

基于近红外技术无损检测深州蜜桃果实内部品质

关晔晴¹, 王冬², 李楠¹, 付亚雄¹, 程玉豆¹, 关军锋^{1*}

(1. 河北省农林科学院生物技术与食品科学研究所, 河北石家庄 050051)

(2. 北京市农林科学院质量标准与检测技术研究所, 北京 100097)

摘要: 为了寻求一种快速、无损检测“深州蜜桃”果实内部品质的方法, 该研究中采用 SACMI 近红外分析仪以漫反射方式对采收期果实可溶性固形物含量 (Soluble Solid Content, SSC)、硬度、pH 进行了无损检测, 并与传统参考方法所测结果进行比较。结果表明, 剔除异常值后, SSC 无损检测预测值与传统参考方法实测值的两组数据相关性 ($R^2=0.79, p<0.01, SEP=0.47$) 优于硬度 ($R^2=0.47, p<0.01, SEP=2.01$) 及 pH ($R^2=0.40, p<0.01, SEP=0.14$); SSC 模型 (RPD=2.15, RMSEP=0.79%, RSD=6.2%) 预测性能较高, 可满足于快速检测, pH 模型 (RPD=1.29, RMSEP=0.16, RSD=3.1%)、硬度模型 (RPD=1.37, RMSEP=2.37 kg/cm², RSD=39.4%) 预测性能较低。研究表明: 采用近红外分析仪检测“深州蜜桃”果实 SSC 是可行的, 可为果实内部品质的评价提供了实时、快速、无损的检测方法, 进而为其智能分级提供理论基础与技术支持。

关键词: 近红外光谱; 无损检测; 蜜桃果实; 内部品质

文章编号: 1673-9078(2022)10-290-296

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1431

Near-infrared Technology-based Non-destructive Detection of the Internal Quality of Shenzhou Peaches

GUAN Yeqing¹, WANG Dong², LI Nan¹, FU Yaxiong¹, CHENG Yudou¹, GUAN Junfeng^{1*}

(1. Institute of Biotechnology and Food Science, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang

050051, China) (2. Institute of Quality Standard and Testing Technology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: To develop a rapid and non-destructive method for detecting the internal quality of the “Shenzhou Peaches”, the SACMI near-infrared analyzer was used in the diffuse reflection for non-destructive measurements of the soluble solid content (SSC), firmness, and pH of fruits ready for harvest. The results were compared with those obtained by traditional methods. The results reveal that, after excluding outliers, the correlations between the predicted SSC values by the non-destructive method and the measured values using traditional methods ($R^2=0.79, p<0.01, SEP=0.47$) are better than those of firmness ($R^2=0.47, p<0.01, SEP=2.01$) and pH ($R^2=0.40, p<0.01, SEP=0.14$). The SSC model (RPD=2.15, RMSEP=0.79%, RSD=6.2%) exhibits better prediction performances and can enable rapid detection. Meanwhile, the pH model (RPD=1.29, RMSEP=0.16, RSD=3.1%) and the firmness model (RPD=1.37, RMSEP=2.37 kg/cm², RSD=39.4%) gave less satisfactory prediction results. This research has shown that detecting the SSC of “Shenzhou Peach” fruits is feasible with a near-infrared analyzer. This is a real-time, fast and non-destructive method for the internal quality evaluation of fruits. This finding can provide a theoretical foundation and technical support for intelligent future grading and classification of fruits.

Key words: near-infrared (NIR) spectroscopy; non-destructive detection; peach fruit; internal quality

引文格式:

关晔晴,王冬,李楠,等.基于近红外技术无损检测深州蜜桃果实内部品质[J].现代食品科技,2022,38(10):290-296

GUAN Yeqing, WANG Dong, LI Nan, et al. Near-infrared technology-based non-destructive detection of the internal quality of Shenzhou peaches [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 290-296

收稿日期: 2021-12-21

基金项目: 河北省农林科学院创新工程项目 (2019-2-1-1); 河北省现代农业产业技术体系项目 (HBCT2018100207)

作者简介: 关晔晴 (1986-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果实采后生物学, E-mail: guanyeqing@126.com

通讯作者: 关军锋 (1966-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果实品质生物学, E-mail: junfeng-guan@263.net

“深州蜜桃” (*Prunus persica* (L.) Batsch cv. Shenzhou) 已有两千多年栽培史, 是河北省深州市特产、驰名中外的优良品种, 具有果实大, 果型秀美, 色泽鲜艳, 皮薄肉细, 汁甜如蜜等特点, 深受广大消费者喜爱。深州蜜桃成熟期正值高温季节, 采收期相对比较集中^[1], 传统检测采收期果实品质的方法耗时、费力, 损伤果实, 为了加快果实品质分级, 加快商品化处理过程, 提高商品化价值和经济效益, 因此寻求快速、高效的果实品质检测技术是非常必要的。

近红外光谱 (Near-Infrared Spectroscopy, NIRS) 分析技术具有快速、无损、高效的特点。农产品的近红外吸收主要来源于物质分子中含氢基团 (-OH、-NH、-CH) 振动的合频和各级倍频吸收, 通过扫描近红外光谱, 可以得到样品中分子的含氢基团信息, 从而对其品质进行高效检测^[2]。由于 NIRS 技术不仅可实现快速、无损、高效分析, 还具有成本相对较低、环境友好、操作简便等特点, 近年来越来越受到人们的青睐。

近几年, 关于 NIRS 对水果品质无损检测技术的报道较多, 其中对梨、苹果、芒果、西瓜、葡萄、李子品种果实可溶性固形物 (Soluble Solid Content, SSC)、硬度指标检测建立了准确、可靠的方法^[3-9]。罗枫等^[10]与王旭等^[11]分别发现 NIRS 检测樱桃内部 SSC、可滴定酸 (Titratable Acid, TA) 与猕猴桃 SSC 及 pH 是可行的。对于桃的无损检测研究, 潘磊庆等^[12]发现利用 NIRS 检测水蜜桃糖度所建的模型预测效果较好。Uwadaira 等^[13]提出采用可见近红外光谱 (Visible and Near-Infrared Spectroscopy, Vis-NIR) 技术完成了对果肉硬度的评估。目前, 关于对“深州蜜桃” NIRS 无损检测技术尚未有相关报道。对“深州蜜桃”进行无损快速检测可有效提高检测效率、克服因传统抽检的代表性差等短板。本研究采用 SACMI 近红外分析仪以漫反射方式, 对采收期“深州蜜桃”最能体现果实内部品质的硬度、SSC、pH 值 3 个化学指标进行无损检测, 与传统参考方法所测结果进行相关分析, 建立果实品质的无损预测模型, 从而为“深州蜜桃”无损快速高效品质分级提供参考, 进而为提升“深州蜜桃”品质与科技含量提供技术支持和解决方案。

1 材料与方法

1.1 材料

选用河北省特色品种“深州蜜桃”, 于商业成熟期 2019 年 9 月 4 日采自河北省深州市, 采摘当天运至实

验室, 选择大小匀称、无损伤、无病虫害的 90 个果实作为试验样品, 清理表面杂物并编号后, 于室温 25 °C 放置, 散田间热后测定。

1.2 近红外光谱检测

采用 NIR CASE 型水果无损检测设备 (SACMI, 意大利) 采集试验样品的近红外光谱。采集条件: 室温 25 °C, 实际测量前用参比板 (聚四氟乙烯, PTFE) 进行校准, 卤素灯光源, 采用漫反射方式; 扫描部位及次数: 果实中轴 (赤道) 处覆盖全检测台, 扫描果实阴阳面赤道上对称 2 点, 每个点位进行 2 次扫描, 共扫描 360 次; 波段范围: 600~1 000 nm; 光谱数据由 Nir Calibration 软件 (Vers.3.1 Beta) 进行采集和转换。NIR CASE 型水果无损检测设备检测系统示意图如图 1 所示。

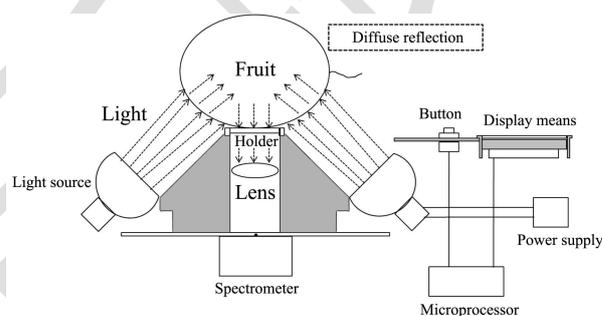


图 1 NIR CASE 型水果无损检测设备检测果实内部品质系统原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of NIR CASE type of fruit non-destructive detection equipment detecting system for fruit internal quality

1.3 样品化学指标的测定

硬度测定: 在果实阴阳面光谱采集处, 先在赤道处去皮约 2 cm², 采用直径 1 cm 探头的果实硬度计 (GY-4, 浙江托普仪器有限公司, 杭州) 匀速刺入果肉 10 mm 测定硬度实测值。

SSC 测定: 在硬度测定探头刺入处用吸管吸入果汁滴在便携式糖度计 (PAL-1, 日本 Atago; Brix 范围 0.0%~53.0%, 仪器最小分度 0.1%) 上测定 SSC 实测值。

pH 测定: 在果实阴阳面光谱采集处, 取 1 cm 厚的果肉切块 (去除硬度与 SSC 测定损伤处), 用手动榨汁器榨汁, 利用 pH 计 (S210, 上海梅特勒-托利多仪器有限公司) 测定 pH 实测值。

1.4 光谱处理与模型评价

采用 NIRS 对果实品质指标进行预测时, 主要是

在采集的样本光谱数据和果实品质指标实测值之间建立相关模型，采用的偏最小二乘回归法建模。本研究中光谱数据预测值由 Nir Calibration 软件 (Vers.3.1 Beta) 进行采集和转换，本研究中预测模型的定量评价通过实测与预测值的决定系数 (Coefficient of Determination, R^2)、预测均方根误差 (Root Mean Square Error of Prediction, $RMSEP$)、标准分析误差 (Square Error of Prediction, SEP)、相对分析误差 (Ratio Performance Deviation, RPD)、相对标准差 (Relative Standard Deviation, RSD) 来进行。各统计量的计算公式及含义如下。

(1) 决定系数

R^2 越接近 1，说明两组数据的相关程度越高， R^2 的计算如公式 (1) 所示。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

式中：

n —— 样本容量；

y_i —— 第 i 个样品的实测值；

\hat{y}_i —— 第 i 个样品的预测值；

\bar{y} —— 样品实测值的平均值。

(2) 预测均方根误差

$RMSEP$ 表示总体误差，包含了偏差，常用来检验模型的适用性。 $RMSEP$ 的计算如公式 (2) 所示。

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (2)$$

式中：

n —— 样本容量；

y_i —— 第 i 个样品的实测值；

\hat{y}_i —— 第 i 个样品的预测值。

(3) 标准分析误差

如果去除均方根误差的偏差，即为 SEP ，代表预测误差。 SEP 的计算如公式 (3) 所示。

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (3)$$

式中：

n —— 样本容量；

d_i —— 第 i 个样品残差，即 $d_i = y_i - \hat{y}_i$ ；

\bar{d} —— 残差的平均值，即 $\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i$ 。

(4) 相对分析误差

RPD 用来验证模型的稳定性和预测能力。当 $RPD < 1.5$ 则模型预测性能较低， $1.5 \leq RPD \leq 2.5$ 则模型预测性能可满足快速检测的需要， $RPD > 2.5$ 则模型具有较高的预测性能^[14]。 RPD 的计算如公式 (4) 所示。

$$RPD = \frac{SD}{SEP} \quad (4)$$

式中：

SD —— 分析样品的标准偏差；

SEP —— 分析样品的均方根误差。

(5) 相对标准差

RSD 反映模型对某一组分总体的预测效果。一般情况下，当 $RSD < 10\%$ 时，模型可用于实际的检测。 RSD 的计算如公式 (5) 所示。

$$RSD = \frac{RMSEP}{\bar{y}_p} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

\bar{y}_p —— 预测值平均值。

1.5 数据处理

所有数据采用 Excel 及 SPSS 18.0 数据处理软件进行统计分析及制图。

2 结果与讨论

2.1 剔除异常样本

在测定化学指标值时会由于人为操作、温度、湿度以及光谱采集时可能会产生一些异常数据，这些异常样品会影响模型的建立，因而需将这些样品剔除，本文中采用 t 检验准则，对异常样品进行逐个剔除^[15]，并用 SPSS 18.0 对其异常值进一步验证，分别对硬度、SSC 及 pH 指标 360 个光谱预测值进行异常值剔除，样本容量、异常值个数及编号见表 1 所示。

2.2 内部品质预测模型建立

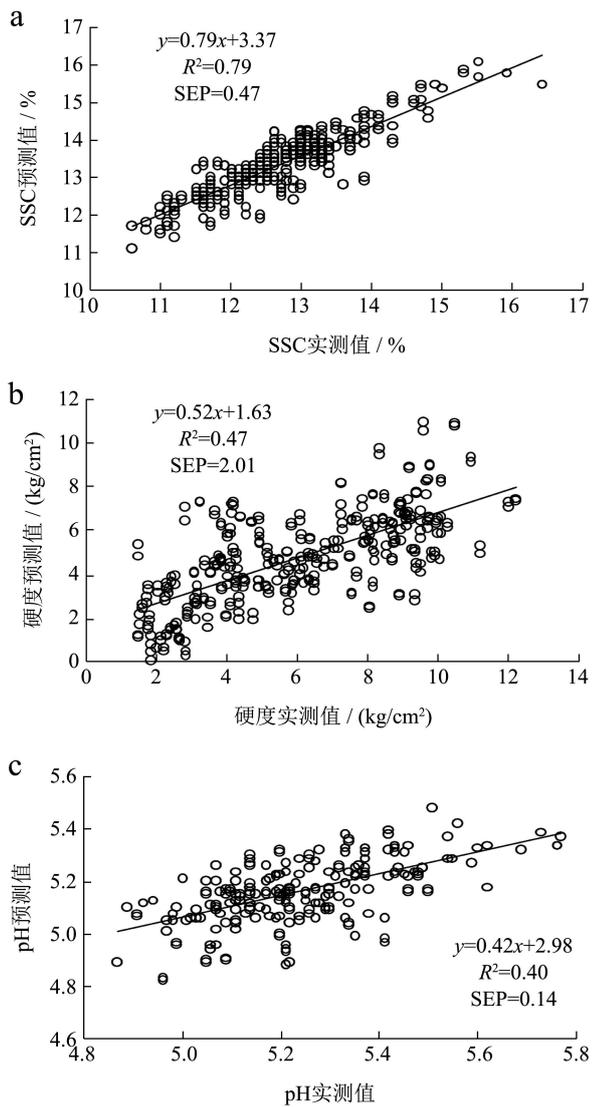


图2 果实内部品质实测值与预测值之间的相关性

Fig.2 The correlation between the measured and predicted values of internal qualities

注: a: SSC; b: 硬度; c: pH。

采用最小二乘回归算法建立 SSC、硬度、pH 校正模型并通过模型获得三种品质指标预测值。计算内部品质实测值与预测值相关系数,果实 SSC 实测值与预测值呈高度线性正相关 ($R^2=0.79, p<0.01$),

$SEP=0.47$ (图 2a); 果实硬度实测值与预测值呈显著线性正相关 ($R^2=0.47, p<0.01$), $SEP=2.01$ (图 2b); 果实 pH 实测值与预测值呈显著线性正相关 ($R^2=0.40, p<0.01$), $SEP=0.14$ (图 2c)。

与传统有损测定方法相比,无损技术在不同样品品质快速检测、易安装及连续测定方面占领先水平^[16]。近红外光谱由于其无损、快速、高效、环境友好的特点,客观测量和较高的准确性,是目前最常用的光谱分析技术,尤其适用于水果和蔬菜中近红外范围 700~2 500 nm^[17]。本研究中采用 SACMI 无损设备(波长范围 600~1 000 nm)检测了“深州蜜桃”采收期果实品质,通过传统有损及无损测定,结果发现 SSC 实测值与预测值相关性 ($R^2=0.79, p<0.01, SEP=0.47$) (图 2a) 均优于硬度 ($R^2=0.47, p<0.01, SEP=2.01$) (图 2b)、pH ($R^2=0.40, p<0.01, SEP=0.14$) (图 2c) 的相关性,但硬度 SEP 较大。较多研究证明 SSC 比硬度相关性好,同样的结论在其他果实如苹果^[18]、芒果^[19]以及猕猴桃^[20]中得到了证实。

2.3 品质参数分布

品质参数分布结果见表 1, SSC 实测值范围是 10.6%~16.4% (Mean=12.7, SD=1.0), 预测值范围是 11.1%~16.1% (Mean=13.4, SD=1.0); 硬度实测值范围是 1.48~12.22 kg/cm² (Mean=6.01, SD=2.75), 预测值范围是 0.09~10.96 kg/cm² (Mean=4.75, SD=2.08); pH 实测值范围是 4.87~5.77 (Mean=5.25, SD=0.18), 预测值范围是 4.82~5.48 (Mean=5.17, SD=0.12)。其中对于变异系数来说, SSC 实测与预测值变异系数分别为 7.9%和 6.7%, pH 实测与预测值变异系数分别为 3.48%和 2.33%, 均小于 10%, 属弱变异; 而硬度实测与预测值变异系数分别为 45.79%和 43.72%, 大于 30%, 显著高于 SSC 与 pH 两指标, 属强变异^[21]。从以上结果初步观察发现, 品质参数实测值与预测值分布相近。

表 1 不同品质指标统计

Table 1 Statistics of different quality indices

参数	可溶性固形物含量 SSC/%		硬度/(kg/cm ²)		pH	
	实测 M	预测 P	实测 M	预测 P	实测 M	预测 P
样本容量(除异常值)N	354	354	356	356	352	352
异常值个数(编号)N	6(21、22、69、70、209、210)		4(209、210、293、294)		8(173、174、189、190、191、192、273、274)	
最小值 Min	10.6	11.1	1.48	0.09	4.87	4.82
最大值 Max	16.4	16.1	12.22	10.96	5.77	5.48
平均值 Mean	12.7	13.4	6.01	4.75	5.25	5.17
标准差 SD	1.0	0.9	2.75	2.08	0.18	0.12

极差 R	5.8	5.0	10.74	10.87	0.90	0.66
变异系数 CV	7.9%	6.7%	45.79%	43.72%	3.48%	2.33%

注: N: number; SD: standard deviation; CV (%): coefficient of variation; R: range; M: measured value; P: predicted value.

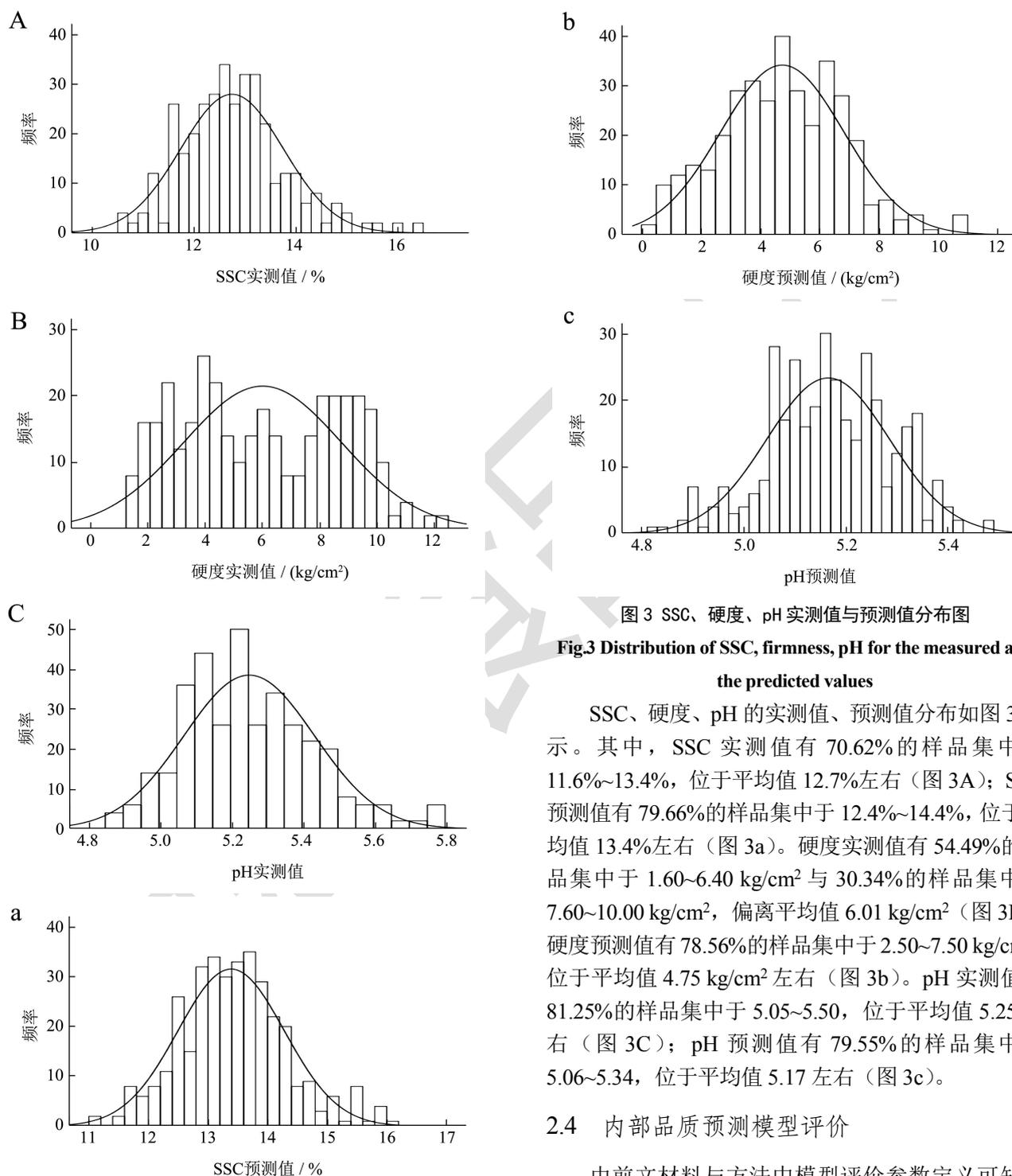


图 3 SSC、硬度、pH 实测值与预测值分布图

Fig.3 Distribution of SSC, firmness, pH for the measured and the predicted values

SSC、硬度、pH 的实测值、预测值分布如图 3 所示。其中，SSC 实测值有 70.62% 的样品集中于 11.6%~13.4%，位于平均值 12.7% 左右（图 3A）；SSC 预测值有 79.66% 的样品集中于 12.4%~14.4%，位于平均值 13.4% 左右（图 3a）。硬度实测值有 54.49% 的样品集中于 1.60~6.40 kg/cm² 与 30.34% 的样品集中于 7.60~10.00 kg/cm²，偏离平均值 6.01 kg/cm²（图 3B）；硬度预测值有 78.56% 的样品集中于 2.50~7.50 kg/cm²，位于平均值 4.75 kg/cm² 左右（图 3b）。pH 实测值有 81.25% 的样品集中于 5.05~5.50，位于平均值 5.25 左右（图 3C）；pH 预测值有 79.55% 的样品集中于 5.06~5.34，位于平均值 5.17 左右（图 3c）。

2.4 内部品质预测模型评价

由前文材料与方法中模型评价参数定义可知，表 2 中 SSC 的 $RMSEP=0.79\%$ ， $R^2=0.79$ （图 2a），硬度的 $RMSEP=2.37 \text{ kg/cm}^2$ ， $R^2=0.47$ （图 2b），pH 的 $RMSEP=0.16$ ， $R^2=0.40$ （图 2c），其中硬度 $RMSEP$ 值

大于 R^2 值, 表明其模型预测准确度差。SSC 的 $RPD=2.15>2$, 可满足快速检测的需要; 而硬度与 pH 的 RPD 分别为 1.37 与 1.29, 均小于 1.5, 说明其模型预测性能较低。一般情况下, 当 $RSD<10\%$ 时, 模型可用于实际的检测, SSC 与 pH 的 RSD 分别为 6.2% 与 3.1%, 模型可用于实际检测; 而硬度的 $RSD=39.4\%$, 远远大于 10%, 模型不可用于实际检测。

一般情况下, 一个好的模型应具有较高的 R^2 值, 较低的 $RMSEP$ 值^[4,14]。因此本研究中从 R^2 与 $RMSEP$ 值发现, 硬度模型预测准确度低。当 $RPD>2.5$ 时, 说明该模型具有较高的预测性能, 本文中 SSC 的 $RPD=2.15>2$, 且 $RSD=6.2\%<10\%$, 表明 SSC 模型预测性能可满足快速检测的需要。对于 pH 来说, $RSD=3.1\%<10\%$, 模型可用于实际检测, 但 $RPD=1.29<2$, 模型预测准确度不高。而对于硬度, $RPD=1.37<2$, $RSD=39.4\%>10\%$, 表明模型预测性能较低。Cortés

等^[6]利用 Vis-NIR 能较好地预测“Osteen”芒果内部品质如 SSC、硬度等指标 ($R_p^2=0.83\sim 0.88$, $RMSEP=0.40\sim 0.51$, $RPD=2.34\sim 2.83$)。Yu 等^[4]发现 Vis-NIR 可快速无损预测“库尔勒香梨”硬度 ($R_p^2=0.89$, $RMSEP=1.81$ N, $RPD_p=3.05$) 及 SSC ($R_p^2=0.92$, $RMSEP=0.22\%$, $RPD_p=3.68$) 指标。Li 等^[9]通过 Vis-NIR 能够准确预测李果实品质指标 SSC, 其中 $R_p^2>0.8$, RPD 在 2 以上; 而对硬度的预测性较差, RPD 一般小于 2。通常情况下, 硬度可作为判断果实成熟度、贮藏时间一个重要指标, 也可以作为消费者选择的一个因素^[22-24]。我们必须确保果实硬度在收获、运输、分级过程中能将机械伤降到最低, 再考虑可食用的软硬度^[25]。而研究中硬度较难预测是由于多重因素决定, 包括细胞结构、果胶状态、膨压^[18], 其中细胞壁结构的散射效应是影响反射光谱的主要因素^[26]。

表 2 果实内部品质的预测模型

Table 2 Predicted models of fruit internal qualities

参数	预测均方根误差 $RMSEP$	相对分析误差 RPD	相对标准差 $RSD/\%$
可溶性固形物含量 SSC/%	0.79	2.15	6.2
硬度/(kg/cm ²)	2.37	1.37	39.4
pH 值	0.16	1.29	3.1

Liu 等^[3]指出 Vis-NIR 技术可以提供评估梨果实品质指标的一套完整准确、可靠、无损的方法。Nagle 等^[27]用 NIRS 发明了一套检测树上“Chok Anan”芒果果实 SSC、总酸等指标的方法。Qi 等^[28]证实, 利用 VIS/NIR 光谱技术开发了西瓜 SSC 等预测模型, 可寻找具有较高商业价值的适宜采收期。本研究中发现基于 SACMI 水果无损检测检测仪的 NIRS 可以预测“深州蜜桃”SSC 品质指标, 但对硬度及 pH 预测效果不理想。NIRS 评估果实品质最主要的问题是校正模型建立的稳定性^[29]。此外, 果实品种、大小及收获季节对 NIRS 模型稳定性发挥着重要作用^[30]。因此, 后续对于较难预测的品质指标如硬度等, 应做更多深入研究, 全面考虑检测因素, 改进检测方法, 利用 SACMI 无损设备建立果实品质稳定、良好的预测模型。

3 结论

本研究使用 SACMI 水果无损检测检测仪在 600~1 000 nm 波长范围内利用近红外漫反射方式对“深州蜜桃”采收期果实 SSC、硬度、pH 进行了无损及传统测定。SSC 预测值与实测值相关性 ($R^2=0.79$, $p<0.01$, $SEP=0.47$) 优于硬度及 pH 的, SSC 预测模型 ($RPD=2.15$, $RMSEP=0.79\%$, $RSD=6.2\%$) 准确度

较高, 可满足“深州蜜桃”SSC 的无损快速检测与分级需求, pH ($RPD=1.29$, $RMSEP=0.16$, $RSD=3.1\%$) 与硬度模型 ($RPD=1.37$, $RMSEP=2.37$ kg/cm², $RSD=39.4\%$) 准确度较低, 可为“深州蜜桃”品质无损初筛提供参考。本文研究表明, 采用 SACMI 近红外分析仪对“深州蜜桃”果实品质进行无损快速检测具有可行性, 初步建立了果实品质的无损预测模型, 可快速高效地对果实进行智能分级; 另一方面, 继续优化所建模型以及建立其他品质指标的无损速测模型仍是下一步工作需要进一步跟进的内容。

参考文献

- [1] 及华, 关军锋, 冯云霄, 等. 1-MCP 和预贮对深州蜜桃采后生理和品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(14): 247-250
- [2] 罗枫, 鲁晓翔, 张鹏, 等. 近红外漫反射技术检测甜樱桃果实质地研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 293-297
- [3] LIU Yande, CHEN Xingmiao, OUYANG Aiguo. Nondestructive determination of pear internal quality indices by visible and near-infrared spectrometry [J]. LWT - Food Science and Technology, 2008, 41(9): 1720-1725
- [4] YU Xinjie, LU Huanda, WU Di. Development of deep learning method for predicting firmness and soluble solid

- content of postharvest Korla fragrant pear using Vis/NIR hyperspectral reflectance imaging [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 141: 39-49
- [5] Mendoza F, LU Renfu, CEN Haiyan. Comparison and fusion of four nondestructive sensors for predicting apple fruit firmness and soluble solids content [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 73: 89-98
- [6] Cortés V, Ortiz C, Aleixos N, et al. A new internal quality index for mango and its prediction by external visible and near-infrared reflection spectroscopy [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 118: 148-158
- [7] Mohd Ali M, Hashim N, Bejo S K, et al. Rapid and nondestructive techniques for internal and external quality evaluation of watermelons: a review [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 225: 689-699
- [8] 章林忠,蔡雪珍,方从兵.近红外光谱定量和定性分析技术在鲜食葡萄果实无损检测中的应用[J].*浙江农业学报*,2018, 30(2):330-338
- [9] Li B, Cobo-Medina M, Lecourt J, et al. Application of hyperspectral imaging for nondestructive measurement of plum quality attributes [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 141: 8-15
- [10] 罗枫,鲁晓翔,张鹏,等.冷藏樱桃内部品质的近红外漫反射光谱检测[J].*食品与发酵工业*,2015,41(3):219-224
- [11] 王旭,宋庆恒.近红外光谱检测猕猴桃可溶性固形物和pH[J].*食品工业*,2017,3:305-307
- [12] 潘磊庆,刘明,韩东海,等.水蜜桃货架期内糖度的近红外光谱检测[J].*南京农业大学学报*,2013,36(4):116-120
- [13] Uwadaira Y, Sekiyama Y, Ikehata A. An examination of the principle of non-destructive flesh firmness measurement of peach fruit by using VIS-NIR spectroscopy [J]. *Heliyon*, 2018, 4(2): e00531
- [14] Viscarra Rossel R A, Mcglynn R N, Mcbratney A B. Determining the composition of mineral-organic mixes using UV-vis-NIR diffuse reflectance spectroscopy [J]. *Geoderma*, 2006, 137(1-2): 70-82
- [15] 祝诗平,王一鸣,张小超,等.近红外光谱建模异常样品剔除准则与方法[J].*农业机械学报*,2004,35(4):115-119
- [16] Mohd Ali M, Hashim N, Bejo S K, et al. Laser-induced backscattering imaging for classification of seeded and seedless watermelons [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 140: 311-316
- [17] Both A J, Benjamin L, Franklin J, et al. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses [J]. *Plant methods*, 2015, 11(1): 43-60
- [18] Park B, Abbott J A, Lee K J, et al. Near-infrared diffuse reflectance for quantitative and qualitative measurement of soluble solids and firmness of 'Delicious' and 'Gala' apples [J]. *Transactions of the Asae*, 2003, 46(6): 1721-1731
- [19] Nascimento Marques E J, De Freitas S T, Pimentel M F, et al. Rapid and non-destructive determination of quality parameters in the 'Tommy Atkins' mango using a novel handheld near infrared spectrometer [J]. *Food Chemistry*, 2016, 197(APR.15PT.B): 1207-1214
- [20] Mcglone V A, Kawano S. Firmness, dry-matter and soluble-solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1998, 13(2): 131-141
- [21] 寸待泽,普金安,高俊燕,等.云南冰糖橙果皮和果肉矿质元素含量与果实品质的关系[J].*江苏农业科学*,2020,48(24): 207-214
- [22] Miceli C D, Infante R, Inglese P. Instrumental and sensory evaluation of eating quality of peaches and nectarines [J]. *European Journal of Horticultural Science*, 2010, 75(3): 97-102
- [23] Guarnieri A, Martelli R, Berardinelli A, et al. Harvesting and field packing of tree-ripened peach fruits, critical evaluation [J]. *Italian Journal of Food Science*, 2014, 26(2): 190-196
- [24] Gonçalves R G, Couto J, Almeida D P F. On-tree maturity control of peach cultivars: comparison between destructive and nondestructive harvest indices [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 209: 293-299
- [25] Shinya P, Contador L, Predieri S, et al. Peach ripening: segregation at harvest and postharvest flesh softening [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2013, 86(Complete): 472-478
- [26] Boeriu C G, Stolle-Smits T, Van Dijk C. Characterisation of cell wall pectins by near infrared spectroscopy [J]. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 1998, 6(1): 299-301
- [27] Nagle M, Mahayothee B, Rungpichayapichet P, et al. Effect of irrigation on near-infrared (NIR) based prediction of mango maturity [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 125(4): 771-774
- [28] QI Shuye, SONG Shuhui, JIANG Shengnan, et al. Establishment of a comprehensive indicator to nondestructively analyze watermelon quality at different ripening stages [J]. *Journal of Innovative Optical Health Sciences*, 2014, 7(4): 1350034(11 pages)
- [29] Rungpichayapichet P, Mahayothee B, Nagle M, et al. Robust

- NIRS models for non-destructive prediction of postharvest fruit ripeness and quality in mango [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2015, 111: 31-40
- [30] Bobelyn E, Serban A S, Nicu M, et al. Postharvest quality of apple predicted by NIR-spectroscopy: study of the effect of biological variability on spectra and model performance [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2010, 55(3): 133-143

现代食品科技