

氯吡苯脲对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数及内部品质的影响及其关系分析

蔡晓¹, 郭文川^{1,2,*}, 曾硕崇¹, 曹梦珂¹, 阳尚宏¹

(1.西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2.农业农村部农业物联网重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解氯吡苯脲 (1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea, CPPU) 对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数和内部品质的影响以及光学参数与内部品质的关系, 采用单积分球系统 (950~1 650 nm) 测定经不同质量浓度 (0、10、20 mg/L) CPPU处理的生长期猕猴桃的光学吸收系数 (μ_a) 和约化散射系数 (μ'_s), 并测定猕猴桃的内部品质 (可溶性固形物含量 (soluble solids content, SSC)、含水率及硬度); 分析光学参数与内部品质之间的关系, 并建立预测内部品质的偏最小二乘回归 (partial least squares regression, PLSR) 模型。结果表明, CPPU处理使得猕猴桃的硬度降低, 含水率升高, 但对SSC无显著影响 ($P>0.05$), 且CPPU处理导致猕猴桃的光学参数值发生变化; μ_a 和 μ'_s 与猕猴桃同一种内部品质之间呈现不同的正负相关性, 且相关系数随波长而变化, 并在某一波段内有较好的相关性; 基于 μ_a 谱建立的PLSR模型对猕猴桃SSC和含水率的预测效果最优 (预测集相关系数 (R_p) = 0.709, 预测集均方根误差 (root mean squares error of prediction, RMSEP) = 0.579%; R_p = 0.790, RMSEP = 0.408%), 而基于 $\mu_a + \mu'_s$ 谱所建模型对硬度的预测性能最佳 (R_p = 0.796, RMSEP = 7.890 N)。该研究可为基于光谱技术预测猕猴桃内部品质提供理论依据。

关键词: 猕猴桃; 氯吡苯脲; 生长期; 光学参数; 内部品质; 相关性

Correlation Analysis between Optical Parameters and Internal Quality of ‘Xuxiang’ Kiwifruits during Growth as Affected by 1-(2-Chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea

CAI Xiao¹, GUO Wenchuan^{1,2,*}, ZENG Shuochong¹, CAO Mengke¹, YANG Shanghong¹

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Key Laboratory of Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, China)

Abstract: To understand the effect of 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea (CPPU) on the optical parameters and internal quality of ‘Xuxiang’ kiwifruit during growth and the relationship between optical parameters and internal quality. Growing ‘Xuxiang’ kiwifruits treated with 0, 10 and 20 mg/L CPPU solutions were measured for absorption coefficient μ_a and reduced scattering coefficient μ'_s using single integrating sphere system (950–1 650 nm). The internal quality indices, such as soluble solid content (SSC), moisture content and firmness, were also measured. Partial least squares regression (PLSR) was used to build an internal quality prediction model based on optical parameters. The results showed that CPPU reduced the firmness and increased the moisture content, but had no significant effect on the SSC of kiwifruits ($P > 0.05$). CPPU led to changes in the optical parameters of kiwifruits. μ_a and μ'_s showed different correlations with the same internal quality attribute of kiwifruits, the correlation coefficients changed with wavelength, and there was a good correlation in a certain band. The PLSR model based on μ_a had the best prediction effect on the SSC and moisture content with correlation coefficient of prediction (R_p) of 0.709 and 0.790 and root mean square error of prediction (RMSEP) of 0.579% and 0.408%, respectively, while the model based on $\mu_a + \mu'_s$ had the best performance in predicting the hardness ($R_p = 0.796$, RMSEP = 7.890 N). This study provides a theoretical basis for predicting the internal quality of kiwifruits based on spectral technology.

Keywords: kiwifruit; 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea; growth stage; optical parameters; internal quality; correlation

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220519-253

中图分类号: O657.33; S663.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2023) 09-0001-06

收稿日期: 2022-05-19

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31772065)

第一作者简介: 蔡晓 (1996—) (ORCID: 0000-0002-1078-6049), 男, 硕士研究生, 主要从事农产品品质无损检测技术研究。

E-mail: caixiao202005@163.com

*通信作者简介: 郭文川 (1969—) (ORCID: 0000-0002-0550-772X), 女, 教授, 博士, 主要从事农产品和食品品质无损检测技术研究。E-mail: guowenchuan69@126.com

引文格式:

蔡晓, 郭文川, 曾硕崇, 等. 氯吡苯脲对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数及内部品质的影响及其关系分析[J]. 食品科学, 2023, 44(9): 1-6. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220519-253. <http://www.spkx.net.cn>

CAI Xiao, GUO Wenchuan, ZENG Shuochong, et al. Correlation analysis between optical parameters and internal quality of ‘Xuxiang’ kiwifruits during growth as affected by 1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea[J]. Food Science, 2023, 44(9): 1-6. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20220519-253. <http://www.spkx.net.cn>

猕猴桃质地柔软、风味宜人, 且富含多种维生素和膳食纤维, 因而广受消费者的喜爱^[1]。自20世纪90年代以来, 为提升猕猴桃的产量, 外源植物生长调节剂氯吡苯脲(1-(2-chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea, CPPU)被果农广泛用于猕猴桃的生产种植^[2-3]。现有研究表明, CPPU不仅会增大猕猴桃的体积, 同时会影响猕猴桃的可溶性固形物含量(soluble solids content, SSC)、含水率和硬度等内部品质^[4]。

内部品质是评价水果商业价值的主要因素。传统检测水果SSC、含水率和硬度的方法存在破坏样本及效率低等缺陷, 具有较大的局限性^[5]。为了实现水果内部品质的无损检测, 国内外学者已将近红外光谱^[5-6]和高光谱成像等^[7-8]技术应用于分析水果内部品质。在光学分析中, 水果组织是一种浑浊介质, 光在水果组织中的传播是一个复杂的过程^[9]。光在浑浊介质中传播时, 一部分光子会被浑浊介质吸收和反射, 其余的光子将在多次散射后返回浑浊介质表面或者穿透浑浊介质^[10]。吸收和散射是光与浑浊介质相互作用的两个基本现象, 常用吸收系数 μ_a 和约化散射系数 μ'_s 分别表示浑浊介质对光子的吸收能力和散射能力^[3,11]。一些研究表明, 水果组织对光的吸收能力主要与水果组织的化学成分, 如可溶性固形物、水和叶绿素等有关, 而对光的散射能力主要与水果组织的物理结构, 如硬度、密度、细胞结构等有关^[10,12]。然而, 无论是近红外光谱还是高光谱, 它们只能提供光与水果组织相互作用的综合信息, 很难说明水果的品质和质地究竟对哪些光学参数产生了影响。因此, 为探究光与组织之间的相互作用规律, 确定最佳的光谱采集方式, 常将积分球技术(integrating sphere, IS)与反向倍增算法(inverse adding doubling, IAD)相结合获得组织的光学参数, 如 μ_a 和 μ'_s 等。

陕西省是中国猕猴桃的重要产地, 其猕猴桃产量约占全国的40%左右, 而‘徐香’是陕西省的主要种植猕猴桃品种之一^[13-14]。目前, CPPU对猕猴桃产量和品质的研究多有报道^[4,15], 但鲜见CPPU对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数的影响以及生长期‘徐香’猕猴桃光学参数与内部品质之间相关关系的研究报道。基于此, 本研究旨在探究CPPU对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数和内部品质的影响, 及其光学参数与内部品质之间的关系, 进而基于光学参数谱建立预测猕猴桃内部品质的偏最小

二乘回归(partial least square regression, PLSR)模型, 以评估光学参数检测经CPPU处理的猕猴桃内部品质的潜力。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

‘徐香’猕猴桃, 于陕西省杨陵区某猕猴桃种植园中采摘。

CPPU溶液为杨凌普得丰农业科技开发有限公司生产的“快丰旺二合一”, 其CPPU质量分数为0.3%。

1.2 仪器与设备

NIRQuest 512型光谱仪 美国Ocean Optics公司; 光纤 上海五铃光学股份有限公司; 4P-GPS-030-SF型积分球 美国Labsphere公司; it-3900e型光源 美国Dolan Jenner Industries公司; PR-101 α 型数字式折射仪 日本Atago公司; 螺旋测微仪 东莞市景有模具五金有限公司; GY-4型硬度计 浙江托普仪器有限公司; 101-1AB型干燥箱 天津泰斯特仪器有限公司; LQ-C3002型电子天平 中国昆山优科维特电子科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 猕猴桃样品的制备

在猕猴桃园中部选择3株相邻的生长状态良好、无病虫害、树龄为10年的‘徐香’猕猴桃果树, 于猕猴桃盛花后15 d时, 按照“快丰旺二合一”的使用说明配制质量浓度分别为0(清水)、10、20 mg/L CPPU溶液, 并用CPPU溶液对3株树上的猕猴桃幼果逐个进行蘸果处理, 蘸果时间约为3 s。实验从CPPU处理猕猴桃后的第60天(2021年8月10日)持续到第100天(2021年9月21日)。每隔10 d左右从每株猕猴桃树上随机采摘7个形状规则、大小相近、无损伤的猕猴桃样本, 共采样5次, 总计使用样本105个。样品采摘于实验的前一天下午, 采回样品放置于室温((25 \pm 1) $^{\circ}$ C)下, 并于第2天上午开始实验。

1.3.2 光学参数测定系统及其验证

用于测定猕猴桃光学参数的单积分球系统如图1所示。该系统主要由积分球、光谱仪(波长范围为900~1 700 nm)、光源、准直仪、光纤和计算机组成。由于采集光谱两端的信噪比较小, 故本实验以950~1 650 nm为研究波段^[16]。每次实验前, 将光源预热30~40 min, 使其在检测过程中处于稳定状态。系统的

验证方法及对猕猴桃果肉切片透射率 T_T 和反射率 R_T 的测定方法参照文献[10]。实验在恒温及暗室环境下完成,以避免温度和环境光对测量结果的影响。实验时使用切片机制备猕猴桃果肉切片样品,其厚度约为3 mm,切片用样部位如图2所示。使用螺旋测微仪(精度为0.001 mm)在猕猴桃果肉切片中部位置的3个不同点进行测定,并以3点的平均值作为果肉切片的厚度。

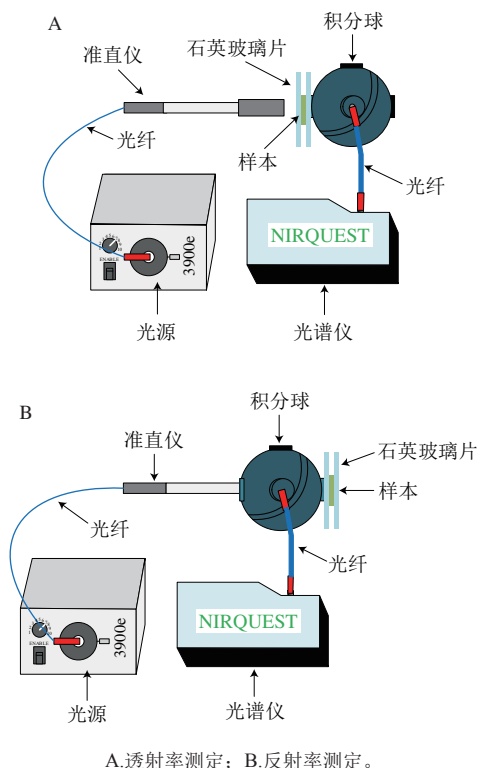


图1 样品透射率 T_T (A) 和反射率 R_T (B) 测定示意图
Fig. 1 Schematic diagram of measurement systems for transmittance T_T (A) and reflectivity R_T (B)

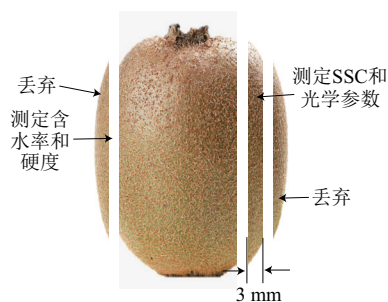


图2 猕猴桃切片及测定部位示意图
Fig. 2 Schematic diagram of kiwifruit slices and measuring positions

1.3.3 猕猴桃内部品质的测定

使用探头直径为8 mm的GY-4型硬度计测定去皮后果肉的硬度,用PR-101 α 型数字折射仪测定果汁的SSC。用101-1AB型干燥箱对猕猴桃果肉样本进行干燥,设置

干燥温度和干燥时间分别为70 °C和24 h,并根据干燥前后猕猴桃果肉质量计算出湿基含水率。每个参数重复2~3次,以平均值为测定结果。图2给出了用于测定SSC、光学参数、含水率和硬度的部位。

1.4 数据统计与分析

使用SPSS 21软件对数据进行齐性校验和方差分析, $P \leq 0.05$ 认为具有显著性差异,采用Matlab 2016软件进行样本划分和建立模型。样本集划分采用基于联合x-y距离的样本集划分(sample set partitioning based on joint x-y distance, SPXY)法,按照3:1的比例将每个CPPU质量浓度处理下的猕猴桃样本划分进校正集和验证集。其中,校正集(79个样品)建立预测各内部品质的PLSR模型,预测集(26个样品)验证模型的性能。所建模型的性能用校正集相关系数 R_c 、校正集均方根误差(root mean squares error of calibration, RMSEC)、预测集相关系数 R_p 和预测集均方根误差(root mean squares error of prediction, RMSEP)评估^[17-18]。

2 结果与分析

2.1 CPPU处理后生长期猕猴桃内部品质的变化

表1所示为经0、10和20 mg/L的CPPU处理后,生长期‘徐香’猕猴桃内部品质的测定结果。在猕猴桃成熟过程中,由于果实中淀粉等物质转化为可溶性糖,且果实的初生壁中部分原果胶在果胶酶的作用下分解^[15],因此随着果实成熟度的增加,不同质量浓度CPPU处理的猕猴桃SSC逐渐增加,含水率和硬度逐渐降低。而在同一时间下,相较于0 mg/L CPPU处理的猕猴桃,10、20 mg/L CPPU处理的猕猴桃其含水率显著升高,硬度显著降低,这与Pramanick等^[19]的研究结果相同。但不同质量浓度CPPU处理的猕猴桃SSC无显著差异,这与Liu Dayang等^[3]关于CPPU对猕猴桃的研究结果有所差异,其原因可能在于猕猴桃品种的差异。

表1 CPPU处理后猕猴桃的内部品质参数

Table 1 Internal quality parameters of kiwifruit after CPPU treatment

内部品质	CPPU质量浓度/(mg/L)	处理后时间/d				
		60	70	80	90	100
SSC/%	0	5.2±0.2 ^a	5.2±0.3 ^a	5.6±0.3 ^a	5.8±0.3 ^a	6.5±0.5 ^a
	10	5.2±0.3 ^a	5.2±0.2 ^a	5.3±0.1 ^a	5.4±0.2 ^a	6.4±0.5 ^a
	20	5.0±0.3 ^a	5.1±0.2 ^a	5.3±0.3 ^a	5.5±0.2 ^a	6.4±0.4 ^a
含水率/%	0	87.0±0.3 ^a	86.0±0.4 ^a	85.4±0.4 ^a	85.2±0.2 ^a	84.7±0.4 ^a
	10	88.9±0.5 ^b	88.2±0.5 ^b	87.7±0.3 ^b	86.9±0.7 ^b	86.7±0.2 ^b
	20	87.5±0.4 ^b	86.8±0.5 ^b	86.4±0.3 ^b	85.8±0.4 ^b	85.2±0.3 ^b
硬度/N	0	98.4±6.2 ^a	90.6±5.0 ^a	81.0±4.0 ^a	73.0±2.0 ^a	65.3±2.8 ^a
	10	85.7±3.6 ^b	71.3±2.8 ^b	61.0±2.7 ^b	57.6±2.7 ^b	54.2±2.3 ^b
	20	82.2±3.6 ^b	68.5±3.3 ^b	60.7±2.0 ^b	58.0±2.8 ^b	56.2±1.9 ^b

注: 相同指标同列肩标小写字母不同表示差异显著 ($P \leq 0.05$)。

2.2 CPPU处理后猕猴桃在950~1 650 nm波长范围内的光学特性

在950~1 650 nm的波长范围内, 经不同质量浓度CPPU处理后80 d时猕猴桃果肉的平均 μ_a 和 μ'_s 如图3所示。由图3A可知, 猕猴桃果肉的 μ_a 在980、1 190 nm和1 420 nm附近存在吸收峰。980 nm波长处的吸收峰主要与碳水化合物和水的O—H键有关, 1 190 nm波长处的吸收峰主要与碳水化合物的C—H键有关, 而1 420 nm波长处的吸收峰主要与水的O—H键有关^[20-21]。

随着波长的增加, 猕猴桃的 μ'_s 先缓慢下降, 至1 420 nm附近时又缓慢上升(图3B)。理论上, 果肉组织的 μ'_s 应随着波长的增加而减小^[22], 1 420 nm附近 μ'_s 出现波谷的可能是吸收和散射之间的串扰^[23], 或者是测定 R_T 时准直器在积分球内的插入导致反射光减弱^[24]。串扰对 μ'_s 的影响也发现于对苹果^[25]、土豆^[26]和蓝莓果肉^[9]光学参数的研究中。

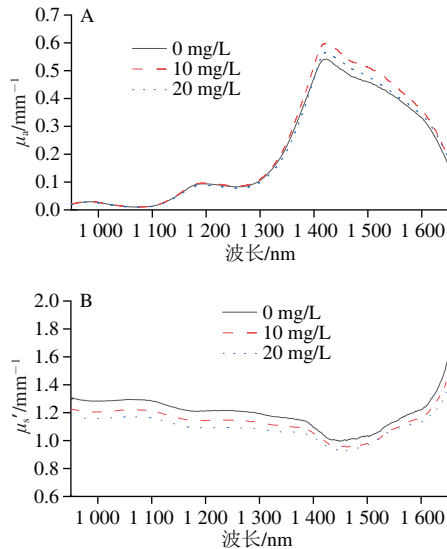
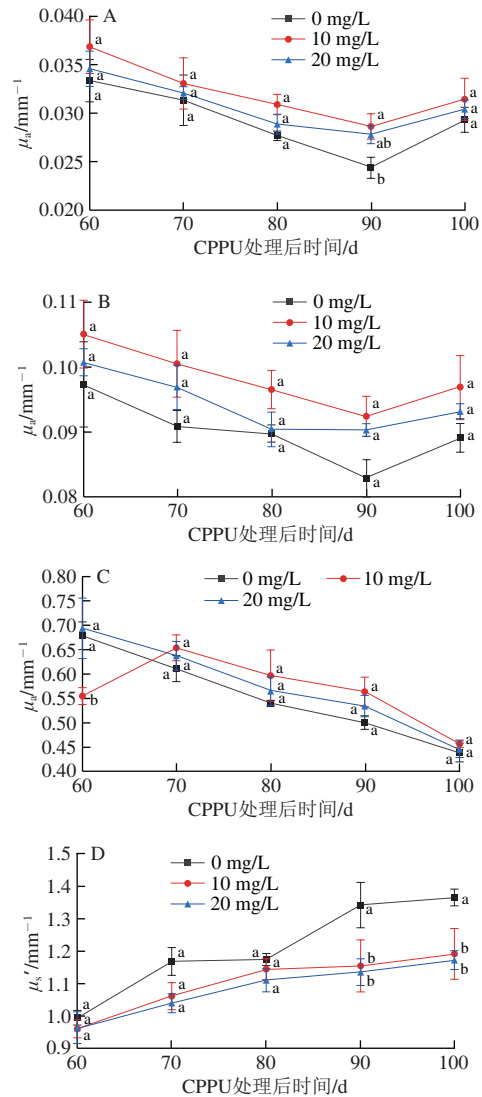


图3 经0、10和20 mg/L CPPU处理后第80天时猕猴桃果肉的 μ_a (A) 和 μ'_s (B) 的平均谱

Fig. 3 Average spectra of μ_a (A) and μ'_s (B) of kiwifruit pulp at 80 days after treatment with 0, 10 and 20 mg/L CPPU solutions

由图3可以看出, CPPU处理虽然没有改变 μ_a 和 μ'_s 随波长变化的规律, 但却导致 μ_a 和 μ'_s 的值发生变化。图4A~C给出了经不同质量浓度CPPU处理后, 猕猴桃 μ_a 在3个吸收峰(980、1 190 nm和1 420 nm)处随时间的变化规律。结果表明, 随着CPPU处理后时间的延长, 980 nm和1 190 nm波长处的 μ_a 先下降后升(图4A、B), 而1 420 nm波长处总体上 μ_a 随着时间的延长持续减小(图4C), 在60~70 d时, 经10 mg/L CPPU处理的猕猴桃果肉 μ_a 上升, 其原因可能来源于实验误差。同一时间下, 未经CPPU处理(0 mg/L)的样品具有最小的 μ_a , 而经10 mg/L CPPU处理的样品具有最大的 μ_a 。总体而言, CPPU处理对猕猴桃的 μ_a 没有显著性影响。



相同时间不同CPPU质量浓度下样品小写字母不同表示差异显著 ($P \leq 0.05$)。

图4 经CPPU处理后, 猕猴桃果肉在980 nm (A)、1 190 nm (B) 和1 420 nm (C) 波长处 μ_a 和1 190 nm波长处 μ'_s (D) 的变化

Fig. 4 Changes in μ_a of kiwifruit pulp at 980 (A), 1 190 (B) and 1 420 nm (C) and μ'_s at 1 190 nm (D) after CPPU treatment

从表1中可以发现, 随着CPPU处理后时间的延长, 猕猴桃的SSC持续增大, 且90 d后迅速增大, 而含水率在整个生长期逐渐降低。结合980 nm和1 190 nm波长处 μ_a 的变化趋势说明, 90 d之前, 含水率是影响 μ_a 的主要因素, 而90 d之后, 碳水化合物成为影响 μ_a 的主导因素^[3]。1 420 nm波长处 μ_a 与含水率的变化趋势相同, 这也说明了1 420 nm波长处的吸收决定于水。

图4D为1 190 nm波长处经不同质量浓度CPPU处理的猕猴桃果肉 μ'_s 随处理时间的变化规律。可以看出, 随着CPPU处理后时间的延长, μ'_s 持续增大, 且未经CPPU处理猕猴桃的 μ'_s 增加速率最快。在同一时间下, 未经CPPU处理猕猴桃的 μ'_s 最大, 而经20 mg/L CPPU处理样品的 μ'_s 最小。随着处理时间的延长, μ'_s 迅速增大的现象与硬度迅速

减小的趋势正好相反，这也进一步证实硬度是影响 μ'_s 的主要因素。此外，硬度减小而 μ'_s 增大这一现象也发现于对苹果光学参数的研究中^[27]。

2.3 猕猴桃光学特性与SSC、含水率和硬度的相关性

由图5可知，对于SSC， μ_a 与其呈现负相关（ $r=-0.09\sim-0.88$ ）， μ'_s 与其呈正相关（ $r=0.42\sim0.85$ ），且在1 400~1 650 nm内， μ_a 与SSC的相关性远强于其他波段，此时 $r=-0.82\sim-0.88$ 。对于含水率和硬度， μ_a 与其相关性正好与SSC相反，呈现正相关， r 比较接近，且在1 420 nm波长处相关性最好（ $r=0.90$ ），这与Gao Mengjie等^[16]的研究结果一致； μ'_s 与含水率和硬度呈现负相关， r 也比较接近（ $r=-0.42\sim-0.85$ ），且在950~1 400 nm波长范围内， μ'_s 与含水率和硬度之间的相关性最好，其 $|r|>0.84$ 。结果说明， μ_a 和 μ'_s 与内部品质的相关性随波长而变，且在某一波段内有很好的相关性。光学参数与内部品质之间的相关性在苹果^[18]和猕猴桃^[28]等水果中也有所研究，但相关性的正负却因水果种类不同而有所差异。

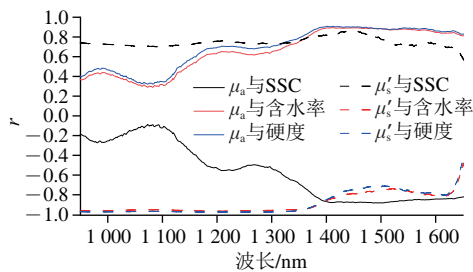


图5 猕猴桃SSC、含水率和硬度与 μ_a 和 μ'_s 的相关系数

Fig. 5 Correlation coefficients of SSC, moisture content and firmness with μ_a and μ'_s of kiwifruits

2.4 猕猴桃SSC、含水率和硬度的预测

表2为基于 μ_a 、 μ'_s 谱及 $\mu_a+\mu'_s$ 的混合谱（记为 $\mu_a+\mu'_s$ 谱）预测猕猴桃SSC、含水率和硬度时所建PLSR模型的潜在变量数以及建模结果。由表2可知，在预测SSC和含水率方面，与基于 μ'_s 和 $\mu_a+\mu'_s$ 谱建立的PLSR模型相比，基于 μ_a 谱所建PLSR模型的校正性能和预测性能最好（ $R_p=0.709$ ， $RMSEP=0.579\%$ ； $R_p=0.790$ ， $RMSEP=0.408\%$ ），其潜在变量数最大，分别为17和10，这也进一步说明，吸收系数 μ_a 与SSC及含水率有较高的相关性。对于硬度，基于 $\mu_a+\mu'_s$ 谱建立的PLSR模型效果最优（ $R_p=0.796$ ， $RMSEP=7.890$ N），基于 μ_a 谱和 μ'_s 谱建立的PLSR模型预测效果较差（ $R_p=0.641$ ， $RMSEP=7.096$ N； $R_p=0.573$ ， $RMSEP=9.431$ N）。理论上，果品组织的 μ'_s 主要与硬度等物理特性相关，故基于 μ'_s 谱预测硬度所建PLSR模型的预测性能时应为最佳，但本研究中却有所差异，其预测集的结果偏低，原因可能是所用的样本量偏少或者基于 μ'_s 谱所建PLSR模型存在过拟合的问题。

表2 基于不同光学参数谱预测猕猴桃SSC、含水率和硬度的PLSR建模结果

Table 2 Results of PLSR models for predicting SSC, moisture content and firmness of kiwifruit based on different optical parameters

参数	光学性质	潜在变量数	校正集		预测集	
			R_c	RMSEC	R_p	RMSEP
SSC	μ_a	17	0.961	0.209	0.709	0.579
	μ'_s	5	0.728	0.541	0.651	0.297
	$\mu_a+\mu'_s$	5	0.742	0.531	0.512	0.437
含水率	μ_a	10	0.901	0.471	0.790	0.408
	μ'_s	5	0.758	0.690	0.755	0.557
	$\mu_a+\mu'_s$	4	0.762	0.662	0.768	0.590
硬度	μ_a	8	0.862	7.938	0.641	7.096
	μ'_s	9	0.913	6.116	0.573	9.431
	$\mu_a+\mu'_s$	16	0.948	4.815	0.796	7.890

注：SSC和含水率的单位为%，硬度单位为N。

3 结论

1) CPPU使得‘徐香’猕猴桃的硬度降低，含水率升高，但对‘徐香’猕猴桃SSC无显著影响。2) CPPU不改变生长期‘徐香’猕猴桃的光学参数变化规律，仅对光学参数的数值造成影响； μ_a 和 μ'_s 与猕猴桃同一种内部品质之间，呈现出不同的正负相关性，且相关系数随波长而变，并在某一波段内有更好的相关性。3) 基于 μ_a 谱建立的PLSR模型预测‘徐香’猕猴桃SSC和含水率的效果最优（ $R_p=0.709$ ， $RMSEP=0.579\%$ ； $R_p=0.790$ ， $RMSEP=0.408\%$ ），而基于 $\mu_a+\mu'_s$ 谱建立的PLSR模型预测‘徐香’猕猴桃的硬度性能最佳（ $R_p=0.796$ ， $RMSEP=7.890$ N）。

本研究将有助于了解CPPU对生长期‘徐香’猕猴桃光学参数和内部品质的影响规律，并为基于近红外光谱预测猕猴桃的内部品质提供依据。在后续的研究中，可分析生长期猕猴桃可溶性固形物中果糖、葡萄糖和蔗糖等糖类的变化规律，并对生长期猕猴桃糖类与光学参数之间的关系加以探究。

参考文献：

- [1] SHAN T T, WEI J P, WANG Y, et al. Effects of different pesticides treatments on the nutritional quality of kiwifruit[J]. Journal of Food Science, 2021, 86(6): 2346-2357. DOI:10.1111/1750-3841.15763.
- [2] CRUZ-CASTILLO J G, WOOLLEY D J, LAWES G S. Kiwifruit size and CPPU response are influenced by the time of anthesis[J]. Scientia Horticulturae, 2002, 95(1/2): 23-30. DOI:10.1016/S0304-4238(01)00384-3.
- [3] LIU Dayang, GUO Wenchuan, LI Qianqian, et al. Effect of a plant growth regulator on optical properties of kiwifruit during growth in wavelength range of 950–1650 nm[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 156: 110918. DOI:10.1016/j.postharvbio.2019.05.019.
- [4] 董金磊, 郭文川. 不同质量浓度氯吡啶对猕猴桃果实理化参数的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(10): 145-151. DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.10.019.

- [5] 徐惠荣, 李青青. 皇冠梨糖度可见/近红外光谱在线检测模型传递研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(9): 312-317. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.09.039.
- [6] 肖慧, 孙柯, 屠康, 等. 便携式葡萄专用可见-近红外光谱检测仪器开发与实验[J]. 食品科学, 2019, 40(8): 300-305. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171124-305.
- [7] 彭彦昆, 李永玉, 赵娟, 等. 基于高光谱技术苹果硬度快速无损检测方法的建立[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(6): 667-671. DOI:10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.2012.06.022.
- [8] 任显丞, 张晓, 彭步迅, 等. 高光谱技术在苹果品质检测中的应用[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(1): 132-133. DOI:10.16377/j.cnki.issn1007-7731.2021.01.051.
- [9] ZHANG M Y, LI C Y, YANG F Z. Optical properties of blueberry flesh and skin and Monte Carlo multi-layered simulation of light interaction with fruit tissues[J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 150: 28-41. DOI:10.1016/j.postharvbio.2018.12.006.
- [10] 谢丹丹, 郭文川, 高梦杰, 等. 草莓的光学特性及其与可溶性固形物含量和含水率的关系[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 41-46. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20200209-058.
- [11] CEN H Y, LU R F, MENDOZA F. Analysis of absorption and scattering spectra for assessing the internal quality of apple fruit[J]. Acta Horticulturae, 2012, 945: 181-188. DOI:10.17660/ActaHortic.2012.945.24.
- [12] 潘磊庆, 魏康丽, 曹念念, 等. 果蔬光学参数测量及其在品质检测方面的研究进展[J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(1): 26-37. DOI:10.7685/jnau.201706029.
- [13] FAOSTAT. Crops and livestock products[DB/OL]. [2022-05-19]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- [14] 陕西统计局, 国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴(2020)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021: 133.
- [15] 任亚梅, 宋小青, 贺晓颖, 等. 猕猴桃生长过程中果肉和叶绿体的生理特性研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(8): 116-122. DOI:10.16429/j.1009-7848.2014.08.037.
- [16] GAO Mengjie, GUO Wenchuan, HUANG Xiaolan, et al. Effect of pressing and impacting bruises on optical properties of kiwifruit flesh[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 172: 111385. DOI:10.1016/j.postharvbio.2020.111385.
- [17] 樊书祥, 黄文倩, 李江波, 等. 特征变量优选在苹果可溶性固形物近红外便携式检测中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(10): 2707-2712. DOI:10.3964/j.issn.1000-0593(2014)10-2707-06.
- [18] 魏康丽, 刘畅, 丁海臻, 等. 苹果果肉可溶性固形物、可溶性糖与光学性质的关联[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 1-7. DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190118-218.
- [19] PRAMANICK K K, KASHYAP P, KISHORE D K, et al. Effect of summer pruning and CPPU on yield and quality of kiwi fruit (*Actinidia deliciosa*)[J]. Journal of Environmental Biology, 2015, 36(2): 351-356.
- [20] GOMEZ A H, HE Y, 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(2): 313-319. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.06.036.
- [21] LI J B, HUANG W Q, ZHAO C J, et al. A comparative study for the quantitative determination of soluble solids content, pH and firmness of pears by Vis/NIR spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(2): 324-332. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2012.11.007.
- [22] QIN J W, LU R F, PENG Y K. Prediction of apple internal quality using spectral absorption and scattering properties[J]. Transactions of the Asabe, 2009, 52(2): 499-507. DOI:10.13031/2013.26807.
- [23] HE X M, FU X P, RAO X Q, et al. Assessing firmness and SSC of pears based on absorption and scattering properties using an automatic integrating sphere system from 400 to 1 150 nm[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 121: 62-70. DOI:10.1016/j.postharvbio.2016.07.013.
- [24] CHENG J L, GUO W C, DU R Y, et al. Optical properties of different kiwifruit cultivars (*Actinidia deliciosa* and *Actinidia chinensis*) and their correlation with internal quality[J]. Infrared Physics & Technology, 2022, 123: 104113. DOI:10.1016/j.infrared.2022.104113.
- [25] ROWE P I, KUNNEMEYER R, MCGLONE A, et al. Relationship between tissue firmness and optical properties of 'Royal Gala' apples from 400 to 1 050 nm[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 94: 89-96. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.03.007.
- [26] LOPEZ-MAESTRESALAS A, AERNOUTS B, VAN BEERS R, et al. Bulk optical properties of potato flesh in the 500-1 900 nm range[J]. Food and Bioprocess Technology, 2016, 9(3): 463-470. DOI:10.1007/s11947-015-1639-0.
- [27] CEN H Y, LU R F, MENDOZA F, et al. Relationship of the optical absorption and scattering properties with mechanical and structural properties of apple tissue[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 85: 30-38. DOI:10.1016/j.postharvbio.2013.04.014.
- [28] LIU D Y, GUO W C, LI Q Q, et al. Relationship of the bulk optical properties in 950-1 650 nm wavelength range with internal quality and microstructure of kiwifruit during maturation[J]. Biosystems Engineering, 2019, 184: 45-54. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2019.05.005.