

# 哈姆林甜橙果实在品质的可见 - 近红外漫反射光谱无损检测法

毛莎莎<sup>1</sup>, 曾明<sup>1</sup>, 何绍兰<sup>2</sup>, 郑永强<sup>2</sup>, 易时来<sup>2</sup>, 王亮<sup>1</sup>, 赵旭阳<sup>1</sup>, 邓烈<sup>2,\*</sup>

(1.西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; 2.中国农业科学院柑桔研究所, 重庆 400712)

**摘要:**采用可见 - 近红外漫反射光谱技术, 结合偏最小二乘法, 以不同时间采摘的哈姆林甜橙果实为样品建立其可溶性固形物、含酸量和VC的无损检测数学模型, 同时对不同光谱预处理方法和不同建模波段范围对模型的预测性能进行对比分析。结果表明: 原始光谱在400~1000nm波段的模型预测精度较高。经多元散射校正和5点移动平均平滑预处理后, 果实可溶性固形物含量的PLS模型最好, 校正集样品的相关系数为0.995, RMSEC和RMSEP分别为0.026%、0.028%; 预测集样品的相关系数为0.992。经多元散射校正和9点移动平均平滑预处理后, 果实含酸量的PLS模型最好, 校正集样品的相关系数为0.997, RMSEC和RMSEP分别为0.012%、0.013%; 预测集样品的相关系数为0.997。经多元散射校正和9点移动平均平滑预处理后, 果实VC含量的PLS模型最好, 校正集样品的相关系数为0.998, RMSEC和RMSEP分别为0.009%、0.009%; 预测集样品的相关系数为0.999。可见由不同时间采摘的果实组成的样品集所建立的数学模型可以提高模型的预测精度, 从而提高模型的适用范围。应用可见 - 近红外漫反射光谱检测哈姆林甜橙果实的内在品质可行。

**关键词:**哈姆林甜橙; 内在品质; 可见 - 近红外光谱; 无损检测

Non-destructive Measurement of Soluble Solids, Vitamin C and Titratable Acidity of Hamlin Sweet Orange using Vis/NIR Spectrometry

MAO Sha-sha<sup>1</sup>, ZENG Ming<sup>1</sup>, HE Shao-lan<sup>2</sup>, ZHENG Yong-qiang<sup>2</sup>, YI Shi-lai<sup>2</sup>,  
WANG Liang<sup>1</sup>, ZHAO Xu-yang<sup>1</sup>, DENG Lie<sup>2,\*</sup>

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China)

**Abstract:** The potential of reflectance visible/near infrared spectroscopy (VNIRS) was investigated for measuring total soluble solids (TSS), vitamin C (VC) and titratable acidity (TA) in Hamlin orange fruit (*Citrus sinensis* L.). VNIR spectra of Hamlin orange fruits harvested at different times were measured and related with the contents of TSS, VC and TA by partial least squares (PLS) method to establish non-destructive models for predicting the TSS, VC and TA in the fruit. Meanwhile, the effects of different spectral pretreatment methods and spectral waveband range on the performance of the established models were also investigated. The results showed that the PLS models of original spectra within the waveband range from 400 to 1000 nm gave optimal predictions for TSS, VC and TA. Through multiple scatter calibration and 5-point moving-average smoothing pretreatment, an optimal TSS prediction model was obtained, with a correlation coefficient of 0.995 and a root mean square error of calibration (RMSEC) of 0.026% for the calibration sample set and a correlation coefficient of 0.992 and a root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.028% for the validation sample set. Multiple scatter calibration and 9-point moving-average smoothing pretreatment gave an optimal TA prediction model, with a correlation coefficient of 0.997 and a RMSEC of 0.012% for the calibration sample set and a correlation coefficient of 0.997 and a RMSEP of 0.013% for the validation sample set. An optimal VC prediction model was also obtained through multiple scatter calibration and 9-point moving-average smoothing pretreatment, with a correlation coefficient of 0.998 and a RMSEC of 0.009% for the calibration sample set and a correlation coefficient of 0.999 and a RMSEP of 0.009 for the validation sample set. These results suggest that the use of a sample set comprising Hamlin

收稿日期: 2010-03-02

作者简介: 毛莎莎(1984—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果树生理生态与果树信息化。E-mail: mssmxx@yahoo.com.cn

\* 通信作者: 邓烈(1956—), 男, 研究员, 研究方向为柑橘生理、栽培技术及信息化。E-mail: liedeng@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

organe fruits collected at different harvesting times can improve the accuracy of a PLS prediction model.

**Key words :** Hamlin sweet orange ; internal quality ; Vis/NIR spectroscopy ; non-destructive measurement

中图分类号 : TS207.7

文献标识码 : A

文章编号 : 1002-6630(2010)14-0258-06

哈姆林甜橙(*Citrus sinensis* (L) cv. Hamlin sweet orange)原产于美国佛罗里达州，用哈姆林甜橙果实加工出的果汁，风味佳、色泽好、香气浓郁，是世界重要的橙汁加工早熟品种，也是我国长江上中游橙汁产业基地的重要栽培品种。橙汁加工尤其是非浓缩橙汁生产对原料果的内在品质具有较高要求，而果实固体物和总酸含量可反映果汁的口感、风味，决定着果汁的品质，在很大程度上影响着加工企业的效益。

因此，研究建立对于制汁原料果内在品质的实时快速检测评价技术，对橙汁加工原料果的生产指导、果实购销评价，特别是非浓缩橙汁生产的原料管理等，都具有重要影响和实用价值。

可见-近红外光谱(Vis-NIR)分析是近年来国内外发展很快的一种新型定性、定量分析方法，具有分析速度快、成本低、不破坏样品等优点，在农业、食品、烟草、医药等领域得到了日益广泛的应用<sup>[1]</sup>，在果实在线质量监测中也有较多的应用。其中漫反射法检测是准确度最高的光谱检测方法，因为漫反射法接受的光谱信息全部反映水果内部组织的特性，不受水果表面特性的影响，接受的光谱信息反映了水果内部组织的信息<sup>[2]</sup>。傅霞萍<sup>[3]</sup>、孙通<sup>[4]</sup>、李桂峰<sup>[5]</sup>、Peirs<sup>[6]</sup>、Gomez<sup>[7]</sup>等利用近红外光谱对水果内部品质的研究中认为运用偏最小二乘法<sup>[8-14]</sup>(partial least squares, PLS)建模，原始光谱的预测结果无论是在全波段或者选定波段都要比微分光谱的预测效果好。

选择合适的光谱预处理方法对预测模型来说尤为重要，合适的光谱预处理能有效地消除各种噪声，提高光谱的信噪比。本实验采用不同的光谱预处理方法，结合PLS法，进行哈姆林甜橙果实成熟过程中的可溶性固体物(total soluble solids, TSS)含量、可滴定酸(titratable acid, TA)和VC含量的可见-近红外漫反射光谱定量测定，旨在研究适合哈姆林甜橙内在品质无损检测的可见-近红外光谱的预处理方法，建立哈姆林甜橙内在品质的PLS定量分析模型。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

实验用果采自重庆市忠县新立镇重庆三峡建设集团有限公司示范果园，供试植株为10年生枳橙砧哈姆林甜橙(共5株)，生长结果正常，果园实施常规管理。

供试样品于11月初开始从示范果园中采集，以后每间隔15d采集果实样品一次，共采果6次。每次随机

采集树冠外围和内膛的果实，每株树采集10~12个，共50~60个果实形成混合样。清洗果实，晾干表面水分，逐一编号，立即于室温进行单果的光谱采集和内在品质的测定。试验中样品集划分采用K-S(kennard-stone)算法，将样品分为校正集和验证集样品，分别为306个和36个样品。

### 1.2 试剂

氢氧化钠(分析纯) 天津市风船化学试剂科技有限公司；酚酞(分析纯) 重庆川东化工(集团)有限公司；草酸(分析纯) 成都市科龙化工试剂厂；2,6-二氯吲哚酚钠(分析纯) 德国Merck公司。

### 1.3 仪器与设备

便携式地物光谱仪(Handheld Field Spec光谱仪) 美国ASD(analytical spectral device)公司；PAL-1型手持数显折射计 日本ATAGO公司。

### 1.4 光谱采集

采用便携式地物光谱仪，在室温下采集每一个哈姆林果实表面的漫反射光谱。测量波长范围为325~1075nm，采样间隔为1nm，14.5V卤素灯光源，检测探头与待测果实表面垂直，探头距离果实表面10mm，每个果实在赤道线处不同部位作4次光谱采集，将4次测量的光谱平均值作为每个果实的漫反射光谱。在样品光谱采集时先用标准白板(特伏龙-聚四氟乙烯)进行矫正，以消除环境噪音的影响。检测流程如图1所示。

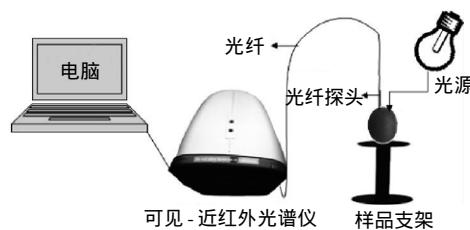


图1 光谱探测系统示意图

Fig.1 Schematic diagram of a VNIRS spectral detection system

### 1.5 化学成分测定

可溶性固体物测定：每个果实光谱采集后立即榨取果汁，双层纱布过滤，混匀，采用PAL-1型手持数显折射计测定果汁可溶性固体物含量。重复3次取平均值，下同。

可滴定酸含量测定：采用酸碱滴定法测定果实的含酸量<sup>[15]</sup>。准确吸取10mL果汁原液至100mL容量瓶中，加蒸馏水至刻度并摇匀，取稀释液10mL放入100mL三

角瓶中，加1%酚酞指示剂2滴，用标准氢氧化钠溶液滴定至终点，记录滴定所消耗的氢氧化钠溶液体积，根据消耗的体积计算含酸量。

**VC含量测定：**采用2,6-二氯吲哚酚钠法测定果实VC含量<sup>[15]</sup>。准确吸取10mL果汁原液至100mL容量瓶中，加质量浓度为1g/100mL的草酸溶液至刻度并摇匀，取稀释液2mL放入50mL三角瓶中，用2,6-二氯吲哚酚钠标准溶液滴定至终点，根据消耗的2,6-二氯吲哚酚钠溶液体积计算VC含量。

### 1.6 光谱预处理

采用移动平均值平滑(moving average smoothing, MAS)和多元散射校正(multiplicative scatter correction, MSC)法对哈姆林甜橙果实的原始光谱进行预处理，选择最佳预处理方法后，采用PLS建立哈姆林甜橙内在品质的数学模型。

### 1.7 模型评价指标

在本实验中，采用预测均方根误差(root mean square error of prediction, RMSEP)、校正均方根误差(root mean square error of calibration, RMSEC)、相关系数r来判断预测模型的优劣。预测模型不但要有高的相关系数，较小的RMSEP和RMSEC，而且RMSEP、RMSEC之间的差要较小。如果RMSEP和RMSEC之间存在较大的差异，则说明模型中存在较多的潜变量以及包含较多的噪音<sup>[16]</sup>。RMSEC和RMSEP的计算公式如下：

$$\text{RMSEC} = \sqrt{\frac{1}{I_c - k - 1} \sum_{i=1}^{I_c} (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

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

式中： $\hat{y}_i$ 为样本*i*的模型预测值； $y_i$ 为样本*i*的实际测量值； $I_c$ 为校正集的样本个数； $I_p$ 为预测集的样本个数； $k$ 为独立变量数。

## 2 结果与分析

### 2.1 哈姆林甜橙果实内在品质

表1 哈姆林甜橙果实内在品质指标测定值分析

Table 1 TSS, VC and TA contents in Hamlin sweet orange samples with different degree of maturity

采摘日期	数量	平均值			范围		
		TSS/Brix	TA%	VC/(mg/mL)	TSS/Brix	TA%	VC/(mg/mL)
2008-11-02	48	8.89	0.9294	51.26	6.9~10.5	0.5854~1.1514	42.25~63.22
2008-11-15	60	9.60	0.8920	56.59	8.0~11.8	0.7490~1.1312	48.52~70.17
2008-12-01	60	9.81	0.8825	57.27	7.6~12.3	0.6894~1.1841	27.16~77.59
2008-12-18	59	10.01	0.8726	62.67	8.0~12.2	0.7139~1.0937	51.02~78.35
2009-01-03	59	11.32	0.8224	65.04	9.5~13.1	0.5260~1.1010	44.85~90.01
2009-01-16	56	11.03	0.8114	58.68	9.4~13.8	0.5252~1.0505	45.72~70.54

表1为哈姆林甜橙果实品质指标的(TSS、TA、VC)统计结果，从表1可以看出，样品TSS、TA、VC指标的化学值范围较大，分别为6.9~13.8 Brix、0.5252%~1.1841%、27.16~90.01mg/mL，说明样品的内部品质差异较大，获得的样品品质指标涵盖较宽的范围，具有较广泛的代表性。李东华等<sup>[17]</sup>研究认为，样品化学成分含量范围较大可以提高模型的适用范围。本实验中哈姆林甜橙果实的各品质指标化学测定值分布均呈典型的钟形的正态分布，这表明实验所采集的果实样品值具有较广泛的代表性，并保证方差分析、回归分析的统计方法所对应的样本值服从正态分布。表2为样品的校正集和验证集内在品质指标统计分析。由表2可知，预测集样品的TSS、TA和VC含量范围均处在校正集样品之内，因而使得校正集所建立的模型能较好地适用于预测集。

表2 哈姆林甜橙果实校正集和验证集各品质指标测定值分析

Table 2 Maximum and minimum and average values of TSS, VC and TA contents in calibration set and validation set of Hamlin sweet orange samples

品质指标	样品类别	最大值	最小值	平均值	标准差
TSS/Brix	校正样品( <i>n</i> =306)	13.80	7.20	10.09	1.23
	预测样品( <i>n</i> =36)	12.20	7.30	10.02	1.19
TA/%	校正样品( <i>n</i> =306)	1.15	0.53	0.86	0.11
	预测样品( <i>n</i> =36)	1.13	0.62	0.89	0.12
VC/(mg/mL)	校正样品( <i>n</i> =306)	81.04	27.16	58.81	7.21
	预测样品( <i>n</i> =36)	80.01	42.54	58.83	10.12

### 2.2 模型波段范围选择

采用便携式地物光谱仪进行光谱采集，该仪器的波段范围为325~1075nm。图3为哈姆林甜橙果实的原始可见-近红外漫反射光谱图。由于仪器的信噪比及环境噪音的影响，本实验所采集的光谱在400nm以下和1000nm以上波长的光谱噪声过大，因而只选取400~1000nm范围的波长参与建模。由图3可见，在哈姆林甜橙果实成熟过程中，果面反射光谱553~845nm范围陆续出现了一个明显的反射峰，最大值出现在675nm附近；其次在913~1000nm波长范围出现一个弱反射峰，这与相关研究<sup>[18]</sup>十分吻合。Curran研究发现，叶绿素a、叶绿素b、胡萝卜素和叶黄素吸收峰都出现在645nm波长附近，970nm和990nm附近分别是水和淀粉的吸收波段。本实验选取553~845、913~1000、400~1000nm三个波长区间的反射率建立校正模型进行比较研究。表3为三个波段光谱反射率与果实品质指标的PLS建模比较结果，可以看出，以400~1000nm波长范围所建的TSS、TA和VC的PLS模型优于只选取其中某一段波长范围所建的模型。

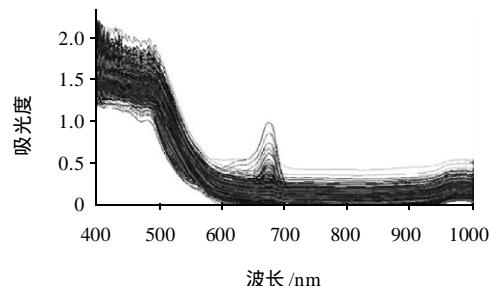


图 3 哈姆林甜橙果实原始光谱图  
Fig.3 Original spectra of Hamlin orange fruits

表 3 不同波段范围的 PLS 建模比较

Table 3 Comparisons of parameters of PLS models of original spectra of Hamlin orange fruits within different wavebands

品质指标	波段 /nm	因子数	r	RMSEC	RMSEP
TSS	553 ~ 845	9	0.685	0.625	0.669
	913 ~ 1000	5	0.602	0.681	0.695
	400 ~ 1000	6	0.774	0.517	0.592
TA	553 ~ 8450	4	0.672	0.667	0.687
	913 ~ 1000	7	0.559	0.701	0.724
	400 ~ 1000	6	0.705	0.548	0.627
VC	553 ~ 845	6	0.679	0.654	0.673
	913 ~ 1000	8	0.594	0.694	0.705
	400 ~ 1000	5	0.759	0.527	0.602

### 2.3 不同光谱预处理对模型结果的影响

表 4 不同光谱预处理的 PLS 建模结果比较

Table 4 Comparisons of parameters of PLS models of original spectra of Hamlin orange fruits with spectral pretreatments

品质指标	模型	预处理方法	因子数	校正		交叉验证		预测 r	
				MSC	MAS	r	RMSEC		
TSS	1	+	-	9	0.983	0.141	0.979	0.158	0.977
	2	+	3+	4	0.986	0.057	0.985	0.0605	0.954
	3	+	5+	4	0.995	0.026	0.998	0.028	0.992
TA	4	+	7+	5	0.986	0.025	0.984	0.026	0.981
	5	+	9+	5	0.983	0.026	0.982	0.027	0.980
	6	+	-	8	0.813	0.100	0.793	0.109	0.796
VC	7	+	3+	8	0.981	0.036	0.978	0.039	0.948
	8	+	5+	9	0.990	0.021	0.988	0.023	0.979
	9	+	7+	5	0.990	0.018	0.989	0.019	0.990
TA	10	+	9+	4	0.997	0.012	0.994	0.013	0.997
	11	+	-	6	0.987	0.056	0.984	0.062	0.992
	12	+	3+	5	0.912	0.040	0.905	0.042	0.910
VC	13	+	5+	8	0.983	0.024	0.980	0.026	0.968
	14	+	7+	5	0.993	0.014	0.992	0.015	0.994
	15	+	9+	5	0.998	0.009	0.997	0.009	0.999

注 : +. 使用该光谱预处理方法 , MAS 列中 + 前的数字表示平滑点数 ; - . 未使用该光谱预处理方法。

由于样品不同成分之间的相互干扰导致近红外光谱

带重叠 , 低含量成分谱峰被高含量成分谱峰掩盖 , 以及信号噪声等问题 , 一般需要对光谱进行预处理 , 减弱及消除其中非目标因素对光谱的影响<sup>[19]</sup>。表 4 为 400 ~ 1000nm 光谱采用 MAS、 MSC 以及不同组合的 5 种预处理方法进行光谱预处理后所建的 PLS 模型对比。由表 4 可见 , 哈姆林甜橙果实 TSS 可见 - 近红外校正模型以 MSC+5 点平滑光谱预处理(模型 3)的效果最好 , 所建校正模型的相关系数达 0.995 , RMSEC 仅为 0.026% , RMSEP 为 0.028%。建立的 TA 可见 - 近红外校正模型以 MSC+9 点平滑光谱预处理(模型 10)的效果最好 , 相关系数 0.997 , RMSEC 为 0.012% , RMSEP 为 0.013%。哈姆林甜橙果实 VC 可见 - 近红外校正模型效果最好的是 MSC+9 点平滑的光谱预处理(模型 15) , 所建校正模型的相关系数达 0.998 , RMSEC 和 RMSE 均为 0.009%。

### 2.4 模型验证

将验证集 36 个样品的原始光谱导入所建哈姆林甜橙果实 TSS、TA 和 VC 的 PLS 模型中(模型 3、10、15) , 预测其含量 , 以此验证模型的可靠性。结果如图 4 ~ 6。由验证结果可知 , 验证集样品预测值和实测值之间的相关性较高 , TSS、TA 和 VC 预测值与实测值的相关系数分别达到 0.984、0.995 和 0.998 , RMSEP 分别为 0.030%、0.013%、0.009%。表明本实验所建的基于反射光谱测定值的哈姆林甜橙果实内在品质预测模型效果较好 , 预测精度较高。

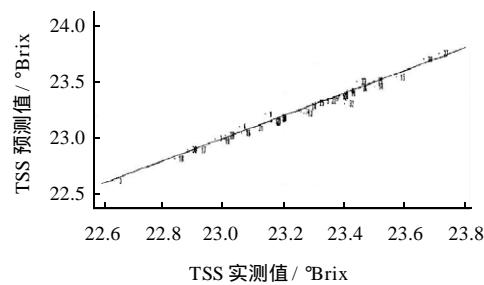


图 4 哈姆林果实 TSS 的 PLS 模型的预测结果  
Fig.4 Plot of predicted versus experimental TSS contents in Hamlin sweet orange samples

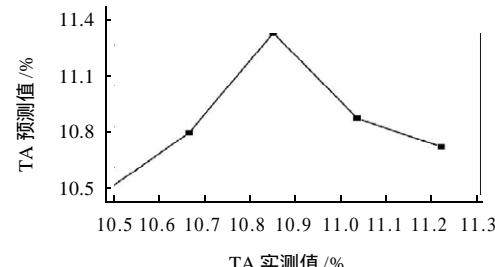


图 5 哈姆林果实 TA 的 PLS 模型预测结果  
Fig.5 Plot of predicted versus experimental TA values in Hamlin sweet orange samples

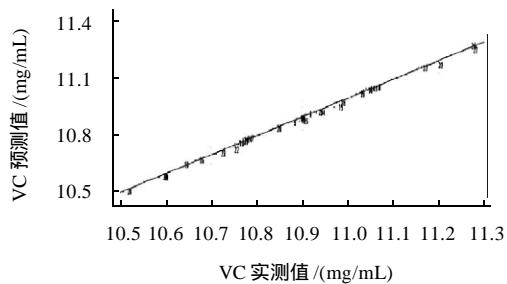


图 6 哈姆林甜橙果实 VC 的 PLS 模型预测结果

Fig.6 Plot of predicted versus experimental VC contents in Hamlin sweet orange samples

### 3 讨 论

本实验对哈姆林甜橙果实成熟过程的内在品质动态分析结果表明，哈姆林甜橙果实经初熟期-完熟期-过熟期，果实 TSS 和 VC 含量呈低-高-低的变化趋势，1月5日前后为最适采收期；果实 TA 含量呈由高到低的变化趋势。该结果与何天富等<sup>[20]</sup>报道的结果一致。

可见 - 近红外光谱 PLS 模型建立，光谱波长范围是影响模型质量的主要因子之一，光谱范围的选择过程实际就是样品中各组分光谱信息的筛选过程，它直接影响到光谱信息的利用效果，继而影响模型的准确性。在本实验中，为了获得最优的光谱范围，确定最佳回归和预测光谱区间，首先进行全光谱回归，再根据哈姆林甜橙果实光谱的吸收特性划分出两个特殊光谱波段(553~845nm 和 913~1000nm)，建立 PLS 模型进行比较研究。其结果表明，全波长范围所建的 TSS、TA 和 VC 的 PLS 模型优于特征波段范围，该结果与刘燕德等<sup>[21]</sup>报道的结果一致。这可能是因为虽然 553~845nm 和 913~1000nm 波段与果实成熟过程中叶绿素的降解和类胡萝卜素的积累之间具有一定的相关性，但就建模来说，可能该波段所包含的有效信息量较全光谱波段少，因此所建模型的效果低于全光谱波段所建模型。

除此以外，采集的样品光谱图中常常包含了一部分环境噪音、杂散光等无关信息的干扰，这些无关信息会使光谱基线漂移，并降低光谱信息的分辨能力<sup>[22]</sup>。因此，在用化学计量学方法建立模型时，旨在消除光谱数据无关信息和噪音的预处理方法显得十分重要。同时由于柑橘果实表面并不平整，可能导致光线反射不均匀进而影响检测结果，而 MSC 可以有效地消除光程及柑橘表面弧度不同引起的基线漂移的影响，所以本实验以 MSC 预处理方法为主，结合平滑处理来消除光谱数据无关信息及噪音对模型的影响。本研究中对采集的原始光谱进行移动平均平滑处理后，所建模型的精度有所提

高，且不同平滑点数处理后也有改善模型预测精度的作用。因此使用地物光谱仪采集光谱时需对原始光谱进行去噪预处理以提高光谱的信噪比。

### 4 结 论

本研究采用 PLS 方法对 306 个校正集样品建立了 400~1000nm 波段范围内哈姆林甜橙果实内在品质 TSS、TA、VC 的漫反射光谱预测模型，并对 36 个验证集样品进行验证，结果表明，以 400~1000nm 原始光谱所建模型的预测精度较高。经多元散射校正和 5 点移动平均平滑预处理后，哈姆林甜橙果实 TSS 含量的 PLS 模型最好，校正集样品的相关系数  $r$  为 0.995，RMSEC 和 RMSEP 分别为 0.026%、0.030%；预测集样品的相关系数  $r$  为 0.984。经多元散射校正和 9 点移动平均平滑预处理后，哈姆林甜橙果实 TA 含量的 PLS 模型最好，校正集样品的相关系数  $r$  为 0.997，RMSEC 和 RMSEP 分别为 0.012%、0.013%；预测集样品的相关系数  $r$  为 0.995。经多元散射校正和 9 点移动平均平滑预处理后，哈姆林甜橙果实 VC 含量的 PLS 模型最好，校正集样品的相关系数  $r$  为 0.998，RMSEC 和 RMSEP 分别为 0.009%、0.009%；预测集样品的相关系数  $r$  为 0.998。从本实验可知，由不同时间采摘的果实组成的样品集所建立的数学模型可以提高模型的预测精度，从而提高模型的适用范围。结果表明，应用可见 - 近红外漫反射光谱检测哈姆林甜橙果实的内在品质是可行的。

### 参考文献：

- [1] 徐广通, 袁洪福, 陆婉珍. 现代近红外光谱技术及应用进展[J]. 光谱学与光谱分析, 2000, 20(2): 134-142.
- [2] 陈香维, 岳田利, 杨公明. 猕猴桃品质光谱无损检测技术研究进展[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 240-245.
- [3] 傅霞萍, 应义斌, 刘燕德. 水果坚硬度的近红外光谱检测分析实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(6): 1038-1041.
- [4] 孙通, 应义斌, 刘魁武, 等. 梨可溶性固形物含量的在线近红外检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(11): 2536-2539.
- [5] 李桂峰, 赵国建, 王向东, 等. 苹果质地品质近红外无损检测和指纹分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 169-173.
- [6] PEIRS A, SCHENK A, NICOLAI B M. Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35: 1-13.
- [7] GOMEZ A H, HE Yong, PEREIRA A G. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77: 313-319.
- [8] 赵杰文, 张海东, 刘木华. 利用近红外漫发射光谱技术进行苹果糖度无损检测的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 163-165.
- [9] PEIRS A, TIRRY J, VERLINDEN B, et al. Effect of biological variability on the robustness of NIR models for soluble solids content of apples

- [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28: 269-280.
- [10] KLEYNEN O, LEEMANS V, DESTAIN M F. Selection of the most efficient wavelength bands for "Jonagold" apple sorting[J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 30: 221-232.
- [11] 邹小波, 赵杰文, 夏蓉. 苹果糖度近红外光谱小波去噪和IPLS 建模[J]. 农业机械学报, 2006, 37(6): 79-82.
- [12] 刘丽英, 陈洪章. 玉米秸秆组分近红外漫反射光谱(NIRS)测定方法的建立[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(2): 270-274.
- [13] 褚小立, 许育鹏, 陆婉珍. 偏最小二乘法在光谱定性分析中的应用研究[J]. 现代仪器, 2007(5): 13-16.
- [14] 周健, 成浩, 王丽鸳, 等. 基于杠杆率校正的PLS-DA 法对正半岩武夷岩茶的识别研究[J]. 茶叶科学, 2009, 29(1): 34-40.
- [15] MMFSCNGOO68 柑桔鲜果检测方法[S].
- [16] LI Xiaoli, HE Yong. Non-destructive measurement of acidity of Chinese bayberry using VIS/NIR techniques[J]. Eur Food Res Technol, 2006, 223: 731-736.
- [17] 李东华, 纪淑娟, 重藤和明. 果实成熟度对南果梨近红外无损检测技术模型的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(12): 266-269.
- [18] 承继成. 遥感数据的不确定性问题[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 56-57.
- [19] 马兰, 夏俊芳, 张战锋, 等. 番茄总糖含量的近红外光谱无损检测方法研究[J]. 食品科学, 2009, 30(6): 171-174.
- [20] 何天富. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 150.
- [21] 刘燕德, 欧阳爱国, 罗吉, 等. 近红外漫反射光谱检测赣南脐橙可溶性固形物的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(11): 2190-2192.
- [22] 褚小立, 袁洪福. 近红外分析中光谱预处理及波长选择方法进展与应用[J]. 化学进展, 2004, 16(4): 528- 542.