

基于TPA法的荔枝资源果肉质地品质分析

崔永宁,陈洁珍,史发超,姜永华,严倩,欧良喜,刘海伦,蔡长河*

(广东省农业科学院果树研究所·农业农村部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室,广州 510640)

摘要:【目的】对不同荔枝资源的质地品质的相关分析,为快速、客观、合理的区别荔枝所属类群和评价不同荔枝品种质地品质提供一定的理论参考。【方法】采用质构仪的全质构分析(TPA)模式,分别对2020年的120份荔枝资源和2021年196份资源进行质地品质指标参数测定,包括硬度、最大黏附力、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性以及咀嚼性,并分析各质地参数之间的相关性,并采用主成分分析方法和聚类分析方法,区分荔枝所属不同类群、不同质地荔枝品种。【结果】2 a(年)TPA测试结果显示,各指标之间相关性达到极显著($p < 0.01$)且趋势一致。对质地指标进行主成分分析,主要分为3个主成分,其中2020、2021年前3个主成分累计方差贡献率分别达到90.535%和89.619%,反映荔枝质地品质的绝大部分信息具备较高的质地品质信息代表性,根据主成分中指标参数的比重,这3个主成分可依次作为适口性因子、口感黏附性因子和凝聚性因子。对2021年的196份资源(2个年份中有62份资源相同,取均值)的质地指标聚类分析,显示被分为3大类群,基于主成分分析结果可知,分别为适口性类群、口感黏附性类群和凝聚性类群。【结论】聚类分析结果可知,2021年的196份荔枝资源被分为适口性、口感黏附性和凝聚性3大类群,其中适口性类群的硬度、弹性、胶黏性以及咀嚼性等的质地品质值比其他2个类群大;口感黏附性类群的黏附性比其他2个类群小,最大黏附力比其他2个类群大,2个质地品质指标呈负相关;而凝聚性类群的硬度比其他2个类群小,内聚性比其他2个类群大,2个质地品质之间亦呈负相关关系。

关键词:荔枝;质地品质;全质构分析(TPA);相关性分析;主成分分析;聚类分析

中图分类号:S667.1

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)12-2241-13

Analysis of texture quality of the fruits in litchi based on the texture profile analysis (TPA)

CUI Yongning, CHEN Jiezheng, SHI Fachao, JIANG Yonghua, YAN Qian, OU Liangxi, LIU Hailun, CAI Changhe*

(Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangzhou 510640, Guangdong, China)

Abstract: 【Objective】 Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) is a subtropical evergreen fruit tree of the Sapindaceae family. It was firstly planted in Southern China and Northern Vietnam, and now is grown in more than 20 countries of the world, mainly distributed in Southeast Asia, especially in China, Vietnam, Indonesia, Thailand, and the Philippines. It has become one of the most popular fruits because of its delicious taste, attractive color, high nutrition and food therapy value. However, the fruits of litchi have a short shelf life, and are difficult to transport and store for a long time. Therefore, it is urgent to select new variety with long shelf life. The texture quality is important for shelf life and storage ability. Texture analyzer has been widely used in the study of texture characteristics of various fruits and vegetables. However, there have been few reports on the texture study of litchi. This paper dealt with the quick and objective evaluation of different litchi varieties, and the groups of litchi fruits distinguished by the texture quality. 【Methods】 Texture profile analysis (TPA) was used to test the texture quality of

收稿日期:2022-04-13

接受日期:2022-07-21

基金项目:物种品种资源保护项目(111821301354052293);国家园艺种质广州荔枝、香蕉分库运行服务(NHGRC2021-NH17);国家荔枝龙眼产业技术体系岗位专家(CARS-32-01);广东省荔枝产业技术体系创新团队(2021K107-1);广东省农业农村厅汕尾市优质荔枝采穗圃建设项目

作者简介:崔永宁,男,助理研究员,主要从事果树育种工作。Tel:13048081030,E-mail:cuiyn1990@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13808876203,E-mail:caichanghe@gdaas.cn

120 varieties of litchi in 2020 and 196 varieties in 2021, respectively. The fruits were collected from the National Germplasm -Guangzhou Litchi Nursery. The probe of TMS-75 mm was used, its height above the surface of sample was 18 mm, the range of force sensing element was 250 N, the deformation was 50%, the test speed was $30 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, the initial fracture was 0.2 N. All samples were in a same size and were peeled. 【Results】 According to the TPA results, the texture parameters of litchi fruits mainly included the hardness, adhesive force, adhesiveness, cohesiveness, springiness, gumminess and chewiness. The correlation analysis was performed with each texture indicator. The results showed that hardness was significantly and positively correlated with the gumminess, chewiness, and springiness and significantly and negatively correlated with cohesiveness ($p < 0.01$); the adhesive force was significantly and negatively correlated with the adhesiveness, also positively correlated with the springiness ($p < 0.01$); the springiness was significantly and positively correlated with the chewiness, gumminess, adhesive force, and hardness ($p < 0.01$); the gumminess was significantly and positively correlated with the hardness, cohesiveness, springiness and chewiness ($p < 0.01$); the chewiness was significantly and positively correlated with the hardness, cohesiveness, springiness and gumminess ($p < 0.01$). Then the principal component analysis was performed. The indicators could be divided into three main components, the accumulative variance contribution of first three principal components was 90.535%, which could basically reflect most information of the texture quality of litchi fruits and would have high representativeness of texture quality information. According to the representative texture parameters, 196 varieties in 2021, were divided into three main groups through clustering analysis, namely the palatability group, adhesiveness group and cohesiveness group. 【Conclusion】 Based on litchi texture parameters, we performed correlation analysis and the principal component analysis. 196 litchi varieties could be divided into three main groups, namely the palatability group, adhesiveness group and cohesiveness group. The hardness, springiness, gumminess and chewiness of the palatability group were higher than those of the other groups; the adhesiveness of the adhesiveness group was lower, and the adhesive force was higher, and the two texture parameters were negatively correlated; compared with the other two groups, the hardness of the cohesiveness group was lower, and the cohesiveness was higher, and the two texture parameters were negatively correlated.

Key words: Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.); Texture quality; Texture profile analysis; Correlation analysis; Principal component analysis; Clustering analysis

荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)属无患子科热带亚热带常绿乔木,原产于中国南部,我国荔枝主要分布于广东、广西、海南、福建等地^[1-2]。世界各国先后直接或间接引种栽培,包括亚洲的印度、缅甸、泰国、越南、印度尼西亚等国家,美洲的美国、巴西等国家,非洲的毛里求斯、马达加斯加等国家,大洋洲的澳大利亚等国家。中国是世界第一大荔枝生产国和消费国,2018年荔枝种植面积和产量分别为55.2 hm²和302.81万t,分别约占世界的67%和70%^[3]。在荔枝种质资源相对丰富的基础上,通过品种选育,形成了大量的荔枝品种^[4-8]。荔枝是华南地区特色水果,在世界经济水果中占有举足轻重的地位,果实成熟时具有艳丽的果皮,半透明状且酸甜可口、汁多嫩滑的

果肉,营养丰富,深受消费者喜爱^[9]。

由于荔枝品种多,各品种之间质地品质、货架期或贮藏期也有较大差距。不同消费人群所喜欢的荔枝质地品质亦有所不同。荔枝新鲜果实保鲜货架期极短,很难长距离运输和长时间贮藏^[10],这对荔枝生产及人们对荔枝需求产生极大的影响,如何快速准确地挑选优质荔枝品种,建立快速、客观、合理的品质评价体系是目前亟待解决的问题。在以往的生产过程中,人们对荔枝质地品质等指标的评价主要依赖于感官鉴定,其主观评价占据主导地位^[11],这对荔枝品质的准确评价以及为研究者提供科学依据产生一定的误差。

近年来,质构仪在果蔬品质鉴定的应用上日渐

普遍,且评价的角度和参数更加丰富、客观合理,具有一定的可重复性和实用性。质构仪质地剖面分析(Texture profile analysis, TPA)是一种模拟人类牙齿咀嚼食物的机械过程,在机械探头两侧挤压过程中测定果蔬的相关质地参数^[12]。通过这种方法,已经对苹果^[13-17]、枣^[12]、葡萄^[18]、梨^[19-20]、磴口华莱士蜜瓜^[21]、甜瓜^[22-23]、肉类^[24-25]等的质地品质进行综合评价。国外此类型研究较多、较深入,而我国所涉及的相关研究较少,荔枝在此方面的研究鲜见报道。本研究旨在通过TPA分析,为快速、客观、合理地区别荔枝所属类群和评价不同荔枝品种质地品质提供一定的理论参考。

1 材料和方法

1.1 材料

试验分别于2020年7月和2021年7月在农业农村部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室开展,2020年和2021年分别在国家果树种质广州荔枝圃选取荔枝资源120份和196份,2 a(年)所选取的材料中有62份资源是相同的(表1中2020年和2021年的前62份资源),这62份资源均采摘于相同植株。本试验根据李建国^[3]的《中国果树科学与实践·荔枝》中的采收成熟度的确定方法确定各荔枝资源样品的采收时间,当荔枝果皮有1/3~1/2变红时,即八成熟时采收。每份资源随机采取3株树,各株随机采取果实7个(均位于向阳面,试验果肉均采用每个果的相同部位),即每份资源3个重复。所测试的所有荔枝资源在5月下旬至8月中下旬陆续成熟,很少集中测试(为了保证测试样品成熟度一致),所采样品皆是当天上午8:30采摘后立即测试。土壤表层肥沃,排灌通畅,统一管理,生长正常。

1.2 方法

1.2.1 试验仪器 试验仪器使用产自美国Food Technology Corporation公司的TMS-PRO型食物物性分析仪(质构仪)。

1.2.2 试验参数和方法 测试模式采用全质构分析(TPA)模式,质构仪探头采用圆盘挤压探头(TMS-75 mm),力量感应元的量程250 N,探头回升到样品表面上方的高度18 mm,形变百分量50%,检测速度30 mm·min⁻¹,起始力0.2 N,把去皮大小一致的果肉置于质构仪托盘上进行相关测定,相关试验参数和方法参考Chen等^[26]和Cejudo-Bastante等^[27]的报道,

探头回升高度根据荔枝特性略有变化。力量感应元连接探头,探头上下运动2次循环挤压样品时所受到的峰值力,以及其所做的功、运动距离、时间等的换算结果即是最终的测试指标参数。

测定的荔枝果肉TPA质地特征曲线如图1所示,图中硬度1为仪器第1次挤压循环的最大力量峰值;硬度2为仪器第2次挤压循环的最大力量峰值;破裂力为仪器压循环中的显著破裂的压力下降超过5%的峰值;起始模量为试样破裂前的20%到80%之间的曲线的倾斜度;起始做功为出现破裂时所输入的能量;回程功为解压缩过程中样品反馈释放出来的能量。

1.2.3 数据处理 实验数据采用Excel和SPSS21.0进行作图和数据分析,采用SPSS21.0软件进行方差分析、相关性分析以及聚类分析。

2 结果与分析

2.1 荔枝果肉TPA质地参数之间的相关性分析

由TPA测定结果可知,荔枝果肉质地区域指标参数主要有硬度、最大黏附力、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性以及咀嚼性。2020年测试研究结果表明(表2):硬度与胶黏性、咀嚼性、弹性、内聚性均呈极显著相关($p < 0.01$),其中与内聚性呈负相关,与其余指标均呈正相关,其中相关性最显著的是胶黏性,相关系数0.80;最大黏附力与黏附性呈极显著负相关($p < 0.01$),相关系数-0.965,与弹性呈显著正相关;弹性与咀嚼性、胶黏性、最大黏附力和硬度均呈极显著正相关($p < 0.01$);胶黏性和硬度、内聚性、弹性、咀嚼性呈极显著正相关($p < 0.01$);咀嚼性与硬度、内聚性、弹性以及胶黏性呈极显著正相关($p < 0.01$)。

对2021年196份荔枝资源进行TPA测定,结果表明(表3):硬度与弹性、胶黏性和咀嚼性呈极显著正相关($p < 0.01$);最大黏附力与黏附性呈极显著负相关($p < 0.01$),相关系数-0.905;弹性与硬度、胶黏性和咀嚼性呈极显著正相关($p < 0.01$),胶黏性与硬度、弹性、咀嚼性呈极显著正相关($p < 0.01$);咀嚼性与硬度、内聚性、弹性以及胶黏性呈极显著正相关($p < 0.01$)。综上所述,2021年测试结果与2020年测试结果极度一致,充分表明荔枝的硬度、最大黏附力、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性以及咀嚼性等质地指标间呈极显著相关。

表 1 2020 年和 2021 年采集荔枝资源名称
Table 1 Litchi resource names in 2020 and 2021

年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names
2020	1	至善黄蛋 Zhishanhuangdan	2020	33	黄皮荔2 Huangpili 2	2020	62	壮园2号 Zhuangyuan 2	2020	94	南岛无核荔(大) Nandaowuheli(Da)
	2	圆核 Yuanhe		34	鸡脆肉 Jicuirou		63	2-5-6		95	南岛无核荔(小) Nandaowuheli(Xiao)
	3	宏俊1号 Hongjun 1		35	吉公1号 Jigong 1		64	琼山23号 Qiongshan 23		96	牛心荔 Niuxinli
	4	脆香荔 Cuixiangli		36	佳圆蜜荔 Jiayuanmili		65	9-4-5		97	糯米糍 Nuomici
	5	东龙蜜荔1 Donglongmili 1		37	将军荔 Jiangjunli		66	紫荔(海南) Zili(Hainan)		98	乒乓球 Pingpangqiu
	6	黄皮荔1 Huangpili 1		38	椒攀荔 Jiaopanli		67	屯昌青皮 Tunchangqingpi		99	七月熟 Qiyueshu
	7	安多蜜荔 Anduomili		39	井兴 Jingxing		68	G		100	清风 Qingfeng
	8	琼公1号 Qionggong 1		40	巨分1号 Jufen 1		69	阿娘鞋 Aniangxie		101	琼山5号 Qiongshan 5
	9	宾宝荔 Binbaoli		41	林青小丁香 Linqingxiaodixiang		70	安多鸡蛋 Anduojidan		102	琼山15号 Qiongshan 15
	10	鹅蛋荔2号 Edanli 2		42	岭腰1号 Lingyao 1		71	安福3号 Anfu 3		103	仁深3号 Renshen 3
	11	竹山4号 Zhushan 4		43	马贵荔 Maguili		72	宾荔 Binli		104	上书杯 Shangshuhuai
	12	草莓荔 Caomeili		44	目牌1号 Mupai 1		73	陈紫 Chenzi		105	双肩玉荷包 Shuangjianyuhobao
	13	九湖24号 Jiuhu 24		45	庆园 Qingyuan		74	秤砣 Chengtuo		106	四川桂味 Sichuanguiwei
	14	山鸡爬 Shanjipa		46	琼山26号 Qiongshan 26		75	垂利黄荔 Chuilihuangli		107	宋香 Songxiang
	15	花东假米枝 Huadongjiamizhi		47	琼山29号 Qiongshan29		76	春藤 Chunteng		108	吴俊2号 Wujun 2
	16	矮荔 Aili		48	仁山荔 Renshanli		77	东莞罗2号 Dongguanluo 2		109	仙进奉 Xianjinfeng
	17	安良 Anliang		49	仁深2号 Renshen 2		78	蜂糖罌 Fengtangying		110	香山鸡嘴荔 Xiangshanjizuli
	18	白皮荔 Baipili		50	仁深荔 Renshenli		79	凤山红灯笼 Fengshanhongdenglong		111	校荣小蜜 Xiaorongxiaomi
	19	百盛 Baisheng		51	任公3号 Rengong 3		80	勾背 Goubei		112	新球蜜荔 Xinqiumili
	20	布袋 Budai		52	三山尖叶荔 Sanshanjianyeli		81	挂绿 Gualü		113	雪怀子 Xuehuazi
	21	昌洪 Changhong		53	水晶球 Shuijingqiu		82	光圆1号 Guangyuan 1		114	野生荔九号 Yeshengli 9
	22	昌文 Changwen		54	五叉荔 Wuchali		83	桂 Gui		115	裕荣香荔 Yurongxiangli
	23	翠叶 Cuiye		55	新兴香荔 Xinxingxiangli		84	海果4号 Haiguo 4		116	圆球 Yuanqiu
	24	大井1号 Dajing 1		56	胭脂红 Yanzhihong		85	黑枝 Heizhi		117	至规1号 Zhigui 1
	25	大井2号 Dajing 2		57	义桥蜜荔 Yiqiaomili		86	红荔红果 Honglihongguo		118	志民荔 Zhiminli
	26	大造 Dazao		58	鱼鳞荔 Yulinli		87	红荔青果 Hongliqingguo		119	猪血荔 Zhuxueli
	27	东龙蜜荔2 Donglongmili 2		59	玉潭蜜荔 Yutanmili		88	红珍珠 Hongzhenzhu		120	紫娘喜 Ziniangxi
	28	鹅蛋荔1 Edanli 1		60	圆端荔 Yuanduanli		89	怀枝 Huaizhi			
	29	桂圆1号 Guiyuan 1		61	壮园1号 Zhuangyuan 1		90	吉公2号 Jigong 2			
	30	海垦10号 Haiken 10					91	岭丰糯 Lingfengnuo			
	31	红绣球 Hongxiuqiu					92	六月雪 Liuyuexue			
	32	侯仙 Houxian					93	马达加斯加2号 Madagascar 2			

续表 Continued Table

年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names
2021	1	至善黄蛋 Zhishanhuangdan	2021	45	庆园 Qingyuan	2021	84	甜眼 Tianyan	2021	125	琼山6号 Qionshan 6
	2	圆核 Yuanhe		46	琼山26号 Qionshan 26		85	实生70号 Shisheng 70		126	琼山7号 Qionshan 7
	3	宏俊1号 Hongjun 1		47	琼山29号 Qionshan29		86	2-216		127	鸭姆笼 Yamulong
	4	脆香荔 Cuixiangli		48	仁山荔 Renshanli		87	2-254		128	大东荔 Dadongli
	5	东龙蜜荔1 Donglongmili 1		49	仁深2号 Renshen 2		88	岭腰2号 Lingyao 2		129	琼山8号 Qionshan 8
	6	黄皮荔1 Huangpili 1		50	仁深荔 Renshenli		89	早蜜4 Zaomi 4		130	7-160
	7	安多蜜荔 Anduomili		51	任公3号 Rengong 3		90	南岛无核荔 Nandaowuheli		131	7-169
	8	琼公1号 Qionggong 1		52	三山尖叶荔 Sanshanjianyeli		91	雷岭小丁香 Leilingxiao- dingxiang		132	7-170
	9	宾宝荔 Binbaoli		53	水晶球 Shuijingqiu		92	榆林大丁香 1 Yulindadingxiang 1		133	2009-713
	10	鹅蛋荔2号 Edanli 2		54	五叉荔 Wuchali		93	永发圃 1-1 Yongfapu 1-1		134	7-181
	11	竹山4号 Zhushan 4		55	新兴香荔 Xinxingxiangli		94	早蜜3 Zaomi 3		135	7-190
	12	草莓荔 Caomeili		56	胭脂红 Yanzhihong		95	甜水荔 Tianshuili		136	7-191
	13	九湖24号 Jiuhu 24		57	义桥蜜荔 Yiqiaomili		96	早蜜1 Zaomi 1		137	7-200
	14	山鸡爬 Shanjipa		58	鱼鳞荔 Yulinli		97	扁荔 Bianli		138	7-201
	15	花东假米枝 Huadongjiamizhi		59	玉潭蜜荔 Yutanmili		98	早蜜2 Zaomi 2		139	7-204
	16	矮荔 Aili		60	圆端荔 Yuanduanli		99	柳荔1号 Liuli 1		140	7-206
	17	安良 Anliang		61	壮园1号 Zhuangyuan 1		100	小叶 Xiaoye		141	7-207
	18	白皮荔 Baipili		62	壮园2号 Zhuangyuan 2		101	榆林大丁香 2 Yulindadingxiang 2		142	7-208
	19	百盛 Baisheng		63	1-100		102	柳荔2号 Liuli 2		143	7-215
	20	布袋 Budai		64	1-407		103	裕荣2号 Rongyu 2		144	7-218
	21	昌洪 Changhong		65	禾虾串 Hexiachuan		104	树芳荔 Shufangli		145	7-222
	22	昌文 Changwen		66	沙坑种 Shakengzhong		105	安福1号 Anfu 1		146	7-231
	23	翠叶 Cuiye		67	增城进奉 ZengchengJinfeng		106	吴俊3号 Wujun 3		147	7-236
	24	大井1号 Dajing 1		68	Pink Kway May		107	安福2号 Anfu 2		148	0779
	25	大井2号 Dajing 2		69	红荔 Hongli		108	校荣1号 Xiaorong 1		149	7-222
	26	大造 Dazao		70	钦州红荔 Qinzhouhongli		109	赤糖荔 Chitangli		150	8-7-4
	27	东龙蜜荔2 Donglongmili 2		71	圃2-4-2 Pu 2-4-2		110	旺公荔1 Wanggongli 1		151	8-10-2
	28	鹅蛋荔1 Edanli 1		72	甜岩 Tianyan		111	旺公荔2 Wanggongli 2		152	9-1-5
	29	桂圆1号 Guiyuan 1		73	黑面登 Heimiandeng		112	安福3号 Anfu 3		153	沙荔 Shali
	30	海垦10号 Haiken 10		74	广西勾背 Guangxigoubei		113	海垦7号 Haiken 7		154	9-030
	31	红绣球 Hongxiuqiu		75	麻雀青 Maqueqing		114	6-019		155	9-031
	32	侯仙 Houxian		76	37383		115	巨海1号 Juhai 1		156	海垦2号 Haiken 2
	33	黄皮荔2 Huangpili 2		77	37415		116	裕荣1号 Yurong 1		157	清甜 Qingtian
	34	鸡脆肉 Jicuirou		78	2-7-8		117	昌盈荔 Changyingli		158	同沙迟怀枝 Tongshachihuazhi
	35	吉公1号 Jigong 1		79	米怀枝 Mihuaizhi		118	实生1 Shisheng 1		159	青糖荔 Qingtangli
	36	佳圆蜜荔 Jiayuanmili		80	2-087		119	实生2 Shisheng 2		160	广西范焦 7-7 Guangxifanjiao 7-7
	37	将军荔 Jiangjunli		81	及第2 Jidi 2		120	实生3 Shisheng 3		161	实生4 Shisheng 4
	38	椒攀荔 Jiaopanli		82	野生荔枝9号 Yeshenglizhi 9		121	6-227		162	实生5 Shisheng 5
	39	井兴 Jingxing		83	紫娘鞋 Ziniangxie		122	2009-733		163	9-271
	40	巨分1号 Jufen 1					123	海果3号 Haiguo 3		164	电白糯米糍 Dianbainuomici
	41	林青小丁香 Linqingxiaodingxiang					124	九湖10号 Jiuhu 10		165	无刺禾荔 Wuciheli
	42	岭腰1号 Lingyao 1								166	九湖17号 Jiuhu 17
	43	马贵荔 Maguili								167	九湖22号 Jiuhu 22
	44	目牌1号 Mupai 1								168	大红袍早熟 Dahongpaosaoshu
										169	水荔 Shuili

续表 Continued Table

年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names	年份 Year	序号 No.	资源名称 Resource names
2021	170	濠江酸荔枝 Mengjiangsuanlizhi	2021	176	九湖 10 号 Jiuhu 10	2021	183	老挝荔枝 Laowolizhi	2021	191	市郊香荔 Shijiaoxiangli
	171	桂平五月五 Guipingwuyuewu		177	霞浦浒屿元红 Xiapuhuyuyuanhong		184	10-303		192	水东 Shuidong
	172	广西 041-009 Guangxi 041-009		178	紫荔 Zili		185	八宝香 Babaoxiang		193	糖驳 Tangbo
	173	英山糯米糍 Yingshannuomici		179	黄肉糯米糍 Huangrounuomici		186	冰荔 Bingli		194	野生荔 12 号 Yeshengli 12
	174	葡萄荔 Putali		180	琼山 31 号 Qiongsan 31		187	蔡坑肉丸 Caikengrouwan		195	增城脆肉 Zengchengcuirou
	175	泸州荔枝 Luzhoulizhi		181	乌面 Wumian		188	赤叶 Chiye		196	中山状元红 Zhongshanzhuang yuanhong
				182	10-11-3-3		189	妃子笑 Feizixiao			
							190	黑叶 Heiye			

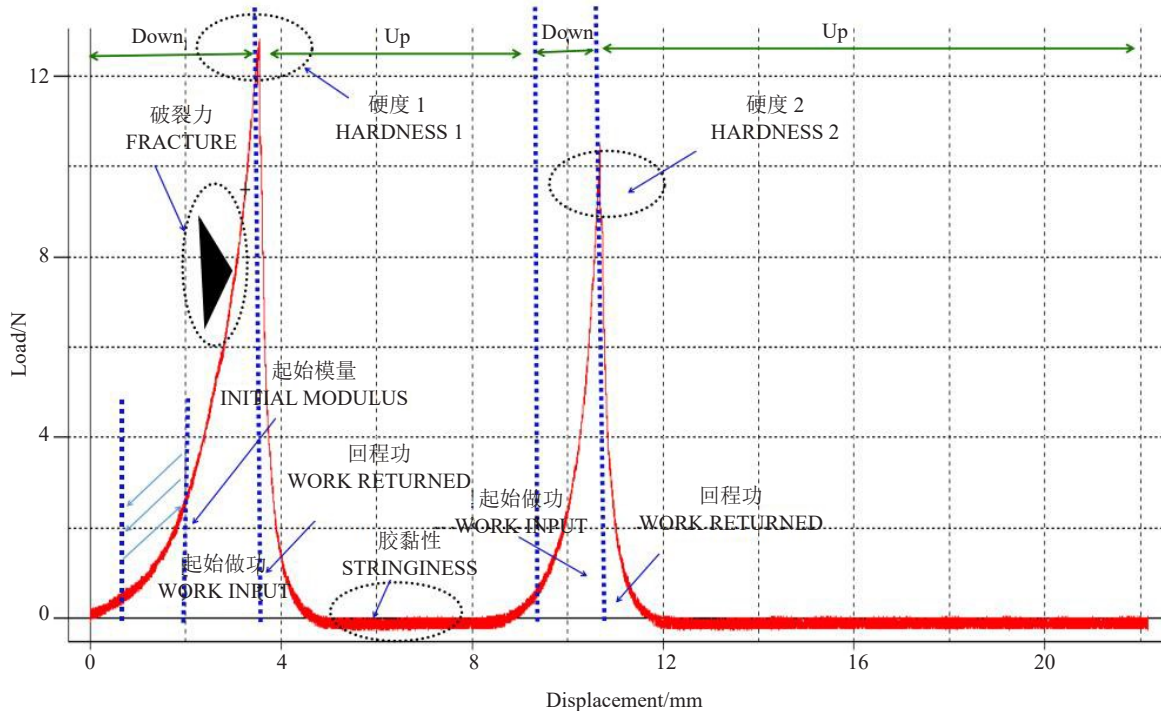


图 1 荔枝果肉 TPA 质地特征曲线

Fig. 1 The TPA curve of texture character of litchi flesh

表 2 2020 年荔枝果肉 TPA 质地参数相关性

Table 2 Correlation matrix of texture parameters of litchi flesh derived from TPA test in 2020

性状 Character	硬度 Hardness	最大黏附力 Adhesive force	黏附性 Adhesiveness	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	胶黏性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness
硬度 Hardness	1						
最大黏附力 Adhesive force	-0.038	1					
黏附性 Adhesiveness	0.061	-0.965**	1				
内聚性 Cohesiveness	-0.348**	-0.012	-0.024	1			
弹性 Springiness	0.392**	0.257**	-0.158	0.105	1		
胶黏性 Gumminess	0.800**	-0.022	0.027	0.181*	0.500**	1	
咀嚼性 Chewiness	0.704**	0.095	-0.054	0.203*	0.782**	0.914**	1

注:**. 在 0.01 水平上极显著相关, * 在 0.05 水平上显著相关。下同。

Note: ** represented the extremely significant correlation at level 0.01, * represented the significant correlation at level 0.05. The same below.

表3 2021年荔枝果肉TPA质地参数相关性

Table 3 Correlation matrix of texture parameters of litchi flesh derived from TPA test in 2021

性状 Character	硬度 Hardness	最大黏附力 Adhesive force	黏附性 Adhesiveness	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	胶黏性 Gumminess	咀嚼性 Chewiness
硬度 Hardness	1						
最大黏附力 Adhesive force	-0.090	1					
黏附性 Adhesiveness	0.141*	-0.905**	1				
内聚性 Cohesiveness	-0.167*	0.014	-0.096	1			
弹性 Springiness	0.480**	0.056	-0.108	0.143*	1		
胶黏性 Gumminess	0.846**	-0.081	0.079	0.245**	0.565**	1	
咀嚼性 Chewiness	0.757**	-0.012	-0.013	0.241**	0.804**	0.917**	1

2.2 荔枝品种TPA质地参数主成分分析

利用SPSS 21.0对2020年的120份资源的相关质地参数指标进行主成分分析。根据分析结果可知(表4),主要分为3个主成分,第1主成分、第2主成分和第3主成分的特征值分别为3.094、2.014和1.228,方差贡献率分别为44.216%、28.777%、17.543%,累计方差贡献率分别为44.216%、72.992%、90.535%。由此可知,这3个主成分累计方差贡献率达90.535%,基本反映了荔枝质地品质的绝大部分信息,具备很高的质地品质信息代表性。

第1主成分的咀嚼性、胶黏性、硬度、弹性权重值较大,即这4个指标在2020年的120份资源中值较其他2个成分中最大;这4个质地参数均为质构仪下压过程中所呈现出或换算出的指标参数,果实的咀嚼性越大其胶黏性、硬度以及弹性越大;此成分对荔枝果肉质地质地选择具有极大的科学指导意义。第2主成分的黏附性负向权重最大和最大黏附力正向权重值较大,即在2020年的120份资源中黏附性值较其他2个成分中最小,最大黏附力值最大,黏附性越大其果肉的最大黏附力将越小,这2个质地参数均为质

表4 2020年荔枝果实质地主成分分析

Table 4 Principal component analysis of texture parameters of litchi fruit in 2020

性状 Character	特征向量 Feature vector		
	第1主成分 First principal component	第2主成分 Second principal component	第3主成分 Third principal component
硬度 Hardness	0.260	0.121	-0.381
最大黏附力 Adhesive force	0.056	0.482	-0.085
黏附性 Adhesiveness	-0.041	-0.481	0.068
内聚性 Cohesiveness	0.026	-0.033	0.790
弹性 Springiness	0.249	-0.085	0.119
胶黏性 Gumminess	0.297	0.096	0.060
咀嚼性 Chewiness	0.316	0.028	0.123
特征值 Characteristic value	3.094	2.014	1.228
贡献率 Contribution rate/%	44.216	28.777	17.543
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	44.216	72.992	90.535

构仪探头向上运动期间产生的最大负力和阻力。第3主成分的内聚性所占权重最大,硬度最小,这2个指标在2020年的120份资源中值较其他2个成分中内聚性最大、硬度最小,内聚性为第2次压力循环正力与第1次循环正力的比率,而硬度取于第1次压力的正力,由此可见内聚性越大硬度反而越小,这与所测参数完全相符。

表5为2021年荔枝196份资源的TPA质地参数

的主成分分析,此表所呈现的测试结果和2020年120份资源的测试结果较为一致,也分为3个主成分,第1主成分、第2主成分、第3主成分的特征值分别为3.235、1.948和1.090,方差贡献率分别为46.216%、27.829%、15.575%,累计方差贡献率分别为46.216%、74.045%以及86.619%。第1主成分中亦是硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性所占权重最高,第2主成分中的最大黏附力正向权重和黏附性负向权

表5 2021年荔枝果实质地主成分分析

Table 5 Principal component analysis of texture parameters of litchi fruit in 2021

性状 Character	特征向量 Feature vector		
	第1主成分 First principal component	第2主成分 Second principal componen	第3主成分 Third principal component
硬度 Hardness	0.263	-0.062	-0.355
最大粘附力 Adhesive force	-0.025	0.490	-0.156
粘附性 Adhesiveness	0.021	-0.499	0.062
内聚性 Cohesiveness	0.060	0.092	0.870
弹性 Springiness	0.241	0.098	0.037
胶黏性 Gumminess	0.293	-0.013	0.035
咀嚼性 Chewiness	0.302	0.045	0.056
特征值 Characteristic value	3.235	1.948	1.090
贡献率 Contribution rate/%	46.216	27.829	15.575
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	46.216	74.045	89.619

重最大,第3主成分中硬度和内聚性所占权重亦是最大。结合2020年和2021的316多份资源的主成分分析结果可知,第1主成分的咀嚼性、胶黏性、硬度、弹性这4个参数的值较大,且反映了果肉在嘴里基本的适口性感觉,即可称之为适口性因子;第2主成分的黏附性值较其他2个成分中的值最小,最大黏附力值较其他2个成分中的值大,反映了果肉在嘴里破碎时所克服的吸引力所需要的能量和力,表现在嘴中的黏附性口感,所以可以称之为口感黏附性因子;第3主成分中内聚性较其他2个成分中值较大,且硬度较其他成分最小,内聚性为果肉内部的收缩力或凝聚力,根据测试原理可知内聚性越大硬度反而越小,由此可称第3主成分为凝聚性因子。

2.3 荔枝品种的聚类分析

基于主成分分析结果,利用SPSS 21.0对2021年的196份(其中2020年和2021年相同的62份资源取2年的均值)资源的质地品质参数进行聚类分析,遗传距离为17.5时,196份资源可被分为3类(图2),第I类包含80份资源,其硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均值分别为16.57 N、2.64 mm、4.75 N以及12.94 mj,均高于其他2个品种类群,由此可见第I类的荔枝为适口性最好的荔枝;第II类包含24份资源,其最大黏附力均值为-0.08 N,相较于其他2个类群最大,而其黏附性亦比其他2个类群较小,均值为0.12 N·mm⁻¹,所以第II类资源属于口感黏附类品种;第III类包含92份资源,这一类资源所占比例最多,其内聚性均值为0.34 Ratio,较其他2个类群均值最大,而硬度最小,为11.04 N,由内聚性测试原理可知,内聚性越大硬度就会越小,所以这一类群荔枝资源属于凝聚性品种(表6)。

综上所述,2021年的196份资源,被分为3类,这3类分别为适口性类群、凝聚性类群和口感黏附性类群。

3 讨论

3.1 荔枝果肉质地参数之间的相关性

质构仪TPA测试,完全模拟口腔的咀嚼咬合过程,对试样进行往复2次挤压,计算分析出硬度、弹性、咀嚼性等质地参数,这些指标参数能够较为客观全面地反映果肉的质地品质特点^[28-30]。分别根据2020年和2021年的TPA测试结果可知,2个年度的荔枝资源均是:硬度与胶黏性、咀嚼性、弹性均呈极显著相关($p < 0.01$),2020年相关系数分别为0.800、0.704、0.392,2021年的分别为0.846、0.754、0.480,趋势一致;王彬彬等^[28]在桑葚上测试结果亦是硬度与弹性、咀嚼性的相关性亦极显著($p < 0.01$),相关系数分别为0.530、0.929;许玲等^[31]研究表明,鲜枣硬度与恢复性、黏着性呈极显著负相关($p < 0.01$),相关系数分别为-0.518、-0.836,与本研究结果截然相反,这可能是测试果实质地不同造成的,荔枝果肉偏软弹,而鲜枣偏硬脆;水蜜桃^[32]的硬度与弹性、内聚性、咀嚼性的相关性极显著($p < 0.01$),相关系数分别为0.720、0.769、0.994,这与本实验结果极为一致;李志文等^[33]和任朝晖等^[18]的研究结果表明,葡萄的硬度与弹性、内聚性、咀嚼性显著相关,相关系数分别为0.734、0.326、0.755,与本实验结果趋势一致。弹性与硬度、胶黏性和咀嚼性呈极显著正相关($p < 0.01$),杨玲等^[16]和潘秀娟等^[34]在苹果上的研究结果显示弹性与其他指标相关性不显著,这极有可能是果肉质地不同所引起的;沈颖越等^[35]在香菇上的研

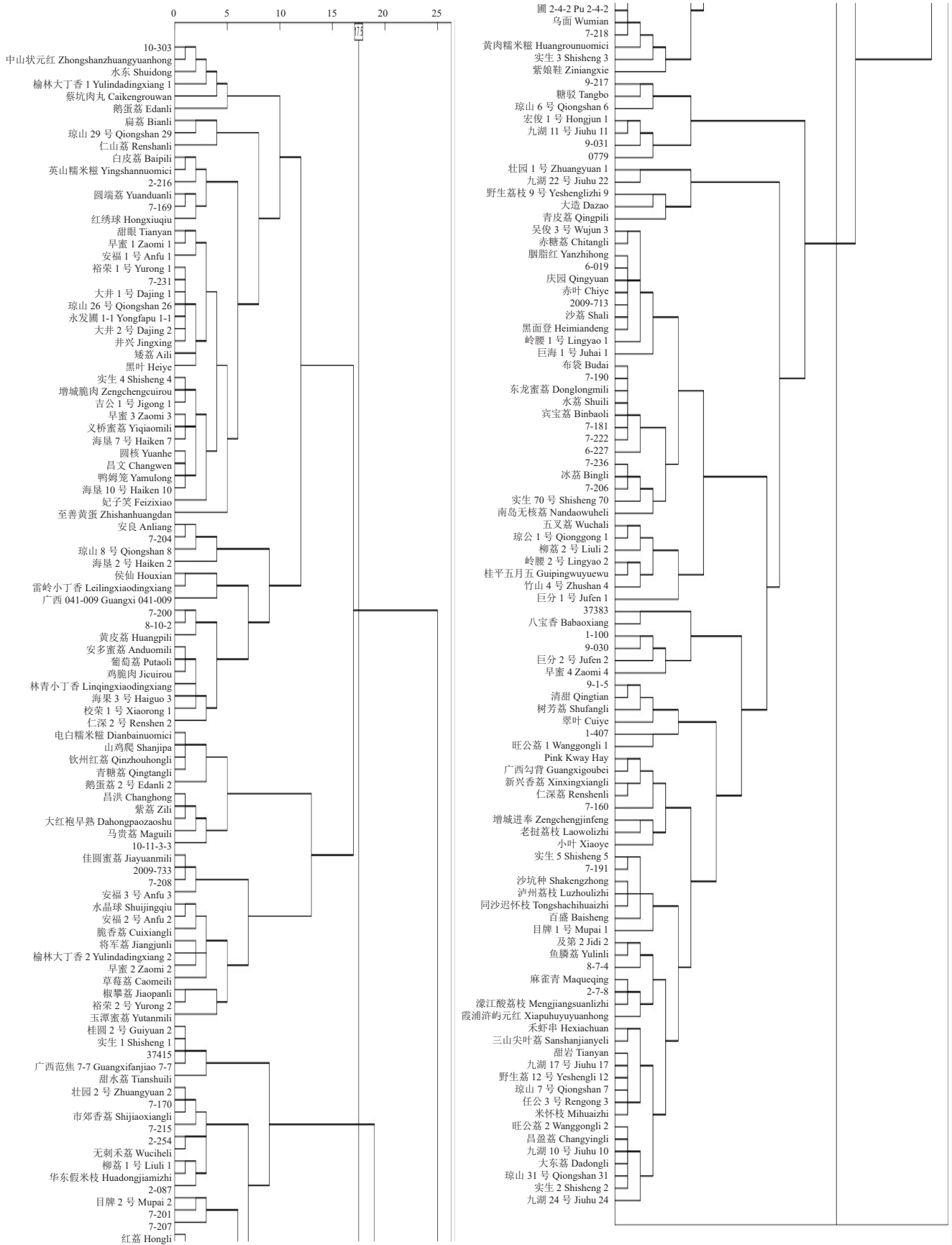


图 2 不同荔枝品种聚类分析

Fig. 2 Cluster analysis of different litchi varieties

表6 2020年与2021年不同类群荔枝品种的质地品质参数
Table 6 Texture parameters of litchi cultivars from different groups in 2020 and 2021

分类 Classification	测定指标 Indicators	类群品 种个数 Quantity	指标参数 Indicators parameters
I	硬度 Hardness/N	80	16.57±3.09
	最大黏附力 Adhesive force/N		-0.09±0.05
	黏附性 Adhesiveness/(N·mm ⁻¹)		0.15±0.07
	内聚性 Cohesiveness/Ratio		0.29±0.04
	弹性 Springiness/mm		2.64±0.43
	胶黏性 Gumminess/N		4.75±1.14
II	咀嚼性 Chewiness/mj	24	12.94±4.77
	硬度 Hardness/N		11.47±1.31
	最大黏附力 Adhesive force/N		-0.08±0.06
	黏附性 Adhesiveness/(N·mm ⁻¹)		0.12±0.05
	内聚性 Cohesiveness/Ratio		0.30±0.06
	弹性 Springiness/mm		2.61±0.27
III	胶黏性 Gumminess/N	92	4.14±0.43
	咀嚼性 Chewiness/mj		10.95±1.73
	硬度 Hardness/N		11.04±2.24
	最大黏附力 Adhesive force/N		-0.11±0.01
	黏附性 Adhesiveness/(N·mm ⁻¹)		0.18±0.03
	内聚性 Cohesiveness/Ratio		0.34±0.03
	弹性 Springiness/mm		1.97±0.35
	胶黏性 Gumminess/N		3.29±0.72
	咀嚼性 Chewiness/mj		6.64±1.95

注:表中的指标参数为各类群品种质地品质参数的平均数。

Note: The Indicators parameters which are the average of the texture quality.

究结果表明,弹性与硬度、胶黏性、咀嚼性呈显著正相关,与本研究结果趋势较为一致。胶黏性与硬度、弹性、咀嚼性呈极显著正相关($p<0.01$),这与许玲等^[31]在鲜枣上结果趋势一致。咀嚼性与硬度、内聚性、弹性以及胶黏性呈极显著正相关($p<0.01$),这与何全光等^[36]在芒果上、潘秀娟等^[34]在苹果上研究结果一致。综上所述,荔枝果肉的硬度、内聚性、弹性、胶黏性以及咀嚼性等各质地参数间呈极显著相关,其中的一项或多项均可以反映荔枝果肉的质地状况。

3.2 荔枝质地参数主成分分析

通过对300多份资源的质地品质进行主成分分析,皆主要分为3个主成分。由2020年测试结果可知,第1主成分主要包括咀嚼性、胶黏性、硬度、弹性,累计贡献率和特征值分别为44.216%、3.094。杨植等^[12]在鲜枣上第1主成分主要包括硬度、弹性、咀嚼性,累计贡献率和特征值分别为35.31%、3.531;吴

硕等^[37]在鲜枣上的第1主成分主要包含咀嚼性、胶黏性、硬度、弹性,累计贡献率和特征值分别为35.020%、6.654,与本研究结果基本一致。本研究结果第2主成分主要包含黏附性和最大黏附力,累计贡献率和特征值分别为72.992%、2.014,而杨植等^[12]的研究结果显示黏附性和综合口感属于第3主成分,累计贡献率和特征值分别为65.79%、1.281;第2主成分和本研究结果的第3主成分较为一致。第1主成分的4个参数反映了果肉在嘴里基本的适口性感觉,即可称之为适口性因子;第2主成分的2个参数反映了果肉在嘴里破碎时所克服的吸引力所需要的能量和力,表现在嘴中的黏附性口感,所以可以称之为口感黏附性因子;第3主成分的内聚性为果肉内部的收缩力或凝聚力,且根据测试原理可知内聚性越大硬度反而越小,由此可称第3主成分为凝聚性因子,这与杨植等^[12]、吴硕等^[37]在鲜枣上的研究结果一致。综上所述,荔枝果肉的质地品质由适口性因子、口感黏附性因子以及凝聚性因子构成,这将对以后荔枝果肉质地品质的评价提供一定的参考价值。

3.3 荔枝品种聚类分析

根据荔枝质地品质对其各品种进行分类的相关研究鲜见报道,且荔枝口感的相关分析常见的皆是通过感官打分对其进行分析,主要分析其果肉硬度以及粗细程度,而且涉及样本较小,误差较大,不能够客观、精准地对其进行分类。笔者在本研究中根据荔枝质地指标对其进行的聚类分析,在遗传距离17.5时,2021年的196份荔枝资源,被分为3类:适口性类群、口感黏附性类群和凝聚性类群。吴淑贤^[38]表示鸭姆笼、增城脆肉、妃子笑等荔枝资源果肉口感均属于肉质爽脆类型,而鹅蛋荔、胭脂红、水荔、布袋等荔枝资源属于肉质软滑类型,这与本研究结果极为契合,鸭姆笼等属于适口性类群,即硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性等值均较高,胭脂红等内聚性较高或者最大黏附力较大,而硬度较小。

2020年与2021年所选取的材料中有62份材料是相同的荔枝资源。根据试验结果显示,这62份材料有36份资源属于适口性类群,3份资源属于口感黏附性类群,23份资源属于凝聚性类群。

4 结论

对2020年和2021年荔枝资源进行质构仪TPA

测试,对实验结果的各指标进行相关性分析,发现其相关性较强;进而对各个指标进行主成分分析,主要分为3个主成分,3个主成分分别代表适口性因子、口感黏附性因子和凝聚性因子,基本能反映荔枝质地品质的绝大部分信息;对各个品种进行聚类分析,荔枝品种均被分为3大类群,基于主成分分析结果可知,此3大类群分别为适口性类群、口感黏附性类群和凝聚性类群。综上所述,通过质地品质分析,无论是2020年的120份荔枝资源还是2021年的196份荔枝资源(2个年份中有62份资源相同),均被分为适口性、口感黏附性和凝聚性3大类群。

参考文献 References:

- [1] HOLCROFT D M, MITCHAM E J. Postharvest physiology and handling of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 9(3):265-281.
- [2] QU S S, LI M M, WANG G, ZHU S J. Application of ABA and GA₃ alleviated browning of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) via different strategies[J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 181:111672.
- [3] 李建国. 中国果树科学与实践·荔枝[M]. 西安:陕西科学技术出版社, 2022.
LI Jianguo. China fruits science and practice · litchi volume[M]. Xi'an: Shaanxi Science Technology Press, 2022.
- [4] NAGY S. Tropical and subtropical fruits: Composition, properties and uses[M]. Westport, Conn: AVI Publishing Co., Inc., 1980.
- [5] MONSELISE S P. Handbook of fruit set and development[M]. CRC Press, 2018.
- [6] MENZELL C M, SIMPSON D R. Lychee production around the world[C]//The Potential of Lychee in Australia. Proc. First National Lychee Seminar, Sunshine Coast Subtrop. Fruits Assoc., Nambour, 1986:55-70.
- [7] TUCKER G A. Introduction[M]//PAVU R E. Biochemistry of fruit ripening. London: Chapman and Hall, 1993:3-51.
- [8] AMPHILL B. Sapindaceous fruits: Botany and horticulture[J]. Horticultural Reviews, 2010, 16:143.
- [9] ZHAO L, WANG K, WANG K, ZHU J, HU Z Y. Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(4):2139-2163.
- [10] NEOG M, SAIKIA L. Control of post-harvest pericarp browning of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.)[J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47(1):100-104.
- [11] 曲泽洲,王永慧. 中国果树志·枣卷[M]. 北京:中国林业出版社, 1993.
Qǔ Zēzhōu, Wáng Yǒnghuì. China fruit's monograph · Chinese jujube volume[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1993.
- [12] 杨植,王振磊. 基于TPA法评价枣果实质地及聚类分析[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(10):1860-1868.
YANG Zhi, WANG Zhenlei. TPA method was used to evaluate fruit texture and cluster analysis of jujube[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019, 56(10):1860-1868.
- [13] BOURNE M. Food texture and viscosity: Concept and measurement[J]. LWT- Food Science and Technology, 2003, 36(2):281.
- [14] BARREIRO P, ORTIZ C, RUIZ-ALTISENT M, DESMEDT V, SCHOTTE S, ANDANI Z, WAKELING I, BEYTS P K. Comparison between sensory and instrumental measurements for mealiness assessment in apples: A collaborative test[J]. Journal of Texture Studies, 1998, 29(5):509-525.
- [15] ROJAS-GRAÜ M A, GRASA-GUILLEM R, MARTÍN-BELL-SOS O. Quality changes in fresh-cut Fuji apple as affected by ripeness stage, antibrowning agents, and storage atmosphere[J]. Journal of Food Science, 2007, 72(1):S036-S043.
- [16] 杨玲,肖龙,王强,张彩霞,丛佩华,田义. 质地多面分析(TPA)法测定苹果果肉质质地特性[J]. 果树学报, 2014, 31(5):977-985.
YANG Ling, XIAO Long, WANG Qiang, ZHANG Caixia, CONG Peihua, TIAN Yi. Study on texture properties of apple flesh by using texture profile analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(5):977-985.
- [17] 李江阔,林洋,张鹏,秦国政,李博强,田世平. 采后不同时期1-MCP处理对苹果果实质地的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(20):277-281.
LI Jiangkuo, LIN Yang, ZHANG Peng, QIN Guozheng, LI Boqiang, TIAN Shiping. Effect of 1-methyl cyclo propene treatment at different times postharvest on the texture of apple fruits [J]. Food Sciences, 2013, 34(20):277-281.
- [18] 任朝晖,张昆明,李志文,农绍庄,张平. 质地多面分析(TPA)法评价葡萄贮藏期间果肉质质地参数的研究[J]. 食品工业科技, 2011, 32(7):375-378.
REN Zhaohui, ZHANG Kunming, LI Zhiwen, NONG Shaozhuang, ZHANG Ping. Study on the evaluation of texture parameters of grape berry during storage by using texture profile analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(7):375-378.
- [19] 王燕霞,王晓蔓,关军锋. 梨果肉质质地性状分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(20):4056-4066.
WANG Yanxia, WANG Xiaoman, GUAN Junfeng. Flesh texture-characteristic analysis of pear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(20):4056-4066.
- [20] 高海生,贾艳茹,魏建梅,冉辛拓,乐文全. 用物性分析仪检测‘鸭梨’和‘京白梨’果实采后质地的变化[J]. 园艺学报, 2012, 39(7):1359-1364.
GAO Haisheng, JIA Yanru, WEI Jianmei, RAN Xintuo, YUE Wenquan. Studies on the post-harvested fruit texture changes of ‘Yali’ and ‘Jingbaili’ pears by using texture analyzer[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(7):1359-1364.
- [21] 刘聪,李亚珍,尹嘉敏,邓云,孙静,王吉力特. 不同贮藏温度对瓯口华莱士蜜瓜质构特性、理化指标、感官品质变化及相关性

- 分析[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(1): 47-53.
- LIU Cong, LI Yazhen, YIN Jiamin, DENG Yun, SUN Jing, WANG Jilite. Correlation analysis of changes in texture characteristics, physical and chemical indexes and sensory quality of Dengkou Hualaishi melon at different storage temperatures[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1): 47-53.
- [22] 李婷, 时月, 陈艳利, 温雪珊, 聂青, 王瑞琪, 曲明山, 赵晓燕, 张超. 根部追施促生菌剂提高网纹甜瓜的品质[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(2): 12-19.
- LI Ting, SHI Yue, CHEN Yanli, WEN Xueshan, NIE Qing, WANG Ruiqi, QU Mingshan, ZHAO Xiaoyan, ZHANG Chao. Root growth promoting microbes improves qualities of netted melon[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(2): 12-19.
- [23] 杨丽萍, 马荣雪, 周永海, 程登虎, 魏春华, 张显, 张勇. 甜瓜质地差异及相关细胞壁酶活性变化[J]. 中国瓜菜, 2020, 33(5): 12-17.
- YANG Liping, MA Rongxue, ZHOU Yonghai, CHENG Denghu, WEI Chunhua, ZHANG Xian, ZHANG Yong. Study on the difference of melon texture and related cell wall enzyme[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2020, 33(5): 12-17.
- [24] PLATTER W J, TATUM J D, BELK K E, CHAPMAN P L, SCANGA J A, SMITH G C. Relationships of consumer sensory ratings, marbling score, and shear force value to consumer acceptance of beef strip loin steaks[J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(11): 2741-2750.
- [25] CAINE W R, AALHUS J L, BEST D R, DUGAN M E R, JEREMIAH L E. Relationship of texture profile analysis and Warner-Bratzler shear force with sensory characteristics of beef rib steaks[J]. Meat Science, 2003, 64(4): 333-339.
- [26] CHEN L, OPARA U L. Texture measurement approaches in fresh and processed foods: A review[J]. Food Research International, 2013, 51(2): 823-835.
- [27] CEJUDO-BASTANETE M J, RODRÍGUEZ-PULIDO F J, HEREDIA F J, GONZÁLEZ-MIRETL M L. Assessment of sensory and texture profiles of grape seeds at real maturity stages using image analysis[J]. Foods, 2021, 10(5): 1098.
- [28] 王彬彬, 李娜, 贾漫丽, 陈秀灵, 范伟, 夏爱华, 高玉军, 李季生. 质构仪检测桑葚质地品质的方法研究[J]. 果树学报, 2021, 38(11): 2020-2014.
- WANG Binbin, LI Na, JIA Manli, CHEN Xiuling, FAN Wei, XIA Aihua, GAO Yujun, LI Jisheng. Measuring texture quality of mulberry fruit using texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(11): 2020-2014.
- [29] 姜松, 王海鸥. TPA 质构分析及测试条件对苹果 TPA 质构分析的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 68-71.
- JIANG Song, WANG Haiou. TPA and effect of experimental conditions on TPA test of apple slices[J]. Food Science, 2004, 25(12): 68-71.
- [30] 赵爱玲, 薛晓芳, 王永康, 任海燕, 弓桂花, 焦晋华, 隋申玲, 李登科. 质构仪检测鲜枣果实质地品质的方法研究[J]. 果树学报, 2018, 35(5): 113-123.
- ZHAO Ailing, XUE Xiaofang, WANG Yongkang, REN Haiyan, GONG Guihua, JIAO Jinhua, SUI Chuanling, LI Dengke. Measuring texture quality of fresh jujube fruit using texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2018, 35(5): 113-123.
- [31] 许玲, 魏秀清, 章希娟, 许家辉. 质构仪整果穿刺法评价 3 个毛叶枣品种果实质地参数[J]. 福建农业学报, 2018, 33(6): 621-625.
- XU Ling, WEI Xiuqing, ZHANG Xijuan, XU Jiahui. Instrumental measurements and texture evaluation on fruits from three varieties of *Zizyphus mauritiana*[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(6): 621-625.
- [32] 姜松, 陈巧林. 水蜜桃在贮藏期间的质地变化规律的研究[J]. 食品研究与开发, 2006, 27(5): 4-8.
- JIANG Song, CHEN Qiaolin. Researches on the changing rule of juicy peaches texture during storage[J]. Food Research and Development, 2006, 27(5): 4-8.
- [33] 李志文, 张平, 张昆明, 任朝辉. 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实质地的影响[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 176-181.
- LI Zhiwen, ZHANG Ping, ZHANG Kunming, REN Zhaohui. Effect of 1-Methylcyclopropene combined with controlled freezing-point storage on texture of grape fruit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 176-181.
- [34] 潘秀娟, 屠康. 质构仪质地多面分析(TPA)方法对苹果采后质地变化的检测[J]. 农业工程学报, 2005, 21(3): 166-170.
- PAN Xiujuan, TU Kang. Comparison of texture properties of post-harvested apples using texture profile analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2005, 21(3): 166-170.
- [35] 沈颖越, 宋婷婷, 蔡为明, 范丽军. 基于质构仪质地多面分析法对香菇质地评价[J]. 菌物学报, 2021, 40(5): 1180-1189.
- SHEN Yingyue, SONG Tingting, CAI Weiming, FAN Lijun. Evaluation on fruiting body texture of *Lentinula edodes* based on texture profile analysis[J]. Mycosystema, 2021, 40(5): 1180-1189.
- [36] 何全光, 黄梅华, 张娥珍, 辛明, 黄茂康, 覃仁源, 黄振勇. 杧果 TPA 质构测定优化及不同成熟度芒果质构特性分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(18): 122-126.
- HE Quanguang, HUANG Meihua, ZHANG Ezhen, XIN Ming, HUANG Maokang, QIN Renyuan, HUANG Zhenyong. Optimization for mango texture profile analysis and characterization of texture to different maturity of mango[J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(18): 122-126.
- [37] 吴硕, 贾彦丽, 智福军, 魏薇. 31 份枣资源 19 个性状的多元统计分析[J]. 河北农业科学, 2020, 24(5): 56-62.
- WU Shuo, JIA Yanli, ZHI Fujun, WEI Wei. Multivariate statistical analysis of 19 characters of 31 jujube resources[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, 24(5): 56-62.
- [38] 吴淑娴. 中国果树志·荔枝卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- WU Shuxian. China fruit's monograph · Litchi volume[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1998.