



陈东霄,郑爽,陈梦如,等.南丰蜜橘化渣性评价方法[J].江西农业大学学报,2025,47(3):630–639.

CHEN D X,ZHENG S,CHEN M R,et al.Evaluation method of fruit mastication of Nanfeng tangerine[J].Acta agriculturae universita-
tis Jiangxiensis,2025,47(3):630–639.

南丰蜜橘化渣性评价方法

陈东霄,郑爽,陈梦如,杨珍,辜青青*,魏清江*

(江西农业大学 农学院,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】化渣性是衡量柑橘果实品质的重要指标,南丰蜜橘果实化渣性劣变严重影响了其商品性能和经济效益。目前,评价柑橘化渣性的方法主要有感官评价和质构仪检测。本研究旨在构建基于质构指标的化渣性评价模型,并建立科学评价南丰蜜橘化渣性的方法。【方法】选取果肉质地、残渣数、易嚼性和多汁性作为感官评价指标,果实硬度、咀嚼度、剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维韧性和囊衣纤维延展性作为质构评价指标。以13份亲缘关系相近但化渣程度有差异的不同品种(品系)南丰蜜橘果实为材料,利用相关性分析获得与感官评价指标显著相关的质构指标,主成分分析获得不同品种(品系)化渣程度综合得分(D 值),通过步进法筛选并剔除与 D 值不显著的变量,得到化渣性评价模型和 P 值,基于 P 值对化渣优、化渣良、化渣中和化渣差4个描述性状进行量化。【结果】感官评价结果表明,‘蜜广’和‘SS-28’表现为化渣优,‘SS-2’、小果系‘97-2’‘Hongguang’‘SS-9’、小果系‘97-1’‘SS-7’‘杨小2-6’化渣良,‘QW-3’‘QB-8’、早熟系‘97-1’化渣中,大果系‘97-2’化渣差。相关性分析发现剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维延展性、囊衣纤维韧性与果肉质地、残渣数、易嚼性、感官评价总得分均呈极显著负相关,果实硬度和咀嚼度与各感官评价指标之间无显著相关性,多汁性与各质构评价指标之间无显著相关性。通过步进法获得的化渣性评价模型为 $P=0.004+0.439\times U_1+1.557\times U_2$, U_1 和 U_2 分别表示归一化后剪切力和囊衣纤维强度值。化渣性质构评价的量化标准为: P 值 ≥ 1.84 化渣优;1.24~1.84(含1.24)化渣良,0.48~1.24化渣中,<0.48化渣差。【结论】通过相关性分析、主成分分析和步进法构建了以剪切力和囊衣纤维强度为指标的南丰蜜橘化渣性量化评价模型,并获得评价化渣优、化渣良、化渣中和化渣差的具体量化标准。利用评价模型对不同品种(品系)南丰蜜橘果实化渣性的客观评价结果与感官评价结果基本一致。

关键词:南丰蜜橘;化渣性;感官评价;质构指标;评价方法

中图分类号:S666.2 **文献标志码:**A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2025)03-0630-10

CSTR:32399.14.aauj.2025054



Evaluation method of fruit mastication of Nanfeng tangerine

CHEN Dongxiao,ZHENG Shuang,CHEN Mengru,
YANG Zhen,GU Qingqing*,WEI Qingjiang*

收稿日期:2024-12-11 **修回日期:**2025-03-03

基金项目:国家自然科学基金项目(32060649、32260751)、江西省自然科学基金项目(20202BABL205001)和江西省科技计划重点研发重点项目(2017ACF60025)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(32060649,32260751),Jiangxi Provincial Natural Science Foundation(20202BABL205001)and the Key R&D Projects of Jiangxi Provincial Science and Technology Plan(2017ACF60025)

作者简介:陈东霄,硕士生,orcid.org/0009-0007-8881-5077,18568237031@163.com; *通信作者:辜青青,教授,博士,主要从事果树种质资源与品质调控研究,orcid.org/0000-0001-7708-0633,qqinggu2006@126.com;魏清江,副教授,博士,主要从事果树栽培和品质调控研究,orcid.org/0000-0001-6481-8352,qjwell@126.com。

©《江西农业大学学报》编辑部,开放获取CC BY-NC-ND协议

(School of Agricultural Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] Mastication property is an important indicator for measuring quality of citrus fruits. The inferior mastication property in Nanfeng tangerine fruits has significantly impacted its commercial performance and economic benefit. Currently, the main methods for evaluating the property are sensory evaluation and texture analyzer testing. This study aims to construct a texture index-based evaluation model for pulp residue and establish a scientific method for evaluating the pulp residue of Nanfeng tangerines. [Method] Fruit flesh texture, residue count, chewiness, and juiciness were used as sensory evaluation indicators, and fruit hardness, chewiness, shear force, segment membrane fiber strength, segment membrane fiber toughness, and segment membrane fiber ductility were selected as texture evaluation indicators. 13 Nanfeng tangerine varieties (lines) with similar genetic relationship but differential mastication were used as materials. Texture indexes related to sensory evaluation indexes were obtained by correlation analysis. The comprehensive score (D value) of mastication degree of different varieties (lines) was obtained using principal component analysis (SPSS 27.0). Through the marching method, the variables that are not significant with the D value were selected and eliminated, and then obtained the mastication evaluation model and P value. Based on the P value, the fruit mastication was classified into four grades: superior mastication, good mastication, medium mastication, and inferior mastication. [Result] The results of sensory evaluation showed that ‘Miguang’ and ‘SS-28’ showed superior mastication property; ‘SS-2’, small-fruit line ‘97-2’, ‘Hongguang’, ‘SS-9’, small-fruit line ‘97-1’, ‘SS-7’, and ‘Yangxiao 2-6’ showed good mastication property; ‘QW-3’, ‘QB-8’, and early-maturing line ‘97-1’ showed medium mastication property; and large-fruit line ‘97-2’ showed inferior mastication property. Correlation analysis showed that shear force, fiber strength, fiber ductility and fiber toughness were significantly negatively correlated with pulp texture, residue, chewiness and sensory evaluation scores. Fruit hardness and chewiness were no significantly correlated with all sensory evaluation indicators. There was no significant correlation between juiciness and texture evaluation indicators. The evaluation model for the mastication property obtained by the stepwise method is $P=0.004+0.439\times U_1+1.557\times U_2$, where U_1 and U_2 represent the normalized values of shear force and segment membrane fiber strength, respectively. The quantitative criteria for the texture evaluation of the mastication property are as follows: an superior mastication property is indicated by a P value ≥ 1.84 ; a good mastication property is indicated by a P value between 1.24 and 1.84 (inclusive of 1.24); a medium mastication property is indicated by a P value between 0.48 and 1.24; and a inferior mastication property is indicated by a P value < 0.48 . [Conclusion] A quantitative evaluation model of Nanfeng tangerine mastication property was established through correlation analysis, principal component analysis, and marching method, using shear force and segment membrane fiber strength as indicators. The specific quantitative values of superior mastication, good mastication, medium mastication and inferior mastication were also obtained. The evaluation model were used to objectively evaluate the mastication property of Nanfeng tangerine fruit, which was consistent with the sensory evaluation results.

Keywords: Nanfeng tangerine; mastication quality; sensory evaluation; texture index; evaluation method

【研究意义】南丰蜜橘曾以果实易剥皮、少核至无核、风味浓、汁多化渣、有香气驰名中外^[1-2],但近年来消费者普遍反映其果实不化渣^[3]。不化渣柑橘果实咀嚼后留有较多残渣,口感差^[4-5],严重影响了果品的商品性和果农的经济效益。感官评价和质构仪检测是目前柑橘化渣性评价的主要方法^[6]。感官分析相对直观,但受品尝员的年龄、身体状况、情感倾向等因素的影响,从而易对评价结果引入人为的主观误差。质构仪模仿真人的咀嚼效果,对果肉进行压缩、穿刺和剪切,具有操作过程方便、快捷,评价结果客观、精确的优点,近年来得到了极为广泛的应用。但是,不同的学者对质构仪的测量指标有不同的选择。本研究旨在筛选与南丰蜜橘化渣性显著相关的质构指标,并建立基于质构指标的化渣性评价模型和量化标准,为南丰蜜橘化渣性品种选育和化渣性研究奠定基础,并与其他柑橘化渣性评价提供借鉴。【前人

研究进展】辜青青等^[7]选择纤维强度、纤维延展性和纤维韧性对南丰蜜橘进行化渣性评价,结果表明,囊衣纤维素含量与囊衣纤维强度、纤维延展性、纤维韧性极显著正相关。严敏等^[8]选择囊衣硬度和果肉硬度对南丰蜜橘进行化渣性评价,认为囊衣硬度高是导致化渣性差的主要原因。陈红等^[9]选择的对夏橙评价的质构指标有压缩抗力、弹性模量、硬度、凝聚性、弹性、胶黏性、回复性、最大剪切力和切断功,结果表明,选定压缩抗力、弹性模量、硬度、弹性、最大剪切力和切断功等指标进行建模,可以较准确地预测夏橙的感官化渣程度。魏清江等^[10]选择剪切力、硬度和咀嚼度对南丰蜜橘进行化渣性评价,认为囊瓣剪切力能够客观反映果实的化渣程度。

【本研究切入点】尽管很多研究采用质构仪对柑橘化渣性进行了客观评价,但评价指标和评价标准不一。以感官评价为基础,建立基于质构特性的量化评价模型和不同化渣级别量化标准,鲜见报道。【拟解决的关键问题】以 13 份亲缘关系相近但化渣性各异的南丰蜜橘品种(品系)为材料,研究其基于质构仪检测指标的质地品质特性,结合化渣性感官评价,明确与南丰蜜橘化渣性显著相关的质构指标,构建基于质构指标的南丰蜜橘化渣性量化评价模型,并获得化渣优、化渣良、化渣中和化渣差的具体量化标准。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以 13 份亲缘关系相近但化渣程度不同的枳砧南丰蜜橘(*Citrus reticulata* Blanco)为试验材料(表 1),每份材料选取树龄、树势基本一致,长势良好的 3 株树,于成熟期在每株树的树冠外围东南西北共采摘 50 个果实,采下的果实放入装有冰袋的泡沫箱运回实验室。单株小区,3 次重复。

表 1 试验所用材料
Tab.1 Plant materials

试验材料 Material	采样地点 Sampling location	采样日期 Sampling time	树龄/年 Tree age
早熟系 97-1 Early-ripe line 97-1	江西省农业科学院园艺所	11-16	9
杨小 2-6 Yangxiao 2-6			
QW-3			
SS-7			
SS-9			
QB-8			
SS-2			
蜜广 Miguang	江西农业大学	11-16	7
红广 Hongguang			
大果系 97-2 Large-fruit line 97-2	江西省南丰县白舍镇望天村	11-15	8
小果系 97-1 Small-fruit line 97-1			
小果系 97-2 Small-fruit line 97-2			
SS-28			

1.2 感官评价

感官评定人员由不同年龄、不同性别的 41 人组成,评价指标和打分标准参照陈红等^[9]并进行了修改(表 2),评价分数为去掉最高分和去掉最低分后的平均值。感官评价总得分为果肉质度、残渣数、易嚼性和多汁性 4 个指标的总和,分数越高,化渣性越好。

表 2 南丰蜜橘化渣性感官评价标准
Tab.2 Sensory evaluation of Nanfeng tangerine mastication

	果肉质度 Pulp texture			残渣数 Residue quantity			易嚼性 Chewiness			多汁性 Juiciness		
	软	脆	硬	少	中	多	≤6 s	6~11 s	>11 s	多	中	少
描述 Describe	软	脆	硬	少	中	多	≤6 s	6~11 s	>11 s	多	中	少
得分 Score	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1

1.3 质构指标测定

每个品种(品系)随机选出15个果实,使用TA.XT Plus C质构仪测定果实质构指标(Stable Micro Systems,英国SMS公司)。测定方法参考郑苍松等^[11],稍做修改:将果实对半剥开,去除果皮和橘络,每半边选3瓣大小均匀、囊衣完整的囊瓣,每果选6瓣,进行硬度、咀嚼度、剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维韧性、囊衣纤维延展性测定。

硬度和咀嚼度测定选取质构仪中的P/75探头,采用对囊瓣进行挤压的方式进行。将囊瓣平放于测试台中间,囊瓣最高点对准探头中心。测定参数如下:测量前以4 mm/s速度下降,测量时以2 mm/s速度进行,测量后以4 mm/s速度上升,探头返回距离设置为15 mm,停顿2 s后进行第2次测量。

囊衣剪切力测定选取质构仪中的HDP/BS探头,采用对囊瓣进行切断的方式进行。测定参数如下:测量前以1 mm/s速度下降,测量时以5 mm/s进行,测量后以5 mm/s速度上升,探头返回距离设置为20 mm。

囊衣纤维强度、囊衣纤维韧性和囊衣纤维延展性测定选取2 mm直径P/2针型探头,采用穿刺囊瓣的方式进行。测定参数如下:测量前以1 mm/s速度下降,测量时以5 mm/s进行,测量后以5 mm/s速度上升,探头返回距离设置为40 mm。

1.4 南丰蜜橘化渣性评价模型构建与化渣性量化评价标准计算

参考李群贞等^[12]和丁圆圆等^[13]的方法进行主成分分析(principal component analysis, PCA)和南丰蜜橘化渣性评价模型构建。主成分分析前,采用归一化处理对各参数进行无量纲化,使数据分布在[0, 1],以减少参数与化渣性正反向关系和单位的不同对结果的影响。根据参数与化渣性的相关性关系带入公式,呈正相关代入公式1,呈负相关代入公式2:

$$U_{ij} = (X_{ij} - X_{\min j}) / (X_{\max j} - X_{\min j}) \quad (1)$$

$$U_{ij} = 1 - (X_{ij} - X_{\min j}) / (X_{\max j} - X_{\min j}) \quad (2)$$

式(1)、式(2)中: U_{ij} 表示*i*样品的第*j*个参数归一化后的值, X_{ij} 表示*i*样品的第*j*个参数的原始值, $X_{\max j}$ 表示第*j*个参数在所有样品中的最大值, $X_{\min j}$ 表示第*j*个参数在所有样品中的最小值。

参数归一化处理后进行主成分分析,运用下列公式计算化渣性综合得分:

$$Y_m = Q_1 U_{11} + Q_2 U_{12} + Q_3 U_{13} + \cdots + Q_j U_{ij} \quad (3)$$

$$D = (T_1 Y_1 + T_2 Y_2 + T_3 Y_3 + \cdots + T_m Y_m) / T \quad (4)$$

式(3)、式(4)中: Y_m 表示第*m*个主成分的特征向量的权重值, Q_j 表示第*j*个参数的特征向量系数值, U_{ij} 为公式(1)或公式(2)中的值; D 表示南丰蜜橘化渣性综合得分, T_m 表示第*m*个主成分的特征值, T 代表*m*个主成分特征值的总和。

1.5 数据处理

Excel软件进行数据计算,采用Duncan's新复极差法进行处理之间的差异显著性分析,SPSS 27.0统计软件进行主成分分析和聚类分析,步进法构建南丰蜜橘化渣性评价模型。

2 结果与分析

2.1 南丰蜜橘化渣性感官评价

13份不同品种(品系)南丰蜜橘果实的果肉质地、残渣数、易嚼性、多汁性等感官评价得分如表3所示。在果肉质地和多汁性方面,‘蜜广’和‘SS-28’得分最高,表现为果肉质地柔软、多汁;大果系‘97-2’得分最低,表现为果肉质地粗硬、汁液偏少。‘蜜广’‘SS-28’‘SS-2’和小果系‘97-2’残渣数得分均超过2,咀嚼后残渣少;而大果系97-2的残渣数得分仅为1.29分,咀嚼后残渣较多。在易嚼性方面,‘蜜广’‘SS-28’得分也均显著高于其他果实,大果系‘97-2’得分最低,需要咀嚼的时间较长。上述指标的总得分显示,‘蜜广’和‘SS-28’的总得分均显著高于其他品种,各感官指标的平均值在2.5左右,化渣性等级为化渣优;‘SS-2’、小果系‘97-2’‘Hongguang’‘SS-9’、小果系‘97-1’‘SS-7’‘杨小2-6’的总得分为7.61~8.34,各感官指标的平均值在2.0左右,化渣性等级为化渣良;早熟系‘97-1’‘QW-3’‘QB-8’的总得分与

化渣良的‘SS-2’、小果系‘97-2’有显著差异,化渣性等级为化渣中;大果系‘97-2’的总得分显著低于化渣中的其他 3 个品种(品系),表现为化渣差。

表 3 南丰蜜橘果实化渣性感官评价

Tab.3 Sensory evaluation of mastication among different Nanfeng tangerine fruits

试验材料 Material	果肉质地 Pulp texture	残渣数 Residue quantity	易嚼性 Chewiness	多汁性 Juiciness	总得分 Total score	等级 Grade
蜜广 Miguang	2.83±0.38 ^a	2.32±0.69 ^a	2.41±0.71 ^a	2.68±0.61 ^a	10.24±1.53 ^a	I
SS-28	2.71±0.46 ^a	2.22±0.61 ^{ab}	2.39±0.67 ^a	2.63±0.62 ^a	9.95±1.40 ^a	I
SS-2	2.15±0.65 ^b	2.07±0.69 ^{abc}	2.10±0.70 ^b	2.02±0.69 ^b	8.34±1.93 ^b	II
小果系 97-2 Small-fruit line 97-2	2.20±0.68 ^b	2.02±0.65 ^{abcd}	2.07±0.65 ^b	1.90±0.70 ^b	8.20±1.75 ^b	II
红广 Hongguang	2.22±0.72 ^b	1.95±0.77 ^{bcd}	2.05±0.74 ^{bc}	1.95±0.63 ^b	8.17±1.97 ^{bc}	II
SS-9	2.24±0.62 ^b	1.80±0.56 ^{cdef}	1.88±0.6 ^{bcd}	2.12±0.64 ^b	8.05±1.40 ^{bcd}	II
小果系 97-1 Small-fruit line 97-1	2.22±0.57 ^b	1.80±0.51 ^{cdef}	1.83±0.54 ^{bcd}	2.17±0.70 ^b	8.02±1.57 ^{bcd}	II
SS-7	2.15±0.61 ^b	1.83±0.63 ^{cdef}	1.90±0.74 ^{bcd}	2.12±0.60 ^b	8.00±1.70 ^{bcd}	II
杨小 2-6 Yangxiao 2-6	2.17±0.74 ^b	1.73±0.63 ^{def}	1.78±0.65 ^{bcd}	1.93±0.69 ^b	7.61±1.72 ^{bcd}	II
早熟系 97-1 Early-ripe line 97-1	1.93±0.72 ^b	1.68±0.69 ^{ef}	1.83±0.67 ^{bcd}	1.93±0.69 ^b	7.37±1.65 ^{de}	III
QW-3	1.93±0.69 ^b	1.59±0.55 ^f	1.73±0.59 ^{cd}	2.02±0.61 ^b	7.27±1.67 ^{de}	III
QB-8	1.93±0.57 ^b	1.63±0.70 ^{ef}	1.59±0.59 ^{de}	1.98±0.76 ^b	7.12±1.60 ^e	III
大果系 97-2 Large-fruit line 97-2	1.46±0.55 ^c	1.29±0.56 ^g	1.39±0.49 ^e	1.54±0.64 ^c	5.68±1.33 ^f	IV

I, 化渣优; II, 化渣良; III, 化渣中; IV, 化渣差。同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

I, superior mastication; II, good mastication; III, medium mastication; IV, inferior mastication. Different lowercase letters indicate a significant difference at the 0.05 level.

2.2 南丰蜜橘化渣性质构评价

通过质构指标分析发现,不同南丰蜜橘品种(品系)果实的质构指标间有显著差异(表 4)。小果系‘97-1’‘QB-8’和小果系‘97-2’的果实硬度均达到了 900 g 以上,显著高于其他品种(品系),红广硬度最低(375.34 g)。所有供试南丰蜜橘的咀嚼度均值为 232.08 N,其中‘QB-8’最大(386.06 N),显著高于其他品种(品系);‘红广’最低(155.35 N)。不同南丰蜜橘果实的剪切力变化幅度较大(1 565.28~4 659.38 g),‘SS-28’最低,大果系‘97-2’最高。囊衣穿刺参数分析表明,3 个指标在不同南丰蜜橘果实间均具有显著差异,其中大果系‘97-2’囊衣纤维强度、纤维延展性和纤维韧性显著高于其他品种(品系),其次为早熟系‘97-1’‘QW-3’‘QB-8’,‘SS-28’‘蜜广’和小果系‘97-1’最低。依据质构指标剪切力、囊衣纤维强度、纤维延展性和纤维韧性的化渣性评价结果与感官评价结果基本相符。

2.3 感官评价指标与质构指标的相关性分析

相关性分析结果显示,果实硬度和咀嚼度与所有感官评价指标之间无显著相关,多汁性与所有质构指标之间无显著相关(表 5)。由此推断果实硬度、咀嚼度、多汁性可能与南丰蜜橘化渣性无直接关系。剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维延展性、囊衣纤维韧性与感官评价指标果肉质地、残渣性、易嚼性和总得分均呈极显著负相关。

2.4 南丰蜜橘化渣性评价模型构建

根据感官评价指标与质构指标之间的相关性分析结果,选取剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维延展性和囊衣纤维韧性 4 个质构指标进行主成分分析(PCA)。PCA 分析前,将 4 个质构指标代入公式(2)进行归一化处理。经过 PCA 后,共提取出 4 个主成分,成分 1 的特征值大于 1,累计贡献率达到 90.782%(表 6),能够较全面反映南丰蜜橘化渣性主要信息。根据主成分 1 得到的化渣性综合得分表达式如下:

表 4 南丰蜜橘果实化渣性质构评价

Tab.4 Evaluation of mastication properties of Nanfeng tangerine fruit based on the texture analyzer

试验材料 Material	硬度/g Hardness	咀嚼度/N Chewiness	剪切力/g Shearing force	囊衣纤维强度/g Segment membrane fiber strength	囊衣纤维 延展性/(g·s ⁻¹) Segment membrane fiber ductility	囊衣纤维 韧性/(g·s ⁻¹) Segment membrane fiber toughness
蜜广 Miguang	516.04±53.50 ^{cf}	184.81±4.51 ^{gh}	2 120.68±47.20 ^f	215.15±15.22 ^b	209.75±13.93 ^{hij}	82.76±14.60 ^e
SS-28	683.57±39.07 ^{cd}	197.84±13.63 ^{fg}	1 565.28±97.18 ^b	177.30±27.69 ^b	216.58±6.52 ^{hi}	67.00±14.71 ^e
小果系 97-1 Small-fruit line 97-1	980.34±49.51 ^a	312.78±7.92 ^b	2 467.21±232.33 ^e	208.64±24.81 ^b	189.87±19.61 ⁱ	83.41±2.95 ^e
SS-2	538.32±63.12 ^{cf}	169.55±9.27 ^{hi}	2 437.64±87.40 ^e	368.84±21.45 ^f	248.26±23.75 ^e	189.97±44.69 ^d
小果系 97-2 Small-fruit line 97-2	909.10±85.81 ^b	283.78±18.51 ^c	2 682.80±258.06 ^d	427.64±50.36 ^e	356.34±23.50 ^{de}	191.17±20.19 ^d
红广 Hongguang	375.34±4.11 ^g	155.35±21.05 ⁱ	1 893.10±94.54 ^g	401.35±10.46 ^{ef}	197.61±11.03 ^{ij}	329.75±80.13 ^b
SS-9	656.06±25.57 ^d	207.71±4.81 ^{ef}	2 326.92±298.67 ^{ef}	321.76±36.22 ^e	229.30±18.53 ^{gh}	153.74±26.6 ^d
SS-7	743.32±58.36 ^c	260.25±24.33 ^d	2 254.16±120.20 ^{ef}	501.11±49.63 ^d	338.83±4.40 ^e	289.16±42.11 ^{bc}
杨小 2-6 Yangxiao 2-6	530.29±33.67 ^{cf}	205.17±6.35 ^{ef}	2 424.69±75.89 ^e	481.97±11.12 ^d	306.92±24.53 ^f	258.66±21.59 ^e
早熟系 97-1 Early-ripe line 97-1	556.28±63.90 ^e	216.64±9.69 ^e	2 983.44±75.76 ^c	664.06±56.03 ^b	495.28±14.84 ^b	323.76±8.57 ^b
QW-3	478.60±25.53 ^f	183.96±15.02 ^{gh}	3 290.63±179.35 ^b	554.24±20.17 ^e	381.66±34.67 ^e	286.67±30.20 ^{bc}
QB-8	957.53±67.2 ^{ab}	386.06±10.95 ^a	3 373.17±125.52 ^b	505.36±14.25 ^{cd}	374.97±13.02 ^{cd}	281.01±25.96 ^{bc}
大果系 97-2 Large-fruit line 97-2	637.77±26.67 ^d	253.17±5.14 ^d	4 659.38±110.92 ^a	1 073.62±31.00 ^a	768.52±13.46 ^a	529.51±72.72 ^a

I, 化渣优; II, 化渣良; III, 化渣中; IV, 化渣差。同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。

I, superior mastication; II, good mastication; III, medium mastication; IV, inferior mastication. Different lowercase letters indicate a significant difference at the 0.05 level.

表 5 南丰蜜橘化渣性感官评价指标与质构指标的相关性

Tab.5 Correlation between sensory evaluation index and texture index of Nanfeng tangerine mastication

	果肉质度 Pulp texture	残渣性 Residue quantity	易嚼性 Chewiness	多汁性 Juiciness	总得分 Total score
硬度 Hardness	-0.127	-0.086	-0.103	0.033	-0.097
咀嚼度 Chewiness	-0.197	-0.184	-0.176	0.078	-0.164
剪切力 Shearing force	-0.610 ^{**}	-0.554 ^{**}	-0.518 ^{**}	-0.172	-0.633 ^{**}
囊衣纤维强度 Segment membrane fiber strength	-0.548 ^{**}	-0.465 ^{**}	-0.448 ^{**}	-0.148	-0.547 ^{**}
囊衣延展性 Segment membrane fiber ductility	-0.569 ^{**}	-0.507 ^{**}	-0.459 ^{**}	-0.158	-0.577 ^{**}
囊衣韧性 Segment membrane fiber toughness	-0.467 ^{**}	-0.464 ^{**}	-0.344 ^{**}	-0.094	-0.462 ^{**}

*和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著相关。

* and ** indicate significant differences at $P<0.05$ and 0.01 , respectively.

$$D = 0.485 \times U_1 + 0.521 \times U_2 + 0.508 \times U_3 + 0.484 \times U_4 \tag{5}$$

式(5)中, U_1 、 U_2 、 U_3 和 U_4 分别表示归一化后的剪切力、囊衣纤维强度、囊衣纤维延展性和囊衣纤维韧性值。

为简化化渣性综合得分表达式,将D值作为因变量,13份不同品种(品系)南丰蜜橘 U_1 、 U_2 、 U_3 和 U_4 值作为自变量,通过步进法筛选并剔除不显著变量,建立得到回归线性方程6。该方程的 P 值小于0.001, R^2 为0.998,表明所筛选出的剪切力和囊衣纤维强度能够很好地用于南丰蜜橘化渣性的鉴定。

$$P = 0.004 + 0.439 \times U_1 + 1.557 \times U_2 \quad (R^2 = 0.998, P < 0.001) \tag{6}$$

式(6)中, U_1 和 U_2 分别表示归一化后的剪切力和囊衣纤维强度值。

表 6 主成分特征值及贡献率
Tab.6 Principal component characteristic value and contribution rate

成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
1	3.631	90.782	90.782
2	0.275	6.863	97.646
3	0.090	2.250	99.896
4	0.004	0.104	100.000

2.5 基于化渣性评价模型的南丰蜜橘化渣性评价

根据化渣性评价模型,计算南丰蜜橘化渣性综合得分(P 值),得分越高,化渣性越好。基于 P 值大小,将 13 份不同品种(品系)南丰蜜橘进行聚类(图 1),当距离为 2 时分成 4 个不同的类别(顺序按 P 值从大到小排列):‘SS-28’‘蜜广’小果系‘97-1’聚为一类;‘SS-9’‘SS-2’‘红广’小果系‘97-2’‘杨小 2-6’‘SS-7’聚为一类;‘QB-8’‘QW-3’早熟系‘97-1’聚为一类;大果系‘97-2’单独为一类。结合化渣性感官评价结果,小果系‘97-1’与小果系‘97-2’各测定指标间均无显著差异,但与‘SS-28’和‘蜜广’均有显著差异,将小果系‘97-1’划为化渣良(表 7)。基于化渣性评价模型的南丰蜜橘化渣性评价结果修正如下:‘SS-28’‘蜜广’化渣优;小果系‘97-1’‘SS-9’‘SS-2’‘红广’小果系‘97-2’‘杨小 2-6’‘SS-7’化渣良;‘QB-8’‘QW-3’早熟系‘97-1’化渣中,大果系‘97-2’化渣差;与感官评价结果一致。

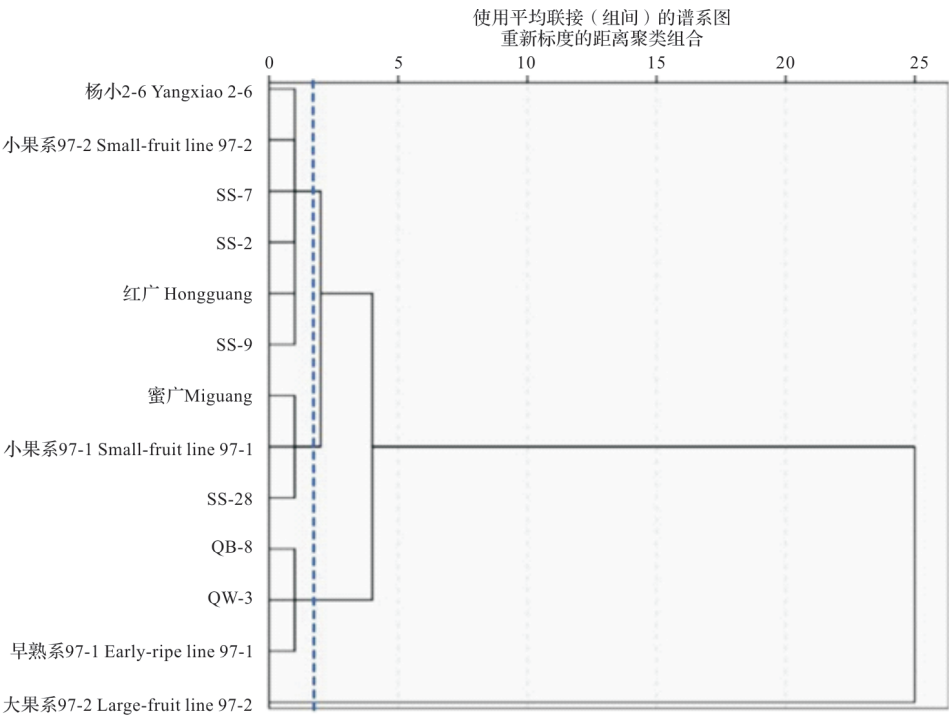


图 1 13 份不同品种(品系)南丰蜜橘化渣性聚类分析
Fig.1 Clustering analysis of mastication of 13 Nanfeng tangerine

2.6 南丰蜜橘化渣性评价模型的量化评价标准

将南丰蜜橘化渣性分为优、良、中和差 4 个级别,化渣优的量化评价标准为 $\geq(P_1+P_2)/2$,化渣良的量化评价标准介于 $(P_1+P_2)/2$ 与 $(P_3+P_4)/2$ 之间,化渣中的量化评价标准介于 $(P_3+P_4)/2$ 和 $(P_5+P_6)/2$ 之间,化渣差的量化评价标准为 $<(P_5+P_6)/2$, P_1 、 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 和 P_6 分别为表 7 中化渣优等级最小 P 值、化渣良等级最大 P 值、化渣良等级最小 P 值、化渣中等级最大 P 值、化渣中等级最小 P 值、化渣差等级最大 P 值。根据基于化渣性评价模型获得的 P 值和等级划分,将 P 值 ≥ 1.84 评价为南丰蜜橘化渣优品种(品系); P 值在 1.24~1.84(含 1.24)间评价为化渣良品种(品系); P 值在 0.48~1.24(含 0.48)间评价为化渣中品种(品系); P 值 < 0.48 评价为化渣差品种(品系)(表 8)。

表 7 基于化渣性评价模型的南丰蜜橘化渣性评价

Tab.7 Evaluation of Nanfeng tangerine mastication based on mastication evaluation model

试验材料 Material	综合得分(P值) Comprehensive score	等级 Grade
SS-28	1.975	I
蜜广 Miguang	1.855	I
小果系 97-1 Small-fruit line 97-1	1.821	II*
SS-9	1.669	II
SS-2	1.570	II
红广 Hongguang	1.535	II
小果系 97-2 Small-fruit line 97-2	1.401	II
杨小 2-6 Yangxiao 2-6	1.383	II
SS-7	1.339	II
QB-8	1.138	III
QW-3	1.110	III
早熟系 97-1 Early-ripe line 97-1	0.956	III
大果系 97-2 Large-fruit line 97-2	0.000	IV

*表示修正后的小果系‘97-1’化渣性等级。

* indicates a revised mastication grade of Small-fruit ‘97-1’.

表 8 南丰蜜橘化渣性评价量化标准

Tab.8 Quantitative evaluation standard of Nanfeng tangerine mastication

等级 Grade	化渣性综合得分(P值) Mastication comprehensive score
化渣优 Superior mastication	≥1.84
化渣良 Good mastication	1.24~1.84(含 1.24)
化渣中 Medium mastication	0.48~1.24(含 0.48)
化渣差 Inferior mastication	<0.48

3 讨论与结论

化渣性是衡量柑橘果实鲜品质的重要指标。南丰蜜橘种质资源丰富^[14],建立客观评价南丰蜜橘化渣性的方法用于比较不同南丰蜜橘果实化渣性十分重要,可为化渣南丰蜜橘品种选育和化渣性研究提供依据。柑橘化渣性以感官评价为主,利用质构仪测定质构指标用于评价果实化渣性越来越受到青睐^[15],但结合感官评价和质构指标分析,构建基于质构指标的南丰蜜橘化渣性量化评价模型,并获得不同化渣级别的具体量化标准,鲜见报道。张丽芳^[16]报道,可选纤维强度、纤维延展性、纤维韧性、剪切力作为化渣性评价的辅助指标,其值低,化渣性好。魏清江等^[10]报道,南丰蜜橘果实化渣性与剪切力密切相关。王策等^[15]报道,温州蜜柑化渣性与果实剪切力呈显著负相关。本文通过相关性分析,筛选了果实剪切力和囊衣穿刺参数囊衣纤维强度、纤维延展性、纤维韧性 4 个质构指标用于表征南丰蜜橘果实的化渣性,与前人报道相符,表明果实剪切力和囊衣穿刺参数与果实化渣性密切相关,可以客观评价柑橘果实化渣性。

采用主成分分析法对果实品质进行综合评价,可以避免信息重复,减少原始信息丢失^[17-18],在菠萝^[19]、玉环柚^[20]等果树上广泛运用。陈红等^[9]采用主成分回归分析法,以质构特征值为自变量,感官化渣程度为因变量进行回归分析,得到决定系数 R^2 为 0.73 的夏橙化渣程度评价模型。王策等^[15]利用多元线性回归分析构建了包括可溶性固形物含量、穿刺力、木质素含量和果胶含量 4 个指标的湖北省温州蜜柑的化渣性评价模型。本研究通过步进法进一步筛选并剔除不显著变量,建立的基于剪切力和囊衣纤维强度 2 个指标的南丰蜜橘化渣性评价模型, R^2 为 0.998。

柑橘果实化渣性一般分为3个等级,化渣、中等化渣和不化渣^[16,21]。魏清江等^[10]按照囊衣厚度和剪切力将南丰蜜橘化渣性分为极化渣、化渣、较化渣、不化渣和极不化渣5个等级。本研究无论根据化渣性感官评价结果,还是基于质构指标的化渣性评价模型建立的聚类图结果,均将南丰蜜橘化渣性分为4个等级,化渣优、化渣良、化渣中和化渣差。汤雨晴等^[21]结合感官评价、囊衣厚度、质构分析和细胞壁结构物质含量,采用等权评判法对南丰蜜橘果实化渣性进行优劣排序依次为‘蜜广’‘红广’‘SS-2’‘早熟一号’‘SS-28’‘杨小2-6’‘SS-7’‘97-1’‘SS-14’;加权评判法的排序依次为‘蜜广’‘红广’‘早熟一号’‘SS-2’‘SS-28’‘杨小2-6’‘97-1’‘SS-7’‘SS-14’。雷常玉^[22]连续2年对大果系‘97-2’和‘红广’进行质构分析,认为‘红广’的化渣性比大果系‘97-2’好。辜青青等^[7]研究表明,南丰蜜橘小果系‘97-2’化渣性优于早熟系‘97-1’。本研究南丰蜜橘化渣性感官评价结果表明,‘蜜广’和‘SS-28’化渣优,‘红广’、小果系‘97-2’‘SS-2’‘杨小2-6’和‘SS-7’化渣良,早熟系‘97-1’化渣中,大果系‘97-2’化渣差,与前人研究结果基本相符。基于质构指标的化渣性评价模型获得的13份南丰蜜橘品种(品系)化渣性评价结果与感官评价结果基本一致。总体而言,本研究根据质构指标建立的南丰蜜橘果实化渣性评价模型包含更少的指标,可行性强,可为其他柑橘品种化渣性评价提供借鉴。

参考文献 References:

- [1] 陈尚围.南丰蜜桔品质劣化原因及改良对策[J].现代园艺,2007(3):41-42.
CHEN S W.Reasons for quality deterioration of Nanfeng tangerine and improvement strategies [J].Contemporary horticulture,2007(3):41-42.
- [2] 谭美兰,唐德龙.南丰蜜桔栽培现状及发展策略[J].特种经济动植物,2020,23(10):64-69.
TAN M L,TANG D L.The current situation and development strategy of Nanfeng tangerine cultivation [J].Special economic animals and plants,2020,23(10):64-69.
- [3] 雷莹.柑橘果实化渣性研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
LEI Y.Mastication of citrus fruit [D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,2010.
- [4] ZHENG C S,LAN X,TAN Q L,et al.Soil application of calcium and magnesium fertilizer influences the fruit pulp mastication characteristics of Nanfeng tangerine (*Citrus reticulata* Blanco cv. Kinokuni) [J].Scientia horticulturae,2015,191:121-126.
- [5] LEI Y,LIUY Z,GU Q Q,et al.Comparison of cell wall metabolism in the pulp of three cultivars of ‘Nanfeng’ tangerine differing in mastication trait [J].Journal of science of food and agriculture,2012,92(3):496-502.
- [6] LIVNAT G,YOSSI Y,TATIANA K,et al.Diversity in sensory quality and determining factors influencing mandarin flavor liking [J].Journal of food science,2015,80(2):418-425.
- [7] 辜青青,唐红英,魏清江,等.南丰蜜橘果实纤维素代谢与化渣的关系研究[J].园艺学报,2016,43(5):867-875.
GU Q Q,TANG H Y,WEI Q J,et al.Studies on the relationship between cellulose metabolism and fruit mastication trait of Nanfeng tangerine [J].Acta horticulturae Sinica,2016,43(5):867-875.
- [8] 严敏,罗丽娟,韩忠星,等.南丰蜜橘和南丰蜜广果实质构特性、细胞壁成分及营养元素比较研究[J].农业科学,2019,9(8):689-696.
YAN M,LUO L J,HAN Z X,et al.Comparative study on fruit texture,cell wall structural components and nutrient content between “Nanfengmiju” and “Nanfengmiguang” [J].Hans journal of agricultural sciences,2019,9(8):689-696.
- [9] 陈红,左婷,伊华林,等.利用仪器检测指标量化夏橙化渣程度[J].农业工程学报,2014,30(8):265-271.
CHEN H,ZUO T,YIN H L,et al.Qantitative evaluation of valencia orange mastication degree using texture properties detected by instrument [J].Transactions of the Chinese society of agricultural engineering,2014,30(8):265-271.
- [10] 魏清江,汪妙秋,曾知富,等.南丰蜜橘化渣性评价及不同结果习性果实的品质比较[J].中国农业科学,2014,47(6):1162-1170.
WEI Q J,WANG M Q,ZENG Z F,et al.Evaluation of the mastication and comparison of fruit quality with different bearing habits in Nanfeng tangerine (*Citrus reticulata* Blanco cv Kinokuni) [J].Scientia agricultura Sinica,2014,47(6):1162-1170.
- [11] 郑苍松.南丰蜜橘果实品质与土壤—树体营养的关系及其调控[D].武汉:华中农业大学,2015.

- ZHENG C S. Relationships between fruit quality and soil-plant nutrients of Nanfeng tangerine and regulation by fertilization application[D]. WuHan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [12] 李群贞, 黄福琼, 朱礼乾, 等. 四川省眉山市爱媛28和春见果实品质分析与评价[J]. 果树学报, 2024, 41(4): 651-664.
LI Q Z, HUANG F Q, ZHU L Q, et al. Analysis and evaluation of fruit quality of Ehime 28 and Harumi in Meishan City, Sichuan Province[J]. Journal of fruit science, 2024, 41(4): 651-664.
- [13] 丁圆圆, 王曦奥, 刘策, 等. 黄瓜耐湿冷性苗期综合评价预测方程的建立[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(11): 87-96.
DING Y Y, WANG X A, LIU C, et al. Establishment of comprehensive evaluation and prediction equation for cucumber wet-cold tolerance at seedling stage[J]. Journal of agricultural science and technology, 2022, 24(11): 87-96.
- [14] 辜青青, 曾涛, 魏清江, 等. 基于SSR标记技术的南丰柑橘种质资源亲缘关系研究[J]. 果树学报, 2017, 34(6): 653-659.
GU Q Q, ZENG T, WEI Q J, et al. Genetic relationship analysis among Nanfeng citrus using SSR markers[J]. Journal of fruit science, 2017, 34(6): 653-659.
- [15] 王策, 黄锐, 石志鹏, 等. 湖北省温州蜜柑果实化渣性分析与评价[J]. 果树学报, 2024, 41(8): 1577-1591.
WANG C, HUANG R, SHI Z P, et al. Analysis and evaluation of fruit mastication of mandarins in Hubei Province[J]. Journal of fruit science, 2024, 41(8): 1577-1591.
- [16] 张丽芳. 南丰蜜橘果胶代谢与化渣性关系研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2014.
ZHANG L F. Correlation analysis on pectic metabolism and mastication of Nanfeng tangerine fruit[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014.
- [17] FABRIZIO S, ANGELO C, LARA P, et al. New plant breeding techniques in citrus for the improvement of important agronomic traits: a review[J]. Frontiers in plant science, 2020, 11: 1234.
- [18] LI L J, TAN W S, LI W J, et al. Citrus taste modification potentials by genetic engineering[J]. International journal of molecular sciences, 2019, 20(24): 6194-6210.
- [19] 付山, 梁邺, 徐玖亮, 等. 基于多种方法的菠萝果实质地及食味品质综合评价[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 3006-3019.
FU S, LIANG Y, XU J L, et al. Comprehensive evaluation of fruit texture and taste quality of pineapple based on multiple methods[J]. Scientia agricultura Sinica, 2023, 56(15): 3006-3019.
- [20] 郑爽, 郑胄发, 刘善军, 等. ‘玉环柚’3个杂交组合F₁代果实品质特性及评价[J]. 江西农业大学学报, 2024, 46(5): 1196-1205.
ZHENG S, ZHENG Z F, LIU S J, et al. Fruit quality characteristics and evaluation in F₁ generation of three hybrid combinations of ‘Yuhuan柚’ (*Citrus grandis*) [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2024, 46(5): 1196-1205.
- [21] 汤雨晴, 刘心澄, 杨惠栋, 等. 南丰蜜橘不同品种(系)果实化渣性比较[J]. 南方农业学报, 2023, 54(12): 3657-3664.
TANG Y Q, LIU X C, YANG H D, et al. Comparison of fruit mastication trait among different *Citrus reticulata* Blanco cv. Kinokuni varieties (lines) [J]. Journal of southern agriculture, 2023, 54(12): 3657-3664.
- [22] 雷常玉. 大果系南丰蜜橘‘97-2’和‘红广’囊衣化渣性比较研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2021.
LEI C Y. Comparative study on mastication of segment membranes of large-fruit Nanfeng tangerine ‘97-2’ and ‘hongguang’ [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2021.