

巩雪峰,陈鑫,李红,等.加工辣椒无损品质检测方法及典型相关性分析[J].江苏农业科学,2022,50(14):170-176.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.14.024

加工辣椒无损品质检测方法及典型相关性分析

巩雪峰,陈鑫,李红,许艺,宋占锋

(四川省农业科学院园艺研究所/蔬菜种质与品种创新四川省重点实验室/
农业农村部西南地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,四川成都 610066)

摘要:以 123 份加工型辣椒的果实样品为材料。采用无损近红外光谱技术方法,分析了辣椒果实样品的近红外扫描光谱和辣椒素、粗脂肪与粗纤维含量的定标预测模型及样品的检测值,并运用无损色差技术方法,分析了辣椒样品色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 及色差值 E_{ab}^* ,同时,研究了辣椒无损品质检测方法与传统理化性状 2 组指标间的典型相关关系。结果表明,本研究所建立的加工型辣椒果实样品辣椒素、粗脂肪和粗纤维的近红外定标预测模型,其定标决定系数(RSQ)、交叉验证决定系数(1-VR)及外部预测决定系数均大于 0.8,而交叉验证标准偏差(SECv)和定标标准偏差(SEC)保持在低水平,说明所建模型对辣椒果实的辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量的检测具有稳定性和准确性;色价与色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 及 E_{ab}^* 均表现出极显著正相关关系($P < 0.01$),说明色差值可从不同角度完成对辣椒果实色泽品质的量化评价;通过典型相关性分析,辣椒果实样品无损品质性状与理化性状这 2 个变量组之间具有极显著相关性($P < 0.01$),相关系数为 0.973,是大于 2 组性状间各自的简单相关系数。

关键词:加工辣椒;无损品质检测;近红外光谱技术;色差;典型相关性分析

中图分类号: TS255 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)14-0170-07

加工专用型辣椒选育是近年来我国各大辣椒产区育种者的重要育种目标^[1-2]。在加工辣椒品种的选育过程中,研究者除了考虑植株产量、稳产性、抗性性状外,辣椒果实的加工品质性状也是衡量品种优劣的重要指标内容^[3]。通常对加工辣椒品质性状指标的研究主要集中在色泽、营养、风味、质地这 4 个影响指标上。其中,辣椒红素色价用于对色泽品质的评价,辣椒素含量用于对风味品质的评价,粗脂肪含量(或油分)等用于对营养品质的评价,粗纤维含量等用于对质地品质的评价。目前,对色价、辣椒素、粗脂肪及粗纤维含量等性状的检测通常是运用植物生理、生化学方法,通过研磨、匀

浆、离心、旋蒸、生化反应或抽提等精细的样品前处理,并借助液相色谱、紫外分光光度计等大型仪器分析而获得。通过传统的理化品质性状分析方法所得检测值具有精度高、数据稳定的优点,但是操作流程繁琐,测量时间长,获得数据结果周期性大,试剂耗材价格昂贵,而且当同期辣椒杂交组合增多、果实样品存放不得当或前处理不及时时,测量过程中会导致果实样本理化活性降低,样本之间误差系数增大的情况出现,极大影响了对品质性状筛选的准确性,非常不利于加工辣椒品种选育工作。因此,建立一套快速、高效的无损品质检测体系,且能够替代经典传统理化品质性状的检测方法,将有助于加速加工辣椒的品种选育进程。

无损检测技术是利用声、光、电、力等相关物理学特性,在果蔬等样品的理化性质为非破损状态下,通过对其内外部信息扫描获取与分析评价的技术^[4-7]。本研究将无损检测技术的近红外光谱与色差技术引入了加工辣椒的果实品质性状分析中。有关近红外光谱(near infrared reflectance spectrum,简称 NIRS)技术应用,目前在粮油、饲料等农业领域已有一系列现行国家与国际 NIRS 定量检测标准体系,包括了对水分、蛋白质、脂肪含量等品质指标的标准检测^[8-12]。近年来,虽然近红外光谱技术用于

收稿日期:2021-09-27

基金项目:四川省科技计划青年科技创新团队项目(编号:2021JDTD0006);四川省成都市技术创新研发项目(编号:2021-YF05-02283-SN);四川省农业科学院前沿学科研究项目(编号:2019QYXK008);四川省财政自主创新专项(编号:2022ZZC045);四川省农业科学院现代农业学科建设推进工程项目(编号:2021XKJS041)。

作者简介:巩雪峰(1983—),女,陕西周至人,博士,副研究员,从事辣椒种质资源学与遗传育种学研究。E-mail: xuefengong@qq.com。
通信作者:宋占锋,研究员,主要从事辣椒遗传育种研究。E-mail: 289544274@qq.com。

检测蔬菜品质的研究报道也越来越多,但并未形成相对成熟的体系。辣椒已发展为全国第一大蔬菜作物^[2-3],有关辣椒近红外光谱检测的前沿报道也相对较多,包括辣椒素、可溶固形物、维生素 C 含量等果实品质性状,但是对粗脂肪和纤维素含量的分析鲜有报道;色差技术是基于色差原理,运用光学设计和信号处理技术,通过应用色差仪(即分光测色仪)来模拟人眼的视觉系统进行色彩测量,使颜色数量化的一种分析方法^[13-24]。有关色差技术的应用,包括研究者运用色差仪对桑白皮、黄芩等中药材颜色与有效成分进行相关性分析^[14-15]。研究者还通过色差仪对黄瓜、甜瓜、辣椒等果皮颜色进行了遗传学及其他关联分析^[16-18]。但是,将色差仪应用于辣椒品质检测的研究鲜有报道。

本研究通过建立辣椒果实的辣椒素、粗纤维和粗脂肪的近红外定标模型,通过分析色差与色价的相关性,并运用典型相关性统计学分析,研究辣椒无损品质变量组与理化性状变量组之间的相关关系,讨论辣椒果实品质性状无损检测方法的快速、高效检测的可行性。本研究旨在建立准确、高效、体系化的辣椒无损品质性状检测方法,以期加工辣椒品质筛选提供科学有效的依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2020 年 1 月至 8 月在四川省农业科学院新都试验基地进行。供试辣椒材料为 123 份加工型杂交组合材料,于 1 月在连栋大棚内进行穴盘播种,4 月露地定植,8 月进行采收。采收时每份供试样品选取 20 株生长一致的辣椒,采摘每株结果主枝的第 4~6 节位的果实,每份供试样品采收 500 g 果实鲜样,鲜样采收后迅速置于泡沫冰盒内冷藏保鲜。

1.2 试验方法

1.2.1 备样 从基地采收至实验室的 123 份辣椒果实鲜样按顺序装入牛皮纸袋,于 60 ℃ 鼓风干燥箱中烘干至恒质量,用粉碎机粉碎后过 40 目筛,最终获得粉末状干样保存在塑封袋内,冷藏于 4 ℃ 冰箱待测。123 份待测干样品将用于色价、辣椒素、粗纤维、粗脂肪含量的理化性状测定及无损品质性状分析。

1.2.2 理化性状测定项目与方法 辣椒素含量采用 NY/T 1381—2007《辣椒素的测定 高效液相色谱法》的方法测定。称取 0.2 g 待测干样并精确到

0.000 1 g,向称取的样品中加入 25 mL 甲醇-四氢呋喃溶液,在 60 ℃ 水浴条件下,用超声波提取器提取 30 min,过滤,收集滤液,将滤渣连同滤纸重新用 25 mL 甲醇-四氢呋喃溶液经超声提取器提取 10 min 后,再重复 1 次。将 3 次过滤收集的滤液合并,在 70~75 ℃ 恒温水浴下浓缩至 30 mL 左右,转移至 50 mL 容量瓶,用甲醇-四氢呋喃溶液定容,经 0.45 μm 有机相滤膜过滤后进行色谱分析。色谱条件:色谱柱, C₁₈ 150 mm × 4.6 mm, 粒径 5 μm; 流动相为甲醇:水 = 4:1 (体积比), 用前过 0.45 μm 滤膜, 脱气; 流速为 0.6 mL/min; 荧光检测器的激发波长为 229 nm, 发射波长为 320 nm; 进样量为 10 μL。

$$\text{辣椒素含量 (mg/g)} = \frac{A \times \rho_s \times V}{A_s \times m \times 1\,000}。$$

式中: A 为试样中辣椒素的峰面积积分值; A_s 为标准工作液中辣椒素的峰面积积分值; ρ_s 为标准工作液中辣椒素的质量浓度, mg/L; V 为试样最终定容体积, mL; m 为试样质量, g。

粗脂肪含量采用索氏抽提法测定。称取 2.0 g 待测干样并精确到 0.000 1 g, 用滤纸包好, 在 105 ℃ 烘箱中干燥 3 h 取出, 在干燥器中冷却, 称质量 (m₁)。将样包装入索氏脂肪抽提器抽提筒中, 再倒入无水乙醚, 完全浸泡样包, 连接好索氏抽提器各部分, 浸泡至少 16 h。将浸泡后的样包放入抽提瓶中, 在抽提瓶中放入几粒沸石, 然后, 往抽提瓶中倒入无水乙醚使之完全浸泡样包, 连接好仪器各部分, 接通冷凝水, 在 70~80 ℃ 水浴上加热, 使乙醚回流, 控制乙醚回流次数为 8 次/h, 即乙醚回滴速度为 120~150 滴/min, 抽提 6 h。抽提完毕, 取出样包, 置样包于通风处使乙醚挥发。将样包放入 105 ℃ 烘箱中干燥 2 h, 取出, 在干燥器中冷却, 称质量 (m₂)。

$$\text{粗脂肪含量} = \frac{m_1 - m_2}{m} \times 100\%。$$

式中: m₁ 为第 1 次烘干的质量, g; m₂ 为第 2 次烘干的质量, g; m 为称取试样的质量, g。

粗纤维含量采用 GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》方法测定。称取 5.0 g 待测干样, 移入 500 mL 锥形瓶中, 加入 200 mL 煮沸的 1.25% 硫酸, 加热使其微沸, 保持体积恒定, 持续 30 min, 定时晃动锥形瓶, 使瓶内物质混合充分; 取下锥形瓶, 迅速用亚麻布过滤, 用沸水洗涤至洗液呈酸性; 再用 200 mL 煮沸的 1.25% 氢氧化钾溶液, 将亚麻布上的存留物洗入原锥形瓶内加热至沸腾

后持续30 min,取下锥形瓶,立即以亚麻布过滤,以沸水洗涤 2 ~3 次后,移入已干燥称质量的 G2 垂融坩埚或同型号的垂融漏斗中,抽滤,用热水充分洗涤后抽干。再依次用乙醇和乙醚洗涤 1 次。将坩埚和内容物在 105 ℃烘箱中烘干后称量,重复操作,至恒质量。

粗纤维含量 = $\frac{m_G}{m_M} \times 100\%$ 。

式中: m_G 为残余物的质量,g; m_M 为样品质量,g。

辣椒红素色价采用国标 GB 1886. 34—2015《食品安全国家标准 食品添加剂 辣椒红》的方法测定。称取 0.1 g 待测干样并精确到 0.000 1 g,用无水乙醇取代丙酮浸提样品中的辣椒红素。将浸提液按序点样在 96 孔酶标板上,用多功能酶标仪(赛默飞世尔 Multiskan GO)在 460 nm 处读取吸光度值,96 孔板的通径长度为 0.58 cm。

色价($E_{1\text{ cm}}^{1\%}$) = $\frac{D_{460\text{ nm}} \times f}{m \times p \times 100}$ 。

式中: $D_{460\text{ nm}}$ 为 460 nm 处样本的吸光度; f 为稀释倍数; m 为样本称量质量; p 为 96 孔酶标板的通径长度。

以上所有理化性状测定项目的各样品均做重复 3 次,结果为 3 次试验的均值。

1.2.3 无损品质性状检测的方法 近红外光谱检测采用福斯(FOSS)NIRS DS2500 型近红外光谱仪,光谱区范围为 400 ~ 2 500 nm,光谱分辨率为 0.5 nm,测量方式为漫反射。

光谱采集:将 123 份供试样品的待测干样 20 g 按序逐一装入样品杯中,用压块压实进行扫描。每个样品测定 2 次,第 1 次测定后的干样与原待测样品混匀后,再取样 20 g 进行第 2 次测定,获取光谱。扫描获得所有样品的近红外光谱。

建立定标模型:123 份样品的理化性状测定值结合所对应近红外光谱,通过 WinISI 定标软件系统进行建模。用 WinISI 将全部样品材料随机分为建模集和验证集 2 个部分,建模集用于建立定标方程和模型的内部交叉检验,验证集用于模型的外部验

证。对建模集进行计算得分,剔除马氏距离(GlobalH,简称 GH)大于 3 的特异样本,获得定标集。用定标集建立定标方程,用标准正常化处理 + 去偏异技术(SNV + Detrend)进行散射校正,用改进式偏最小二乘(modifiedpartial least square,简称 MPLS)回归方法分析定标样本,通过定标建立预测模型。

色差分析采用柯尼卡(KONICA)CM700D/600D 型分光测色仪,将 123 份供试样品的待测干样 3 g 按序逐一装入培养皿中,均匀平铺于底部,设置 ΔE_{ab}^* (CIELAB)D65 光源,8 度视角,孔径 8 mm,仪器误差值小于 0.4,用黑白板校正仪器后进行样品测定,记录色度值(L^* 、 a^* 、 b^*)并计算色差值(E_{ab}^*),计算公式为 $E_{ab}^* = \sqrt{L^{*2} + a^{*2} + b^{*2}}$ ^[14];其中, L^* 值越大表示颜色越亮/浅, a^* 值越大表示颜色越红, b^* 值越大表示颜色越偏黄。各样品测定重复 3 次。

1.2.4 数据统计与分析 每个检测指标重复测定 3 次取平均值。利用 Microsoft Excel 2016 进行数据图表处理;用 SPSS 16.0 进行数据的 Kolmogorov - Smirnov 检验(KS - 检验)、正态分布、回归分析、相关性关系及典型相关性分析等数理统计学分析。

2 结果与分析

2.1 辣椒果实理化性状结果分析

测得 123 份供试样品理化性状数据结果见表 1,可以看出辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量和色价的变幅和极差都较大,基本包含了加工型辣椒育种研究的各品质性状的变幅范围。供试样品 4 个理化性状的 KS - 检验分析表明辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量和色价的渐进显著性(双侧)分别为 0.398、0.681、0.113、0.998,均大于 0,说明 4 个理化性状指标服从正态分布。由图 1 可知,供试样品辣椒素含量、粗脂肪含量、粗纤维含量和色价值符合正态分布情况,进一步说明选择供试样品的理化性状辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量符合近红外光谱建模要求。

表 1 辣椒果实样品生理生化性状统计

指标	粗脂肪含量(%)	粗纤维含量(%)	辣椒素含量(mg/g)	色价值
变幅	6.120 ~ 11.910	7.530 ~ 22.140	0.270 ~ 1.292	9.657 ~ 26.781
平均值	8.462	13.878	0.741	16.883
极差	5.790	14.610	1.022	17.124
标准差	0.882	1.756	0.205	3.833

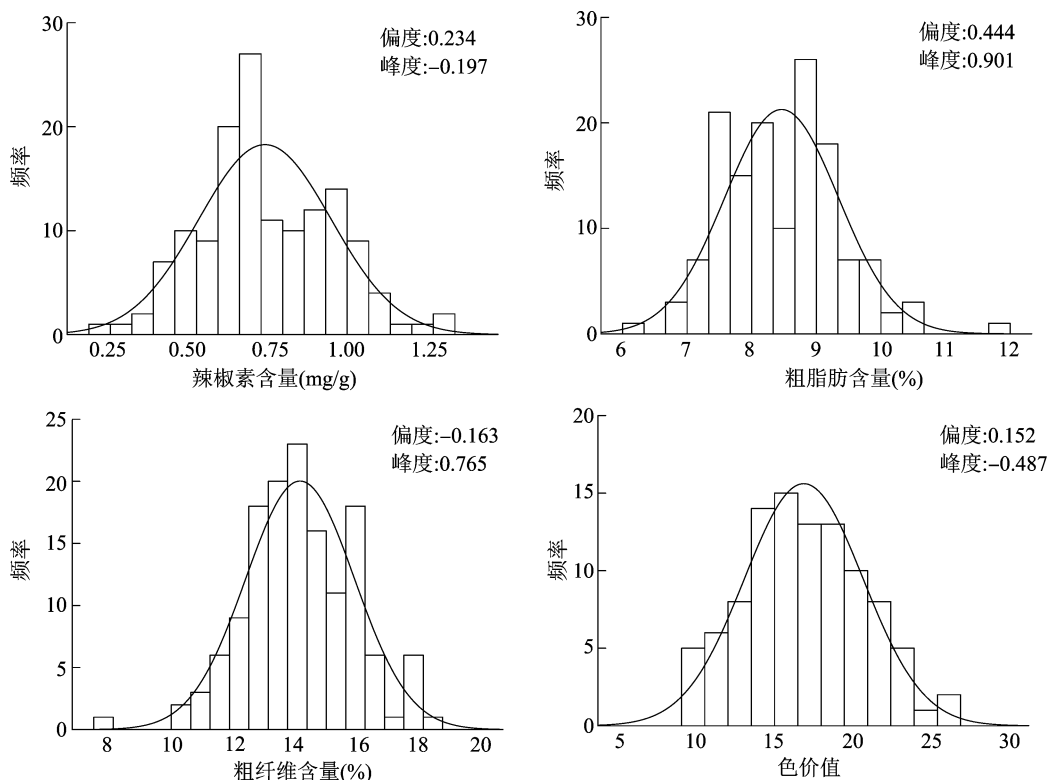


图1 辣椒果实样品理化性状频率直方图

2.2 辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量的无损 NIRS 模型建立与预测效果分析

2.2.1 辣椒果实样本近红外光谱特征 对 123 份辣椒供试样品分别进行光谱扫描,获得近红外光谱见图 2。辣椒样品在全波长 850 ~ 2 500 nm 范围内,包含了多个光谱吸收峰;不同辣椒样品由于对近红外光吸收特征的不同,所表现出的光谱图是有所差异的,说明辣椒供试样品间成分及含量的差异。

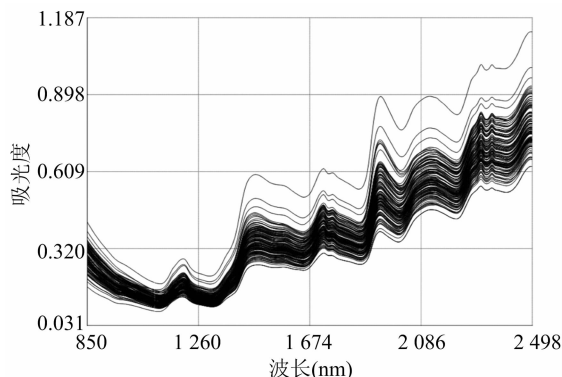


图2 辣椒果实样本近红外光谱特征

2.2.2 NIRS 数学模型的内部交叉检验 根据已经测定的辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量结合各辣椒供试样品相对应的近红外光谱分别拟合数学模型。通过操作 WinISI 软件,按照建模集与验证集 3 : 1 的比例,将外部验证的验证集光谱个数设为 30,其

他样本作为建模集并通过计算得分别除特异样本,最终用于定标集定标的光谱样本数量见表 2。辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量均具有较高的定标决定系数(RSQ)和交叉验证决定系数(1 - VR),同时,交叉验证误差(SECv)和校正标准偏差(SEC)均较低,其中粗脂肪的 RSQ 和 1 - VR 最高,分别是 0.983 5 和 0.980 0;SECv 和 SEC 分别为 0.128 3 和 0.111 8。尽管辣椒素含量的各决定系数较之最低,但是其 RSQ 和 1 - VR(分别是 0.839 3 和 0.752 2)及 SECv 和 SEC(分别为 0.078 1 和 0.064 5)接近化学分析的精确度。说明所建模型各项决定系数和标准误差可以满足辣椒样品辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量分析,均达到了预期效果。

表2 辣椒粗脂肪、粗纤维和辣椒素含量的定标、交叉验证结果

统计参数	粗脂肪含量	粗纤维含量	辣椒素含量
定标光谱(个)	85	84	78
外部验证光谱(个)	30	30	30
谱区范围(nm)	850 ~ 1 098.2 1 100 ~ 2 498.2	850 ~ 1 098.2 1 100 ~ 2 498.2	850 ~ 1 098.2 1 100 ~ 2 498.2
RSQ	0.983 5	0.983 1	0.839 3
1 - VR	0.980 0	0.980 8	0.752 2
SEC	0.111 8	0.196 8	0.064 5
SECv	0.128 3	0.215 0	0.078 1

2.2.3 定标模型对品质性状预测效果分析 对建立的定标模型的实际预测效果进行外部验证,如图 3 所示,辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量预测值与理化性状值的回归分析中,决定系数 r^2 均大于 0.8,结果表明,预测值与 3 个理化性状值都比较接近,变量与自变量之间具有较好的线性关系。

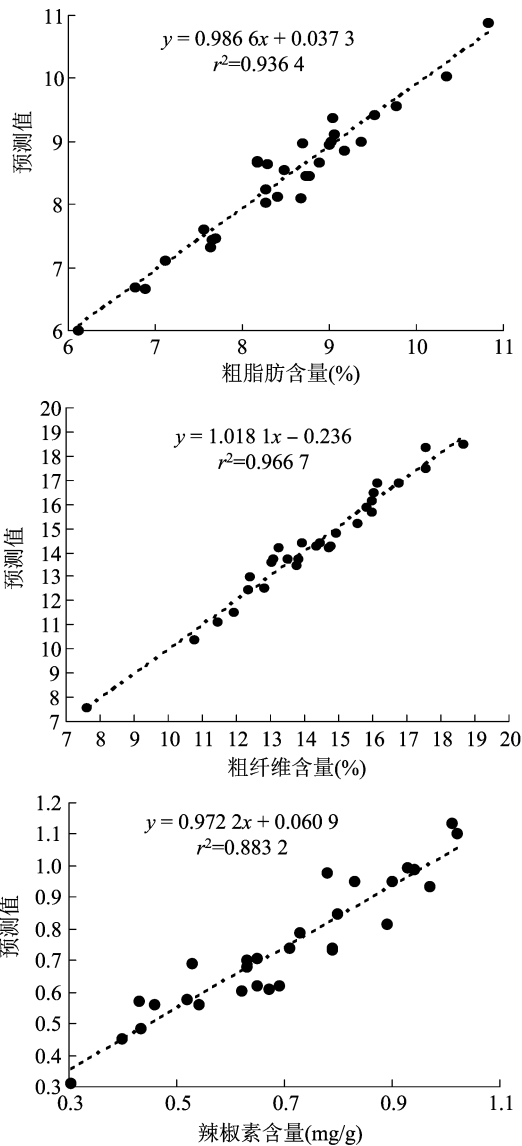


图3 辣椒粗脂肪、粗纤维和辣椒素含量的生理生化性状与预测值的决定系数

2.3 色差分析及色差与色价的相关性分析

通过色差仪对 123 个辣椒样品进行扫描获得 L^* 、 a^* 和 b^* 值,通过计算得到色差 E_{ab}^* ,统计结果见表 3。将所得 L^* 、 a^* 、 b^* 和 E_{ab}^* 值与对应辣椒样品色价值之间建立相关关系,结果发现(表 4),色价与色差值在 0.01 水平上有极显著正相关性,相关系数为 0.703,说明在 70.3% 的程度上色差值越大,辣椒色

价值就越高;色价与色度 L^* 、 a^* 、 b^* 在 0.01 水平上均有极显著正相关性,相关系数分别为 0.776、0.578、0.550。同时,色差 E_{ab}^* 与色度 L^* 、 a^* 、 b^* 的相关系数均大于 0.9,在 0.01 水平上有极显著正相关性。

表 3 辣椒果实样品色差测定结果

色度	变幅	平均值	标准差
L^*	21.315 ~ 38.322	28.614	3.315
a^*	1.129 ~ 27.738	14.688	5.425
b^*	1.231 ~ 16.915	9.292	3.252
E_{ab}^*	21.375 ~ 47.763	33.759	5.653

表 4 辣椒果实色价与色度相关性关系分析结果

指标	相关系数				
	色价	E_{ab}^*	L^*	a^*	b^*
色价	1.000				
E_{ab}^*	0.703 **	1.000			
L^*	0.776 **	0.941 **	1.000		
a^*	0.578 **	0.952 **	0.803 **	1.000	
b^*	0.550 **	0.938 **	0.788 **	0.975 **	1.000

注: ** 表示在 0.01 水平上显著相关。表 7 同。

2.4 辣椒无损品质与理化性状的典型相关性分析

为了从总体上把握辣椒果实传统理化性状与无损品质性状之间整体相关性,设定辣椒果实 4 个理化性状值(辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量、色价)依次为 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 。通过“2.2”节所建立的近红外定标预测模型而获得辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量品质性状值,依次设定为 y_1 、 y_2 、 y_3 ;无损品质性状中的色差 E_{ab}^* 值设为 y_4 ,与 x_4 色价值所对应。通过 SPSS 软件进行典型相关性分析,结果见表 5。

理化性状为第 1 组变量 U ,无损品质性状为第 2 组变量 V ,二者之间计算共得 4 组相关系数,4 组相关系数均达到极显著水平($P < 0.01$)。第 1 典型相关系数为 0.973,第 2、3、4 典型相关系数分别为 0.954、0.750、0.719。其中,第 1 典型相关系数均大于各自的简单相关分析的相关系数。 U_1 中脂肪含量(x_2)和粗纤维含量(x_3)的系数绝对值明显大于其他 2 个理化性状系数,对应 V_1 中,粗脂肪近红外 NIRS 值(y_2)和粗纤维近红外 NIRS 值(y_3)的系数绝对值也明显大于其他 2 个品质性状,说明第 1 对典型相关主要由 x_2 、 y_2 和 x_3 、 y_3 这 2 组变量相关引起的。

表 5 生理生化指标与品质性状的典型相关性分析

第 1 组 变量 U	第 2 组 变量 V	典型 相关系数	典型变量
理化性状	无损品质性状	0.973 **	$U_1 = -0.099x_1 - 0.657x_2 + 0.603x_3 - 0.006x_4; V_1 = -0.091y_1 - 0.693y_2 + 0.554y_3 - 0.009y_4$
		0.954 **	$U_2 = 0.135x_1 + 0.720x_2 - 0.818x_3 - 0.061x_4; V_2 = 0.052y_1 + 0.692y_2 - 0.856y_3 - 0.137y_4$
		0.750 **	$U_3 = -0.562x_1 + 0.195x_2 + 0.106x_3 + 0.804x_4; V_3 = -0.477y_1 - 0.267y_2 + 0.091y_3 + 0.841y_4$
		0.719 **	$U_4 = 0.850x_1 - 0.309x_2 - 0.163x_3 - 0.615x_4; V_4 = 0.964y_1 - 0.433y_2 - 0.021y_3 - 0.537y_4$

3 讨论与结论

本研究运用近红外光谱分析技术建立了辣椒果实样品的辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量的近红外定标预测模型。粗脂肪、粗纤维含量模型的定标决定系数和交互验证决定系数均大于 0.98, 外部验证决定系数(分别为 0.937、0.967)也均大于 0.9, 是具有较高的稳定性和准确度的。李沿飞等分别建立了干椒辣度和鲜椒辣椒素的近红外最优定标模型, 近红外模型的定标集和外部预测决定系数在 0.8 以上^[19-20], 本研究辣椒素预测模型的定标决定系数、交互验证决定系数及外部预测决定系数均在 0.8 以上, 与前人研究结果^[20-30]基本一致, 说明该辣椒素定标预测模型的可用于实际预测。另外, 在饲草、油料学科中 Williams 等在评价近红外光谱定标预测模型时, 用相对分析误差值对模型进行评价, 其中, 交互验证集相对分析误差 = 样品集标准差/定标集标准偏差; 验证集相对分析误差 = 样品标准差/验证集标准误差, 当 2 个相对分析误差 ≥ 3.0 时, 则能够精确预测相关成分含量^[31-33]。本研究获得的辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量定标预测模型的交互验证集相对分析误差和验证集相对分析误差均在 3.0 以上。结果表明, 运用无损近红外光谱技术对辣椒果实样品的辣椒素、粗脂肪和粗纤维含量检测具有稳定性、准确性、可行性, 可以实现辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量的高效检测。

加工辣椒红果的色泽是由天然红色素—辣椒红素积累而成。辣椒红素在红果中积累的越多, 则色泽越鲜艳, 说明该红果样品加工品质就越高。色价是天然色素的主要质量指标之一, 衡量辣椒红色素的高低一般是用色价值来描述^[34]。色价是目前对辣椒果实中辣椒红素含量分析的重要指标。而色差是颜色客观的数字化分析, 运用色差仪对植物组织器官进行 L^* 、 a^* 、 b^* 值及 E_{ab}^* 的量化分析, 已在蔬菜、中草药、烟草等农业领域有较广泛的应

用^[14,17-18,35-37]。本研究通过对 123 份加工型杂交组合辣椒果实样品进行色度扫描和色价值的测定, 获得了色度值 L^* 、 a^* 、 b^* , 并计算获得色差值 E_{ab}^* , 同时, 建立了色价与 L^* 、 a^* 、 b^* 及 E_{ab}^* 的相关关系。结果表明, 辣椒果实色价与色度值 L^* 、 a^* 、 b^* 及 E_{ab}^* 均存在极显著正相关。尹成刚在利用色差技术对色素辣椒种质资源果实贮藏褪色问题的研究中, 发现色价与 a^* 呈极显著正相关, 且相关系数为 0.766^[37]。而本研究的色价与 a^* 的相关系数为 0.578, 也为极显著正相关关系。本研究说明了色差值和色价值的检测原理和概念虽然不同, 但从不同角度对辣椒果实色泽品质进行了量化评价。

为了揭示加工型辣椒无损果实品质与理化性状的对应相关系数和线性关系, 本研究将传统生理生化试验检测获得的辣椒素、粗脂肪、粗纤维含量及色价指标值设为一组变量, 将通过近红外分析仪和色差仪检测获得的辣椒素、粗脂肪及粗纤维含量及色差 E_{ab}^* 辣椒果实品质性状指标设为另一组变量, 通过多元统计分析方法的典型相关对 2 组变量进行典型相关分析。研究发现, 第 1 组变量理化性状与第 2 组变量无损品质的典型相关系数达极显著水平, 其中, 第 1 典型相关系数大于 2 组间各自的简单相关系数, 说明了加工辣椒无损品质性状检测方法可作为传统理化性状检测的替代方法。

本研究为建立加工辣椒无损品质性状检测方法的体系化提供了数据支撑。研究初步建立了可以实现用简单、快速、易测且样品使用量不大的体系化方法, 对加工辣椒品质育种的快速可靠筛选, 这对加工辣椒选育实践具有重大的意义。

参考文献:

- [1] 李怡斐, 黄启中, 张世才, 等. 加工型辣椒果实品质研究概述 [J]. 辣椒杂志, 2014, 12(3): 1-5.
- [2] 邹学校, 马艳青, 戴雄泽, 等. 辣椒在中国的传播与产业发展 [J]. 园艺学报, 2020, 47(9): 1715-1726.
- [3] 王立浩, 张宝玺, 张正海, 等. “十三五”我国辣椒育种研究进展、

- 产业现状及展望[J]. 中国蔬菜,2021(2):21-29.
- [4]刘妍,周新奇,俞晓峰,等. 无损检测技术在果蔬品质检测中的应用研究进展[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2020,46(1):27-37.
- [5]徐赛,陆华忠,丘广俊,等. 水果品质无损检测研究进展及应用现状[J]. 广东农业科学,2020,47(12):229-236.
- [6]郭志明,郭闯,王明明,等. 果蔬品质安全近红外光谱无损检测研究进展[J]. 食品安全质量检测学报,2019,10(24):8280-8288.
- [7]马佳佳,王克强. 水果品质光学无损检测技术研究进展[J]. 食品工业科技,2021,42(23):427-437.
- [8]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 小麦水分含量测定 近红外法;GB/T 24898—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [9]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 玉米粗蛋白质含量测定 近红外法;GB/T 24901—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [10]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 玉米粗脂肪含量测定 近红外法;GB/T 24902—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [11]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 玉米淀粉含量测定 近红外法;GB/T 25219—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [12]国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 稻谷粗蛋白质含量测定 近红外法;GB/T 24897—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [13]Apetrei C, Apetrei I M, Villanueva S, et al. Combination of an e-nose, an e-tongue and an e-eye for the characterisation of olive oils with different degree of bitterness[J]. Analytica Chimica Acta, 2010, 663(1):91-97.
- [14]高原,方妍,单梦瑶,等. 基于色差原理分析不同产地桑白皮有效成分含量与颜色的相关性[J]. 中国药房,2021,32(2):213-219.
- [15]武艳雪,翁丽丽,姜雨昕,等. 基于色差原理分析黄芩化学成分含量与色度相关性[J]. 世界科学技术(中医药现代化),2020,22(8):2839-2844.
- [16]王建科,方小雪,李雪红,等. 黄瓜嫩果皮颜色的遗传研究[J]. 园艺学报,2013,40(3):479-486.
- [17]郭咏梅,段旭东,白健君,等. 观赏辣椒果实花青素提取及果色相关性分析[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2021,41(1):48-58.
- [18]丁盼盼,江海坤,刘童光,等. 辣椒果皮颜色的遗传分析[J]. 中国蔬菜,2016(12):14-21.
- [19]李沿飞,胡羽,屠大伟,等. 近红外光谱技术快速无损测定干辣椒的辣度[J]. 食品科技,2013,38(1):314-318.
- [20]吕晓茜,蒋锦琳,杨静,等. 基于特征波长建模的近红外光谱技术检测辣椒素含量[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版),2019,45(6):760-766.
- [21]覃方丽,闵顺耕,石正强,等. 鲜辣椒中糖份和维生素C含量的近红外光谱非破坏性测定[J]. 分析试验室,2003,22(4):59-61.
- [22]刘燕德,周延睿,潘圆媛. 基于最小二乘支持向量机的辣椒可溶性固形物和维生素C含量近红外光谱检测[J]. 光学精密工程,2014,22(2):281-288.
- [23]余梅,李尚科,易智,等. 近红外光谱技术在辣椒无损检测中的应用研究[J]. 中国果菜,2020,40(5):79-82,92.
- [24]董楠,胡羽,邹研,等. 近红外快速测定干辣椒中辣度的研究[J]. 保鲜与加工,2016,16(6):125-129.
- [25]李施蒙,王耐红,张敏,等. 甘蓝型油菜脂肪酸组分近红外分析模型构建[J]. 广东农业科学,2014,41(21):16-21.
- [26]张俊,张义荣,卢宝红,等. 高油玉米群体油分、蛋白质和淀粉含量近红外分析模型的构建[J]. 玉米科学,2007,15(3):62-66.
- [27]陈海燕,杨俊华,杨奇,等. 宁夏养殖自配料豆粕营养成分近红外分析模型的建立与应用[J]. 宁夏农林科技,2020,61(11):1-5.
- [28]尚晨,张月学,李炎,等. 紫花苜蓿粗蛋白和粗纤维近红外分析模型的建立[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(12):3250-3253.
- [29]张帆,耿响,张恒,等. 基于近红外光谱的茶叶中粗纤维快速测定方法研究[J]. 江西化工,2020,36(5):56-59.
- [30]李沿飞,胡羽,屠大伟,等. 近红外光谱法预测干辣椒辣度的影响因素分析[J]. 中国调味品,2013,38(2):92-95,117.
- [31]Williams P C, Norris K H, et al. Implementation of near-infrared technology in the agricultural and food industries[M]. 2nd ed. St Paul Minn: American Association of Cereal Chemists, 2001:145-169.
- [32]Chen G L, Zhang B, Wu J G, et al. Nondestructive assessment of amino acid composition in rapeseed meal based on intact seeds by near-infrared reflectance spectroscopy[J]. Animal Feed Science and Technology, 2011, 165(1/2):111-119.
- [33]王勇生,李洁,王博,等. 基于近红外光谱扫描技术对高粱中粗脂肪、粗纤维、粗灰分含量的测定方法研究[J]. 中国粮油学报,2020,35(3):181-185.
- [34]尹成刚,刘建萍,易晓华,等. 色素辣椒品种资源色价评估及育种潜力分析[J]. 中国农学通报,2009,25(23):303-307.
- [35]郭文,黎玉茗,赵瑞峰,等. 色差仪在烟用香青色泽检测中的应用[J]. 烟草科技,2020,53(10):73-80,87.
- [36]任凯,陈通,陆道礼,等. 基于微型可见光谱仪的茶汤色差的研究[J]. 江苏农业科学,2020,48(2):201-206.
- [37]尹成刚. 色素辣椒种质资源评估研究[D]. 山东:青岛农业大学,2010:21-31.