

梅州金柚食用后期的苦味来源分析

钟永辉¹, 刘智慧², 钟玉鸣², 马路凯², 柳建良², 刘祎帆², 王琴², 吴晖³, 赖富饶³, 肖更生²

(1. 广东省梅州市梅县区农业科学研究所, 广东梅州 514783) (2. 仲恺农业工程学院轻工食品学院, 广东广州 510000) (3. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

摘要: 金柚美味可口, 营养丰富, 深受消费者喜爱。随着储藏时间的延长, 金柚会产生苦味, 严重影响其产业的健康发展。为深入探究来源, 本研究以梅州金柚为研究对象, 深入探究其长时间存放后的苦味来源。对其进行分级后, 同步测定金柚可滴定酸、可溶性固形物、最大粘附力、柠檬苦素含量、诺米林含量、柚皮苷的含量, 借助 random forest 等方法分析各项指标的相关性。结果表明, 金柚的可溶性固形物与感官评分呈极显著正相关 ($R=0.78$); 诺米林与感官评价呈极显著负相关 ($R=-0.69$), 柚皮苷与感官评价呈显著负相关 ($R=-0.59$), 食用后期金柚的苦味与可溶性固形物的含量密切相关。该研究可为金柚脱苦、金柚品质快速判断等研究提供一定的理论依据。

关键词: 金柚; 苦味; 感官分级; 可溶性固形物

文章编号: 1673-9078(2021)05-230-236

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.5.0063

Analysis on the Source of Bitterness of Meizhou Golden Pomelo after Edible Period

ZHONG Yong-hui¹, LIU Zhi-hui², ZHONG Yu-ming², MA Lu-kai², LIU Jian-liang², LIU Hui-fan², WANG Qin²,
WU Hui³, LAI Fu-rao³, XIAO Geng-sheng²

(1. Agricultural Science Research Institute of Meixian District, Meizhou 514783, China) (2. College of Light Industry and Food Technology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510000, China) (3. School of Food Sciences and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Golden pomelo is delicious and nutritious and has gained great popularity. Golden pomelo will generate bitter taste with the extension of storage time, which seriously affect the development of the related industry. To explore the reason behind, the present work used Meizhou's golden pomelos the research object to investigate the source of bitterness. After grading, the content of titratable acid, soluble solids content, maximum adhesion force, limonin content, nomilin content, naringin content were simultaneously determined by methods such as the random forest method. The results showed that the soluble solids content was extremely significant and positive correlated ($R=0.78$) with sensory scores. Nominin ($R=-0.69$) content and naringin ($R=-0.59$) content were significantly and negatively correlated with sensory scores. The bitterness source of the golden pomelo after a long-term storage was closely related to its soluble solids content. This study can provide a certain theoretical basis for the research on debittering of golden pomelo and rapid assessment of the fruit quality.

Key words: assembling; bitter taste; sensory classification; soluble solids

引文格式:

钟永辉, 刘智慧, 钟玉鸣, 等. 长时间存放梅州金柚的苦味来源分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 230-236

ZHONG Yong-hui, LIU Zhi-hui, ZHONG Yu-ming, et al. Source of the bitterness of golden pomelo from meizhou after a long-term storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 230-236

收稿日期: 2021-01-18

项目基金: 广东省自然科学基金项目 (2019A1515011283); 广州市特色作物种质资源研究与利用重点实验室项目 (202002010010); 梅州市应用型科技专项资金项目 (2019B0201002)

作者简介: 钟永辉(1976-), 男, 本科, 研究方向: 农业技术推广

通讯作者: 刘祎帆(1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬副产物高值化利用

柚子 (Grapefruit), 金柚属柑橘类 (Citrus) 植物, 口感酸甜, 深受广大消费者喜爱^[1], 是岭南特色水果^[2], 其中梅州有“中国金柚之乡”之称, 是我国金柚最大的生产地^[3]。但金柚食用后期口感变苦的问题日益严重, 已影响到金柚产业的可持续发展, 因此探究金柚苦味的形成原因对解决该问题至关重要。有关文献报道, 导致柑桔果实变苦主要有两类物质: 一是

柠檬苦素类似物 (Limonoids), 包括柠檬苦素 (Limonin) 和诺米林 (Nomilin)^[4]。另一类为黄酮类化合物, 包括柚皮苷、新橙皮苷, 其中柚皮苷是主要的苦味物质 (Naringin)^[5]。

目前, 对柚子苦味的研究多数集中在高度氧化的三萜类化合物和黄酮类化合物, 但柚子的理化性质如可溶性固形物、可滴定酸、质构与苦味形成之间的关系少见描述。可溶性固形物、可滴定酸度及质构特性是衡量果蔬品质的重要指标^[6-8]。已有学者报道测定水果的质地参数进而预测其品质是可行的。

因此, 本研究拟通过感官评分将金柚分为 I、II、III 级; 测定金柚的苦味物质并对其组成进行分析, 同时对金柚果肉的物理性质如硬度、粘附性等进行测定, 并与感官品质进行关联, 通过建模分析影响梅州金柚苦味形成的主要因素, 为金柚脱苦、快速检测等方面的研究提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

金柚来自梅州市梅县区, 在金柚的“始采日”后采摘柚果^[3], 从同一果园随机抽取色泽、大小均一的金柚, 室温储存运输。将金柚平均分为 3 组, 以组为单位进行测定。每组取 3 瓣完整的柚果肉进行质构的测定, 其余用组织捣碎机榨汁, 过滤后储存在 4℃ 备用检测理化指标。

乙腈、磷酸、氢氧化钠、酚酞、草酸铵、二甲基酰胺、乙酸、甲醇均为分析纯, 购自天津市大茂化学试剂厂; 柠檬苦素 (Limonin)、诺米林 (Nomilin)、柚皮苷 (Naringin) 均为标准品, 购自上海源叶生物科技有限公司; 实验用水均为超纯水。

1.2 仪器与设备

TA500 质构测定仪, Lloyd-instruments Co. Ltd. 英国; LC-20AT 高效液相色谱仪, 岛津企业管理 (中国) 有限公司; FZ102 微型植物粉碎机, 天津市泰斯特仪器有限公司; LH-B55 手持折光计, 杭州陆恒生物有限公司。

1.3 感官品质评定方法

1.3.1 感官属性的确定

通过评定员集体对沙田柚初步品尝和讨论, 挑选甜度、酸度和苦味 3 个感官属性描述沙田柚果实。

1.3.2 感官评定的实施

感官评定由 5 组、每组 3 人的评定员分 5 批次完

成, 评定员从梅县金柚公司中挑选, 相当于初级评定员。对每个金柚进行编号后, 采用 3 个等级描述感觉强度 (表 1), 对每个样品的果肉进行均分、编号。在组织者讲解评定要求和方法后, 由每位感官评定员独立评定、不进行讨论。在评定每个样品前都用矿泉水漱口, 每个样品评定间隔 1~3 min。

表1 感官评价与分级标准

Table 1 Sensory evaluation and grading standards

等级	感官分值	评价标准
I	1~3	果肉味无甜, 酸, 苦味重
II	4~6	果肉味稍甜, 较酸, 苦味较淡
III	7~10	果肉味甜, 稍酸, 无苦味

1.4 梅州金柚理化指标测定方法

1.4.1 可溶性固形物含量

参考 GB/T 12143-2008 折光计法, 所有样品均进行 3 次平行试验。

1.4.2 可滴定酸度

根据 GB 12293-90 滴定法进行测定, 具体操作如下: 吸取 1 mL 果汁, 定容至 10 mL 容量瓶, 作为待测样液。用移液管吸取 10 mL 样液, 加入酚酞指示剂 5~10 滴, 用 0.01 mol/L 氢氧化钠标准溶液滴定, 至出现微红色 30 s 内不退色为终点, 记下所消耗的体积。并按如下公式计算:

$$\text{可滴定酸度}/[\text{mmol}/100\text{g或mL}] = \frac{c \times V_1 \times 10}{V_0 \times m \text{或} V} \times 100$$

$$\text{可滴定酸度}/\% = \frac{c \times V \times k \times 10}{V_0 \times m \text{或} V} \times 100\%$$

式中: c: 氢氧化钠标准溶液摩尔浓度, mol/L; V_1 : 滴定时所消耗氢氧化钠标准溶液体积, mL; V_0 : 吸取滴定用的样液体积, mL; m 或 V: 试样质量 g 或体积 mL; 10: 定容体积, mL; k: 柑橘类换算为结晶柠檬酸克数的系数, 0.070。

1.4.3 果肉质构

采用余恺等人^[9]方法进行检测: 将试验样品平放于样品放置台, 采用柱形探头沿底座滑槽向下移动将样品挤压。起始力 2 N, 测试速度 60 mm/min, 形变百分量为 20%。取最大粘附力、粘附性、起始模量、硬度进行下一步分析。

1.4.4 柠檬苦素和诺米林含量

采用 HPLC 法测定金柚的柠檬苦素和诺米林的含量^[10,11]。

样品处理: 准确吸取柚果果汁 5 mL 于 10 mL 容量瓶中, 用乙腈定容, 摇匀, 超声处理 20 min, 用 0.45 μm 微孔滤膜过滤, 平行制备 3 份待测液。

高效液相色谱条件: Agilent ZORBAX SB-C18 色

谱柱 (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相为乙腈:0.1% 磷酸水=55:45 (V/V); 柱温 35 °C; 流速 1 mL/min; 进样量 10 μL; 检测波长为 210 nm, 波长扫描范围为 200~400 nm。

柠檬苦素和诺米林的标准曲线绘制: 分别准确称取柠檬苦素和诺米林标准品 90 mg, 用乙腈超声辅助溶解并定容至 1000 mL, 摇匀, 配成质量浓度均为 90 mg/L 的标准溶液。再依次稀释成 0.9、1.8、4.5、9.0、18、45 mg/L 的柠檬苦素和诺米林标准溶液, 以质量浓度 (x) 为横坐标, 峰面积 (y) 为纵坐标分别绘制柠檬苦素和诺米林标准曲线。

1.4.5 柚皮苷含量

参考文献方法^[12]提取柚皮苷, 具体如下: 料液比 1:28 (V/V) 加入乙醇, 置于超声波提取容器中, 设定超声功率 600 W 提取 71 min。并用 NT/T 2014-2011 的 HPLC 法进行测定。

1.4.6 数据处理

以上所有实验设 3 个平行, 实验结果用平均值±标准差 (mean±SD) 的方式表示。采用 SPSS Statistics 25 软件进行单因素方差分析; pheatmap 软件进行热图与聚类分析; randomforest 软件分析随机森林与重要性; PAST 4.1 软件计算 spearman 相关性; Origin Pro 绘制相关度和相关系数图; Excel 绘制标准曲线。

2 结果与讨论

2.1 指标测定结果

表2 指标测定结果

Table 2 Indicator measurement results

级别	I	II	III
感官评分	1.85±0.43 ^a	4.73±0.36 ^b	7.5±0.17 ^c
可溶性固形物/%	7.41±0.36 ^a	8.33±1.14 ^b	10.89±1.46 ^c
可滴定酸/%	3.10±0.19 ^a	2.32±0.08 ^b	2.80±0.56 ^c
硬度/N	15.30±2.01 ^a	16.22±2.32 ^b	17.27±2.76 ^c
最大粘附力/N	-0.19±0.02 ^a	-0.21±0.03 ^b	0.20±0.04 ^c
粘附性/(g.sec)	0.08±0.01 ^a	0.08±0.03 ^b	0.07±0.04 ^c
起始模量/(N/mm)	2.61±0.21 ^a	2.22±0.61 ^b	3.40±0.67 ^c
柠檬苦素/(mg/L)	26.94±7.23 ^a	20.12±10.15 ^b	11.06±3.54 ^c
诺米林/(mg/L)	42.9±34.57 ^a	13.06±4.54 ^b	6.76±4.54 ^c
柚皮苷/(mg/L)	19.68±7.56 ^a	12.75±1.42 ^b	6.45±2.29 ^c

注: 同行数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

通过上述方法, 测定每组样品的可溶性固形物、可滴定酸、硬度、最大粘附力、粘附性、起始模量、柠檬苦素、诺米林、柚皮苷含量, 并根据感官评分将样品分为I、II、III三级, 数据如表2所示。

I 级、II 级、III 级的感官评分为 1.85、4.73、7.5 分, 在本次取样中, 感官评分较低, 金柚苦味严重, 且 I、II、III 级苦味差异显著, 代表性强。

Eshed^[13]认为可溶性固形物能影响果蔬风味, 可溶性固形物含量越高, 口感越佳; 施堂红^[14]等人证明随着存放时间的增加, 柚果实中的淀粉大量转化为可溶性糖, 进而使果实甜美。可滴定酸含量在 2.3%~3.5% 范围内, 但 I 级、III 级差异较小, 这可能与梅州金柚本身酸度不高的这一因素有关^[15]。

金柚的硬度在 15 N~17 N 范围内, 李丽娜^[8]认为果肉硬度越大、黏性越小, 果肉越柔韧细腻、口感越好; 赵亚等人^[16]发现最大粘附力越大, 果实软化程度越低。柚子的粘附性低于 0.1 g.sec。起始模量在 2.2 N/mm~3.4 N/mm, 这可能是由于柚子果肉不规则, 对质构造成一定影响。

柠檬苦素、诺米林、柚皮苷标准品的峰面积与浓度的线性回归方程分别为 $y=4453.8x+29541$ 、 $y=5296.1x+13874$ 、 $y=32799x-2510.7$, 线性关系 R^2 分别为 0.9996、0.9999、0.9998。果汁中柠檬苦素的苦味阈值约为 3.4 mg/L, 金柚的柠檬苦素含量在 11.06 mg/L~21.94 mg/L 范围, 均大于苦味阈值; 而诺米林在果汁中的苦味阈值约为 4.39 mg/L^[17], 金柚中诺米林含量在 6.76 mg/L~42.9 mg/L 范围内, 远高于其阈值, 影响了金柚口感。Ohta 等^[18]对 16 种成熟柚果实的分析表明, 柚汁柠檬苦素类似物平均含量为 18 mg/L。本文发现柚皮苷含量在 6.45 mg/L~19.68 mg/L, 白小鸣^[19]研究指出柚皮苷在水中的苦味阈值为 20 mg/L, 在果汁中约为 30 mg/L, 金柚中柚皮苷含量低于其阈值, 表明柚皮苷不是苦味形成的因素。

2.2 感官评分与各项指标的总体联系

不同指标可以在一定程度上反映其相关品质, 王颖等人^[20]将 26 份马铃薯按矿质元素的含量将其分为 6 类, 研究其含量与基因的相关性, 筛选出了优异基因型。金柚的感官评分与各项指标的热图与聚类分析如图 1a 所示, 在纵向聚类的结果中展示出化学物质如柚皮苷、诺米林、柠檬苦素与可溶性固形物、硬度聚类在一组, 表明可溶性固形物与硬度有密切联系。

感官评分与各项指标的相关系数如图 1b 所示, 梅州金柚果肉的感官评分与可溶性固形物含量 ($R=0.79$) 有极显著正相关关系, 与苦味物质诺米林呈极显著负相关 ($R=-0.69$), 与苦味物质柚皮苷呈显著负相关 ($R=-0.59$)。柚皮苷对金柚口感的影响也很明显,

Gil-Izquierdo A 等人^[21]研究发现柚皮苷类物质是风味物质和抗氧化物质,其含量影响果汁的色泽、口味、稳定性。金柚的感官与可滴定酸度、硬度、最大粘附力、起始模量、粘附性、柠檬苦素没有显著相关,表明可溶性固形物含量和诺米林含量对梅州金柚的感官影响较大。

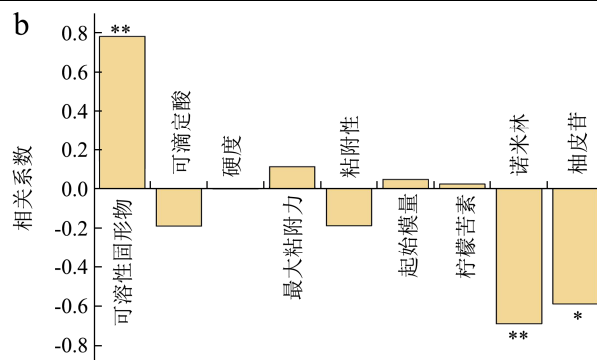
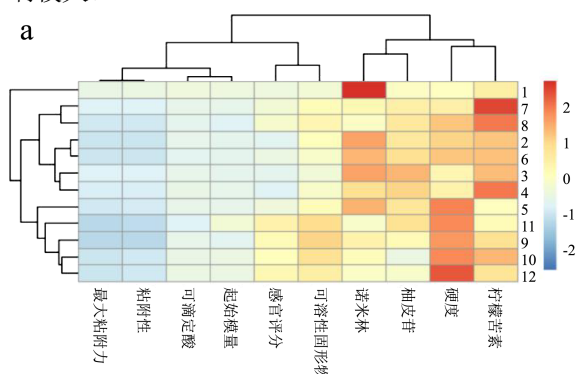


图1 感官评分与各项指标的关系

Fig.1 Relationship between sensory score and various indicators

注: *表示显著相关; **表示极显著相关 (a: 感官评分与各项指标的热图与聚类分析; b: 感官评分与各项指标的相关系数)。

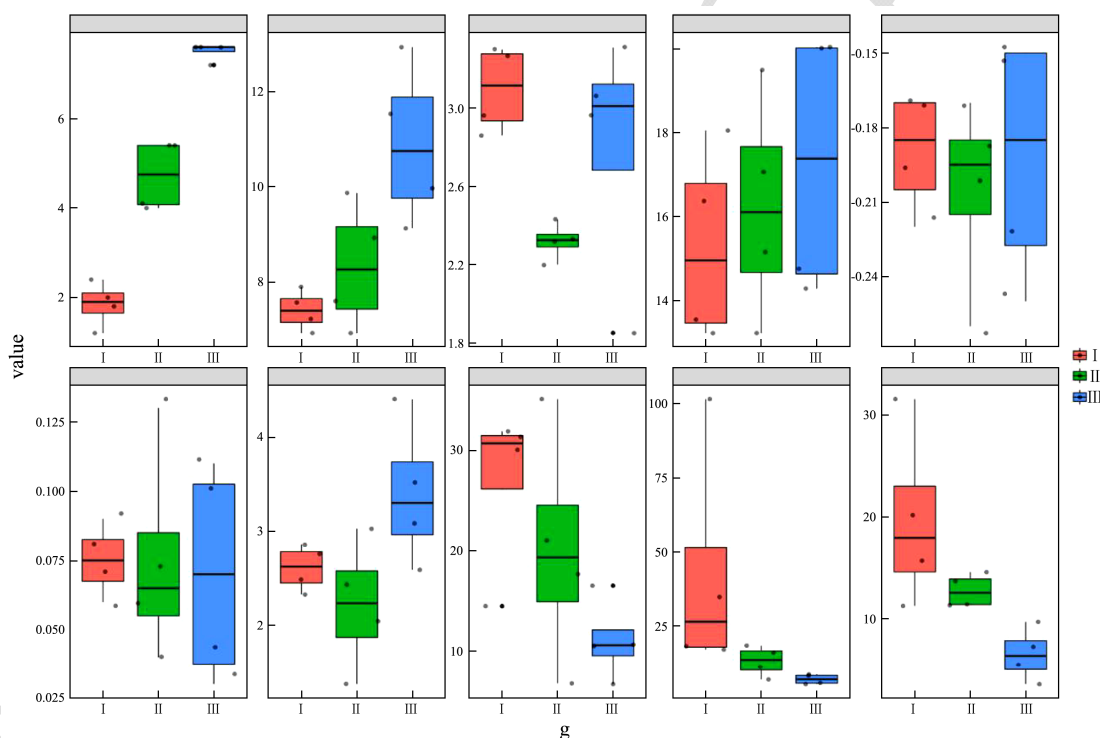


图2 不同感官等级下各项指标的变化

Fig.2 Changes of various indexes under different sensory levels

2.3 感官与各项指标的联系

不同感官等级金柚品质如图2所示,由图可知感官评级随着可溶性固形物含量的升高而增大,呈正相关,这可能是因为柚子中丰富的维生素C、果糖、葡萄糖、蛋白质等,均易溶于水,使金柚口感更甜,感官评分也随之上升。

在I、II级时,感官评级随着可滴定酸的降低而上升,在II、III级时,感官评级随着可滴定酸的上升而降低,但II、III级可滴定酸度均低于I级,可滴定酸

与感官总体上呈负相关;诺米林和柠檬苦素含量与感官评分呈负相关,III级的金柚中诺米林与柠檬苦素含量较低,金柚感官品质随着诺米林和柠檬苦素含量的增加而降低。有研究报道,柠檬苦素与诺米林在果实中以无苦味环内酯的状态存在,但酸性条件下,其可以迅速转化为有苦味的柠檬苦素和诺米林^[22]。柚皮苷含量与感官评价呈负相关,感官等级随着柚皮苷含量的减少而升高。Bar-Peled M 等人^[23]发现了柚皮苷致苦的关键物质,柚皮苷在查尔酮酶催化成柚皮苷配基查尔酮,在1,2-在鼠李糖基转移酶的作用下,进一步糖

基化生成有苦味的柚皮苷。

硬度对感官评级总体呈正相关,这可能是由于金柚的质地较为特殊;粘附性、最大粘附力、起始模量、可滴定酸对感官的影响不显著。

2.4 各项指标间的相关性分析

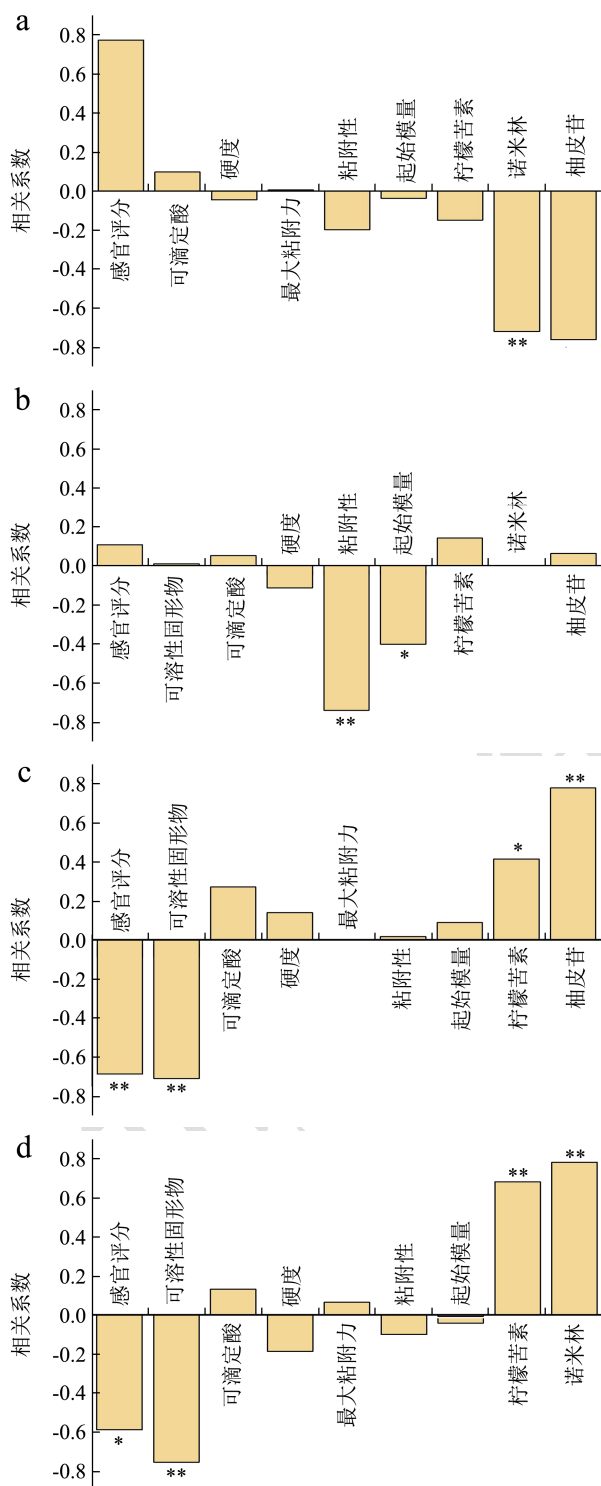


图3 各项指标间的相关系数

Fig.3 Correlation coefficient between various indicators

注: *表示显著相关; **表示极显著相关; (a: 可溶性固

形物与各项指标的相关系数; b: 最大粘附力与各项指标的相关系数; c: 诺米林与各项指标的相关系数; d: 柚皮苷与各项指标的相关系数)。

由图3可知,可溶性固形物与诺米林($R=-0.72$)、柚皮苷($R=-0.76$)呈极显著负相关;诺米林与柚皮苷呈极显著正相关($R=0.78$),与柠檬苦素($R=0.42$)呈显著正相关;柚皮苷与柠檬苦素呈极显著正相关($R=0.68$);表明柚皮苷对诺米林、柠檬苦素、可溶性固形物含量具有关键作用,可溶性固形物与感官评分呈显著正相关,而柚皮苷、柠檬苦素、诺米林均具有苦味,对感官造成不良口感,是主要的苦味物质。柠檬苦素类似物主要以游离苷元和配糖体的形式存在,苷元在酸性条件下会很快的转变成苦味物质,而柠檬苦素、诺米林就是含量较高的柠檬苦素类化合物游离苷元^[24]。王壮^[25]发现柚子中含有较高含量的柚皮苷,严重影响其品质。

最大粘附力与粘附性呈极显著负相关($R=-0.74$),与起始模量呈显著负相关($R=-0.40$)。陈青^[26]等人认为当果实最大粘附力越低,果实细胞间空隙越大,果实的起始模量与粘附性程度越高。

2.5 感官与各项指标的相关度分析

以感官评分为变量,各项指标为自变量,用 random forest 模型预测各项指标与感官评分的关联度。

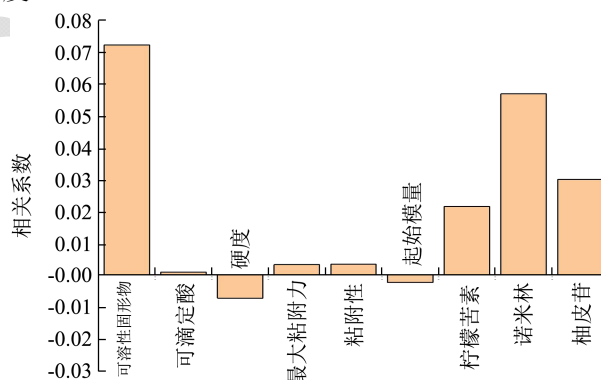


图4 感官品质与各项指标的相关度

Fig.4 The degree of correlation between sensory quality and various indicators

感官品质与各项指标的相关度如图4所示,由图可知各指标与感官品质的相关度排序如下:可溶性固形物>诺米林>柠檬苦素>柚皮苷>最大粘附力>起始模量>可滴定酸>粘附性>硬度。其中与感官品质相关度最高的为可溶性固形物、诺米林、柠檬苦素和柚皮苷,硬度,最大粘附力、起始模量、可滴定酸、粘附性与感官品质相关度最低。金柚感官品质与诺米林、可溶性固形物、柚皮苷含量相关, Jin X 等人^[27]将豆浆的口

感、气味、外观和口感 4 个感官品质属性量化,并通过模糊逻辑技术构建权重标准进行评分。最终建立了豆浆整体感官评分的预测模型,可为豆浆加工中大豆品种选择提供参考。刘祎帆等人^[28]利用随机森林法,建立了通过硬度预测香蕉成熟度的模型。

3 结论

本研究分别建立感官与可能引起苦味的物理、化学因素的相关性,探究梅州金柚食用后期苦味形成的主要原因,结果发现梅州金柚的感官品质与可溶性固形物含量($R=0.79$)密切相关,同时与诺米林($R=-0.0.69$)、柚皮苷($R=-0.59$)关联度较大。在后续的研究中可将可溶性固形物、诺米林含量、柚皮苷含量作为梅州金柚感官品质的评价指标,通过建立金柚整体感官评分的预测模型,进而实现快速评测金柚的品质。

参考文献

- [1] 杨爽,边清泉,王劲,等.柚果中柚皮苷含量与果实苦味相关性研究[J].四川大学学报:自然科学版,2007,5:212-214
YANG Shuang, BIAN Qing-quan, WANG jin, et al. Correlation between naringin content in pomelo fruit and fruit bitterness [J]. Journal of Sichuan University: Natural Science Edition, 2007, 5: 212-214
- [2] 谢婧,钟锋.梅州金柚深加工产品的研究进展[J].食品研究与开发,2014,35(10):133-136
XIE Jing, ZHONG Feng. Research progress of deep processing products of meizhou golden pomelo [J]. Food Research and Development, 2014, 35(10): 133-136
- [3] 黄茂栋,苏丽欣,赖国宜.梅州沙田柚采摘时间研究[J].安徽农业科学,2008,8:174-175,198
HUANG Mao-dong, SU Li-xin, LAI Guo-yi. Picking time of meizhou shatian pomelo [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2008, 8: 174-175, 198
- [4] Roy A, Saraf S. Limonoids: overview of significant bioactive triterpenes distributed in plants kingdom [J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2006, 29(2): 191-201
- [5] Winkel-Shirley, B Flavonoid Biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology [J]. Plant Physiology, 2001, 126(2): 485-493
- [6] 罗颖.番茄可溶性固形物含量与相关生理生化指标关系研究[D].石河子:石河子大学,2010
LUO Ying. Relationship between soluble solid content and physiological and biochemical indices in tomato [D]. Shihezi: Shihezi University, 2010
- [7] 郑丽静,聂继云,李明强,等.苹果风味评价指标的筛选研究[J].中国农业科学,2015,48(14):2796-2805
ZHENG Li-jing, LIE Ji-yun, LI Ming-qiang, et al. Screening of apple flavor evaluation indexes [J]. Agricultural Sciences in China, 2015, 48(14): 2796-2805
- [8] 李丽娜,赵武奇,曾祥源,等.苹果的质构与感官评定相关性研究[J].食品与机械,2017,33(6):37-41,45
LI Li-na, ZHAO Wu-qi, ZENG Xiang-yuan et al. Correlation between apple texture and sensory rating [J]. Food and Machinery, 2017, 33(6): 37-41, 45
- [9] 余恺,胡卓炎,余凌苹.荔枝果肉质构特性测定的参数研究[C]//.食品安全监督与法制建设国际研讨会暨中国食品研究生论坛,2005
YU Kai, HU Zhuo-yan, SHE Lin-ping. Parameters for the determination of flesh texture characteristics of litchi fruit [C]//. International Symposium on Food Safety Supervision and Legal System Construction & China Food Postgraduate Forum, 2005
- [10] 蓝松.高效液相色谱法测定柚叶中柚皮苷的含量[J].安徽农业科学,2007,33:10581-10581
LAN Song. Determination of naringin in grapefruit leaves by high performance liquid chromatography [J]. Anhui Agricultural Sciences, 2007, 33: 10581-10581
- [11] 张晓丹.柑桔酒发酵工艺及苦味物质的研究[D].长沙:湖南农业大学,2017
ZHANG Xiao-dan. Fermentation technology and bitter substance of ponkan liquor [D]. Changsha: Agricultural University of Hunan, 2017
- [12] 刘祎帆,梁嘉熹,王琴.超声波辅助提取金柚柚皮中柚皮苷的工艺优化及其抗氧化能力研究[J].食品研究与开发,2019,40(13):156-163
LIU Hui-fan, LIANG Jia-xi, WANG Qin. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of naringin from grapefruit peel and its antioxidant activity [J]. Food Research and Development, 2019, 40(13): 156-163
- [13] Eshed Y, Zamir D. Introgression from *Lycopersicon pennellii* can improve the soluble-solid yield of tomato hybrids. Theor Appl Genet [J]. Theoretical & Applied Genetics, 1994, 88(6-7): 891-897
- [14] 施堂红,刘晓政,严晓丽,等.常山胡柚果品品质及贮藏过程中变化规律的研究[J].食品工程,2013,4:34-38
SHI Tang-hong, LIU Xiao-zheng, YAN Xiao-li, et al. Variation rule of fruit quality and storage process of Huyou Changshan [J]. Food Engineering, 2013, 4: 34-38
- [15] 曾宪录,林文健,吴广霞,等.沙田柚感官品质的定量描述分

- 析研究[J].广东农业科学,2019,46(6):23-29
- ZENG Xian-lu, LIN Wen-jian, WU Guang-xia, et al. Quantitative description and analysis of sensory quality of Shatin pomelo [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2019, 46(6): 23-29
- [16] 赵亚,郭利军,胡福初,等.海南不同红毛丹品系资源果实质构特性的比较分析[J].分子植物育种,2019,17(8):2646-2654
- ZHAO Ya, GUO Li-jun, HU Fu-chu, et al. Comparative analysis of fruit parenchymal structure characteristics of different rambutan strains in Hainan [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(8): 2646-2654
- [17] 毕静莹.柑橘酒苦味物质及其控制技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2019
- BI Jing-ying. Bitter substances in citrus wine and their control technology [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2019
- [18] Ohta H, Hasegawa S. Limonoids in pummelos [*Citrus grandis* (L.) Osbeck] [J]. Journal of Food Science, 2010, 60(6): 1284-1285
- [19] 白小鸣,王华,郭莉,等.柚果实苦味物质及其分析检测方法概述[J].中国南方果树,2014,43(4):22-24
- BAI Xiao-ming, WANG Hua, GUO Li, et al. Summary of the bitter substances in pomelo fruits and their analysis and detection methods [J]. Fruit Trees in South China, 2014, 43(4): 22-24
- [20] 王颖,田应金,蒋伟,等.基于热图和聚类分析的马铃薯矿质元素含量评价[J].分子植物育种,2019,17(19):6483-6488
- WANG Ying, TIAN Ying-jin, JIANG Wei, et al. Evaluation of potato mineral element content based on heat map and cluster analysis [J]. Molecular Plant Breeding, 2019, 17(19): 6483-6488
- [21] Gil-Izquierdo A, Gil M I, Ferreres F. Effect of processing techniques at industrial scale on orange juice antioxidant and beneficial health compounds [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(18): 5107
- [22] Maier V P, Hasegawa S, Hera E. Limonin D-ring-lactone hydrolase. A new enzyme from citrus seeds [J]. Phytochemistry, 1969, 8(2): 405-407
- [23] Bar-Peled M, Fluhr R, Gressel J. Juvenile-specific localization and accumulation of a rhamnosyltransferase and its bitter flavonoid in foliage, flowers, and young citrus fruits [J]. Plant Physiology, 1993, 103(4): 1377
- [24] 唐传核,彭志英.柑橘类的功能性成分研究概况[J].四川食品与发酵,2000,4:1-7
- TANG Chuan-he, PENG Zhi-ying. Functional components of Citrus [J]. Food and Fermentation Sciences & Technology, 2000, 4: 1-7
- [25] 王壮.不同柑橘种质资源及不同产区纽荷尔脐橙果实苦味品质的评价[D].武汉:华中农业大学,2011
- WANG Zhuang. Evaluation of bitter quality of navel orange fruit from different citrus germplasm resources and different producing areas [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011
- [26] 陈青,励建荣.杨梅果实储存过程中质地变化规律的研究[J].中国食品学报,2009,9(1):66-71
- CHEN Qing, LI Jian-rong. Texture changes of bayberry fruit during storage [J]. Chinese Journal of Food Science and Technology, 2009, 9(1): 66-71
- [27] Jin X, Chen C, Guo S, et al. Analysis on physicochemical and sensory qualities of soymilk prepared by various cultivars: application of fuzzy logic technique [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(6): 1635-1641
- [28] 刘伟帆,杜卉妍,钟玉鸣,等.基于香蕉、粉蕉成熟过程中硬度变化建立成熟度随机森林模型[J].广东农业科学,2020, 47(6):106-115
- LIU Hui-fan, DU Hui-yan, ZHONG Yu-ming, et al. Construction of maturity random forest models based on the changes of fruit firmness of Musa AAA group banana and Musa ABB group banana during ripening [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(6): 106-115