

团体标准

T/GDNB XXXX—2024

柚果可食率无损检测 机器视觉与 X 射线成像联合法

Non-destructive testing of pomelo edible rate by machine vision and x-ray
imaging

征求意见稿

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

广东省农业标准化协会 发布

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广东省农业标准化协会提出并归口。

本文件起草单位：广东省农业科学院设施农业研究所

本文件主要起草人：徐赛、陆华忠、梁鑫、范长湘、丘广俊、韩依洋

柚果可食率无损检测 机器视觉与 X 射线成像联合法

1 范围

本文件规定了柚果可食率无损检测方法、算法设计流程、结果输出、校正评价指标等，适用于采后柚果可食率参数无损检测，不适用于仲裁检验。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可食率 edible rate, ER

指柚子果实中可食部分占整个果实的比例，通过测量果肉的重量与整个果实总重量的比值来计算，旨在反映果实的食用价值。可食率的高低直接影响消费者对柚子的选择和满意度。

3.2

训练集 training set

训练集是机器学习中用于训练模型的数据集，通过这些数据，模型学习如何从输入数据中做出预测。

3.3

测试集 test set

测试集是用于评估模型最终性能的数据集。测试集通常在训练完成后使用，目的是评估模型在未知数据上的泛化能力。

3.4

决定系数 coefficient of determination, R^2

决定系数是机器视觉与X射线成像联合法测定值与标准理化分析方法测定值之间相关系数的平方。

3.5

均方根误差 root mean square error, RMSE

均方根误差是机器视觉与X射线成像联合法测定值与标准理化分析方法测定值偏差的平方与观测次数 n 比值的平方根。衡量两者之间的偏差。

3.6

平均绝对百分比误差 mean absolute percentage error, MAPE

平均绝对百分比误差是机器视觉与X射线成像联合法测定值与标准理化分析方法测定值之间绝对误差占标准值的百分比之和的平均值，用于衡量两者之间的偏差。

4 原理

机器视觉技术和X射线成像技术用于检测柚子可食率的原理在于分别分析柚子的外观尺寸和内部结构特征。机器视觉通过多视角图像获取柚子的外形和体积数据，利用图像分割与轮廓拟合来构建柚子的3D模型，测量其总体积。X射线成像则用于观察柚子内部，尤其是果皮和果肉的区域分布，通过灰度值反映不同组织的密度与厚度，从而计算果肉体积。将两者数据融合后，可准确估算柚子的可食率。建立、验证过程主要包括：收集一组能够代表可食率变化范围的柚果样品，划分为训练集和测试集；使用多视角工业相机采集柚果机器视觉图像，使用X射线成像设备采集柚果X射线图像，共同构建图像数据集；采用参考方法实际测定样品的可食率参考值；对柚果机器视觉图像进行双通道阈值分割、匹配，特征提取、插值拟合构建体积测量模型；对X射线图像进行分割，将从中提取的结构信息与柚果体积模型融合构建可食率三维模型；使用果肉灰度-厚度拟合函数修正可食率模型实现可食率测量；使用测试集样本测试可食率测量模型精度，将模型测量值与实际理化值比对，评价检测模型的预测能力和有效性，根据评价结果决定模型能否使用或更新。

5 仪器

游标卡尺（测量范围0 mm~300 mm）、机器视觉与X射线成像联合系统计算机、RGB工业相机、镜头（8 mm）、光源、相机标定板、X射线成像设备（电压80 kV，电流500 μ A，积分时间0.25 s）、实验暗箱、光源、电源和托盘、电子秤。

6 样品集的选择

柚子样品应精选大小、颜色均匀且无损伤的柚子，剔除外部破损和畸形的柚子，留下100个以上，擦拭外部污渍，存放在室温（19 $^{\circ}$ C~21 $^{\circ}$ C）环境中静置24小时。

7 分析步骤

7.1 图像采集

使用三个RGB相机与8 mm镜头采集柚果外观图像，顶部相机竖直向下，拍摄柚子上部；侧面两个相机与水平面夹角均为30 $^{\circ}$ ，分别拍摄柚子左侧和右侧。为减少外界光干扰，外观图像采集在暗箱中进行。人工将柚子果实平放在专门设计的圆形托盘上，保证果柄-花萼轴平行于运行方向，垂直于X射线成像方向。将柚果平放于特制的圆形托盘以统一固定姿态。完成柚果外观图像采集后，将其沿传送带运输至X射线检测设备以采集X射线图像。为保证X射线图像与外观图像更准确的拟合，此时柚果姿态应与采集外观图像时保持一致。

7.2 可食率理化分析测定

采用排水法获取，将待测柚果完全浸入水中，用电子秤称量排出水的重量，将该重量除以水的密度即可获得柚果体积实测值。称取整个柚果重量，随后剥去蜜柚的外果皮、海绵层以及果肉外层的瓢瓣膜，剔除种子，将果肉放于烧杯中，用电子秤获取果肉质量。

7.3 可食率测量算法的设计

利用先验知识与数字图像处理技术建立可食率测量算法参考专利CN118096779A，可食率测量算法的有效性利用决定系数（the coefficient of determination, R^2 ）和均方根误差（root mean square error, RMSE）指标评价，相关评价指标的要求见附录A。

7.4 可食率测量算法的验证

用于评价可食率测量算法的测试样品独立于训练集，数量不少于40份，其代表性与训练样品要求一致。选择 R^2 以及RMSE的指标评价算法预测效果，相关评价指标的要求见附录A。检测结果应在可食率测量算法所覆盖的可食率范围内。

8 异常测量结果的确认和处理

8.1 异常测量结果的来源

异常测量结果的来源包括但不限于：

- 样品品种与可食率测量算法要求不匹配；
- 仪器故障；
- 样品机器视觉与 X 射线成像条件与可食率测量算法要求不匹配；
- 样品机器视觉与 X 射线成像参数与可食率测量算法要求参数不匹配；
- 样品可食率超过可食率测量算法范围。

8.2 异常测量结果的确认

测量结果出现以下任意条件，均可确认其为异常测量结果：

- 测量结果超出可食率测量算法覆盖的可食率范围；
- 仪器或化学计量学软件出现预警情况下的测量结果。

8.3 异常测量结果的处理

出现异常测量结果的样品，进行样品复测（包括样品可食率标准理化分析方法测定、可食率测量算法预测分析）或用新样品进行替换，并汇总统计。

附录 A
(资料性)
可食率测量算法评价指标

可食率测量算法的决定系数 $R^2 \geq 0.92$ 、均方根误差 $RMSE \leq 2.85\%$ 。

目录

- 1 范围
- 2 规范性引用文件
- 3 术语和定义
 - 3.1 可食率
 - 3.2 训练集
 - 3.3 测试集
 - 3.4 决定系数
 - 3.5 均方根误差
 - 3.6 平均绝对百分比误差
- 4 原理
- 5 仪器
- 6 样品集的选择
- 7 分析步骤
 - 7.1 图像采集
 - 7.2 可食率理化分析测定
 - 7.3 可食率测量算法的设计
 - 7.4 可食率测量算法的验证
- 8 异常测量结果的确认和处理
 - 8.1 异常测量结果的来源
 - 8.2 异常测量结果的确认
 - 8.3 异常测量结果的处理

参 考 文 献

- [1] GB/T 1.1 标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则
 - [2] Han Y, Xu S, Zhang Q, et al. Non-destructive detection method and experiment of pomelo volume and flesh content based on image fusion[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 213:112953-.
 - [3] 耿一曼. X射线无损检测技术在柚子品质检测中的应用研究[D]. 福建农林大学, 2012.
 - [4] Zhang Yuchen, Lin Yangyang, Tian Hao, et al. Non-destructive evaluation of the edible rate for pomelo using X-ray imaging method[J]. Food Control, 2023, 144:109358.
-