色泽、质地、香及味及其模型数据与“优质”率的关系，(k-n) 2019 年色泽、质地、香及味及其模型数据与“优质”率的关系

根据计算结果发现，对于机械指标而言，果实的“优质”率与果实硬度的相关性较大，随着果实硬度的提高，果实的“优质”率也发生明显的提升；而 TSS 含量下降率与果实的“优质”率相关性较小，没有明显的变化规律，这与题中所给的“专家经验”存在一定的区别。

另外，为了评价题目所给出的“普遍认知”与基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型计算结果的异同，研究了 μ_{ei} 与 τ_{pi} ，以及 μ_{ei} 与 τ'_{pi} 的关系，如图 2 所示。其中图 2 (a) 反应了“普遍认知”的相关结论，即对于同一组黄桃而言，其机械指标得到的“优质”率往往大于人工评分得到“优质”率， $\mu_{ei} > \tau_{pi}$ ，散点多数落在 $y = x$ 直线下方；图 2 (b) 反应了基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型的相关结论，其机械指标得到的“优质”率也大多大于人工评分得到“优质”率， $\mu_{ei} > \tau'_{pi}$ ，散点多数落在 $y = x$ 直线下方，与“普遍认知”结论相近。



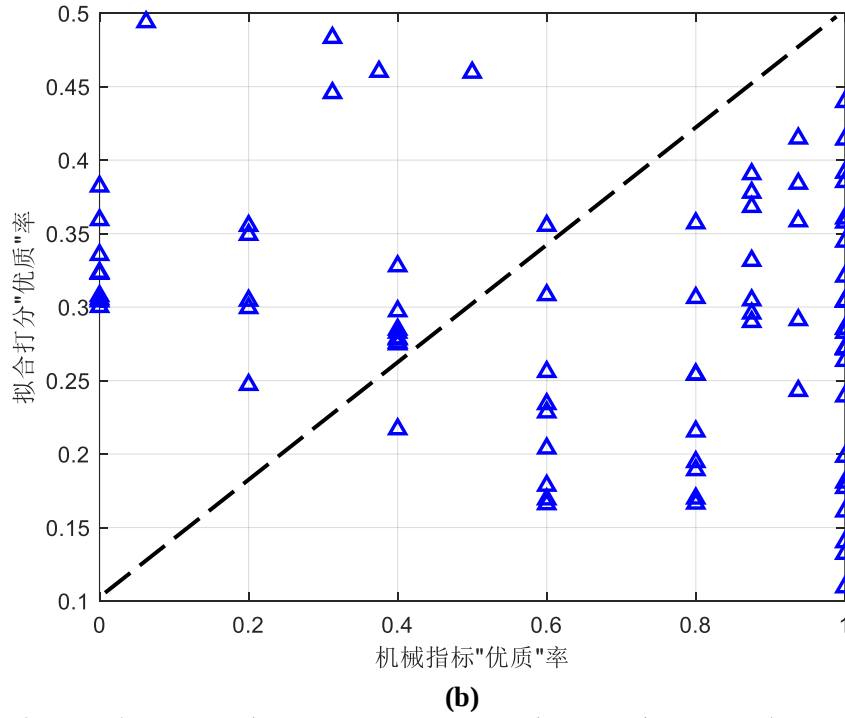


图 2. (a) 机械指标“优质”率与人工打分“优质”率的关系，(b) 机械指标“优质”率与拟合人工打分“优质”率的关系。

5.2 问题二

5.2.1 个体黄桃评价与该数据组黄桃整体评价的关系

首先，根据题目附件所给出的 2020 年黄桃 TSS 测试数据以及 2020 年黄桃色泽测试数据，对数据进行分组，分组规则与前文一致。值得注意的是，在问题一中映射函数 $\vec{F}$ 是基于数据组所建立，因此通过计算得到黄桃映射人工评分矩阵 $\vec{C}_{m \times 5}$ 也是反映的该组平均人工评分的水平。所以，要对具体某一黄桃人工评分进行评价需要建立个体黄桃评价与该数据组黄桃整体评价的关系。

为了更加准确地对某一个体黄桃的人工评分进行预测，需要结合它所在数据组黄桃的评分情况进行判断。因此，要预测某一个体黄桃的人工评分，首先需要计算它所在数据组 i 黄桃的整体水平，得到该组黄桃的“优质”率 τ'_{pi} ，在对该数据组全部 n 个黄桃的人工评分进行计算并排序。排序规则为：若色泽、质地、香、味指标全部达标，则总分高的排序在前；若有指标不达标，那么该指标数值与 80 差距更小的排序在前。对第 i 数据组黄桃完成排序后，前 $\tau'_{pi} \cdot n$ 个黄桃为“优质”黄桃，剩下的黄桃为“非优质”黄桃。

5.2.2 模型求解

结合问题一建立的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型，将 5.2.1 所建立的 2020 年黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 与黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 带入式(10)中，计算得到 2020 年黄桃映射人工评分矩阵 $\vec{C}'_{m \times 5}$ 。计算得到样本 A-I 所在数据组黄桃的“优质”率 τ'_{pi} 数、数据组个数以及“优质”个数（向下取整）如表 2 所示。

表 2 样本 A-I 所在数据组黄桃的“优质”率 τ'_{pi} 数值及个体数

样本数据组	“优质”率	数据组个体数	“优质”个数
A	0.3289	16	5
B	0.2945	10	2
C	0.2340	10	2
D	0.3033	20	6
E	0.3056	10	3
F	0.3713	10	3
G	0.2920	20	5
H	0.3167	10	3
I	0.3953	10	3

进一步，结合问题一建立的基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型，计算各个样本所在数据组所有的黄桃个体人工评分预测值并排序，计算结果如表 3-表 11 所示。

表 3 样本 A 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	72.20971	74.11388	72.78614	69.96753	15
	83.04122	82.79719	77.72403	77.48511	13
	84.55853	82.5897	81.20543	83.38027	1
	81.33793	82.8228	76.16069	79.26152	12
	72.89756	74.91808	70.30189	69.11745	16
	81.18202	81.00141	76.54872	78.46793	14
样本 A	85.13569	83.86324	78.51909	83.56682	3
	82.86528	81.92777	78.39498	80.89939	5
	84.11918	81.72716	76.53168	79.31074	11
	85.34868	83.39309	77.62217	80.06054	8
	83.7096	80.71713	78.46664	82.36497	4
	84.30507	83.22149	76.0235	80.69831	7
	82.39275	81.59913	77.7137	79.87366	9
	84.15091	83.02074	79.44029	81.73882	2
	84.14619	84.55183	77.61147	82.01326	6
	81.65138	82.48787	77.87792	79.69496	10

表 4 样本 B 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	79.86094	76.7216	76.35131	77.92662	7
	81.82043	81.58534	80.75652	79.72197	1
	74.67594	76.41413	75.16307	72.44159	8
样本 B	81.58973	80.2371	78.10957	77.53188	3
	74.64554	72.90163	72.25372	70.74687	9
	81.68248	80.39277	78.55776	77.58291	2
	77.36855	75.05612	76.16037	76.65553	6
	69.39901	70.26138	71.42247	67.50999	10
	81.58418	79.7343	78.77985	78.38053	4
	81.15516	79.47323	77.42054	76.89321	5

表 5 样本 C 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	76.18985	76.00982	76.59953	74.55639	10
	81.90484	77.42278	76.54463	79.351	6
	79.65944	79.79974	77.0554	75.20528	8
	81.90619	80.65402	78.78583	78.78984	2
	81.66505	77.38894	75.86639	77.71432	7
	76.74192	74.99645	75.81092	75.70706	9
样本 C	82.4721	81.3272	78.62417	78.48307	3
	82.3521	80.86973	78.8461	78.81424	1
	82.42594	80.66228	77.50053	77.98768	4
	81.95705	80.69541	77.72368	77.44867	5

表 6 样本 D 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	83.03645	81.92241	78.9754	81.24844	4
样本 D	83.58836	81.00822	79.17042	82.75867	3
	83.62314	80.81534	77.14202	80.51396	10
	82.47798	79.49778	77.08129	77.73595	20
	83.40743	81.27494	75.6614	79.39456	17
	83.49109	82.66448	78.00888	78.69572	11
	82.41579	82.6513	74.86099	76.29253	19
	81.82692	82.10153	76.03772	75.5702	18
	82.50646	81.46181	77.13801	78.01987	14
	82.4674	82.07581	78.45003	77.36864	12
	85.02833	82.25262	80.62711	83.78016	1
	85.3964	82.6573	79.99445	83.78281	2
	83.67997	82.02929	78.21888	81.66795	6
	82.26342	81.58316	78.69559	80.42553	5
	84.10108	81.92221	76.34105	79.4638	13
	84.94594	81.55225	77.2102	80.69276	9
	84.18219	81.92605	77.74789	80.31863	8
	82.81892	82.66983	78.59179	76.95452	16
	83.74106	84.43493	77.87921	80.06204	7
	83.61535	82.07082	77.26214	78.77039	15

表 7 样本 E 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	82.73999	80.77999	78.60821	79.67375	1
	81.6943	79.63711	77.18529	77.99453	5
	82.2242	79.3415	77.42956	78.62676	3
样本 E	78.87388	77.0534	76.08471	75.97561	10
	79.66041	79.55515	76.73167	76.36819	8
	80.32497	78.3736	77.43062	77.95155	6

	82.23951	79.72276	77.05604	78.61633	4
	82.97362	80.36057	78.4652	79.70205	2
	81.61076	79.27707	76.63563	76.51364	7
	79.9194	79.04996	76.5788	76.49281	9

表 8 样本 F 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	83.35717	78.80871	79.23872	81.70121	2
样本 F	80.0678	77.86229	76.72389	76.84054	6
	81.78903	80.79559	77.77362	77.13393	3
	80.85893	78.313	76.93913	77.45871	5
	79.88258	76.40495	77.09936	78.74183	7
	76.11234	73.97621	75.42291	74.66006	9
	83.39545	81.03007	78.89539	79.68747	1
	78.93354	75.96905	75.83985	76.33944	8
	80.53739	78.92281	77.01687	76.2761	4
	76.55469	74.78431	75.11199	74.39545	10

表 9 样本 G 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	74.97153	75.14753	72.12406	71.64828	18
样本 G	79.39531	77.73958	76.50797	77.56325	11
	76.64557	77.65008	74.93733	75.0204	14
	76.21641	78.40376	76.31614	74.57028	13
	78.88924	81.13036	73.77787	74.04387	10
	79.96171	81.81733	76.17995	76.45567	8
	80.15948	80.5669	75.26944	75.58108	6
	79.44298	80.87872	77.78948	75.82592	9
	81.58109	81.66391	80.1943	78.65471	3
	73.88124	76.32435	74.77093	71.51768	19
	76.72498	68.18129	71.98603	72.16724	20
	83.32699	81.81348	80.27977	81.47316	2
	83.75567	86.19193	81.60661	82.87197	1
	79.96334	77.32228	75.86274	78.03095	12
	80.268	83.10192	77.76828	78.60496	5
	81.81401	83.53381	77.81844	79.89118	4
	78.52112	77.38442	74.728	76.6588	15
	81.17333	79.77681	77.57159	78.86747	7
	76.35591	75.98392	75.73396	74.38941	17
	76.0478	76.82051	74.85485	73.43224	16

表 10 样本 H 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	82.28483	82.31204	76.35253	76.54672	2

样本 H	82.80175	81.28785	79.38473	80.204	1
	80.09053	78.1098	77.35508	77.93259	3
	78.30134	76.0426	76.72715	76.02177	5
	74.56396	73.66185	74.70666	72.38117	8
	72.05568	75.71661	73.1085	68.37384	10
	76.53648	76.8396	76.39017	74.74864	6
	78.21813	78.23049	77.71804	75.69562	4
	76.55962	74.93061	75.88259	74.01454	7
	75.16494	74.48619	74.25523	71.19072	9

表 11 样本 I 所在数据组黄桃得分及排序结果

样本	色泽得分	质地得分	香得分	味得分	排序
	81.6758	80.21879	78.17728	78.57166	1
样本 I	81.74719	78.0446	77.8831	79.43748	4
	80.08638	78.61626	77.41268	77.01441	6
	79.37839	78.01457	76.72159	75.75989	8
	81.02117	77.85665	78.79946	79.70185	3
	80.50908	78.8774	77.31463	77.7504	5
	81.6273	76.35526	77.37548	80.11281	2
	80.50989	76.25103	76.20453	78.34439	7
	79.01678	77.08742	76.41255	75.88296	10
	79.5844	76.67136	77.51139	78.3122	9

结合表 2 的计算结果，可以完成样本“优质”率的判定，预测结果如表 12 所示。其中样本 A 与样本 D，在机械指标和人工预测评分中均为“优质”果；样本 G 在机械指标中为“优质”果，而在人工预测打分中为“非优质”果；样本 H 在机械指标中为“非优质”果，而在人工预测打分中为“优质”果。

表 12 人工评分等级预测结果

样本	品质	样品	品质	样本	品质
样本 A	优质	样本 D	优质	样本 G	非优质
样本 B	非优质	样本 E	非优质	样本 H	优质
样本 C	非优质	样本 F	非优质	样本 I	非优质

5.3 问题三

在问题一和问题二中，仅仅是直接考虑了机械指标和人工评分的相互关系，在本问中，需要进一步考虑采摘时间、贮藏方式和贮藏时间对两种评分结果的影响。对于黄桃本身而言，采摘时间、贮藏方式和贮藏时间的不同直接影响的是黄桃的硬度，TSS 含量以及其色泽等参数，即黄桃的机械指标。因此，采摘时间、贮藏方式和贮藏时间等时空参数通过影响黄桃的机械指标，进而对黄桃的人工评分产生影响。

5.3.1 基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质时空相关分析模型

对于水果来说，采摘时间、贮藏方式和贮藏时间等时空参数会直接影响水果的机械指标（硬度，TSS 含量以及其色泽等参数），即影响黄桃 TSS 矩阵 $\vec{P}_{m \times 6}$ 与黄桃色泽矩阵 $\vec{Q}_{m \times 5}$ 。

在问题一的基础上，根据采摘时间、贮藏方式和贮藏时间等时空参数的不同建立黄桃时空相关矩阵 $\tilde{S}_{m \times 6}$ ：

$$\tilde{S}_{m \times 3} = \begin{bmatrix} \tilde{S}_1 \\ \tilde{S}_2 \\ \vdots \\ \tilde{S}_m \end{bmatrix}, \tilde{S}_j = \begin{bmatrix} A_j & s_j & d_j & \bar{S}_{i \text{初}} & \bar{S}'_{i \text{初}} & \bar{T}_{i \text{初}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中 A 为黄桃的采摘时间，第一批采摘的黄桃 $A=0$ ， m 天后采摘的黄桃 $A=m$ ； s 为黄桃的贮藏方式，摘下后直接测试机械性能的黄桃 $s=30$ ，冷库贮藏的黄桃 $s=1$ ；冷柜贮藏的黄桃 $s=8$ ； d 为黄桃的贮藏时间。 $\bar{S}_{i \text{初}}$ 表示第 i 组黄桃刚采摘时的初始带皮硬度， $\bar{S}'_{i \text{初}}$ 表示第 i 组黄桃刚采摘时的初始去皮硬度， $\bar{T}_{i \text{初}}$ 表示第 i 组黄桃刚采摘时的初始 TSS 含量，

由于采摘时间、贮藏方式和贮藏时间等时空参数会直接影响水果的机械指标，所以存在黄桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ ，可以将黄桃时空相关矩阵 $\tilde{S}_{m \times 6}$ 映射到黄桃 TSS 矩阵 $\tilde{P}_{m \times 6}$ 与黄桃色泽矩阵 $\tilde{Q}_{m \times 5}$ 中（由于采摘时间、贮藏方式和贮藏时间等时空参数会对单果重量、果径没有作用。因此，本文中的黄桃机械矩阵不包含这两个参数）：

$$\begin{aligned} \tilde{S}_{m \times 3} \times \tilde{F}_2 &= [\tilde{P}_{m \times 3} \quad \tilde{Q}_{m \times 5}] \quad (13) \\ \begin{bmatrix} A_1 & s_1 & d_1 & \bar{S}_{1 \text{初}} & \bar{S}'_{1 \text{初}} & \bar{T}_{1 \text{初}} \\ A_2 & s_2 & d_2 & \bar{S}_{2 \text{初}} & \bar{S}'_{2 \text{初}} & \bar{T}_{2 \text{初}} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_m & s_m & d_m & \bar{S}_{m \text{初}} & \bar{S}'_{m \text{初}} & \bar{T}_{m \text{初}} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} & a_{28} & a_{29} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{61} & a_{63} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} & a_{68} & a_{69} \end{bmatrix} = \\ \begin{bmatrix} \bar{S}_1 & \bar{S}'_1 & \bar{T}_1 & 0 & 0 & \mu_{e1} & \bar{L}_1 & \bar{a}_1 & \bar{b}_1 & \bar{c}_1 & \bar{h}_1 \\ \bar{S}_2 & \bar{S}'_2 & \bar{T}_2 & 0 & 0 & \mu_{e2} & \bar{L}_2 & \bar{a}_2 & \bar{b}_2 & \bar{c}_2 & \bar{h}_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{S}_m & \bar{S}'_m & \bar{T}_m & & & \mu_{em} & \bar{L}_m & \bar{a}_m & \bar{b}_m & \bar{c}_m & \bar{h}_m \end{bmatrix} \quad (14) \end{aligned}$$

5.3.2 模型求解

通过 Matlab 对模型进行编程计算，相关程序见附录，得到黄桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ 如下所示：

$$\tilde{F}_2 = \begin{bmatrix} -0.4399 & -0.3305 & -0.4540 & -2.8974 & 0.7690 & -1.6282 & -1.6441 & -3.7210 & -0.1008 \\ -0.3882 & -0.2608 & 0.0824 & -0.3558 & 0.1595 & -0.0233 & -0.0400 & -0.1819 & -0.0647 \\ -0.0982 & -0.0924 & 0.0472 & -0.0763 & 0.1929 & -0.1562 & -0.1582 & -0.2420 & -0.0341 \\ 0.2566 & 0.1947 & 0.4257 & 2.8608 & 0.0221 & 1.9515 & 1.9378 & 3.2463 & 0.0373 \\ -0.5548 & -0.3421 & -0.62 & -5.6192 & 0.7708 & -3.5085 & -3.5198 & -7.0959 & -0.1454 \\ 0.8040 & 0.5644 & 1.2698 & 9.5475 & -0.6653 & 5.8024 & 5.8393 & 10.9438 & 0.1686 \end{bmatrix}$$

将桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ 带入 2018 年和 2019 年数据中，拟合得到映射黄桃 TSS 矩阵 $\tilde{P}_{m \times 6}$ 与黄桃色泽矩阵 $\tilde{Q}_{m \times 5}$ ，在通过问题一建立的映射函数矩阵 $\tilde{F}$ ，得到黄桃映射人工评分矩阵 $\tilde{C}'_{m \times 5}$ 。

根据题目要求，需要评价本文建立模型与“普遍认知”的异同。其中黄桃保质期随贮藏方式和贮藏时间的变化可通过“优质”率随二者的变化来刻画，而黄桃风味的变化则主要选用黄桃人工评分中的香和味两种打分指标随二者的变化关系来描述。现将 2018 年和 2019 年黄桃“优质”率以及香、味随采摘时间、贮藏方式、贮藏时间与的变化关系作图，如图 3 所示。

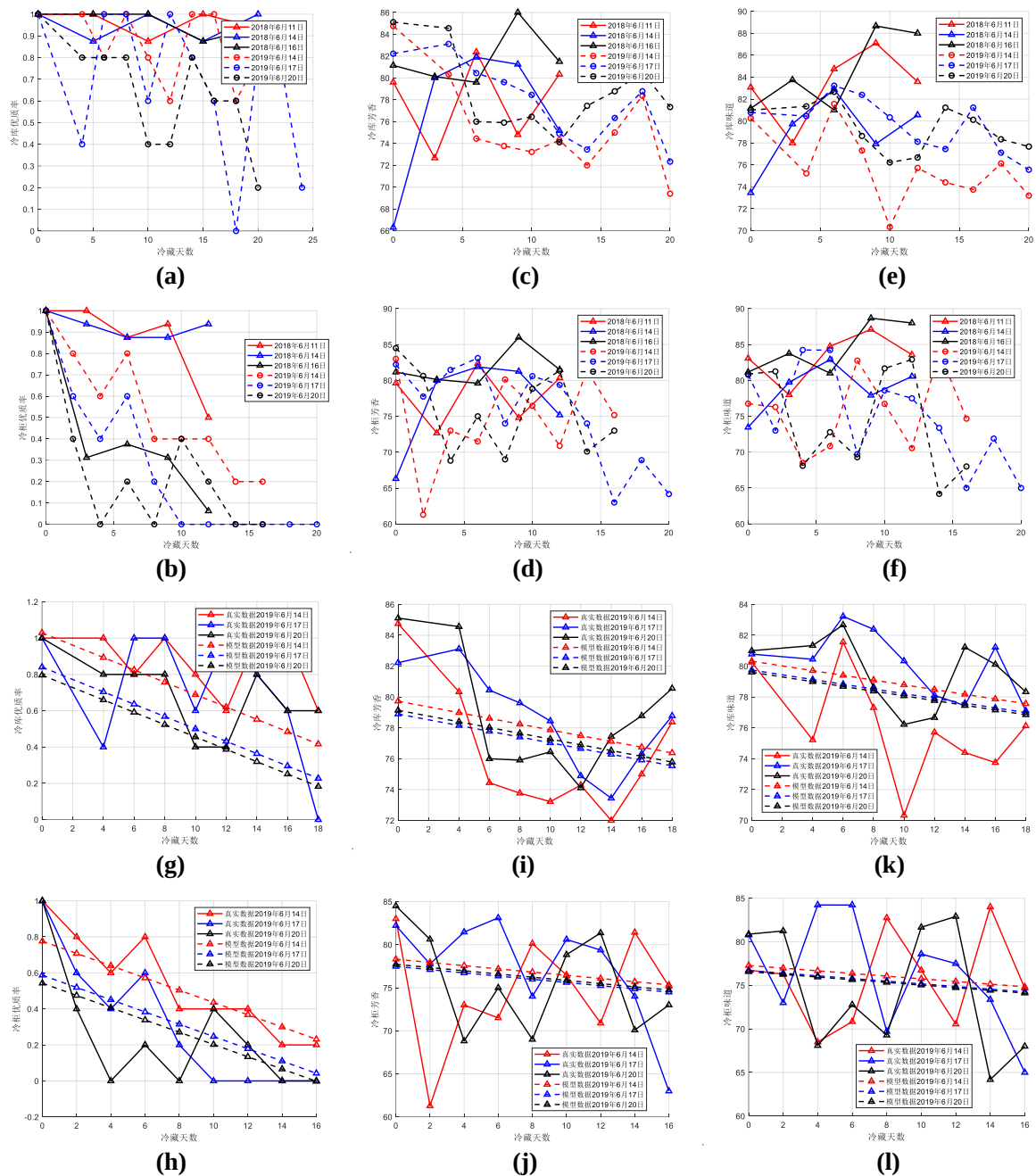


图 3. (a) 冷库“优质”率随冷藏天数的变化规律, (b) 冷柜“优质”率随冷藏天数的变化规律, (c) 冷库芳香随冷藏天数的变化规律, (d) 冷柜芳香随冷藏天数的变化规律, (e) 冷库味随冷藏天数的变化规律, (f) 冷柜味随冷藏天数的变化规律, (g) 冷库“优质”率模型数据随冷藏天数的变化规律, (h) 冷柜“优质”率模型数据随冷藏天数的变化规律, (i) 冷库芳香模型数据随冷藏天数的变化规律, (j) 冷柜芳香模型数据随冷藏天数的变化规律, (k) 冷库味模型数据随冷藏天数的变化规律, (l) 冷柜味模型数据随冷藏天数的变化规律。

可以发现, 对于图 3 (a) 和 (b), 在冷库 (1°C) 贮藏情况下, 低温会影响黄桃代谢, 但保质期较长, 保存时间达到 20 天, “优质”率仍然保持在 0.5 以上; 黄桃代谢较好, 保鲜期较短, 保存时间 10 天后, “优质”率就降至 0.5 以下。对于图 3 (c) -图 3 (f), 在冷库 (1°C) 贮藏情况下, 黄桃的香和味评分出现了明显下降; 在冷柜 (8°C) 贮藏情况下, 黄桃的香和味一直维持在较高水平。

对于本模型的计算结果而言，模型结果随冷藏天数成线性变化，这是因为黄桃时空相关矩阵 $\tilde{S}_{m \times 6}$ 是一个时间周期矩阵，而这并不影响结果的准确度。在图 3（g）和（h）中，在冷库（1℃）贮藏情况下，低温会影响黄桃代谢，但保质期较长，冷库模型曲线的斜率明显小于冷柜（8℃）的模型曲线斜率。对于图 3（i）-图 3（l），在冷库（1℃）贮藏情况下，黄桃的香和味屏风出现了明显下降，而在冷柜（8℃）贮藏情况下，黄桃的香和味一直维持在比较稳定水平，与冷库的模型曲线相比，显得更加“平缓”，说明香味的变换率更小。本模型的计算结论与“普遍认知”吻合较好。

如果采用本模型对下一年度黄桃的采摘贮藏提供预测，需要根据下一年度的机械测试数据建立相应的黄桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ 。观察式（14）可以发现，要求解黄桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ ，需要求解 54 个未知量，而一组黄桃的机械指标测试结果，可以建立 9 个方程，所以理论上只需要测试 6 组不同数据组黄桃的数据，若每组含有 n 个黄桃，则只需进行 $6n$ 次有损测试。但由于这样计算无法应用非线性回归对黄桃品质时空映射矩阵 $\tilde{F}_2$ 进行数值处理，因此误差较大。若要采用非线性回归的方式进行处理，需要黄桃时空相关矩阵 $\tilde{S}_{m \times 6}$ 的行数大于列数，所以最少需要 7 组不同数据组黄桃的检测，若每组含有 n 个黄桃，最少需要进行 $7n$ 次有损检测（测量不同数据组数量越多，模型预测越精确）。

6 评估与展望

6.1 模型评估

本文的数学模型研究是基于黄桃机械指标和人工评分评判一致性展开的，在实际测试数据的基础上，结合聚类分析建立了两种评判机制的映射函数模型，针对该品种黄桃具有很稳定的预测结果。

基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质分析模型从黄桃评定的实际数据入手，以评价因子为约束条件，分析各个机械指标对人工评分的影响规律，可以很好的满足黄桃品质预测的实际应用。所建立的映射函数 $\tilde{F}$ 能够很好的反映各个机械指标对人工评分的影响强弱，且与实际物理情形吻合度较好，具有较好的实际意义。

基于机械指标和人工评分评判一致性的黄桃品质时空相关分析模型进一步考虑了采摘时间与贮藏方式对黄桃品质的影响规律，科学地刻画黄桃品质与贮藏运输的关系，可以帮助果农与商户更好的采摘、存运与售卖，推动黄桃产业的数字化转型。

6.2 不足与展望

很多因素没有进行考虑，如不同年份气候因素、不同黄桃品种以及检测员专业程度等对黄桃检测结果的影响。在未来实际应用，还需要根据实际条件进行模型优化，从而更好对黄桃品质的预测提供参考依据。

参考文献

- [1] 杨剑婷,王孙焰,胡金朋,翟立公,刘颜. 基于质构评价的糖醋白姜贮藏键预测[J].食品工业科技, 2021, 8 (42): 282-287.
- [2] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,毕金峰. 基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报. 2014, 13 (30): 276-284.
- [3] 谢跃杰,王仲明,王强,张忠明,熊政委,吴洪斌. 不同品种和成熟度蓝莓理化特性的主成分分析评价[J].食品科学, 2017, 23 (38): 94-99.
- [4] 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.

附录

附录 1

问题 2 结果表

样本	品质	样品	品质	样本	品质
样本 A	优质	样本 D	优质	样本 G	非优质
样本 B	非优质	样本 E	非优质	样本 H	优质
样本 C	非优质	样本 F	非优质	样本 I	非优质