

“灵武长枣”的介电特性和内在品质的关系

郭晓丹, 张海红, 周世平, 章 中, 李海峰

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁夏地方特色农产品“灵武长枣”为研究对象,在货架期间利用 LCR 测试仪在特征频率 223.8 kHz($10^{5.35}$ kHz)下测试了长枣并联等效电容(C_p)、电导(G)、阻抗相角(θ)、复阻抗(Z)等电学指标;并对与长枣的果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度等物理力学品质指标和水分含量、可滴定酸含量、可溶性固形物含量等化学品质指标进行了比较分析,以筛选出相关性强的特征电学参数;在此基础上对电学参数与品质指标的变化规律进行了回归分析,以探讨基于介电特性的“灵武长枣”无损检测、品质评价的可行性。结果表明:“灵武长枣”的品质指标(果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度、水分含量、可溶性固形物含量)与电学参数(C_p 、 G 、 θ 、 Z)具有很强的相关性,达到差异显著水平($P < 0.05$),对其品质指标所建立的电参数模型可有效预测长枣品质;利用“灵武长枣”的介电特性参数预测评价长枣的内在品质是可行的。

关键词:“灵武长枣”;介电特性;内部品质

中图分类号:S 665.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)11-0001-06

宁夏“灵武长枣”是国家地理标志保护的地方特色农产品之一,具有个大色红、皮薄质脆、味道甜美、营养丰富等特点,已远销至国内外。但是,“灵武长枣”在激烈的市场竞争中也存在着贮存期短,分级劳动强度大,标准化程度低,难以剔除有内部缺陷的枣果等问题,使产品的销售价格远低于其应有价值,使广大枣农和相关企业蒙受了巨大的经济损失。因而如果能在流通及销售中,及时检查枣果的品质,剔除有缺陷的枣果,实现严格的质量分级,则既可减少损失,又可提高长枣的贮藏期、出口等级,从而促进长枣产业的发展。

同其它果品一样,长枣生物体内部也存在着电场,表现出某些电磁现象。这种微观电磁现象实质上决定着长枣的生理、物理和化学特性,进而影响果实成熟度、新鲜度等品质因素。基于介电特性的果品无损检测方法是利用水果本身在电场中介电特性参数的变化来预测水果的综合品质,由于所用的设备相对简单,信号的获取和处理比较容易,因此有着广阔的应用前景和研究价值。唐燕等^[1]研究发现 1 MHz 频率下桃果实的电参数(复阻抗 Z 、并联等效电感 L_p 、并联等效电容 C_p)和品

质参数(硬度、可溶性固形物、可滴定酸、含水率)有很强相关性。Nelson 等^[2]发现哈密瓜果肉的介电常数和可溶性固形物含量具有很强的相关性,2 个研究均建立了关联方程,可以利用介电常数的值来有效地预测果品品质。袁子惠等^[3]对芒果的介电参数(相对介电常数、介电损耗因素 D)和理化参数(总糖含量、含水率、维生素 C 含量、pH 值)建立了回归方程;李英等^[4]对桃子的研究表明,在 100 MHz 时桃果实的电特性和糖度、酸度之间的关系密切;郭文川等^[5]研究发现,在 1.8 GHz 下,蜜瓜汁的介电常数和可溶性固形物有较好的相关性,西瓜汁的介电常数和可溶性固形物的相关性较差;郭文川等^[6]研究发现银凤桃的介电常数和可溶性固形物、pH 值、含水率之间没有明显的线性关系。尽管前期进行了大量的研究工作,但是基于介电特性的枣果无损检测鲜有报道。现以宁夏地方特色农产品“灵武长枣”为研究对象,研究其在成熟衰老过程中内部品质与介电特性参数之间的关系,寻找敏感电参数,探索长枣电特性随其内在品质变化而变化的规律,从而研究利用枣果的介电特性参数推测长枣内在品质的可行性,以期利用电学特性预测枣品内部品质、新鲜度提供理论依据,并为枣果的在线无损检测寻求新的方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试“灵武长枣”采摘于宁夏回族自治区灵武市大泉林场红枣生产基地,选取大小均匀、成熟度一致、果型相似的长枣。装箱后运回实验室,常温下贮存备用。

第一作者简介:郭晓丹(1987-),女,河南商丘人,硕士,研究方向为农产品无损检测。E-mail:guo33dan33@163.com

责任作者:张海红(1967-),女,宁夏银川人,教授,硕士生导师,现主要从事食品物性学等研究工作。E-mail:nxdwjyxx@126.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31160346);国家科技支撑计划资助项目(2012BAF07B00)。

收稿日期:2014-03-11

1.2 试验方法

1.2.1 测试方法 该试验采用接触式无损检测方法,测试系统由日本产 HIOKI-3532-50 型 LCR 测试仪和夹持系统及计算机组成,通过 RS232 接口使 LCR 测试仪与计算机相连,测试夹具为 9262(可测量范围 5 MHz),夹具通过双绞屏蔽线与电极板铜柱连接,通过测试软件可控制自动测量在 $10^{2.00}$ 、 $10^{2.05}$ 、 $10^{2.10}$ 、 $10^{2.15}$ 、 $10^{2.20}$ 、 $10^{2.25}$ …… $10^{6.60}$ 、 $10^{6.65}$ Hz 下,78 个电激励频率下的并联等效电容(C_p)、电导(G)、阻抗相角(θ)、复阻抗(Z)、电抗(X)、并联等效电感(L_p)等 14 个介电特性参数值,所测得的试验数据可直接输出到计算机并以 Excel 格式直接生成图表。

1.2.2 测试步骤 在频率、测试电压不变条件下,以接触式测量法对枣果的 14 个电参数进行测量;利用质构仪进行枣果物理力学品质指标的测试;采用破坏性手段切片测取水分;取汁测定可滴定酸含量(酸度以消耗 1 mol/L NaOH 标准液毫升数表示)和可溶性固形物含量。

1.3 项目测定

1.3.1 果实质构参数的测定 利用英国 SMS 公司生产的 TA.XT.Plus 物性分析仪进行质构性能测试,测试长枣的果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度 3 个物理力学品质指标。每次从果箱内随机取 24 个果实进行测定,重复测定 3 次后取平均值。测试时参考马庆华等^[7]的研究方法,将长枣平放于物性分析仪平台上,选用 P/2n 探头,测前速率、测试速率和测后速率的参数设置均为 1 mm/s,触发力值 5 g,测试深度 5 mm。由质地特征曲线得到表征果实质地状况的品质评价参数:果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度。果皮破裂强度(g)为果皮断裂时所需的力的大小,第一峰的力值即为果皮破裂强度。第一峰的力值与运行距离的比值为果皮脆度(g/s)。第一峰 0.5 s 后与最大峰之间的平均力值为果肉坚实度(g)。

1.3.2 可溶性固形物含量的测定 由于长枣中可溶性固形物含量近 80%的成分为糖,因此常以可溶性固形物含量(SSC)反映枣果的糖度。对测完质构的长枣,利用 WYT-32 型手持折光仪测定枣汁的可溶性固形物含量。重复测定 3 次,取平均值。

1.3.3 含水率的测定 对测完质构的长枣,利用 WY-W 系列卤素水分测定仪进行水分测定。每次取 5 g 切片进行测定,重复 3 次取平均值。

1.3.4 可滴定酸含量的测定 水果中含有多种有机酸。水果的种类和品质不同,所含有的有机酸种类和数量也不同。利用 NaOH 溶液滴定法进行测定,每次取 6 个果实,打浆后进行滴定,重复测定 3 次,取平均值。

1.3.5 电学指标的测定 通过预试验,对不同形状(圆形、方形、半球形电极)、厚度、外形尺寸、材质的电极板测

量数据进行分析,确定无损检测长枣最佳极板的形状为长方形(与长枣长椭球体形状相适应)、厚度为 1 mm,检测电压为 1 V^[14]。在 $10^{2.00}$ 、 $10^{2.05}$ 、 $10^{2.10}$ 、 $10^{2.15}$ 、 $10^{2.20}$ 、 $10^{2.25}$ …… $10^{6.60}$ 、 $10^{6.65}$ Hz 下的 78 个电激励频率下测定不同枣果的 C_p 、 G 、 θ 、 Z 、 B 、 X 、 L_p 等 14 个介电特性参数,在室温条件下,分别采用 3 组重复,每重复测定 16 个枣品,连续重复 8 d。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 和 SAS 统计软件进行内部品质参数与电参数的相关性分析, t 检验法($\alpha=0.05$)对相关指标进行差异显著性分析;筛选出敏感电特性参数;通过 SAS 统计软件分析建立有效的长枣品质指标的预测模型。

2 结果与分析

2.1 品质参数的变化

2.1.1 果实的质构参数(果皮破裂强度、果皮脆度、果肉坚实度)的变化 “灵武长枣”的果皮破裂强度直接与枣皮及其周围的细胞组织结构有关。由图 1 可知,“灵武长枣”的果皮破裂强度随着贮存时间的延长于第 2 天下降,后 5 d 不同程度的增大,第 8 天急剧下降,总趋势升高但线性关系不佳。脆度值反应枣品抗震动和磨损的能力,果肉坚实度是指果肉组织排列的紧实程度,二者在长枣生产和运输流通中是最先考虑的因素。由图 2 和图 3 可知,长枣的果皮脆度和果肉坚实度在前 4 d 均随贮存时间的延长而成线性降低趋势,后因水分散失而

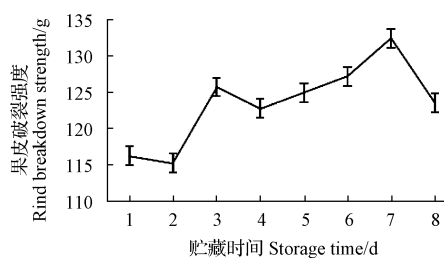


图 1 果皮破裂强度随贮藏时间的变化

Fig. 1 The change of rind breakdown strength along storage time

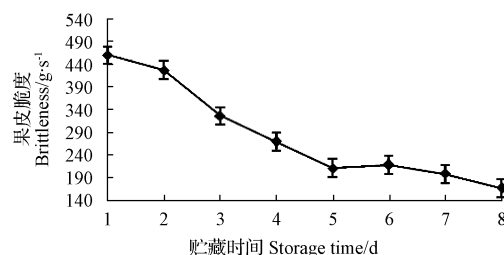


图 2 果皮脆度随贮藏时间的变化

Fig. 2 The change of brittleness along storage time

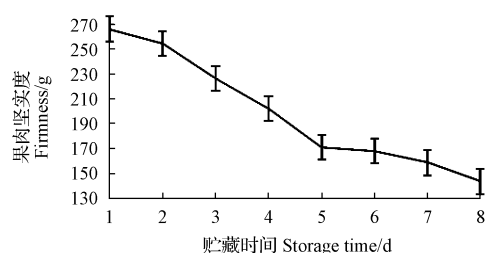


图3 果肉坚实度随贮藏时间的变化

Fig. 3 The change of pulp firmness along storage time

逐渐变慢,导致二者的变化越来越缓慢,总趋势是降低的。这与李红卫等^[11]对冬枣的研究结果有相似之处。质构参数变化的原因一方面是由于长枣皮薄、保护组织不发达,导致水分极易散失,使枣皮及周边细胞的组织结构缓慢发生皱缩所致;另一方面则是由于伴随着枣果的后熟,枣果内部发生了一系列生化变化,果胶物质转化所致^[2-12]。

2.1.2 果实的内部品质参数(含水率、可溶性固形物、可滴定酸)的变化 水分对于保持长枣的内在品质、颜色、质地、风味有极其重要的作用^[3-17]。水分的含量直接影响酶的活性和呼吸作用的强弱,从图4可以看出,“灵武长枣”的初始含水率为74.48%,由于长枣皮薄和保护组织不发达,直接导致自由水蒸腾散失,使水分含量呈直线下降,变化趋势明显。可溶性固形物主要指可溶性糖类,可以衡量枣品的成熟状况和品质状况。由图5可见,枣果实贮藏期间,其可溶性固形物含量随贮存时间的增加呈上升趋势,但是变化趋势没有水分变化明显。

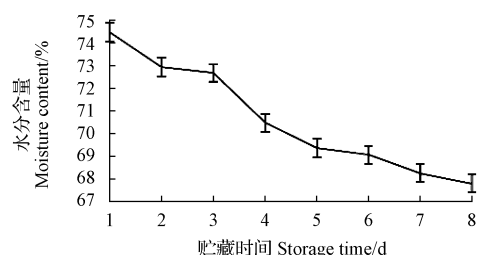


图4 水分含量随贮藏时间的变化

Fig. 4 The change of moisture content along storage time

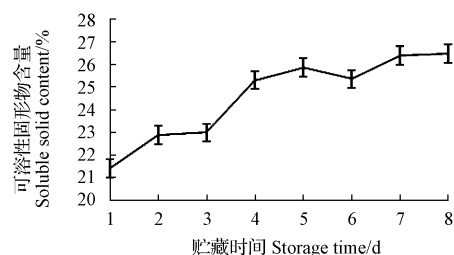


图5 可溶性固形物含量随贮藏时间的变化

Fig. 5 The change of soluble solids content along storage time

长枣可溶性固形物含量随水分散失和呼吸作用呈上升趋势,这与袁子惠等^[3]对芒果和郭文川等^[15]对苹果的变化研究结果不一致。可能是因为枣品中的含糖量高,随着水分的散失使糖的浓度相对增大,远大于呼吸作用的消耗所致。可滴定酸含量的减少主要由于呼吸氧化分解和与金属离子中和形成有机酸。由图6可知,可滴定酸含量随贮藏时间的延长而呈下降趋势,第2天下降趋势明显,第3~8天变化趋势平缓。这与马晓明等^[17]的研究结果一致。

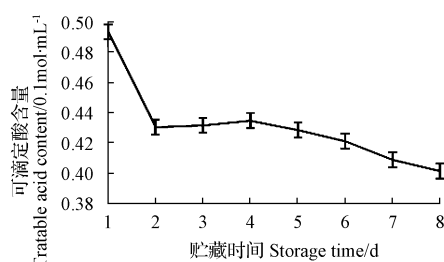


图6 可滴定酸含量随贮藏时间的变化

Fig. 6 The change of titratable acid content along storage time

2.2 电学指标的变化

并联等效电容(C_p)值与相对介电常数直接相关,电导(G)值与介电损耗直接相关,直接反应枣品的介电特性^[2-10]。从图7、8可以看出, C_p 值和 G 值均随贮存时间的延长而呈现下降趋势,前3 d二者均急速下降,从第3~6天呈缓慢下降趋势,第6~8天又呈现梯度性的下降。这些变化均与细胞的衰老有关。 C_p 是枣品电荷贮存能力的量,随着水分的降低,细胞膜的流动性和通

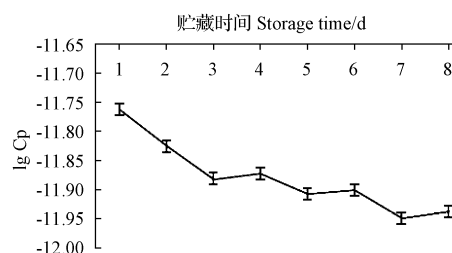


图7 并联等效电容值随贮藏时间的变化

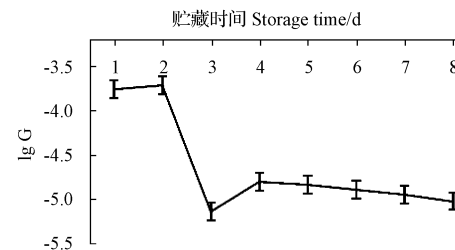
Fig. 7 The change of C_p value along storage time

图8 电导值随贮藏时间的变化

Fig. 8 The change of G value along storage time

透性均会发生显著的变化,从而影响电荷的传递,极化程度和极化模型都会改变,并且随着衰老的加深,细胞代谢紊乱,细胞膜电阻增大,电容减小。该结论与马晓明等^[17]的研究结果一致。G 值随着衰老的加深,细胞膜透性的降低,使细胞之间及细胞内部的导电能力降低,G 值减小,该结果与郭文川等^[15]对苹果的研究结果相反,可能是因为这 2 类果实成熟过程中的细胞结构、成分变化差异所致。长枣具有不同于其它果蔬的物理系统(主要包括细胞的组织结构、原生果胶、细胞外液、细胞膜等),长枣成熟后细胞结构相对完整,果实保持清脆品质,同时贮藏过程中水分散失较快,导致电导降低。

从图 9 可以看出,阻抗相角(θ)值随贮藏时间的延长和以上指标的变化相反,呈现上升趋势,第 1~2 天变化平缓,略微上升,从第 2~7 天呈现快速上升,而后又呈现下降趋势。从图 10 可知,复阻抗(Z)值前 2 d 变化缓慢,第 3 天急速上升,后又缓慢下降。细胞膜通透能力下降,带电微粒物质通过细胞膜受阻,电阻增大,电容减小,表现为 Z 值的增加,阻抗相角也增加,该结论与马晓明等^[17]的研究结果一致。

2.3 品质参数与电参数相关性分析和预测模型的建立

运用 SAS 软件对枣果的品质参数及电参数进行了相关性分析,并对程序的输出结果进行了分析整理。由表 1 可知,“灵武长枣”贮存 8 d 后 6 个品质参数和 4 个电参数的相关性分析,两两之间均达到差异显著水平

($P < 0.05$),可见各个品质参数之间的相关性为强相关;Z 与水分含量、可溶性固形物和可滴定酸的相关性不强。

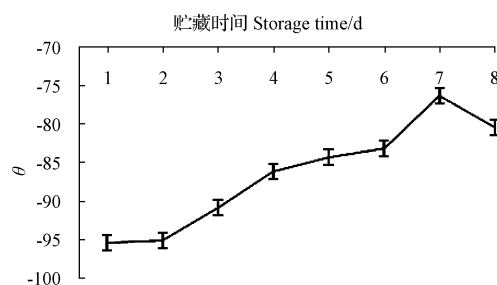


图 9 阻抗相角值随贮藏时间的变化

Fig. 9 The change of θ value along storage time

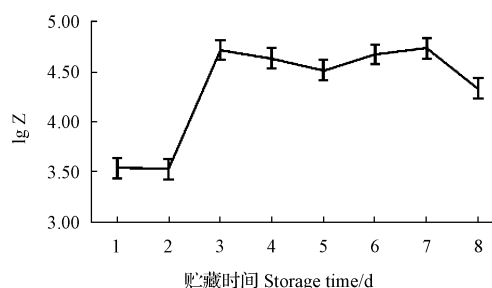


图 10 复阻抗值随贮藏时间的变化

Fig. 10 The change of Z value along storage time

表 1 在特征频率条件下“灵武长枣”品质参数与电参数的相关性分析

Table 1 The analysis of correlation between quality parameters and electrical parameters at the characteristic frequency on 'Lingwu long jujube'

指标 Index	果实破裂强度 Rind breakdown strength	脆度 Brittleness	果肉坚 实度 Firmness	水分含量 Moisture content	可溶性固形物含量 Soluble solid content	可滴定酸含量 Treatable acid content	电导 G	阻抗相角 θ	并联等效 电容 C_p	复阻抗 Z
果实破裂强度 Rind breakdown strength	1.00									
脆度 Brittleness	-0.806 **	1.00								
果肉坚实度 Firmness	-0.770 **	0.989 **	1.00							
水分含量 Moisture content	-0.749 **	0.969 **	0.985 **	1.00						
可溶性固形物含量 Soluble solid content	0.739 **	-0.962 **	-0.961 **	-0.973 **	1.00					
可滴定酸含量 Treatable acid content	-0.715 **	0.804 **	0.796 **	0.806 **	-0.821 **	1.00				
电导 G	-0.801 **	0.854 **	0.786 **	0.712 **	-0.720 **	0.670 *	1.00			
阻抗相角 θ	0.812 **	-0.945 **	-0.958 **	-0.941 **	0.940 **	-0.746 **	-0.919 **	1.00		
并联等效电容 C_p	-0.825 **	0.949 **	0.932 **	0.908 **	-0.918 **	0.910 **	0.989 **	-0.857 **	1.00	
复阻抗 Z	0.852 **	-0.801 **	-0.720 **	-0.670 *	0.697 *	-0.606 *	-0.952 **	0.739 **	-0.990 **	1.00

注: ** 极显著相关($P < 0.01$), * 显著水平($P < 0.05$)。

Note: ** mean very significant difference($P < 0.01$), * mean significant difference($P < 0.05$).

从一系列数据变化中可以看出,长枣的品质变化是一个多因素的动态变化过程。从上述相关分析可以看出,各品质因素对电特性参数的影响有大有小。把真正有统计意义的自变量找出来,采用逐步回归法分析测出的数据,建立较理想的模型,试图通过测试长枣的介电特性来判断其品质。运用 SAS 软件进行逐步多元回归分析。设 $G(X_1)$ 、 $\theta(X_2)$ 、 $C_p(X_3)$ 、 $Z(X_4)$, 品质参数用 Y

表示,利用 SAS 程序分析整理,得到回归方程见表 2。

由表 2~4 可知,除可滴定酸的拟合方程差异不显著外,其余均显著,而且相关系数高。“灵武长枣”电参数和品质参数(除可滴定酸)回归方程的相关系数均达到极显著水平($P < 0.05$),相关性强。电参数对品质参数的拟合方程可信度高,所以用介电特性参数来预测长枣品质是可行的。

表 2 电参数预测品质参数的回归方程

Table 2 The regression equation of electrical parameters to prediction quality parameters

品质参数 Quality parameters	回归方程 Regression equation	P	R ²
果实破裂强度 Rind breakdown strength	$Y=527.84-7.00lgx_1+0.64lgx_2+48.99lgx_3+43.01lgx_4$	0.035	0.9404
脆度 Brittleness	$Y=1354.86+69.74lgx_1-10.27lgx_2+220.87lgx_3+212.97lgx_4$	0.021	0.9579
果肉坚实度 Firmness	$Y=82.55-0.18lgx_1-0.33lgx_2+5.35lgx_3+4.67lgx_4$	0.023	0.9456
含水率 Moisture content	$Y=213.77+36.01lgx_1-5.54lgx_2+60.08lgx_3+85.26lgx_4$	0.045	0.8984
可溶性固形物含量 Soluble solid content	$Y=-20.76+1.27lgx_1+0.21lgx_2-8.28lgx_3-6.00lgx_4$	0.045	0.9292
可滴定酸含量 Tratable acid content	$Y=1.00+0.02lgx_1-0.0019lgx_2+0.0885lgx_3+0.0880lgx_4$	0.431	0.6364

表 3 电参数与质构参数回归模型观测值与拟合值对比

Table 3 The return model comparison of the observed value and the fitted value on electrical parameters and texture parameters

贮藏时间 Storage time /d	果皮破裂强度 Rind breakdown strength/g		拟合误差 Error of fitting/%	脆度 Brittleness/g·s ⁻¹		拟合误差 Error of fitting/%	果肉坚实度 Firmness/g		拟合误差 Error of fitting/%
	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	
	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	
1	116.257	116.4084	-0.151	460.540	430.881	29.659	266.369	255.449	10.919
2	115.260	116.049	-0.789	427.542	437.403	-9.860	254.955	257.965	-3.010
3	125.715	128.904	-3.189	326.619	204.243	122.377	226.882	167.996	58.886
4	122.756	125.847	-3.091	269.761	259.679	10.081	202.306	189.387	12.919
5	131.845	126.117	5.728	221.673	254.788	-33.115	175.677	187.500	-11.822
6	127.179	126.656	0.522	218.347	245.005	-26.658	168.428	183.725	-15.296
7	132.438	127.196	5.242	199.143	235.222	-36.079	159.017	179.950	-20.932
8	123.553	127.825	-4.272	167.403	223.808	-56.406	143.882	175.545	-31.663

表 4 电参数与理化参数回归模型观测值与拟合值对比

Table 4 The return model comparison of the observed value and the fitted value on electrical parameters and physical and chemical parameters

贮藏时间 Storage time /d	含水率 Moisture content/%		拟合误差 Error of fitting/%	可溶性固形物含量 Soluble solid content		拟合误差 Error of fitting/%	可滴定酸含量 Tratable acid content/%		拟合误差 Error of fitting/%
	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	
	观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value		观测值 Observed value	拟合值 Fitted value	
1	74.485	73.327	1.158	21.425	22.472	-1.047	21.425	22.472	-1.047
2	72.940	73.456	-0.515	22.895	22.377	0.518	22.895	22.377	0.518
3	72.676	68.829	3.847	22.991	25.782	-2.791	22.991	25.782	-2.791
4	70.456	69.929	0.526	25.312	24.973	0.339	25.312	24.973	0.339
5	68.871	69.832	-0.960	25.806	25.044	0.762	25.806	25.044	0.762
6	68.242	69.638	-1.396	25.358	25.187	0.170	25.358	25.187	0.170
7	68.222	69.444	-1.221	26.387	25.330	1.057	26.387	25.330	1.057
8	67.780	69.217	-1.437	26.487	25.497	0.990	26.487	25.497	0.990

3 讨论

以“灵武长枣”的介电特性参数预测其内在品质是可行的。在 223.8 kHz 频率下,“灵武长枣”的品质特性参数(果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度、水分含量、可溶性固形物)与介电特征参数(Cp、G、θ、Z)有很强的相关性且达到显著水平(P<0.05),对其所建立的预测模型是可靠的。研究结果表明,可以通过检测长枣的 Cp、G、θ、Z 4 个介电特性参数来预测长枣的果皮破裂强度、脆度、果肉坚实度、水分含量和可溶性固形物含量。

除内在化学品质指标外,该试验增加了物理力学品

质指标,数据更为充分。下一步更深入的研究将涉及红枣的功能性指标如黄酮类、糖苷、红枣多糖等,以及生理指标如长枣的乙烯释放速率、呼吸强度等与介电特性的关系。

该研究建立了以 Cp、G、θ、Z 4 个电学参数评价红枣物理、化学品质的模型。而在数据处理过程中还发现可滴定酸与 X、Z 等的相关性极高,R² 可达到 0.95 以上,虽然与其它介电特征参数的相关性不强,但是以后的研究中可以尝试在不同的频率下,采用一对一的预测模式,可以更加精确地预测和判断长枣的内在品质。

“灵武长枣”因其贮存期短,其主要营销方式以鲜枣为主,因此在贮运过程中长枣力学品质的预测与评价意义更为明显。随着消费需求的提高,市场竞争的加剧,果品的品质分级也凸显重要,通过对长枣品质参数与其介电特性参数的关系研究以及检测数据的科学分析,为基于介电特性的枣品的品质预测及分级提供了理论支持,为枣品的在线无损检测提供了前期探索。

参考文献

- [1] 唐燕,杜光源,张继澍. 桃的介电特性和品质关系[J]. 食品科学, 2012, 33(9): 68-71.
- [2] Nelson S O, Tragelsi S, Kays J. Dielectric spectroscopy of honeydew melons from 10 MHz to 118 GHz for quality sensing[J]. Transactions of the ASAGE, 2006, 49(6): 1977-1981.
- [3] 袁子惠,廖宇兰,翁绍捷. 芒果介电特性与内部品质关系[J]. 农机化研究, 2011, 10(3): 111-114.
- [4] 李英,宋景玲,韩秋燕. 桃子介电特性与内部品质指标关系的研究[J]. 农机化研究, 2007(8): 123-124.
- [5] 郭文川, Stuart O, Nelson S O, 等. 蜜瓜和西瓜果汁的射频介电特性及其与糖度的关系[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 289-292.
- [6] 郭文川,陈克克. 桃 10-4500MHz 间的介电特性与内部品质关系分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 134-138.
- [7] 马庆华,王贵禧,梁丽松. 质构仪穿刺试验检测冬枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学, 2011, 44(6): 1210-1217.
- [8] Nunes A C, Gohigas X, Tejada J. Dielectric study of milk for frequencies Between 1 and 20 GHz [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 76(2): 250-255.
- [9] Derrell M G, Grown R H. Dielectric properties of peaches as maturity Index[C]. ASAE Paper, 1971: 71-332.
- [10] Soltani M, Alimardani R, Omid M. Prediction of Ganana quality during ripening stage using capacitance sensing system[J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(6): 443-447.
- [11] 李红卫,冯双庆. 冬枣采后果皮成分及氧化酶活性变化与乙醇积累机理的研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(7): 165-167.
- [12] 宋井玲,李英. 番茄电特性与内部品质关系的实验研究[J]. 农机化研究, 2009(7): 195-197.
- [13] Guo W, Nelson S O, Tra Gelsi S, et al. 10-1800 MHz dielectric properties of fresh apples during storage[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(4): 562-569.
- [14] Harker F X, Cole W H. Dielectric properties of apples in the range 0. 1-100 kHz[J]. Journal of Materials Science, 1993, 28(3): 621-631.
- [15] 郭文川,朱新华,王转卫. 采后苹果电特性与生理特性的关系及其应用[J]. 农业机械学报, 2005, 21(7): 136-139.
- [16] 袁子惠,翁绍捷. 芒果的成熟与腐烂对介电特性的影响[J]. 农机化研究, 2010(11): 174-176.
- [17] 马晓明,王松磊,贺晓光,等. 基于介电特性的宁夏灵武长枣内部品质检测方法研究[J]. 新疆农业大学学报, 2012, 35(4): 334-339.
- [18] Nigmatullin R R, Nelson S O. Recognition of the “fractional” kinetics in complex systems; dielectric properties of fresh fruits and vegetaGles from 0. 01 to 1. 8 GHz[J]. Signal Processing, 2006, 86(10): 2744-2759.
- [19] Nelson S O. Dielectric spectroscopy in agriculture[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 2005, 351(33/36): 2940-2944.
- [20] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2010.

The Correlation Between Dielectric Properties and the Intrinsic Quality of ‘Lingwu long jujube’

GUO Xiao-dan, ZHANG Hai-hong, ZHOU Shi-ping, ZHANG Zhong, LI Hai-feng
(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking ‘Lingwu long jujube’ as material, electrical indicators in shelf such as parallel equivalent capacitance (C_p), conductance (G), impedance angle (θ), complex impedance (Z) were tested using the LCR tester in the characteristic frequency of 223. 8 kHz ($10^{5.35}$ kHz), and analyzed comparatively with physic-mechanical indexes such as peel repute strength, brittleness and pulp firmness, and chemical quality indicators such as water content, titratable acid content and soluble solids content, highly correlated characteristic electrical parameters were selected; regression analysis of variation law of electrical parameters and quality indicators was conducted, the study was to explore the feasibility of dielectric properties based jujube fruit nondestructive testing and intrinsic quality evaluation. The results showed that correlation between jujube quality indicators (peel repute strength, brittleness, pulp firmness, moisture content, total soluble solids) and dielectric parameters (C_p, G, θ, Z) was high and reached a significant level ($P < 0.05$). Electrical parameter model established for jujube quality indicators could effectively predict long jujube quality. It’s feasible to predict the inner quality of ‘Lingwu long jujube’ by its dielectric characteristic parameters.

Key words: ‘Lingwu long jujube’; dielectric properties; internal quality