

## 利用仪器检测指标量化夏橙化渣程度

陈红<sup>1</sup>, 左婷<sup>1</sup>, 伊华林<sup>2</sup>, 余豹<sup>1</sup>, 魏张奎<sup>1</sup>, 潘海兵<sup>1</sup>

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学园艺园林学院, 武汉 430070)

**摘要:**为了量化评价夏橙化渣程度, 利用仪器检测的指标建立夏橙感官化渣程度的预测模型, 采集了湖北宜昌秭归的9种夏橙总计270个样品, 首先测定了影响夏橙样本化渣程度的粗纤维成分含量, 进行了夏橙化渣程度的感官评定分析, 再利用质构仪的压缩试验、质地剖面TPA (texture profile analysis) 试验、剪切试验模拟了口腔咀嚼果肉的过程。结果表明, 粗纤维成分含量与质构参数之间存在显著相关性, 质构参数与感官化渣程度之间的相关关系也十分显著, 说明夏橙质构特性可以表征果肉的化渣性。进一步采用主成分回归分析法, 以仪器测得的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, 得到具有统计学意义决定系数 $R^2$ 为0.73的预测模型。由此表明, 基于质构特性建立的夏橙化渣程度评价模型在一定程度上可以准确地评价夏橙的化渣程度, 利用质构特性取代感官评定评价夏橙化渣程度是可行的, 该研究可为夏橙化渣程度的检测提供参考。

**关键词:** 质构; 纤维; 压缩试验; 化渣程度; 夏橙; 感官评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.08.031

中图分类号: S666.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-08-0265-07

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 Hong, Zuo Ting, Yi Hualin, et al. Quantitative evaluation of Valencia orange mastication degree using texture properties detected by instrument[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(8): 265—271. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

夏橙是世界上栽培面积最大、产量最多的晚熟甜橙品种, 中国也是夏橙的重要原产中心之一, 被誉为世界柑橘资源的宝库, 2010年中国夏橙产量约为2 600万t, 居世界第一<sup>[1-2]</sup>。随着夏橙市场的变化, 消费者对其食用与加工品质提出了更高的要求。夏橙可食部分是由一定数量的囊瓣及填充于其中的汁胞组成, 果肉的化渣程度表明了可食部分经过口腔咀嚼后残留物的多少以及咀嚼后到下咽时所需的时间, 是衡量果实质地和口感的重要品质指标, 与构成初生细胞壁的薄壁细胞中的粗纤维和果胶的成分及结构有关<sup>[3-7]</sup>。粗纤维和果胶含量少, 则化渣程度高, 肉质脆嫩, 清香爽口, 口感佳; 粗纤维和果胶含量多, 化渣程度低, 则入口粗糙生硬, 甚至嚼不烂难下咽。如何客观、量化地判定夏橙的化渣程度已成为柑橘类鲜果品质研究的热点。目前评价夏橙品质最直接的方法是感官评定, 但感官评定耗时耗力、且带有严重的个人感觉差异的缺点。

近年来, 利用质构仪等物性仪器通过模拟人齿咀嚼食物的过程, 对试验样品进行压缩、拉伸、剪切和穿刺等测试, 根据样品的物性特点做出数据化的准确表述, 在食品行业的应用日益广泛, 利用仪器测定来对食品感官性状进行品质评价也成为研究的热点<sup>[8-9]</sup>。国内外对水果(苹果、香蕉、柑橘、杨梅等)、米饭、肉类<sup>[10-14]</sup>等食品质构特性的研究主要集中在抗压强度、硬度、弹性等力学特性的分析, 或成熟度、脆嫩等感官品质的分析<sup>[15-19]</sup>。柑橘化渣程度与纤维素、半纤维素、木质素等粗纤维成分含量密切相关<sup>[5]</sup>, 粗纤维成分含量的不同, 势必影响到柑橘力学特性。迄今, 有关仪器检测柑橘化渣程度的研究鲜见报道。本文以夏橙为研究对象, 分析不同品种夏橙的粗纤维含量、感官评定、质构特性, 研究三者之间的相关关系, 运用合理的统计方法的仪器检测和量化构建夏橙化渣程度的预测模型, 期为夏橙的品质评价提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

用于试验的夏橙有以下9个品种: 奥林达夏橙、伏令夏橙、无核夏橙、红夏橙、康贝尔夏橙、蜜奈夏橙、斯加哥斯夏橙、大果夏橙(芽变优系)、佛罗斯特夏橙等, 均采自湖北省秭归县柑橘良种繁育示范所。样品在相同条件下栽培管理, 于2012年5

收稿日期: 2013-08-10 修订日期: 2014-03-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2013PY127); 十二五国家科技支撑计划“主要常绿果树新品种选育”(2013BAD02B02); 国家现代柑橘产业技术体系专项基金(CARS-27)  
作者简介: 陈红(1968—), 女, 湖南长沙人, 博士, 副教授, 主要从事农产品加工技术与装备方向的研究。武汉 华中农业大学工学院, 430070。Email: chenhong@mail.hzau.edu.cn

月 23 日, 分别在果树东、南、西、北 4 个方位选择 4 段长势中等、健康的树体, 摘取色泽和大小均匀一致、无机械损伤、无病虫害的果实各 30 个, 共 270 个果样。另外分出 45 个存放在  $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 80% 的保鲜框内, 留待后续的感官评定。

## 1.2 试验仪器

美国 FTC 公司生产的 TMS-CONSOLE 型专业食品物性测试仪、水浴锅、各种玻璃器皿等。

## 1.3 压缩试验 (compression test)

压缩试验采用 P100/R 的圆形平板探头, 测定压缩全过程的受力情况。参数设定为: 触发力 0.5 N, 测前、测后速率均为 1 mm/s, 检测速率为 0.5 mm/s, 压缩位移 25 mm, 破碎形变比例 50%。夏橙横径在 6~10 cm 之间, 果实质量在 100~150 g 之间, 剥皮后采取轴向压缩方式, 即由夏橙顶部向下压。每组测量 10 个果样, 共 90 个夏橙果样, 测定压缩抗力 (compression resistance, Fb) 和弹性模量 (elastic modulus, E)。在压缩试验的初始阶段, 力随着加载位移量增大而增大, 当达到第一个波峰时夏橙产生破裂, 试验以夏橙第一破裂处的力作为柑橘的压缩抗力, 而力-位移曲线的斜率为弹性模量。

## 1.4 质地剖面试验 (texture profile analysis, TPA)

将夏橙剥皮水平置于试验台上, 采用 P100/R 探头, 测前速率为 1 mm/s、测试速率为 0.5 mm/s、测后速率为 2 mm/s, 测试时间间隔为 1 s, 压缩百分比为 30%。纵向压缩, 压缩部位为夏橙顶部果梗区, 每个品种随即选取 10 个, 共 90 个进行试验。TPA 测定参照纪宗亚和潘秀娟等的方法<sup>[9,16]</sup>, 测定参数有: 硬度 (hardness, HN)、凝聚性 (cohesiveness, CN)、弹性 (springiness, SN)、胶黏性 (adhesiveness, AN) 和回复性 (resilience, Re) 等 5 个 TPA 参数。

## 1.5 剪切试验 (Warner-Bratzler shear test)

夏橙样品剥皮后, 立即随机选取一瓣置于平台, 采用燕尾型不锈钢剪刀进行试验。测定方法参照陈磊等的方法<sup>[17]</sup>, 测前速率、测后速率为 1 mm/s, 测试速率为 0.5 mm/s, 剪切距离为 15 mm。样品在室温条件下测定, 每类品种选取 5 个, 共 45 个果样。每个样品抽取 4 瓣进行平行试验。根据刀具切割过程中的力量变化, 测定的参数为: 最大剪切力 (shear force, SF)、切断功 (shear work, SW)。

## 1.6 感官评定 (sensory evaluation)

每个品种取剩下的 5 个果样, 共 45 个果样, 剥皮除尽囊瓣表面的白色筋络。分别组织经过培训的 6 名食品工程专业人员和 2 名园林园艺专业人员对果样进行评价。小组成员均采用随

机抽取法抽取 8 个果瓣, 每个品种重复 5 次, 进行感官测定。感官分析筛选夏橙品质指标时以《农作物种质资源鉴定技术规程 柑橘 NY/T1486—2007》<sup>[20]</sup>和国标 GB/T16860—1997<sup>[21]</sup>为参考依据, 对果肉质度、残渣、易嚼性和多汁性 4 个感官品质指标打分, 打分标准如表 1 所示, 采取 1~3 分制。每个夏橙样品得分数据为去除最高和最低分后的平均值。果肉质度评价整个咀嚼过程中嘴唇和舌头对果瓣表面状况的感觉以及咬住样品所需用力; 残渣表示咀嚼之后, 口腔中颗粒和渣粒情况; 易嚼性是指每 1.5 s 用与 0.5 s 内咬穿一块口香糖所需力量咀嚼样品 1 次, 到吞咽时所需时间; 多汁性为咀嚼样品 7 次后, 果实周围的液体情况。感官评定总分是对夏橙感官化渣品质的综合评价, 其值等于果实质地、残渣、易嚼性和多汁性的总和, 它包含了夏橙果肉质度、残渣、易嚼性和多汁性等方面的信息, 能够客观的反应夏橙的化渣程度。感官评定总分的分值在 4~12 之间, 其中 4 分代表夏橙化渣程度最差, 12 分为最好。

表 1 感官评价描述词及相应代表分值  
Table 1 Described words of sensory evaluation and corresponding scores

果肉质度 Flesh texture		残渣 Residuals		易嚼性 Mastication		多汁性 Juiciness	
描述 Describe	得分 Score	描述 Describe	得分 Score	描述 Describe	得分 Score	描述 Describe	得分 Score
松脆	3	少	3	小于 6 s	3	多	3
一般脆	2	中	2	6~11 s	2	中	2
生硬	1	多	1	大于 11 s	1	少	1

## 1.7 粗纤维含量测定

粗纤维主要包括纤维素、半纤维素和木质素, 测定方法参考王玉万等的程序分析法<sup>[22]</sup>: 试验之前将夏橙榨汁制成干样, 将 0.5 g 干样用 3% 中性洗涤剂 (sodium dodecyl sulfate, SDS) 在沸水浴中水解 1 h, 过滤后用蒸馏水和无水丙酮洗涤残渣 3 次, 残渣用 2 mol/L HCl 100℃ 保温 50 min, 过滤, 水洗残渣至 pH 值 6.5~7.0, 将滤液定容至 100 mL 用于半纤维素含量的测定, 采用地衣酚法, 以木糖为标样, 重复测定 3 次。将洗涤后的残渣用质量分数为 72%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  于 35℃ 水解 1 h, 然后加入 4 倍体积的蒸馏水, 100℃ 水解 1 h, 过滤后取滤液, 用葱酮比色法测定纤维素含量。木质素是纤维素过滤后的残渣 80℃ 至恒重的质量。以上均重复测定 3 次。粗纤维素含量等于纤维素、半纤维素和木质素含量的总和。

## 1.8 分析方法

利用 Excel 分别对试验测得粗纤维含量、感官评定数据、质构参数进行方差分析, 计算不同夏橙

品种之间的粗纤维含量、果肉质地、残渣、咀嚼性、多汁性均值和质构参数的标准差以及变异系数。再通过 SPSS17.0 统计软件分析感官评定和质构参数之间的相关性,采用主成分回归法进行回归分析,建立夏橙感官化渣程度的预测方程。

## 2 结果与分析

### 2.1 夏橙粗纤维含量与感官评定结果

夏橙粗纤维素含量和感官评定结果见表 2。从表 2 可知 9 种夏橙的粗纤维素的含量变化差异较大,福罗斯特、康贝尔、大果和无核夏橙显著高于

其余品种的含量,红夏橙和伏令夏橙的含量最低;不同品种夏橙的感官测定参数表现出较大变异程度:果肉质地、残渣、易嚼性的变异系数达到 0.4 以上,多汁性的变异系数较低为 0.18。

### 2.2 夏橙质构分析

夏橙质构试验结果见表 3。通过显著性分析可以看出:不同品种的夏橙力学特性存在差异,大果夏橙的压缩抗力显著高于其他品种夏橙;康贝尔夏橙的硬度和切断功显著高于其他品种夏橙;除凝聚性、弹性和胶黏性在夏橙品种间差异不明显,其他质构指标参数在部分品种夏橙中存在显著差异。

表 2 夏橙样品粗纤维含量与感官评定结果

Table 2 Content of crude fiber and results of sensory evaluation of valencia orange

	粗纤维 Crude fiber/(g·kg <sup>-1</sup> )	感官评定 Sensory evaluation				
		果肉质地 Flesh texture	残渣 Residuals	易嚼性 Mastication	多汁性 Juiciness	总分 Total
斯加哥斯夏橙 Campbell Valencia orange	396.18±0.51d	1.94	1.06	1.06	2.10	6.16
蜜奈夏橙 Midnight Valencia orange	414.80±0.26d	2.49	2.20	2.54	2.40	9.63
大果夏橙 Large fruit Valencia orange	450.15±0.18b	0.80	0.94	0.99	1.41	4.14
奥林达夏橙 Olinda Valencia orange	383.65±0.16e	2.49	2.06	2.69	2.46	9.69
福罗斯特夏橙 Frost Valencia orange	445.31±0.37a	1.89	0.93	0.91	2.26	5.99
红夏橙 Rhode red Valencia orange	372.26±0.27f	2.83	2.74	2.86	2.71	11.14
伏令夏橙 Valencia orange	363.61±0.23f	2.8	2.67	2.71	2.7	10.89
康贝尔夏橙 Campbell Valencia orange	467.89±0.18b	0.67	0.86	0.9	1.91	4.34
无核夏橙 Seedless Valencia orange	443.36±0.21c	2.04	1.76	1.19	2.37	7.36
平均值 Mean	415.25	1.99	1.69	1.76	2.26	7.70
标准差 Standard deviation	38.01	0.79	0.77	0.90	0.41	2.72
变异系数 Variation coefficient	0.09	0.40	0.45	0.51	0.18	0.35

注:小写字母表示在  $P<0.05$  水平上差异显著。下同。

Note: Lowercase letter indicated significant correlation at 0.05 level. The follows as the same.

表 3 夏橙质构试验结果

Table 3 Results of texture properties of valencia orange

	压缩抗力 Compression resistance	弹性模量 Elastic modulus (N·mm <sup>-1</sup> )	硬度 Hardness	凝聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	胶黏性 Adhesiveness	回复性 Resilience	最大剪切力 Shear force	切断功 Shear work
斯加哥斯夏橙 Campbell Valencia orange	60.88±5.24c	3.64±0.82d	48.50±6.52c	0.31±0.01a	0.78±0.03a	30.4±1.99a	0.15±0.01b	24.1±1.73c	207.81±7.39d
蜜奈夏橙 Midnight Valencia orange	63.07±4.13c	3.73±0.65d	46.70±3.84c	0.34±0.02a	0.71±0.02b	28.1±2.14a	0.12±0.01c	23.4±2.01c	226.51±8.13c
大果夏橙 Large fruit Valencia orange	99.58±3.27a	5.27±0.92a	69.20±4.72ab	0.30±0.01a	0.86±0.05a	22.8±2.41b	0.20±0.03a	29.1±3.62b	286.05±7.24b
奥林达夏橙 Olinda Valencia orange	59.16±2.44c	4.11±0.34c	47.00±5.38c	0.33±0.01a	0.70±0.03b	25.2±3.19ab	0.16±0.02b	24.7±1.95c	190.95±2.17d
福罗斯特夏橙 Frost Valencia orange	88.43±5.82b	4.72±0.27b	70.30±4.18ab	0.32±0.03a	0.83±0.06a	20.9±2.41b	0.15±0.02b	33.8±4.17a	276.75±7.24b
红夏橙 Rhode red Valencia orange	58.61±3.15c	3.99±0.27c	43.70±4.93d	0.33±0.02a	0.70±0.03b	26.3±1.32a	0.17±0.02a	21.0±1.63d	180.09±6.02d
伏令夏橙 Valencia orange	54.14±4.29c	3.65±0.35d	38.40±5.16d	0.37±0.04a	0.70±0.02b	20.6±0.98b	0.18±0.04ab	21.3±2.11d	168.09±7.83e
康贝尔夏橙 Campbell Valencia orange	88.65±7.64b	5.41±1.02a	76.80±7.25a	0.34±0.01a	0.81±0.02a	21.0±1.05b	0.22±0.04a	29.2±1.69b	315.01±9.98a
无核夏橙 Seedless Valencia orange	83.18±4.91b	4.64±0.63b	65.80±3.19b	0.31±0.02a	0.83±0.07a	34.1±3.78a	0.20±0.01a	30.6±2.74b	267.64±6.38b

## 2.3 质构参数与粗纤维含量、感官评定结果的相关性分析

质构特性和感官评定指标的相关性分析, 结果见表 4。由表 4 可知, 粗纤维与硬度之间呈极显著正相关, 和弹性呈极显著负相关, 而与凝聚性、胶黏性和回复性相关性不明显。可能是因为二次压缩反应了整个夏橙的质构特性, 并且由于果实粗纤维含量越低, 夏橙细胞壁结构越稀疏, 却越有韧性,

对于外界作用力反抗虽小, 但整体的回复性越好, 使得夏橙果肉入口脆爽有弹性; 而粗纤维含量与剪切试验中最大剪切力和切断功呈现极显著正相关, 这是因为粗纤维素含量越多, 夏橙果肉结构越致密, 支撑细胞结构越牢靠, 导致所需的剪切力越大, 咀嚼果肉耗费的能量越多, 使得果肉入口不易咀嚼, 粗糙难以下咽。

表 4 质构指标与粗纤维含量、感官评分的相关性

Table 4 Correlation analysis between instrumental parameters and sensory parameters and crude fiber content

	粗纤维 Crude fiber	果肉质地 Flesh texture	残渣 Residuals	易嚼性 Mastication	多汁性 Juiciness	总分 Total
压缩抗力 Compression resistance	0.926**	-0.856**	-0.772*	-0.811**	-0.793*	-0.855**
弹性模量 Elastic modulus/(N·mm <sup>-1</sup> )	0.865**	-0.869**	-0.680*	-0.684*	-0.719*	-0.780*
硬度 Hardness	0.990**	-0.865**	-0.820**	-0.853**	-0.706*	-0.872**
凝聚性 Cohesiveness	-0.479	0.456	0.599	0.622	0.608	0.600
弹性 Springiness	-0.862**	-0.816**	-0.853**	-0.946**	-0.783*	-0.909**
胶黏性 Adhesiveness	-0.066	0.255	0.139	-0.015	0.164	0.133
回复性 Resilience	0.436	-0.603	-0.281	-0.407	-0.403	-0.450
最大剪切力 Shear force	0.865**	-0.646	-0.769*	-0.818**	-0.539	-0.757*
切断功 Shear work	0.996**	-0.883**	-0.811**	-0.834**	-0.743*	-0.874**

注: \*\* 表示在 0.01 水平上极显著相关, \* 表示在 0.05 水平上显著相关

Note: \*\* indicated highly significant correlation at 0.01 level, \* indicated significant correlation at 0.05 level.

质构指标和感官评分之间存在显著的相关性, 压缩抗力、硬度、弹性和切断功等指标与果肉质地、残渣、易嚼性、多汁性均呈现出极强负相关性, 弹性模量和最大剪切力在一定程度上与感官指标负相关, 而胶黏性、凝聚性和回复性与感官指标之间没有表现出相关性; 压缩抗力、硬度、弹性、切断功、弹性模量和最大剪切力等指标与感官总分之间也表现出很强的相关性, 因此筛选出 6 个质构指标: 压缩抗力、弹性模量、硬度、弹性、最大剪切力和切断功, 用于后续建模。

## 2.4 共线性诊断

通过分析, 质构仪测定的试验参数间存在相当高的相关性, 相关系数大于 0.80, 如压缩试验中的压缩抗力和弹性模量之间, TPA 分析中硬度和弹性间的相关关系 ( $R=0.891\sim0.972$ ) 都较大。将筛选出的质构指标作为自变量, 感官评分作为因变量进行回归分析, 由于质构参数间存在严重的共线性, 因此在回归分析之前应先检验各个质构参数变量的方差膨胀因子 (variance inflation factor, VIF)。可得压缩抗力、硬度、弹性、最大剪切力和切断功的 VIF 分别为 80.455、38.792、110.02、44.827、8.033、142.393。诊断结果表明质构参数指标间存

在严重的共线性, 需要对质构参数进行主成分分析处理, 才能进行回归分析。

## 2.5 主成分回归分析

将 270 个样品的试验数据分为 2 组合, 随机选取 250 个样品的试验数据进行建模, 其他的作预测模型的外部验证。由于夏橙样品粗纤维含量在一定程度上可以反应其果实的化渣程度, 由表 4 可知, 质构参数指标与感官总分之间的相关程度较高, 因而决定建立基于质构参数指标的夏橙感官化渣程度模型。

为了消除质构指标间的共线性对回归模型带来的不利影响, 回归建模前先对质构指标进行主成分分析。通过分析数据特点, 选用 Z 标准化方法, 公式如下:

$$\text{Std}(X_i) = \frac{X_i - \bar{X}}{\sqrt{D}}$$

式中:  $X_i$  为试验测得数据;  $\text{Std}(X_i)$  为标准化后的数据;  $\bar{X}$  为样品相应测定指标的均值;  $\sqrt{D}$  为所有样品相应测定指标的标准差。

将标准化后的数据提交 SPSS 软件进行主成分分析, 各主成分 (F1~F6) 的特征根、差贡献率见

表 5。因前 2 个主成分的特征值较大，且累计贡献率达到 93.13%，故提取 2 个主成分，即将 F1~F2 引入后期回归分析。将各主成分因子得分作为自变量，标准化后的感官总分作为因变量，进行回归分析建立多元线性回归方程。变量 F1 对应的  $P$  值为 0.0035，小于 0.01，表明 F1 对试验结果影响非常显著。 $F$  检验中  $F=9.31$ ，大于  $F_{0.05}$ ，所建立的线性回归方程效果非常显著 ( $P<0.05$ )，感官总分的回归模型的决定系数  $R^2$  为 0.73，调整  $R^2$  为 0.65，标准误差为 0.19。多个统计量的回归诊断表明，再由不同主成分入选模型的过程中，该模型最好，调整  $R^2$  最大，标准估计误差 (standard error of estimate) 最小，残差平方和 (residual sum of squares, PRESS) 最小，精度较好。

表 5 各主成分特征根与方差贡献率  
Table 5 Eigenvalues of correlation matrix

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate/%	累计贡献率 Cumulative contribution rate/%
F1	5.2290	87.148	87.148
F2	0.359	5.982	93.130
F3	0.206	3.436	96.566
F4	0.117	1.946	98.512
F5	0.087	1.446	99.958
F6	0.003	0.042	100.000

用原始变量替换模型中的主成分变量，从而得到质构特性对夏橙化渣程度感官评定的多元回归方程：

$$\text{SHN} = 22.066 - 0.022\text{Fb} - 0.913\text{E} - 0.035\text{HN} - 3.773\text{SN} - 0.046\text{SF} - 0.01\text{SW}$$

式中：SHN 为化渣程度的总得分；Fb 为压缩抗力；E 为弹性模量；HN 为硬度；SN 为弹性；SF 为最大剪切力；SW 为切断功。

## 2.6 模型的验证

为了检验主成分回归 (principal component analysis and regression, PCR) 模型的预测精度，采用验证集 20 个样品的试验数据对模型进行外部检验，验证评价指标结果见表 6。由表 6 可知，化渣程度预测模型的预测标准差为 0.17，相对标准差为 1.05%，说明预测模型验证的精度较高，满足在实际应用检测中的标准要求。结果表明，用上述所建立的化渣程度模型可以用于夏橙化渣程度的预测。

表 6 预测模型验证结果  
Table 6 Validation results of prediction model

决定系数 $R^2$	预测标准差 Prediction standard deviation	相对标准差 Relative standard deviation%	残差平方和 Residual sum of squares
0.85	0.17	1.05	2.46

## 3 讨论

雷莹<sup>[5]</sup>研究柑橘果实化渣性认为粗纤维是组成植物细胞壁的主要成分，夏橙中纤维素、半纤维素和木质素等的含量直接影响了夏橙果实的品质，当纤维素和木质素等含量过多时，使用时会有粗硬多渣的感觉，曾秀丽等<sup>[6]</sup>研究脐橙膳食纤维动态变化认为高含量的半纤维素、低含量的纤维素和木质素是脐橙果实口感脆而化渣的主要原因，本文通过质构仪器测定的硬度和弹性等参数证明了夏橙果实在低含量的粗纤维时具有脆而化渣的特性。

本文提出了一种利用质构仪器测定来对夏橙感官性状进行预测的思想，模型结果充分说明了质构仪测定参数与感官化渣程度存在一定的相关性，对潘秀娟等<sup>[16]</sup>的研究起到补充说明的作用。此外，还证明了果肉质度品质与果实的生理指标之间有很大的关联性，与曾秀丽<sup>[8]</sup>等对夏橙品质的研究结果一致。

## 4 结论

1) 通过主成分回归分析发现压缩试验、质地剖面 TPA (texture profile analysis) 试验和剪切试验所测得的硬度、压缩抗力、弹性、和切断功等指标与化渣程度的感官评定指标 (果实质地、残渣剩余、易嚼性和多汁性) 呈显著负相关，相关系数均  $R$  在 0.70 以上，弹性模量和最大剪切力与化渣程度评定指标表现出一定相关性，但回复性、胶黏性和凝聚性与感官评定相关性并不显著，原因可能是这几个指标主要是对夏橙果肉整体特性进行辅助说明的，不能明显反应咀嚼过程的具体受力情况。

2) 通过共线性诊断分析，发现筛选出的质构参数之间存在严重的共线性，因而建立模型的关键是消除共线性的影响。

3) 本课题利用主成分回归分析提取 2 个主成分，建立基于夏橙质构特性的感官化渣程度模型。夏橙感官化渣程度模型的决定系数  $R^2$ 、标准差 (prediction standard deviation) 分别为 0.73、0.19。对感官化渣程度模型进行外部验证，预测标准差 (prediction standard deviation)、相对标准差 (relative standard deviation) 和残差平方和 (residual sum of squares) 分别为 0.17、1.05 和 2.46。感官化渣程度模型外部验证结果表明，采用主成分回归方法建立的夏橙感官化渣程度预测模型稳健性好，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，可以较准确的预测夏橙的感官化渣程度，证实了利用夏橙质构特性取代感官分析预测夏橙果实感官化渣程度的可行性。

## [参 考 文 献]

- [1] 张玉, 赵玉, 祁春节. 中国柑橘产业可持续发展制约因素与对策[J]. 中国热带农业, 2007(5): 10—11.  
Zhang Yu, Zhao Yu, Qi Chunjie. Restricting factors and countermeasures of sustainable development of chinese summer orange industry[J]. Tropical Agriculture of China, 2007(5): 10—11. (in Chinese with English abstract)
- [2] 邓秀新, 祁春节, 张玉. 夏橙[R]. 中国工程院专项咨询研究项目报告, 2007: 146—155.  
Deng Xiuxin, Qi Chunjie, Zhang Yu. Valencia orange[R]. Research Project Report of Chinese Academy of Engineering Specialist Advisory, 2007: 146—155. (in Chinese with English abstract)
- [3] 赵静, 冯叙桥, 吴永娴, 等. 柑桔果实成熟期中果胶质的变化[J]. 果树科学, 1995, 12(2): 101—103.  
Zhao Jing, Feng Xuqiao, Wu Yongxian, et al. The changes of pectin during citrus fruit ripening[J]. Journal of Fruit Science, 1995, 12(2): 101—103. (in Chinese with English abstract)
- [4] 张海新. 果实成熟软化与相关的酶学研究[J]. 食品科技, 2008, 33(11): 57—59.  
Zhang Haixin. The research on fruit ripening and softening and related enzymes[J]. Food Science and Technology, 2008, 33(11): 57—59. (in Chinese with English abstract)
- [5] 雷莹. 柑橘果实化渣性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.  
Lei Ying. Mastication of Citrus Fruit[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [6] 曾秀丽, 张光伦, 吕秀兰, 等. 三类生境下脐橙果实细胞壁酶-瓤囊壁超微结构和品质变化的研究[J]. 果树学报, 2006, 23(5): 670—675.  
Zeng Xiuli, Zhang Guanglun, Lü Xiulan, et al. Cell wall enzyme activity, cell ultrastructure and fruit quality of robertson navel orange grown in three different habitats[J]. Journal of Fruit Science, 2006, 23(5): 670—675. (in Chinese with English abstract)
- [7] Sekine D, Munemural I, Gao M, et al. Cloning of cDNA encoding cell-wall hydrolases from pear(*Pyrus Communis*) fruit and their involvement in fruits of softening and development of melting texture[J]. Physiol Plantarum, 2006, 126(2): 163—174.
- [8] 曾秀丽. 不同生境下甜橙果实的质地研究[D]. 雅安: 四川农业大学博士学位论文, 2007.  
Zeng Xiuli. The Studies on the Effects of Habitats to Sweet Orange [*Citrus Sinesis* (L.) Osbeck] Fruit Texture[D]. Ya'an: Academic Doctor Paper of Sichuan Agriculture University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [9] 纪宗亚. 质构仪及其在食品品质检测方面的应用[J]. 食品工程, 2011(3): 22—25.  
Ji Zongya. Application of texture analyzer in the assessment for food quality[J]. Food Engineering, 2011(3): 22—25. (in Chinese with English abstract)
- [10] Szczesniak A S. Correlations between objective and sensory texture measurements[J]. Food Technology, 1968, 22(8): 49—54.
- [11] Karakurt Y, Huber D J, Sherman W B. Quality characteristics of melting and non-melting flesh peach genotypes[J]. JSci Food Agr, 2000, 80(13): 1848—1853.
- [12] Ioannides Y, Howarth M S, Raithatha C, et al. Texture analysis of delicious fruit: Towards multiple measurements on individual fruit[J]. Food Quality and Preference, 2007, 18(6): 825—833.
- [13] de Huidobro F R, Miguel E, Bla'zquez B, et al. A comparison between two methods (Warner-Bratzler and texture profile analysis) for testing either raw meat or cooked meat[J]. Meat Science, 2005, 69(3): 527—536.
- [14] Kajuna S, Bilanski W, Mittal G S. Textural changes of banana and plantain pulp during ripening[J]. J Sci Food Agric, 1997, 75(2): 244—250.
- [15] Rousset S, Pons B, Pilandon C. Sensory texture profile, grain physico-chemical characteristics and instrumental measurements of cooked rice[J]. Journal of Texture Studies, 1995, 26(2): 119—135.
- [16] 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 (Transactions of the CSAE), 2005, 21(3): 166—170. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈磊, 王金勇, 李学伟. 仪器测定的猪肉质构性状与感官性状的回归分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 357—361.  
Chen Lei, Wang Jinyong, Li Xuewei. Regreesion analysis of instrumental texture characteristics and sensory characteristics of pork[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(6): 357—361. (in Chinese with English abstract)
- [18] 王丽丽. 梨果实压缩特性与品质特性关系的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.  
Wang Lili. Study on the Relationship Between Compressive Properties and Quality of Pear Fruits[D]. Hohhot: Inner Mongol University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [19] 贾艳茹, 魏建梅, 高海生. 质构仪在果实品质测定方面的研究与应用[J]. 食品科学, 2011, 32(增刊): 184—186.  
Jia Yanru, Wei Jianmei, Gao Haisheng. Study and application of texture analyzer in the assessment for fruits and vegetables texture[J]. Food Science, 2011, 32(S1): 184—186. (in Chinese with English abstract)
- [20] 江东, 焦必宁, 陈竹生. NY/T1486—2007, 农作物种质资源鉴定技术规程柑橘[S]. 北京: 中国农业出版社, 2007.  
Jiang Dong, Jiao Bining, Chen Zhusheng. NY/T1486—2007, Crop germplasm technical regulations of citrus[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007. (in Chinese with English abstract)

- [21] 周苏玉, 陈琦, 钱平, 等. GB/T 16860—1997, 感官分析方法质地剖面检验[S]. 北京: 国家技术监督局, 1997.  
Zhou Suyu, Chen Qi, Qian Ping, et al. GB/T 16860—1997, Sensory analysis methodology-Texture profile[S]. Beijing: State Bureau of Technical Supervision, 1997. (in Chinese with English abstract)
- [22] 王玉万, 徐文玉. 木质纤维素固体基质发酵物中半纤维素, 纤维素和木素的定量分析程序[J]. 微生物学通报, 1987, 14(2): 81—84.  
Wang Yuwan, Xu Wenyu. Quantitative analysis procedures of hemicellulose, cellulose and lignin in solid substrate fermentation of lignocellulosic materials[J]. Microbiology China, 1987, 14(2): 81—84. (in Chinese with English abstract)

## Quantitative evaluation of Valencia orange mastication degree using texture properties detected by instrument

Chen Hong<sup>1</sup>, Zuo Ting<sup>1</sup>, Yi Hualin<sup>2</sup>, Yu Bao<sup>1</sup>, Wei Zhangkui<sup>1</sup>, Pan Haibing<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** To evaluate Valencia orange mastication degree and establish a model for predicting the sensory mastication of Valencia orange quantitatively, nine kinds of Valencia orange, the number of each kind was 30, a total of 270 Valencia orange samples were collected. The research measured the content of crude fiber, sensory attributes, and textural properties of Valencia orange. Sensory evaluation was performed by a panel including eight trained people, and the average score of flesh attributes, residue, and mastication was recorded. Simulating the process of chewing the flesh, compression experiments, TPA tests, and shear tests were performed to analyze the textural properties. The averages and the standard deviations of the three tests were calculated. Statistically, differences were found for crude fiber content among all the cultivars of Valencia oranges. The crude fiber content of Frost and Campbell was significantly higher than others in the condition of significance levels ( $p < 0.05$ ). The results of the sensory evaluation showed that the variation coefficient of flesh attributes, residue, and mastication was 0.4 or higher. The other textural indicators were significantly different, except for flexibility and adhesion in texture trails. Simple correlation analysis was performed between sensory evaluation, crude fiber content, and texture property parameters using SPSS software. The results indicated that the mastication degree and texture properties showed a significant correlation. Compression resistance, elastic modulus, hardness, springiness, shear force, and shear work were selected as a texture index to build a model. Collinearity diagnostics and principal component analysis were performed to eliminate collinearity, which was caused by a quite high correlation between textural indices. According to the feature vector of principal component and scores of each texture property parameter, the best subgroup of principal component factors was selected to build the regression model. Then, with principal component factor scores as independent variables, and the standardized sensory scores as dependent variables, the regression analysis was used to establish a multiple linear regression equation. The determination coefficient ( $R^2$ ) of the model was equal to 0.73. The performances of the model was calibrated by validation of set data. Concerning the validation set, the determination coefficient ( $R^2$ ) and prediction standard deviation (S.E.P) were respectively equal to 0.85 and 0.17. The results presented demonstrated the greater potential of the texture properties for prediction of mastication degree of Valencia orange, which mean that the evaluation model of fruit mastication based on texture properties could accurately evaluate the mastication of Valencia orange. It was feasible by using textural properties to evaluate the fruit mastication of Valencia orange, instead of sensory evaluation. The research provided a reference for evaluating the mastication of Valencia orange.

**Key words:** textures; fiber; compression testing; mastication degree; valencia orange; sensory evaluation

(责任编辑: 刘丽英)