

3 种红枣组织结构与质构及其相关性研究

Study on correlation between organizational structure and puncturing texture of jujube

陈 恺¹ 周 彤¹ 许铭强² 付 冰¹ 马 欣¹ 李焕荣¹

CHEN Kai¹ ZHOU Tong¹ XU Ming-qiang² FU Bing¹ MA Xin¹ LI Huan-rong¹

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091)

(1. School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agriculture University, Urumqi, Xinjiang

830052, China; 2. Research Institute of Agricultural Products Storage and Processing, Xinjiang

Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830091, China)

摘要:以新疆3个主栽红枣品种:骏枣、灰枣和哈密大枣为研究对象,对各个品种的组织结构和质构特性(整果穿刺测试)进行测定和分析,并结合感官质地进行评价。结果显示:灰枣的角质厚度(6.34 μm)、表皮厚度(36.41 μm)、表皮细胞(118.21 μm^2)、近表皮空腔(9 160.98 μm^2)、近表皮细胞(892.71 μm^2)、中部细胞(2 766.68 μm^2)均比骏枣和哈密大枣小。角质厚度、表皮厚度、近表皮空腔、中部细胞等指标与骏枣和哈密大枣差异显著,表皮细胞在3个品种间差异性不显著。灰枣的表皮穿刺强度(1 700.30 g)、果皮韧性(729.95 g·s)、果肉坚实度(1 132.20 g)、果肉纤维指数(17.05)和果肉起始强度(1 450.43 g)均最大,而果皮破裂距离最小。除果皮韧性和果肉起始强度外,表皮穿刺强度、果皮破裂距离、果肉平均坚实度和果肉纤维指数之间相互呈现显著差异。3个品种红枣部分组织结构和质构指标相关性存在一定的差异,其中表皮穿刺强度与果皮破裂距离和果皮韧性、果肉平均坚实度与果肉起始强度均呈现极显著正相关,结合感官质地评价3个品种红枣组织结构和质构特性与实际表现基本一致。

关键词:红枣;组织结构;质地;穿刺测试;相关性

Abstract: In order to analyze the correlation of the organizational structure and texture properties of fresh jujube fruits in Xinjiang, the three cultivars were studied as follows: Jun jujube, Hui jujube and Hami jujube. The results showed that the characteristics of Hui ju-

jube, such as thickness of cuticle(6.34 μm), epidermis thickness(36.41 μm), epidermal cells(118.21 μm^2), near epidermis cavity(9 160.98 μm^2), near epidermal cells(892.71 μm^2) and central cells(2 766.68 μm^2) were smaller than that of Jun jujube and Hami jujube, there were significant differences in organizational structure except epidermal cells among the cultivars. While, skin puncture strength(1 700.30 g), fruit peel toughness(729.95 g·s), pulp firmness(1 132.20 g), pulp fiber index(17.05) and pulp initiation intensity(1 450.43 g) of Hui jujube were the highest, while the peel rupture was the smallest. In addition to the toughness of peel and the initial strength of pulp, the epidermal puncture intensity, the rupture distance of peel, the average firmness of pulp and the pulp fiber index showed significant difference among the three fresh jujubes. There were different correlation in keratinous thickness, epidermis thickness and central cavity between Jun jujube, Hui jujube and Hami jujube, while similar in epidermal puncture intensity and peel rupture and fruit toughness and pulp average firmness and pulp initiation intensity which showed a significant positive correlation. The correlations in texture properties and sensory evaluation of three cultivars above were consistent.

Keywords: jujube; organizational structure; texture; puncture test; correlation

基金项目:新疆维吾尔自治区自然科学基金青年基金项目(编号:2015211B007)

作者简介:陈恺,男,新疆农业大学高级实验师,硕士。

通信作者:李焕荣(1965—),女,新疆农业大学教授,硕士。

E-mail: lhrjw@sina.com

收稿日期:2018-02-05

枣(*Zizyphus jujuba* Mill.)是鼠李科(*Rhamnaceae*)枣属(*Zizyphus*)木本植物。截止2015年新疆已有枣树种植面积 $4.83 \times 10^5 \text{ hm}^2$,年产 $2.5 \times 10^6 \text{ t}$,主要分布于南疆和哈密地区^[1]。目前哈密地区主要的栽培品种为哈密大枣,南疆红枣主栽品种是骏枣和灰枣^[2],品种相对单一,由于新疆地理条件及地域的特殊性,新疆红枣的商品利用方面主要以制干为主,鲜食产业发展薄弱。

近年来,通过质构分析仪对食品品质的检测研究越来越多^[3-5],果实的感官指标如硬度、脆性、糯性、咀嚼性、汁液多少等性状与质地密切相关。鲜枣品种的质地时常以感官评价来评定,使用致密、疏松、酥脆、软、硬等词汇描述,缺乏真实可靠的科学评判标准^{[6]597},而对于水果质地的测试条件也没有相应统一的规范,采用不同的测试方法,试样的力学特性也会有差异^[7]。新鲜枣的质构指标与营养指标^[8]、矿物质元素^[9]等相关性研究较多,对于果实的质构特性多集中在使用物性分析仪的质地多面分析(Texture Profile Analysis, TPA)压缩模型^[5,10-11]试验,需要对原料进行切分等预处理,破坏原料的整体结构,而对于新鲜红枣而言,由于食用方式为带皮食用,表皮穿刺硬度是衡量枣果品质的重要指标,整果穿刺法克服了传统检测方法需要切分,修整等预处理的缺点,丰富了果实质地评价的内容,使之更为客观准确^[12],因此整果穿刺试验适宜在新鲜红枣上应用。目前利用质构仪评价食品质地已应用到果品贮藏^[13-14]、加工^[15]、保鲜^[16-17]以及货架期预测^[18-19]等研究中。有关红枣组织结构研究主要集中在果实生长发育阶段的自然裂果^[20]和采后贮藏性^[21-23]等方面,多与矿物质元素和枣品种相关联。组织结构和质构特性之间的相关性研究多集中在水产品^[24-26]、焙烤制品^[27]、肉制品^[28-31]加工及贮藏中,对于果品中组织结构与质构特性之间的相关性研究尚未开展。

本试验拟采用整果穿刺法研究新疆红枣主栽品种的穿刺质地,通过对不同品种的红枣组织结构进行测定,对红枣质构指标和组织结构进行相关性分析并结合感官质地评价,探讨不同品种鲜枣的组织结构对其质构特性的影响,以丰富红枣果实品质评价的内容,并对红枣品质评定、产品进一步开发及利用具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

哈密大枣:含水量 67.18%,采自新疆哈密地区火箭农场;

骏枣:含水量 64.31%,采自和田地区墨玉县;

灰枣:含水量 63.59%,采自阿克苏红旗坡农场。

采集的所有样品均为脆熟全红期,无机械损伤、无病虫害的鲜枣,样品采收后均用打孔塑料袋包装,装箱运回新疆农业大学实验室,放置 0℃冷库中,质构指标可立即进行整果测定。

1.2 仪器与设备

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9123A 型,上海一恒科技有限公司;

循环水式多用真空泵:SHB-Ⅲ型,郑州长城科工贸有限公司;

数显恒温水浴锅:HH-S4 型,金坛市医疗仪器厂;

照相机:Moticam2306 型,麦克奥迪电气股份有限公司;

光学显微镜:Motic BA300 型,麦克奥迪电气股份有限公司;

切片机:LEICA RM2265 型,德国 LEICA 公司;

型电子天平:PL204 型,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;

物性测试仪:TA.XT PLUS 型,英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 方法

1.3.1 组织结构测定 随机挑选 3 个品种的 20 颗枣果,取枣果中带果皮的中部果肉为试验材料,每组样品设 3 个平行,按照石蜡切片法^[32-33]制备枣果实组织横切面,番红和固绿二重染色,中性树胶封片。显微镜观察,并用 Motic Images Advanced 3.2 软件系统分别对表皮厚度、表皮细胞、角质厚度、近表皮空腔、近表皮细胞、中部空腔和中部细胞进行测量。

1.3.2 质构指标的测定 3 个栽培品种分别随机选取 50 个新鲜红枣,参照马庆华等^{[6]597}的整果穿刺方法略有改动,每个枣果取最大横径处对称的 2 个点位测定。测定参数:测试模式为压缩模式;测前速度 1.5 mm/s;测中速度 1.00 mm/s;测后速度 10 mm/s;位移 3 (灰枣果型相对较小),5 mm(哈密大枣和骏枣果型相对较大);触发力 5 g;探头 P2。

按图 1 质地特征曲线得到不同品种枣果实的质地参数:表皮穿刺强度、果皮破裂距离、果皮韧性、果肉平均坚实度、果肉纤维指数和果肉起始强度,结果取平均值。

1 号锚线是测试起点处;2 号锚线是果皮穿刺最大力量峰值处;3 号是果皮破裂后降到的第一个峰值,一般将该点作为进入果肉阶段的起点;4 号是穿刺的最深处,该点后探头就回升,该点作为果肉阶段的终点。

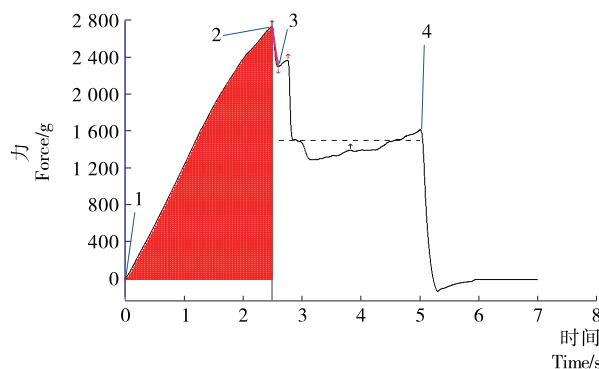


图1 鲜枣穿刺图形

Figure 1 Typical diagram of puncture test in texture analysis for fresh jujube

1.3.3 感官质地评价 选择 10 人组成的评定小组,对 3 个红枣品种的鲜枣果实从果皮硬度、果皮韧性、果肉坚实度、果肉汁液和果肉粗细等指标进行感官质地评价。

1.4 数据分析

将所选品种的 13 个与果实细胞和质构密切相关的指标,即角质厚度、表皮厚度、表皮细胞、近表皮空腔、近表皮细胞、中部空腔、中部细胞、表皮穿刺强度、果皮破裂距离、果皮韧性、果肉平均坚实度、果肉纤维指数、果肉起始强度分别用 X1、X2、X3、X4、X5、X6、X7、X8、X9、X10、X11、X12、X13 表示,采用 SPSS 19.0 软件对数据进行方差分析和相关性分析,当

$P < 0.05$ 时,表示差异显著;当 $P < 0.01$ 时,表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 不同品种枣组织结构比较

由图 2 和表 1 可知,各品种枣的角质厚度平均值在 $6.34 \sim 7.26 \mu\text{m}$,以灰枣的角质厚度最小,哈密大枣的角质厚度最大,与韦玉龙等^[34]对哈密大枣的角质厚度测定结果相一致,除哈密大枣外,骏枣和灰枣的角质厚度不存在显著差异。各品种枣的表皮厚度在 $28.48 \sim 60.27 \mu\text{m}$,其中灰枣的表皮厚度较小为 $36.41 \mu\text{m}$,与河南新郑市灰枣^[35]和新疆生产建设兵团第二师 34 团灰枣^[36]的测定结果不同,可能与当地的气候和土壤环境的差异有关,而骏枣和哈密大枣的表皮厚度较大,分别为 $52.70, 51.30 \mu\text{m}$,灰枣与骏枣、哈密大枣之间存在显著差异($P < 0.05$),骏枣和哈密大枣的表皮厚度差异不显著。3 个品种枣的表皮细胞大小顺序依次为哈密大枣($153.25 \mu\text{m}^2$) $>$ 骏枣($129.53 \mu\text{m}^2$) $>$ 灰枣($118.21 \mu\text{m}^2$),各品种间无显著性差异。各品种枣近表皮空腔的均值为 $9\ 160.98 \sim 17\ 244.87 \mu\text{m}^2$,以骏枣近表皮空腔最大,灰枣的最小。近表皮细胞以哈密大枣最大,而灰枣较小,统计分析显示,除哈密大枣外,灰枣和骏枣的差异性不显著。相关研究^[21]表明中果肉细胞显著地大于近表皮细胞,并且中果肉细

胞中存在比较大的空腔。3 个品种枣的中部空腔和中部细胞均较大(中部空腔 $> 25\ 450.86 \mu\text{m}^2$,中部细胞 $> 1\ 436.44 \mu\text{m}^2$),其中以骏枣最大,灰枣和哈密大枣相对较小,这与各品种枣的果型大小有关,一般生物学特性也证明骏枣的果型在这 3 个品种中最大,灰枣的最小。其中中部空腔除骏枣外,哈密大枣和灰枣差异性不显著,而中部细胞除灰枣外,骏枣和哈密大枣差异性不显著。

2.2 不同品种枣质构特性的比较

由表 2 可知,果皮韧性为 $384 \sim 729 \text{ g} \cdot \text{s}$,与刘蒋龙等^[22]对梨枣、壶瓶枣、郎枣的测定结果相差不大。灰枣的果皮韧性较大,而骏枣果皮韧性最小,与表皮破裂距离方差分析相比,除灰枣外,骏枣和哈密大枣的果皮韧性差异不显著。果肉平均坚实度表示的是果肉抗刺穿力的大小,各品种的果肉平均坚实度顺序为灰枣 $>$ 骏枣 $>$ 哈密大枣,并且均呈现显著性差异,说明灰枣的果肉组织相对骏枣和哈密大枣致密。在果肉纤维指数方面,灰枣大于骏枣和哈密大枣,哈密大枣的果肉纤维指数最小(5.3),和果肉平均坚实度的趋势一致,这可能与灰枣的果肉细胞较小,而骏枣和哈密大枣的果肉细胞相对较大有关。各品种的果肉起始强度以灰枣最大为 $1\ 450.43 \text{ g}$,骏枣和哈密大枣相对较小,统计结果显示,除灰枣外,骏枣和哈密大枣的差异性不显著,这和果皮韧性指标的方差分析结果一致。

2.3 各品种枣组织结构和质构指标的相关性

由表 3 可知,骏枣的角质厚度和表皮厚度呈显著正相关。表皮厚度和近表皮细胞极显著负相关,和果肉平均坚实度呈显著正相关,和果肉纤维指数呈负相关。近表皮细胞与中部空腔、中部细胞均呈极显著正相关,即近表皮细胞越大,中部空腔和中部细胞越大。表皮穿刺强度与果皮破裂距离、果肉起始强度极显著正相关,说明表皮穿刺强度越大,果皮抵抗外力能力也越大即体现在果肉破裂距离和果肉起始强度指标上。果皮破裂距离与果皮韧性、果肉起始强度极显著正相关,但与果肉纤维指数呈显著负相关。说明果皮破裂距离越深,果皮的韧性就越大,果肉的起始强度也相应越大。果皮韧性和果肉纤维指数呈显著负相关。果肉平均坚实度和果肉起始强度呈显著正相关。说明果肉越致密即果肉平均坚实度越大,抗刺穿力越强,果肉起始强度也越大。

由表 4 可知,灰枣的表皮厚度与果肉纤维指数极显著正相关。表皮细胞和近表皮空腔呈极显著负相关,说明脆熟全红期的灰枣,表皮细胞仍处于完整状态,还未发生细胞自溶、变形及破裂,导致表皮细胞越大,近表皮空腔越小。近表皮细胞和中部细胞极显著负相关。中部空腔与果皮韧性极显著正相关,而与果肉平均坚实度呈显著正相关,说明中部空腔越大,果皮的韧性和果肉平均坚实度也相应增大。表皮穿刺强度与果皮破裂距离、果皮韧性、果肉起始强度均极显著正相关。果皮破裂距离与果皮韧性、果肉起始强度呈极显著正相关,与果肉纤维指数呈显著负相关。果肉平均坚实度和果肉起始强度极显著正相关。

由表 5 可知,哈密大枣的角质厚度与中部空腔、果皮韧性显著正相关。表皮厚度除与中部空腔呈极显著正相关外,

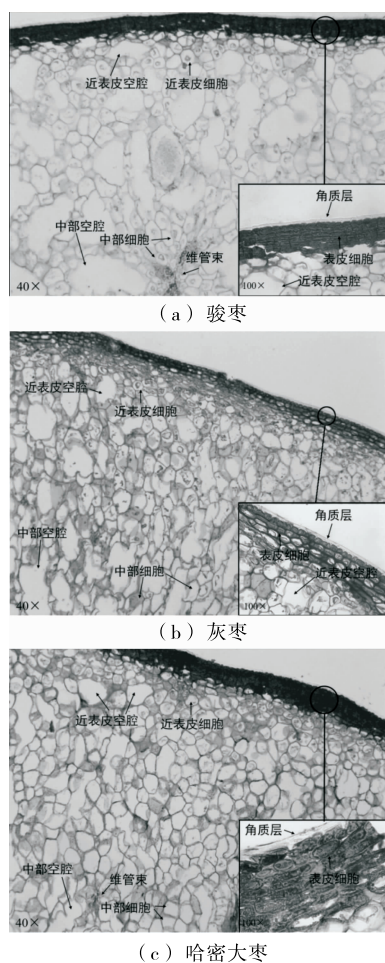


图 2 不同品种鲜枣果实组织结构解剖图

Figure 2 Anatomical structure of fresh jujube fruit in different kinds of jujube varieties

表1 不同品种红枣组织结构方差分析[†]
Table 1 Analysis of variance of different varieties of fresh jujube in microstructure

指标	单位	品种	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数/%
角质厚度	μm	骏枣	5.39	8.59	6.88 ^b	0.76	11.12
		灰枣	4.69	8.12	6.34 ^a	0.95	14.91
		哈密大枣	5.72	9.43	7.26 ^b	0.92	12.72
表皮厚度	μm	骏枣	45.35	60.27	52.70 ^b	4.82	9.15
		灰枣	28.48	47.87	36.41 ^a	4.78	13.13
		哈密大枣	43.82	58.03	53.10 ^b	3.76	7.08
表皮细胞	μm^2	骏枣	64.26	215.77	129.53 ^a	53.39	41.22
		灰枣	52.94	204.45	118.21 ^a	53.39	45.17
		哈密大枣	80.20	283.25	153.25 ^a	56.33	36.76
近表皮空腔	μm^2	骏枣	4 667.94	40 629.52	17 244.87 ^b	9 968.47	57.81
		灰枣	4 078.18	18 022.82	9 160.98 ^a	3 965.48	43.29
		哈密大枣	8 122.04	26 113.96	14 294.15 ^b	4 728.56	33.08
近表皮细胞	μm^2	骏枣	331.86	2 559.13	1 057.70 ^a	467.35	44.19
		灰枣	439.87	1 392.44	892.71 ^a	251.65	28.19
		哈密大枣	606.11	2 138.02	1 321.07 ^b	416.07	31.50
中部空腔	μm^2	骏枣	12 149.85	76 642.10	39 382.83 ^b	14 265.05	36.22
		灰枣	10 696.31	53 478.34	30 833.23 ^a	11 075.58	35.92
		哈密大枣	9 216.05	42 158.33	25 450.86 ^a	10 152.10	39.89
中部细胞	μm^2	骏枣	1 028.17	3 989.90	2 013.47 ^b	866.00	43.01
		灰枣	435.54	2 766.68	1 436.44 ^a	639.24	44.50
		哈密大枣	972.05	3 338.06	1 893.66 ^b	615.42	32.50

[†] 同列肩标不同字母表示有显著差异(P<0.05)。

表2 不同品种红枣质构指标方差分析[†]
Table 2 Analysis of variance of different varieties of fresh jujube in texture

指标	单位	品种	极小值	极大值	均值	标准差	变异系数
表皮穿刺强度	g	骏枣	375.63	969.98	674.28 ^a	146.36	21.71
		灰枣	1 045.00	2 326.61	1 700.30 ^b	308.99	18.17
		哈密大枣	552.95	973.18	778.16 ^c	90.88	11.68
果皮破裂距离	mm	骏枣	0.32	1.56	0.81 ^a	0.24	29.83
		灰枣	0.39	1.10	0.70 ^b	0.17	24.18
		哈密大枣	0.66	1.21	0.95 ^c	0.14	15.04
果皮韧性	g·s	骏枣	206.63	671.31	384.08 ^a	107.49	27.99
		灰枣	411.64	981.89	729.95 ^b	134.43	18.42
		哈密大枣	222.84	688.80	407.80 ^a	103.03	25.27
果肉平均坚实度	g	骏枣	324.66	523.20	435.42 ^a	51.56	11.84
		灰枣	898.10	1 524.08	1 132.20 ^b	119.02	10.51
		哈密大枣	255.71	506.40	376.95 ^c	44.06	11.69
果肉纤维指数	/	骏枣	4.00	9.00	7.11 ^a	1.48	20.75
		灰枣	8.00	23.00	17.05 ^b	3.42	20.07
		哈密大枣	2.00	9.00	5.30 ^c	1.66	31.28
果肉起始强度	g	骏枣	317.12	794.40	549.19 ^a	120.90	22.01
		灰枣	941.74	1 977.22	1 450.43 ^b	238.92	16.47
		哈密大枣	331.43	808.16	562.36 ^a	99.05	17.61

[†] 同列肩标不同字母表示有显著差异(P<0.05);“/”表示无单位。

表 3 骏枣组织结构和质构指标的相关性[†]

Table 3 The correlation between the microstructure and texture of the Jun jujube

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1	1.000												
X2	0.386**	1.000											
X3	0.049	0.014	1.000										
X4	0.001	-0.012	-0.091	1.000									
X5	-0.166	-0.335**	0.079	0.115	1.000								
X6	-0.158	-0.069	0.045	-0.003	0.340**	1.000							
X7	0.021	-0.094	-0.084	0.061	0.339**	0.036	1.000						
X8	0.044	0.133	-0.044	0.115	-0.071	0.050	-0.042	1.000					
X9	0.017	0.046	-0.058	0.043	0.127	0.000	-0.063	0.604**	1.000				
X10	-0.044	-0.062	-0.073	-0.024	0.128	0.077	0.057	0.177	0.579**	1.000			
X11	0.031	0.236*	-0.024	0.055	-0.011	0.104	-0.201	0.036	0.006	0.058	1.000		
X12	-0.181	-0.240*	0.070	0.004	0.047	0.123	-0.179	-0.143	-0.381**	-0.290**	0.083	1.000	
X13	0.082	0.170	0.104	0.143	0.005	0.035	-0.117	0.790**	0.561**	0.146	0.266*	-0.151	1.000

[†] ** .在 0.01 水平(双侧)上极显著相关;* .在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 4 灰枣组织结构和质构指标的相关性[†]

Table 4 The correlation between the microstructure and texture of the Hui jujube

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1	1.000												
X2	0.084	1.000											
X3	0.077	0.113	1.000										
X4	0.007	-0.109	-0.329**	1.000									
X5	-0.060	0.028	-0.011	0.020	1.000								
X6	-0.197	-0.194	-0.104	0.285*	0.029	1.000							
X7	-0.058	-0.032	0.063	-0.039	-0.324**	0.152	1.000						
X8	0.128	0.162	-0.058	0.081	-0.032	0.076	-0.024	1.000					
X9	0.062	-0.127	-0.033	0.199	-0.084	0.164	-0.089	0.507**	1.000				
X10	-0.130	-0.003	-0.150	0.222*	0.093	0.370**	0.000	0.359**	0.331**	1.000			
X11	0.030	-0.072	-0.051	0.139	0.091	0.256*	-0.058	0.133	0.199	0.158	1.000		
X12	0.024	0.354**	0.145	0.002	0.160	-0.044	0.069	-0.013	-0.462**	0.032	-0.050	1.000	
X13	-0.016	0.068	-0.018	-0.012	-0.019	0.091	-0.004	0.756**	0.421**	0.172	0.288**	-0.023	1.000

[†] ** .在 0.01 水平(双侧)上极显著相关;* .在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 5 哈密大枣组织结构和质构指标的相关性[†]

Table 5 The correlation between the microstructure and texture of the Hami jujube

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13
X1	1.000												
X2	-0.147	1.000											
X3	0.066	-0.005	1.000										
X4	-0.015	0.031	-0.321**	1.000									
X5	-0.095	0.014	0.009	0.041	1.000								
X6	0.237*	0.397**	-0.079	-0.108	-0.280*	1.000							
X7	0.208	-0.433**	0.002	-0.111	-0.056	0.024	1.000						
X8	0.113	-0.147	-0.004	-0.002	-0.102	0.064	0.118	1.000					
X9	0.181	-0.251*	0.043	-0.091	-0.035	0.138	0.178	0.398**	1.000				
X10	0.232*	-0.236*	-0.051	-0.043	-0.096	0.171	0.212	0.732**	0.813**	1.000			
X11	0.216	0.055	0.079	0.055	0.140	0.030	-0.006	0.113	0.012	0.006	1.000		
X12	-0.039	0.075	-0.083	0.233*	-0.007	-0.175	-0.151	-0.008	-0.427**	-0.306**	0.190	1.000	
X13	-0.062	0.145	0.054	-0.017	0.196	-0.009	-0.253*	-0.092	-0.178	-0.263*	0.593**	0.286*	1.000

[†] ** .在 0.01 水平(双侧)上极显著相关;* .在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

与中部细胞极显著负相关,与果皮破裂距离、果皮韧性显著负相关,说明表皮越厚且中部空腔越大,果皮脆性就越大,即体现在果皮破裂距离和果皮韧性指标上。表皮细胞和近表皮空腔呈极显著负相关。近表皮空腔和果肉纤维指数呈显著正相关。近表皮细胞和中部空腔显著负相关。中部细胞和果肉起始强度显著负相关,即中部细胞越大,果肉抵抗穿刺能力越小,果肉起始强度越小。表皮穿刺强度与果皮破裂距离和果皮韧性均极显著正相关。果皮破裂距离与果皮韧性极显著正相关,但与果肉纤维指数极显著负相关。果皮韧性 with 果肉纤维指数极显著负相关,与果肉起始强度显著负相

关。果肉平均坚实度和果肉起始强度极显著正相关。果肉纤维指数和果肉起始强度显著正相关。

2.4 不同品种鲜枣果实的感官质地评价

表6表明骏枣果实的质地评价最好,果皮硬度最小,果皮韧性适中,果肉酥脆多汁,而哈密大枣次之,可能是哈密大枣的表皮厚度相对较大而影响了质地品质,灰枣果型相对骏枣和哈密大枣属小果型,果肉坚实度较致密,和吴玉蓉等^[37]研究灰枣的制干率最大相呼应,且果皮硬度较大,导致鲜枣的质地评价得分相对较低。因此,3个品种红枣组织结构和质构特性与感官质地评价结果基本一致。

表6 不同品种鲜枣果实的感官质地评价

Table 6 Sensory-texture evaluation of fruit quality of jujube cultivars

品种	果皮硬度	果皮韧性	果肉坚实度	果肉汁液	果肉粗细	质地评价
骏枣	小	中	酥脆	多	细	5.0
灰枣	大	大	致密	中	细	4.8
哈密大枣	中	中	酥脆	多	细	4.9

3 结论

灰枣的角质厚度、表皮厚度、表皮细胞、近表皮空腔、近表皮细胞、中部细胞均比骏枣和哈密大枣小,而表皮穿刺强度、果皮韧性、果肉坚实度、果肉纤维指数和果肉起始强度均最大。骏枣、灰枣和哈密大枣的组织结构与质构指标之间的相关性存在一定差异,而表皮穿刺强度与果皮破裂距离、果皮韧性,果肉平均坚实度与果肉起始强度均呈现极显著正相关。组织结构和质构特性与感官质地评价结果基本一致。后续将对枣果不同部位的理化成分进行测定和分析,结合枣果组织结构的差异,进一步明确理化成分的形态和含量对质构特性的影响,为枣果资源的开发和综合利用提供理论基础。

参考文献

[1] CHEN Kai, GAO Lei, LI Qiong, et al. Effects of CO₂ pretreatment on the volatile compounds of dried Chinese jujube (*Zizyphus jujuba* Miller)[J]. Food Science and Technology (Campinas), 2017, 37(4): 578-584.

[2] 蒋卉, 丁慧萍, 白红进. 新疆南疆引进鲜食枣品种品质性状的综合评价[J]. 食品科学, 2016, 37(3): 55-59.

[3] 颜廷才, 王云舒, 史学群, 等. 1-MCP及物流方式对芒果货架品质及软化酶活性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(6): 231-236.

[4] 李宝玉. 不同干燥方式对香蕉产品品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(15): 100-106.

[5] GAO Qing-han, WU Chun-sen, YU Jin-guang, et al. Textural characteristic, antioxidant activity, sugar, organic acid, and phenolic profiles of 10 promising jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) selections[J]. Journal of Food Science, 2012, 77(11): 1 218-1 225.

[6] 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): 1 210-1 217.

[7] 冯慧敏, 郭玉明, 武新慧. 基于穿刺试验苹果力学性质的研

究[J]. 农机化研究, 2016(1): 188-191.

[8] 丁胜华, 王蓉蓉, 单杨, 等. 不同品种枣果实品质分析与评价[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 31-36.

[9] 荀茜, 王敏, 冀晓龙, 等. 不同成熟度灵宝大枣食用及营养品质研究[J]. 现代食品科技, 2014, 30(11): 98-104.

[10] 胡亚云. 质构仪在食品研究中的应用现状[J]. 食品研究与开发, 2013(11): 101-104.

[11] 朱丹实, 李慧, 曹雪慧, 等. 质构仪器分析在生鲜食品品质评价中的研究进展[J]. 食品科学, 2014, 35(7): 264-269.

[12] 马庆华, 王贵禧, 梁丽松, 等. 冬枣的穿刺质地及其影响因素[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 596-601.

[13] 曹森, 王瑞, 钱波, 等. 1-MCP对“贵长”猕猴桃模拟运输后货架品质影响研究[J]. 食品工业科技, 2016, 37(6): 335-340, 350.

[14] 王玉玲, 路贵龙, 张新富, 等. 采前钙处理对黄金梨果顶硬化果实贮藏特性及PpEXPA2基因表达的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(2): 53-59.

[15] 韦玉龙. 热风干制对哈密大枣组织结构的影响[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2015: 3-4.

[16] 王晶晶, 董福, 冯叙桥, 等. TPA质构分析在凌枣贮藏时间判定中的应用[J]. 中国食品学报, 2017, 17(3): 218-224.

[17] 杨玲, 丛佩华, 王强, 等. 不同苹果品种在贮藏过程中果实质构的变化[J]. 果树学报, 2016, 33(11): 1 439-1 446.

[18] LUDIVINE B, EMIRA M, GAELLE R, et al. Relationship between texture and pectin composition of two apple cultivars during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(3): 315-324.

[19] BROOKFIELD P L, NICOLL S, GUNSON F A, et al. Sensory evaluation by small postharvest teams and the relationship with instrumental measurements of apple texture[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 179-186.

[20] 曹一博, 孙凡, 刘亚静, 等. 枣果实组织结构及果皮中矿质元素含量对裂果的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(4): 621-626.

(下转第97页)

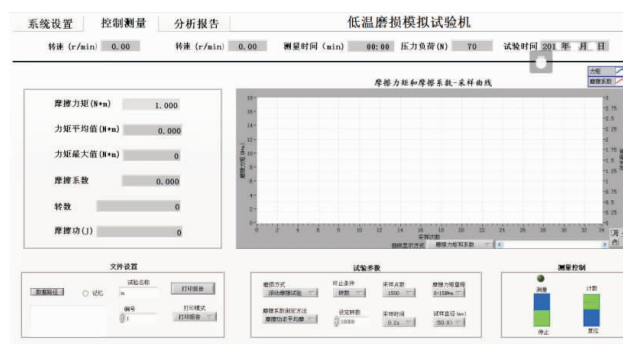


图 4 控制测量界面图

Figure 4 Interface diagram of control measurement

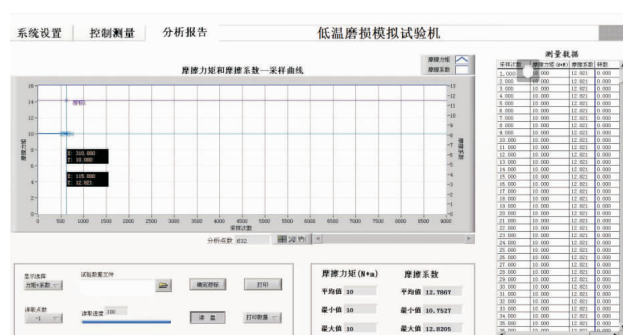


图 5 系统分析报告界面图

Figure 5 Interface diagram of system analysis report

关的测量结果。

测控系统的主要功能有:

(1) 测量摩擦扭矩相关参数: 载荷、平均力矩、最大力矩、摩擦系数、磨擦功。

(2) 显示测量时间, 试验转数, 试样 I / 试样 II 转速。

(3) 提供定时停试验机, 定转数停试验机。

(4) 提供压力载荷和摩擦扭矩的标定功能。

4 结语

低温磨损模拟试验机具有一定的先进性。可有效模拟低温环境下的金属滚动磨损试验。使用该试验机应注意以下几点: ① 使用过程中低温环境室的仓门必须关严, 使低温环境室保持密闭; ② 使用完毕后应及时关闭低温环境室的仓门, 防止低温环境室内结霜; ③ 要定期清除低温环境室内积水。

参考文献

- [1] 王洪宗. 高低温材料试验机及其发展动向: 2[J]. 试验机与材料试验, 1982(4): 36-49.
- [2] 马蕾, 王文健, 郭俊, 等. 低温下高速车轮材料滚动磨损与疲劳损伤行为[J]. 机械工程学报, 2017(20): 113-120.
- [3] 范寿孝. 高速高低温双滚子试验机的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008: 1-3.
- [4] 李新焱, 谢锋, 卜浩然, 等. 一种橡胶低温回缩性能试验机及测试方法: 中国, 102539248A[P]. 2012-07-04.
- [5] 路东辉, 段洪浩, 刘彦波. 超低温特种衬垫材料摩擦磨损疲劳试验机的研制[J]. 工程与试验, 2015(2): 75-77.
- [6] 王长生, 齐毓霖. 真空高低温球盘式摩擦磨损试验机的研制[J]. 机械工程师, 2010(3): 50-52.
- [7] SUBRAMONIAN B, BASU Bikramjit. Development of a high-speed cryogenic tribometer: Design concept and experimental results[J]. Materials Science and Engineering A, 2006, 415(1/2): 72-79.
- [8] 辛艳伟, 集贤, 刘和. 裂果性不同的枣品种果皮及果肉发育特点观察研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(11): 253-257.
- [9] 刘蒋龙, 张淑娟, 申海霞, 等. 鲜枣轻微损伤力学特性的研究[J]. 农产品加工, 2016(15): 8-10.
- [10] 寇晓虹, 王文生, 吴彩娥, 等. 鲜枣果实解剖结构与其耐藏性关系的研究[J]. 食品科技, 2001(5): 67-68.
- [11] 马璐璐, 李岩, 温成荣, 等. 脱盐过程中盐渍海蜇质构及组织结构的变化[J]. 中国食品学报, 2016, 16(5): 61-67.
- [12] 董志俭, 王庆军, 黄静雅, 等. 南美白对虾蒸制过程中水分状态及质构的变化[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 231-236.
- [13] 徐志斌, 陈青, 励建荣. 水发条件对海参 (Acaudina molpadioidea) 质构特性及微观结构的影响研究[J]. 食品科学, 2010, 31(7): 37-41.
- [14] 黄婷玉. 焙烤食品组分与面筋质构的关系及应用[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015: 8.
- [15] WATTANACHANT S, BENJAKUL S, LEDWARD D A. Effect of heat treatment on changes in texture, structure and properties of Thai indigenous chicken muscle[J]. Food Chemistry, 2005, 93(2): 337-348.
- [16] ROY B C, ANDO M, ITOH T, et al. Structural and ultrastructural changes of full-cycle cultured Pacific blue fin tuna muscle slices during chilled storage[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2012, 92(8): 1755-1764.
- [17] HUGHES J M, OISETH S K, PURSLOW P P, et al. A structural approach to understanding the interactions between color water-holding capacity and tenderness[J]. Meat Science, 2014, 98(3): 520-532.
- [18] CHIOU T K, TSAI C Y, LAN H L. Chemical, physical and sensory changes of small abalone meat during cooking[J]. Fisheries Science, 2004, 70(5): 867-874.
- [19] 韦玉龙, 于宁, 许铭强, 等. 热风干制温度对枣果微观组织结构的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 244-251.
- [20] 曹一博. 枣果实发育过程中生理代谢与裂果的关系[D]. 北京: 北京林业大学, 2013: 12.
- [21] 韦玉龙, 于宁, 许铭强, 等. 热风干制对哈密大枣表皮角质层的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(9): 224-233.
- [22] 吴文莹. 防裂制剂对新郑灰枣果实品质和组织结构的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2014: 30.
- [23] 杨双双. CaCl₂对新疆不同品种枣的裂果研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2014: 30-31.
- [24] 吴玉蓉. 不同红枣品种果实和果核性状评价分析[J]. 新疆农垦科技, 2015, 38(2): 15-17.