

基于质构仪与电子舌的甜柿口感品质综合评价

程文强^{1,2}, 龚榜初^{1*}, 吴开云¹, 杨 旭¹, 王衍鹏¹, 范金根³, 滕国新³, 刘翠玉¹, 徐 阳^{1*}

(¹中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 杭州 311400;

²南京林业大学林学院, 南京 210037; ³浙江省兰溪市苗圃, 浙江金华 321100)

摘要:【目的】分析不同甜柿种质的质地及滋味特征, 比较甜柿口感的差异, 建立甜柿口感品质量化评价的有效方法。【方法】以20份甜柿种质为试材, 应用质构仪和电子舌对其进行质地及滋味测定, 采用因子分析对不同甜柿样品口感品质进行综合评价并排名; 并对甜柿口感进行感官品评, 结合感官评分结果, 通过偏最小二乘回归分析(PLSR)建立甜柿口感评价预测模型。【结果】甜柿口感指标组成复杂多样, 测定的11项评价指标均在种质间存在差异, 其中黏附性、咀嚼性、咸味、鲜味、甜味和丰富性差异较大。通过因子分析提取3个主因子, 累计方差贡献率为79.53%, 统计学综合得分排名与感官评价结果排序分布基本一致。可知亚林46号、上总、富有、花御所和罗田-1的综合口感较好, 正月、Z4和Z6的口感较差, 其他种质相对居中。利用PLSR分析质构及滋味指标与感官品评得分的相关性, 建立的甜柿口感品质预测模型为: 综合口感=14.515+0.201X₁+0.295X₂-0.207X₃-0.221X₄+0.221X₅+0.226X₆+0.129X₁₁。回归模型的R²达到了80.4%, 模型验证结果显示, 综合口感实际得分与预测值相关系数达到0.938。【结论】20份甜柿种质的果实口感品质存在差异, 基于质构仪和电子舌能够准确判别不同甜柿种质的口感特征, 在甜柿口感评价中, 感官品评结合质构仪和电子舌的分析方法更易获得准确、客观的结果, 建立的口感品质预测模型能够实现甜柿口感的量化评价。

关键词:甜柿; 口感品质; 质构仪; 电子舌; 感官品评; 偏最小二乘回归法; 综合评价

中图分类号:S665.2

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2022)07-1281-14

Comprehensive evaluation of taste quality of non-astringent persimmon based on texture analyzer and electronic tongue

CHENG Wenqiang^{1, 2}, GONG Bangchu^{1*}, WU Kaiyun¹, YANG Xu¹, WANG Yanpeng¹, FAN Jinggen³, TENG Guoxin³, LIU Cuiyu¹, XU Yang^{1*}

(¹Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; ²College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China; ³Plant Nursery of Lanxi City in Zhejiang Province, Jinhua 321100, Zhejiang, China)

Abstract:【Objective】The taste quality of fruit is one of the important factors to measure the commerciality of non-astringent persimmon, which is mainly evaluated by texture and taste. However, there is little known about the integrated evaluation system of fruit taste quality of different non-astringent persimmon germplasms in the same area. The instrument of texture analyzer has been widely used in the research on texture characteristics of various fruits and vegetables. The quantitative analysis could be realized by accurately transforming the complex and abstract taste of fruit into specific indicators. The specific results could reflect the texture characteristics of fruit, such as hardness, cohesiveness, springiness, adhesiveness and chewiness. The electronic tongue is a new type of analytical instrument used for imitating human tastes. The information of the liquid to be tested is obtained through the taste sensor array, which reflects the taste data of the sample. It is also famous for its characteristics of strong reliability, high sensitivity, and good repeatability. At present, the electronic tongue is mainly used in the classifica-

收稿日期:2021-12-21 接受日期:2022-03-07

基金项目:国家重点研发计划(2019YFD1001204); 浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项柿枣新品种选育(2021C02066-10)

作者简介:程文强,男,在读硕士研究生,研究方向为柿果品质评价。Tel:18855992016,E-mail:1181086494@qq.com

*通信作者Author for correspondence. Tel:13868161885,E-mail:gongbc@126.com; Tel:18358174658,E-mail:xuyang198610@163.com

tion and evaluation of tea beverages, alcohol and other liquid tastes (such as wine, vinegar and chemicals). The objective of this study was to use texture analyzer and electronic tongue to determine the texture and taste characteristics of the fruits of different persimmon germplasms. Then, we compared the differences in taste quality of non-astringent persimmon, utilizing statistical methods such as descriptive statistics, correlation analysis and principal component to analyze 20 accessions of non-astringent persimmon samples. Combined the comprehensive evaluation of fruit taste quality with sensory evaluation, we used the method of partial least square regression to establish a quantitative evaluation method for the taste quality of non-astringent persimmon. **【Methods】**The non-astringent persimmon fruits were collected from the plant nursery (Lanxi city, Zhejiang province). Indicators of non-astringent persimmon fruits, such as hardness, adhesiveness, cohesiveness, springiness, chewiness, sourness, sweetness, bitterness, saltiness, umami, astringency, aftertaste-B (bitter aftertaste), aftertaste-A (astringency aftertaste), richness (umami aftertaste) were measured by texture analyzer and electronic tongue. SPSS and Excel software were used for data analysis. Prior to the factor component analysis, the original data were transformed with Z-score normalization method. The number of principal components was determined according to the eigenvalue ≥ 1 , and the scores of different non-astringent persimmon germplasm on corresponding principal components were obtained according to the score coefficient matrix of each component. The relative contribution rate of principal component variance was taken as the weights, and the comprehensive scores of different germplasms were added to obtain the principal component scores and the corresponding weight values. 20 non-astringent persimmons were ranked depending on the comprehensive scores. The sensory evaluation of non-astringent persimmon was evaluated as well. The methods of partial least squares regression analysis (PLSR) were utilized for the sensory evaluation and prediction model of the fruit taste quality of non-astringent persimmon. **【Results】**The fruit taste quality indexes of different non-astringent persimmon germplasms were significantly different. Among them, the differences of adhesiveness, chewiness, saltiness, umami, sweetness and richness were significant, the differences of other indexes (such as springiness, aftertaste-A and bitterness) were not significant. Three principal components with characteristic roots greater than 1 were extracted by factor analysis, with a cumulative contribution rate of 79.53%. The first principal component explained 31.250% of the fruit taste quality trait information that had high correlation with sweetness, umami, saltiness and bitterness. The second principal component explained 31.128% of the fruit taste quality trait information that had a high correlation with hardness, springiness, cohesiveness, chewiness and adhesiveness, and the third principal component showed high correlation with astringency aftertaste and richness and could explain 17.149% of the fruit taste quality trait information. According to the comprehensive scores of statistics, the sort of fractions of the fruit taste quality of the 20 non-astringent persimmon germplasms was as follows: Gosho > Yalin-46 > Luo tian-1 > Hana-gosho > Kazusa > Fuyu > Haze-gosho > Suruga > Z5 > Z7 > Z1 > Yamafuji > Luo tian-2 > Sifangtianshi > Touyouichi > Shogatsu > Z2 > Z4 > Kanshu > Z6. According to the sensory evaluation scores, the sort of fractions of the fruit taste quality of the 20 non-astringent persimmon germplasms was as follows: Yalin-46 > Fuyu > Kazusa > Hana-gosho > Luo tian > Gosho > Suruga > Z5 > Haze-gosho > Touyouichi > Z7 > Kanshu > Luo tian-2 > Sifangtianshi > Z1 > Yamafuji > Z2 > Shogatsu > Z4 > Z6. The sensory evaluation results of different non-astringent persimmon germplasms were basically consistent with the comprehensive statistical scores. We concluded that Yalin-46, Kazusa, Fuyu, Hana-gosho and Luo tian-1 performed well in the fruit taste quality, while the fruit taste quality of Z4, Shogatsu and Z6 was poor. PLSR was used to analyze the correlation among the texture, taste index and sensory evaluation score. The prediction mod-

el of non-astringent persimmon taste quality was as follows: comprehensive taste = $14.515 + 0.201X_1 + 0.295X_2 - 0.207X_4 - 0.221X_5 + 0.221X_6 + 0.226X_9 + 0.129X_{11}$. The R^2 of the regression model reached 80.4%, and the model verification results showed that the correlation coefficient between the actual score of comprehensive taste and the predicted value reached 0.938. 【Conclusion】 Large variations in the fruit taste quality were found among the 20 non-astringent persimmon germplasms. Different germplasms of non-astringent persimmon could be distinguished well according to the evaluation of the texture analyzer and electronic tongue. Accurate and objective taste evaluation results of the fruit taste quality could be easily obtained by combining with sensory evaluation, texture analyzer and electronic tongue analysis. The established taste quality prediction model could realize the quantitative evaluation of the non-astringent persimmon taste.

Key words: Non-astringent persimmon; Taste quality; Texture analyzer; Electronic tongue; Sensory evaluation; Partial least squares regression; Comprehensive evaluation

甜柿(*Diospyros kaki* Thunb.)为柿科(Ebenaceae)柿属(*Diospyros* L.)落叶果树^[1],可在树上自然脱涩,无需任何人工处理即可脆食,味甜多汁、口感爽脆,改善了柿果的鲜食体验^[2]。随着我国果树产业的迅速发展和人民生活质量的日渐提高,人们对果品的消费观念和需求发生了重要转变,从简单的数量满足发展到好吃的更高需求,甜柿作为新兴的特色果品,不仅营养物质丰富^[3-4],其独特的口感也深受消费者青睐。口感品质是衡量甜柿商品性的重要因素,主要通过质地和滋味进行评判,但不同甜柿种质间口感品质差异较大,因此,研究甜柿的质地与滋味特征,建立一套综合评价甜柿口感品质的有效方法,对丰富甜柿果实品质评价体系、探究决定其质地与滋味特性形成的关键因子、改善口感品质具有重要意义。

口感品质的测定常采用仪器分析和感官评价的方法^[5-6],质构仪通过两次挤压模拟牙齿的咀嚼运动,利用力学方法反映样品质地特征的差异^[7],目前,已被广泛应用于苹果^[8-9]、枣^[10-11]、猕猴桃^[12]和蜜瓜^[13]等园艺作物的果实质地分析;电子舌是通过模仿人体味觉机理制成的新型分析仪器,多个不同的味觉传感器对待测液中不同组分的响应各异,从而实现整体滋味特性的量化分析^[14],现多用于茶、酒等液体滋味的分类与评价^[15-16],但将质构仪与电子舌用于分析甜柿的口感品质尚未见报道,综合评价方法更是尚未展开。感官品评也是果实口感评价的重要方法,但评价结果存在主观性强、重复性差等局限性,借助质构仪与电子舌联用,并与感官评价相结合,可有望对不同甜柿样品的质地与滋味品质整体结构进行准确评价。

因此,笔者以20份甜柿种质为试材,应用质构仪和电子舌技术测定其质构和味觉指标,分析不同甜柿种质的口感差异,通过因子分析提取主因子并构建综合得分模型,实现甜柿果实口感品质的综合评价,并利用偏最小二乘回归法建立感官评价得分与质构和味觉指标间的量化关系,基于贡献度明确甜柿口感的主要影响因素,为甜柿口感品质调控和选育优良品种提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 材料

现有柿品种依据其性状遗传特点可分为完全甜柿(PCNA)和非完全甜柿(non-PCNA),其中非完全甜柿包括不完全甜柿(PVNA)、不完全涩柿(PVA)和完全涩柿(PCA)^[2]。供试样品采自浙江省金华市兰溪柿种质资源圃,共采集包括完全甜柿(PCNA)和不完全甜柿(PVNA)的20份甜柿种质(表1)。

样本树均为正常生长的成年结果树,砧木统一为亚林柿砧6号,从树冠中部外围东、西、南、北4个方向随机选择大小和成熟度基本一致、无机械损伤和病虫害的果实20~30个,不同种质根据果实成熟期于2020年10月进行分批采集,采摘当天立即运回实验室进行指标测定和感官评价。

1.2 仪器设备

TMS-PRO质构仪,美国Food Technology Corporation公司;Blendtec 575多功能料理机,美国Blendtec公司;Centrifuge 5804R离心机,德国Eppendorf公司;TS-5000Z电子舌系统,日本Insent公司。

1.3 方法

1.3.1 感官评价 参考GB/T 10220—2012《感官分

表1 参试甜柿种质资源名称

Table 1 Name of non-astringent persimmon germplasms used in this study

编号 No.	种质名称 Germplasm name	类型 Type	采收期 Harvest time	测定日期 Measure- ment time
1	骏河 Suruga	PCNA	2020-10-05— 2020-10-15	2020-10-15
2	Z5	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
3	富有 Fuyu	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-03
4	Z1	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
5	罗田-1 Luotian-1	PCNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
6	四方甜柿 Sifangtianshi	PCNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
7	御所 Goshō	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-03
8	正月 Shogatsu	PVNA	2020-11-15— 2020-11-25	2020-11-17
9	Z2	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
10	东洋一 Touyouichi	PVNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
11	亚林46号 Yalin-46	PCNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
12	甘秋 Kanshu	PCNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
13	裂御所 Haze-goshō	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-03
14	Z4	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
15	罗田-2 Luotian-2	PCNA	2020-10-10— 2020-10-20	2020-10-15
16	花御所 Hana-goshō	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-03
17	Z6	PCNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
18	上总 Kazusa	PCNA	2020-11-15— 2020-11-25	2020-11-17
19	Z7	PVNA	2020-10-25— 2020-11-05	2020-11-02
20	山富士 Yamafuji	PVNA	2020-10-05— 2020-10-15	2020-10-15

注:PCNA 为完全甜柿,PVNA 为 non-PCNA 中的不完全甜柿(已脱涩、可脆食)。

Note: PCNA. Pollination constant & non-astringent; PVNA. Pollination variant & non-astringent.

析方法学总论》、GB/T 16291.2—2010《感官分析选拔、培训和管理评价员一般导则》及刘莉^[17]并加以改进,制定甜柿的感官评价方法。首先候选评价员对蔗糖($24 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)感官阈值浓度的水溶液进行味道识

别,再按质量浓度递增的顺序设置6个梯度的稀释液,进行滋味不同强度的识别;其次将甜柿果实切成 1 cm^3 的方块,在沸水中进行烹调,按烹调时间间隔1 min 设置0~5 min共6个梯度,进行不同质地强度的识别,通过选拔培训组成10人感官评价小组(5名男性和5名女性,年龄20~40岁),评价前1 h禁食,评价过程中要求不得交流,样品评价间隔5~10 min,并经清水漱口。具体评价标准见表2,打分结果取平均值。

1.3.2 甜柿质地特性测定 去除甜柿果皮,选择赤道部果肉部分,切成 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的方块,使用P/75探头进行质地多面分析试验(TPA),由质地特征曲线得到甜柿果实硬度、黏附性、内聚性、弹性和咀嚼性等质构指标。

测试参数:测试速率 $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$,触发力0.3 N,感应元量程1000 N,上升高度20 mm,果肉压缩比例15%,每份甜柿样品选取10个果实进行重复测试,测定结果取平均值。

1.3.3 电子舌滋味测定 去除甜柿果皮和髓心,选取10个果实的赤道部果肉切块混匀,称取40 g置于料理机中,加200 mL蒸馏水并搅拌30 s,搅拌完毕后 $3000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心5 min,过滤取上清液备用。

采用TS-5000Z型味觉分析系统,配备AAE、CAO、CTO、COO、AE1和GL1共6个测试传感器,分别对鲜、酸、咸、苦、涩、甜味敏感。参比溶液为 $30 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl与 $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 酒石酸的混合液,用于模拟口腔中只有唾液时的状态,故酸味的无味点为-13,咸味的无味点为-6,其他指标的无味点均为0,以参比溶液的输出为零点,当样品的味觉值低于无味点时说明样品无该味道,反之则有。数据采集前,进行电子舌活化、初始化和校准,测试前后使用清洗液对传感器进行清洗和标准化,每个样品4次重复,为减少系统误差,仅选取后3次测量的传感器响应值用于统计分析。

1.4 数据处理与分析

数据分析采用SPSS Statistics 25.0软件和SIMCA-P 14.0软件完成,绘图使用Origin 2019完成。

2 结果与分析

2.1 甜柿TPA试验质地参数及其相关性

由表3可知,不同甜柿样品的5个质构指标中,除弹性外,均存在较大变异系数(15.05%~

表2 甜柿感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard of non-astringent persimmon

评分标准 Evaluation standard	松脆度 Flesh brittleness	滋味 Flavor	综合口感 Comprehensive taste
细腻(81~90) Thin (81-90)	酥脆(81~90) Crispy(81-90)	甜味足,回味浓郁(81~90) Rich sweetness and aftertaste(81-90)	口感极佳(81~90) Great taste(81-90)
中等(71~80) Medium(71-80)	较硬、不酥脆(71~80) Harder, not crispy(71-80)	较甜,回味一般(71~80) Medium sweetness and aftertaste(71-80)	口感一般(71~80) Medium taste(71-80)
粗糙(60~70) Thick(60-70)	很硬、咀嚼较费力(60~70) The hardest, not easy to chew(60-70)	甜味淡,无回味(60~70) Light sweetness, no aftertaste(60-70)	口感较差(60~70) Poor taste(60-70)

表3 甜柿果实TPA试验质地参数

Table 3 Textural parameters of non-astringent persimmon in TPA test

编号 No.	种质名称 Name	硬度 Hardness/N	黏附性 Adhesiveness/(N·s)	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness/N	咀嚼性 Chewiness
1	骏河 Suruga	24.58±2.22	0.08±0.06	0.49±0.03	1.08±0.07	12.98±1.62
2	Z5	31.63±3.95	0.07±0.04	0.55±0.04	1.12±0.06	19.49±3.22
3	富有 Fuyu	27.22±4.31	0.07±0.06	0.53±0.04	1.15±0.06	16.34±2.24
4	Z1	35.22±10.20	0.08±0.06	0.49±0.04	1.14±0.12	19.68±6.67
5	罗田-1 Luotian-1	29.49±4.11	0.08±0.04	0.50±0.04	1.16±0.09	17.11±3.99
6	四方甜柿 Sifangtianshi	22.30±5.24	0.24±0.13	0.42±0.06	1.05±0.08	10.02±3.74
7	御所 Goshō	48.87±6.86	0.10±0.07	0.53±0.04	1.26±0.11	33.03±7.47
8	正月 Shogatsu	34.92±4.15	0.15±0.07	0.48±0.05	1.13±0.05	18.79±3.90
9	Z2	26.67±3.65	0.15±0.20	0.48±0.11	1.05±0.08	13.82±4.51
10	东洋一 Touyouichi	26.72±2.95	0.15±0.09	0.47±0.04	1.06±0.07	13.33±1.57
11	亚林46号 Yalin-46	36.68±5.47	0.08±0.07	0.53±0.05	1.14±0.05	22.11±3.94
12	甘秋 Kanshu	23.32±4.78	0.22±0.11	0.41±0.06	1.03±0.07	10.09±3.16
13	裂御所 Haze-goshō	24.11±5.58	0.12±0.11	0.51±0.06	1.13±0.07	14.07±4.05
14	Z4	31.52±5.39	0.11±0.06	0.49±0.04	1.11±0.09	17.13±3.36
15	罗田-2 Luotian-2	25.86±3.50	0.14±0.06	0.49±0.06	1.09±0.09	14.06±4.54
16	花御所 Hana-goshō	28.07±3.49	0.26±0.16	0.48±0.06	1.10±0.06	14.64±2.22
17	Z6	21.53±2.85	0.08±0.05	0.38±0.05	1.03±0.07	8.27±1.15
18	上总 Kazusa	26.75±4.70	0.11±0.08	0.44±0.09	1.15±0.07	13.80±4.21
19	Z7	21.51±4.16	0.13±0.07	0.48±0.09	1.17±0.13	12.49±4.78
20	山富士 Yamafuji	16.57±1.98	0.15±0.05	0.40±0.06	1.14±0.10	7.53±1.89
变异系数 CV%		29.34	80.57	15.05	8.51	43.23

80.57%)。硬度反映在外力挤压下甜柿果实发生形变所需要的屈服力大小^[9],甜柿果实硬度范围为16.57~48.87 N,其中御所、亚林46号和Z1的果实硬度大于35.00 N,Z6、Z7和山富士的果实硬度均小于22.00 N。黏附性是评价咀嚼果肉时口腔克服果肉表面吸引力所需的能量^[9],甜柿果实的黏附性为0.07~0.26 N·s,黏附性最大的是花御所,最小的是Z5和富有,均为0.07 N·s。内聚性指咀嚼甜柿果肉时果肉表现出抵抗牙齿咀嚼破坏的内部结合力,反映了果实保持完整性的能力^[9],不同甜柿样品的果实内聚力为0.38~0.55,内聚力大于0.50的为Z5、富有、御所、亚林46号和裂御所。弹性反映果肉经第

一次压缩变形后,去除挤压力所能恢复的程度^[9],甜柿果实弹性为1.03~1.26,其中御所的果肉弹性最大,甘秋和Z6的果肉弹性最小。咀嚼性反映牙齿咀嚼甜柿果实成吞咽状态所需要的的能量,综合反映果肉对咀嚼的持续抵抗性^[9]。甜柿果实咀嚼性为7.53~33.03 N,其中御所和亚林46号的咀嚼性大于20 N,Z6和山富士的咀嚼性小于10 N。

由表4可知,果实硬度与内聚性、弹性和咀嚼性呈极显著正相关(r 分别为0.374、0.383和0.916),反映了果肉的硬度越高,果肉的致密程度和弹性越大,对咀嚼的抵抗力也越强,牙齿咀嚼果肉需要能量越大。黏附性与内聚性、咀嚼性均呈极显著负相关(r

表4 甜柿果实 TPA 质地参数相关性

Table 4 Correlation among textural parameters of the TPA test on non-astringent persimmon

参数 Parameters	硬度 Hardness	黏附性 Adhesiveness	内聚性 Cohesiveness	弹性 Springiness	咀嚼性 Chewiness
硬度 Hardness	1				
黏附性 Adhesiveness	-0.071	1			
内聚性 Cohesiveness	0.374 **	-0.464 **	1		
弹性 Springiness	0.383 **	-0.133	0.471 **	1	
咀嚼性 Chewiness	0.916 **	-0.217 **	0.640 **	0.621 **	1

注: *表示在 0.05 水平上显著相关($p < 0.05$); **表示在 0.01 水平上极显著相关($p < 0.01$)。下同。

Note: * means significant correlation at 0.05 level and ** means extremely significant correlation at 0.01 level. The same below.

分别为-0.464、-0.217),反映黏附性越大,果肉的内聚性和咀嚼性越小。内聚性与果实弹性、咀嚼性均呈极显著正相关(r 分别为 0.471、0.640),反映内聚性越大,弹性与咀嚼性越大,感官上为果肉内聚性表现出的保持果肉完整的能力越强,嚼劲越大。弹性与咀嚼性呈极显著正相关(r 为 0.621),反映弹性越大,咀嚼性也越大。而内聚性、弹性和咀嚼性与果肉细胞间结合力大小有关,说明这 3 项指标均能很好地反映甜柿质地特性。综合以上分析,硬度、黏附性、内聚性、弹性和咀嚼性中的一项或多项可以作为评价甜柿果肉质地特性的重要参数。

2.2 甜柿电子舌滋味特征及其相关性

由表5可知,使用TS-5000Z电子舌采集20份甜柿样品的传感器信号,获得酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味、涩味、后味-B(苦味回味)、后味-A(涩味回味)、丰富性(鲜味回味)等9组滋味指标转化值,不同甜柿样品滋味丰富,除酸味、涩味、后味-B外,其他味觉指标值均在无味点以上,可见甜味、苦味、咸味、鲜味、后味-A及丰富性是甜柿的有效味觉指标。

去除无味点以下的酸味、涩味及后味-B等3组味觉指标后绘制箱形图。由图1可知,甜柿样品间在咸味指标上的差异性最大,咸味强度极差值达到 6.83,其次为鲜味、甜味、丰富性和苦味,极差值分别为 5.21、2.51、2.01 和 1.66,而后味-A 的差异性较小,

表5 甜柿的各滋味指标分析

Table 5 Analysis of each taste index of non-astringent persimmon

编号 No.	种质名称 Name	酸味 Sourness	苦味 Bitterness	涩味 Astringency	后味-B Aftertaste-B	后味-A Aftertaste-A	鲜味 Umami	丰富性 Richness	咸味 Saltiness	甜味 Sweetness
1	骏河 Suruga	-40.36±1.41	1.86±0.23	-7.05±0.34	-0.18±0.03	0.15±0.08	13.18±0.57	0.89±0.28	0.17±0.63	4.46±0.44
2	Z5	-41.29±0.90	0.52±0.17	-8.31±0.43	-0.14±0.25	0.12±0.11	13.42±0.33	0.43±0.14	0.19±0.42	3.46±0.36
3	富有 Fuyu	-45.41±0.61	1.52±0.30	-10.06±0.17	-0.19±0.16	0.12±0.10	14.89±0.31	0.95±0.37	3.07±0.24	4.81±0.25
4	Z1	-44.36±0.41	1.11±0.24	-9.88±0.48	-0.29±0.17	-0.21±0.14	14.54±0.30	1.58±0.26	1.73±0.22	4.64±0.35
5	罗田-1 Luotian-1	-39.36±0.39	1.14±0.31	-8.36±0.05	-0.13±0.03	0.29±0.09	13.67±0.24	1.03±0.24	0.80±0.12	4.41±0.34
6	四方甜柿 Sifangtianshi	-41.67±1.45	2.08±0.33	-8.84±0.27	-0.27±0.10	0.20±0.11	13.37±0.62	0.90±0.23	0.65±0.69	4.96±0.27
7	御所 Goshō	-42.11±0.88	1.13±0.25	-9.35±0.13	-0.34±0.28	-0.12±0.05	13.49±0.45	2.25±0.53	0.49±0.60	4.49±0.16
8	正月 Shogatsu	-47.26±0.68	0.69±0.19	-10.98±0.40	-0.20±0.12	-0.22±0.02	15.71±0.32	2.09±0.41	4.56±0.69	3.77±0.26
9	Z2	-44.09±0.92	0.63±0.10	-9.94±0.43	-0.28±0.12	-0.08±0.08	15.31±0.37	0.24±0.24	2.41±0.48	3.31±0.32
10	东洋一 Touyouichi	-42.91±1.14	0.84±0.18	-9.40±0.28	-0.26±0.06	0.10±0.10	14.27±0.37	0.82±0.26	2.12±0.61	4.48±0.42
11	亚林46号 Yalin-46	-40.18±1.37	1.18±0.25	-8.89±0.48	-0.07±0.11	0.17±0.10	13.56±0.53	0.35±0.16	-0.37±0.48	4.40±0.25
12	甘秋 Kanshu	-39.22±1.13	0.85±0.27	-7.24±0.15	-0.37±0.24	-0.04±0.05	12.45±0.35	2.17±0.45	-0.31±0.31	4.36±0.26
13	裂御所 Haze-goshō	-38.71±0.57	1.42±0.30	-7.21±0.65	-0.48±0.10	-0.10±0.13	12.06±0.35	1.90±0.24	-1.60±0.24	4.87±0.34
14	Z4	-45.22±0.22	0.79±0.19	-10.24±0.42	-0.31±0.17	-0.34±0.21	15.43±0.26	1.92±0.31	3.47±0.28	3.50±0.29
15	罗田-2 Luotian-2	-40.57±0.50	1.00±0.25	-8.67±0.13	-0.16±0.03	0.22±0.09	13.93±0.24	0.96±0.26	1.36±0.22	4.33±0.41
16	花御所 Hana-goshō	-36.66±0.97	1.26±0.22	-4.92±0.24	0.02±0.07	0.36±0.10	11.62±0.38	1.15±0.15	-0.91±0.45	4.95±0.62
17	Z6	-44.84±0.96	0.42±0.13	-10.05±0.58	-0.30±0.15	-0.26±0.17	15.20±0.33	2.13±0.31	3.86±0.71	3.11±0.35
18	上总 Kazusa	-36.85±1.35	1.58±0.28	-6.39±0.62	-0.49±0.12	-0.09±0.14	11.22±0.59	1.88±0.28	-2.00±0.31	5.45±0.25
19	Z7	-38.82±0.24	1.22±0.27	-8.55±0.10	-0.19±0.04	0.18±0.10	13.85±0.18	0.87±0.27	0.75±0.06	4.11±0.38
20	山富士 Yamafuji	-37.11±0.88	1.17±0.23	-5.84±0.36	-0.30±0.24	0.02±0.07	10.50±0.40	1.95±0.29	-2.27±0.15	5.62±0.30

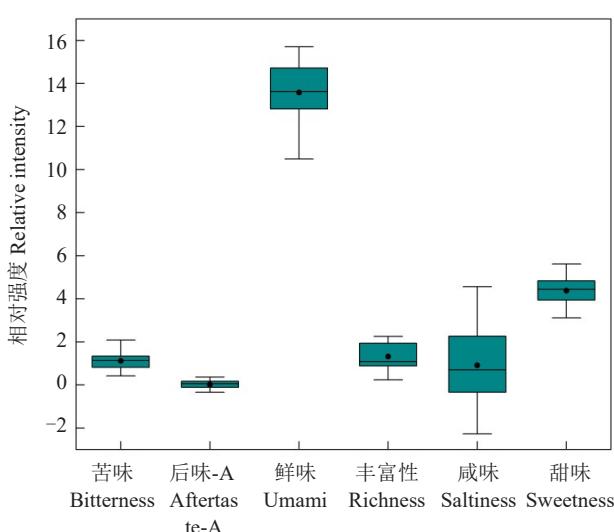
图1 甜柿各滋味指标相对强度值的箱形图($n=20$)

Fig. 1 The box plot of relative intensity of taste index in non-astringent persimmon samples

极差值仅为0.7。由此可见,不同甜柿样品其滋味品质存在较大差异,主要体现在咸味、鲜味、甜味、丰富性和苦味指标上。

对甜柿的有效滋味指标进行相关性分析(表6),6个有效滋味指标间具有不同程度的相关性。其中,苦味与鲜味、咸味均呈显著负相关(r 分别为-0.446、-0.469),与甜味呈极显著正相关(r 为0.731);后味-A与丰富性呈极显著负相关(r 为-0.652);鲜味与咸味呈极显著正相关(r 为0.954),与甜味呈极显著负相关(r 为-0.767);咸味与甜味呈极显著负相关(r 为-0.706)。其余指标之间相关性不显著,表明多个滋味指标间可能存在部分味觉信息的重叠表达。

2.3 甜柿果实口感品质的因子分析

将测定的5项质构指标及6项有效味觉指标值经Z-标准化后进行因子分析。基于特征值大于1的原则,提取前3个主因子,累计方差贡献率达到79.53%,基本解释11个变量中的大部分信息,综合反映甜柿的口感特性,可以作为甜柿口感品质评价的综合指标。

经最大方差法旋转后得到的主因子载荷矩阵见表7,第1主因子F1解释了总变量信息的31.250%,主要综合了甜味、鲜味、咸味和苦味的信息,其中呈正载荷的为甜味、苦味,呈负载荷的为鲜味和咸味,这些是影响甜柿滋味品质的重要因素,因此将其定义为“味觉因子”;第2主因子F2包含了

表6 甜柿的各滋味指标相关性分析

Table 6 Correlation analysis of each taste index of non-astringent persimmon

指标 Index	苦味 Bittern- ess	后味-A After taste -A	鲜味 Umami	丰富性 Richn- ess	咸味 Saltin- ess	甜味 Sweet- ness
苦味 Bitterness	1					
后味-A Aftertaste-A	0.423	1				
鲜味 Umami	-0.446*	-0.363	1			
丰富性 Richness	-0.113	-0.652**	-0.169	1		
咸味 Saltiness	-0.469*	-0.402	0.954**	-0.001	1	
甜味 Sweetness	0.731**	0.358	-0.767**	0.151	-0.706**	1

表7 旋转后因子载荷矩阵、特征值及方差贡献率

Table 7 Rotated factor loading, eigenvalues and variance contribution rates of principal components

代码 Code	性状指标 Traits indexes	特征向量 Eigenvectors		
		主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分3 Principal component 3
X1	苦味 Bitterness	0.711	-0.019	0.244
X2	后味-A Aftertaste-A	0.436	-0.099	0.810
X3	鲜味 Umami	-0.914	0.186	0.077
X4	丰富性 Richness	0.127	-0.007	-0.954
X5	咸味 Saltiness	-0.892	0.047	-0.062
X6	甜味 Sweetness	0.924	-0.032	-0.039
X7	硬度 Hardness	-0.166	0.890	-0.113
X8	黏附性 Adhesiveness	0.281	-0.558	0.013
X9	内聚性 Cohesiveness	-0.081	0.812	0.463
X10	弹性 Springiness	0.352	0.833	-0.142
X11	咀嚼性 Chewiness	-0.069	0.959	-0.031
特征值 Eigenvalue		3.437	3.424	1.886
方差贡献率 Variance contribution rates/%		31.250	31.128	17.149

原始信息的31.128%,代表性指标中与之呈正载荷的为咀嚼性、硬度、弹性和内聚性,呈负载荷的为黏附性,因此将其定义为“内聚因子”;第3主因子F3包含了原始信息的17.149%,其大小主要由丰富性和

后味-A来决定,其中丰富性与之呈负载荷,后味-A与之呈正载荷,丰富性是鲜味的回味,反映了样品鲜味的持久性,又称为鲜味持久度;后味-A则表示涩味回味,因此将其定义为“回味因子”。由此,将11个指标归纳为3个更具代表性的主因子,对3个主因子进行得分模型的构建,见式(1)~(3)。

$$\begin{aligned} F1 &= 0.384X_1 + 0.235X_2 - 0.493X_3 + 0.069X_4 - 0.481X_5 + \\ &0.498X_6 - 0.090X_7 + 0.152X_8 - 0.044X_9 + 0.190X_{10} - 0.037X_{11} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} F2 &= -0.010X_1 - 0.054X_2 + 0.101X_3 - 0.004X_4 + \\ &0.025X_5 - 0.017X_6 + 0.481X_7 - 0.302X_8 + 0.439X_9 + \\ &0.450X_{10} + 0.518X_{11} \end{aligned} \quad (2)$$

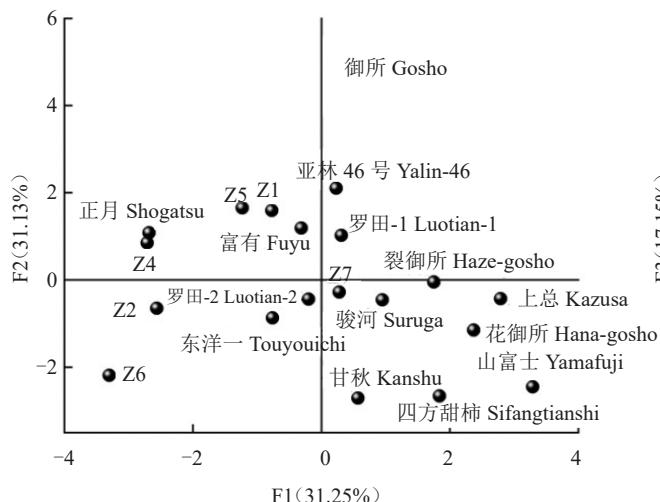


图2 甜柿果实口感品质的主因子得分二维排序散点图

Fig. 2 Scattering plot based on main factor scores of non-astringent persimmon fruits

花御所较优;以第2主因子排序御所、亚林46号和Z5较优;以第3主因子排序亚林46号、Z5和骏河较优。

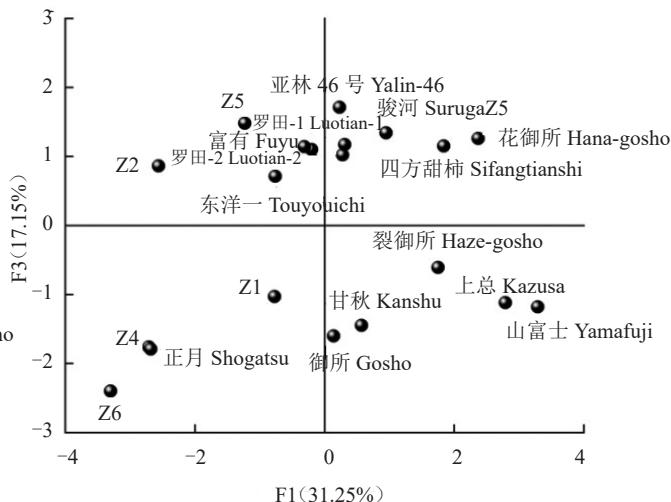
但由于各主因子方差贡献率不同,故综合评价时要协调好各主因子之间的侧重关系,根据表7确立各主因子的权重,以主因子的权重=方差贡献率/累计贡献率,建立甜柿果实口感品质综合得分(F)数学模型: $F=0.393F1+0.391F2+0.216F3$ 。综合得分越高,说明口感品质越佳。

分别计算各主因子得分和口感品质的综合得分并对其进行排序,结果见表8。可见20份甜柿种质中,御所、亚林46号、罗田-1、花御所、上总和富有的综合分值排在前6位,表明这些种质的综合口感较佳;而Z2、Z4、甘秋和Z6综合得分较低,排在后4位,说明这些种质综合口感较差;其余综合得分居中,果

$$\begin{aligned} F3 &= 0.178X_1 + 0.590X_2 + 0.056X_3 - 0.695X_4 - 0.045X_5 - \\ &0.028X_6 - 0.082X_7 + 0.009X_8 + 0.337X_9 - 0.103X_{10} - \\ &0.023X_{11} \end{aligned} \quad (3)$$

式中,F1、F2、F3表示3个主因子得分。

以第1主因子为横坐标,分别以第2和第3主因子为纵坐标绘制散点图(图2),更加直观地显示了不同甜柿样品3个主因子的得分情况,甜柿样品之间的差异性与其代表点间的距离成正比,距离越小,样品差异性越小^[18]。20份甜柿样品在横、纵坐标的距离各不相同且基本没有重叠,说明结合使用电子舌和质构仪对不同甜柿样品的口感品质有较好区分。从图2可见,以第1主因子排序山富士、上总和



实口感品质表现一般。

2.4 不同甜柿种质果实感官评价分析

由表9可知,通过肉质粗细和松脆度对甜柿质地进行评价,可见亚林46号、富有和上总的质地品质较佳,得分明显高于其他甜柿样品,表现为肉质细腻、果实或酥脆或脆硬,而Z6的肉质粗细和松脆度得分最低,质地品质较差,感官表现为果实肉质粗糙。富有和亚林46号的味道得分最高,果实清甜爽口,而正月、Z4和Z6的味道得分最低,甜味较淡。由综合口感得分及排名可知,亚林46号、富有和上总的得分均在82分以上,排在第1~3位,说明这3份种质的口感最佳,其次为花御所、罗田-1和御所,分值均在80分以上,排名靠前,而山富士、Z2、正月、Z4和Z6的得分均低于75分,排在后5位,口感较差,其他甜柿样品的综合口感相对居中。

表8 不同甜柿种质主因子及综合得分排名

Table 8 Principal factors and comprehensive score ranking of different non-astringent persimmon germplasms

编号 No.	种质名称 Name	模型评价 Model evaluation			综合得分 Composite scores(F)	排名 Rank
		主成分1得分 Principal component 1 scores(F1)	主成分2得分 Principal component 2 scores(F2)	主成分3得分 Principal component 3 scores(F3)		
1	骏河 Suruga	0.95	-0.46	1.34	0.48	8
2	Z5	-1.23	1.65	1.48	0.48	9
3	富有 Fuyu	-0.31	1.19	1.14	0.59	6
4	Z1	-0.77	1.59	-1.03	0.10	11
5	罗田-1 Luotian-1	0.31	1.02	1.17	0.77	3
6	四方甜柿 Sifangtianshi	1.84	-2.66	1.15	-0.07	14
7	御所 Goshō	0.14	4.87	-1.60	1.62	1
8	正月 Shogatsu	-2.68	1.08	-1.79	-1.01	16
9	Z2	-2.56	-0.65	0.86	-1.07	17
10	东洋一 Touyouichi	-0.76	-0.87	0.71	-0.49	15
11	亚林46号 Yalin-46	0.23	2.10	1.71	1.28	2
12	甘秋 Kanshu	0.57	-2.71	-1.45	-1.15	19
13	裂御所 Haze-goshō	1.75	-0.05	-0.61	0.54	7
14	Z4	-2.71	0.85	-1.76	-1.11	18
15	罗田-2 Luotian-2	-0.20	-0.44	1.10	-0.02	13
16	花御所 Hana-goshō	2.37	-1.15	1.26	0.75	4
17	Z6	-3.30	-2.19	-2.40	-2.67	20
18	上总 Kazusa	2.79	-0.43	-1.12	0.69	5
19	Z7	0.28	-0.28	1.02	0.22	10
20	山富士 Yamafuji	3.29	-2.45	-1.18	0.08	12

表9 不同甜柿种质的果实感官评价

Table 9 Sensory evaluation of different non-astringent persimmon germplasms

编号 No.	种质名称 Name	肉质粗细 Flesh coarseness	松脆度 Flesh brittleness	滋味 Flavor	综合口感 Comprehensive taste	排名 Rank
1	骏河 Suruga	83	72	74	79	7
2	Z5	82	80	75	79	8
3	富有 Fuyu	83	83	85	83	2
4	Z1	79	79	70	76	15
5	罗田-1 Luotian-1	83.6	78	79.2	80.5	5
6	四方甜柿 Sifangtianshi	72	70	81	76.5	14
7	御所 Goshō	78	79	82.4	80	6
8	正月 Shogatsu	69	72	65	68	18
9	Z2	70	72	72	73	17
10	东洋一 Touyouichi	80	75	82	78	10
11	亚林46号 Yalin-46	88	90	85	85	1
12	甘秋 Kanshu	75	73	80	77	12
13	裂御所 Haze-goshō	75	73	82	79	9
14	Z4	70	70	66	68	19
15	罗田-2 Luotian-2	73	73	82	77	13
16	花御所 Hana-goshō	80	78	80	81	4
17	Z6	68	68	65	64	20
18	上总 Kazusa	82	81	82	82	3
19	Z7	78	80	80	78	11
20	山富士 Yamafuji	70	68	81	74	16

2.5 偏最小二乘回归(PLSR)模型的建立

口感是在口腔中产生的包括味觉和触觉的一种综合性感觉^[19],因此感官描述比较模糊,品评结果也难以一致。为研究基于质构仪和电子舌建立口感评

价模型的可能性,实现甜柿口感品质的量化评价,将5项质构指标和6项滋味指标数据组成X-matrice,综合口感得分为Y-matrice,利用偏最小二乘回归法验证二者之间的相关性。由图3可知,质构及滋味

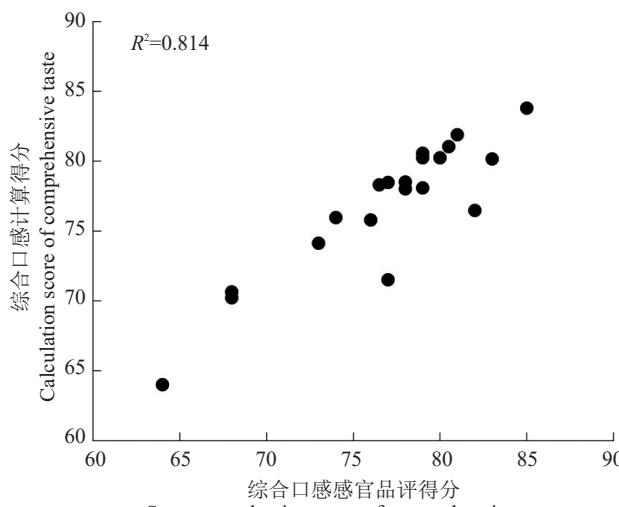


图3 基于质构仪和电子舌实测值的综合口感
感官评分的PLSR回归

Fig. 3 Plot of PLSR regression between observed and predicted comprehensive taste scores from texture analyzer and electronic tongue

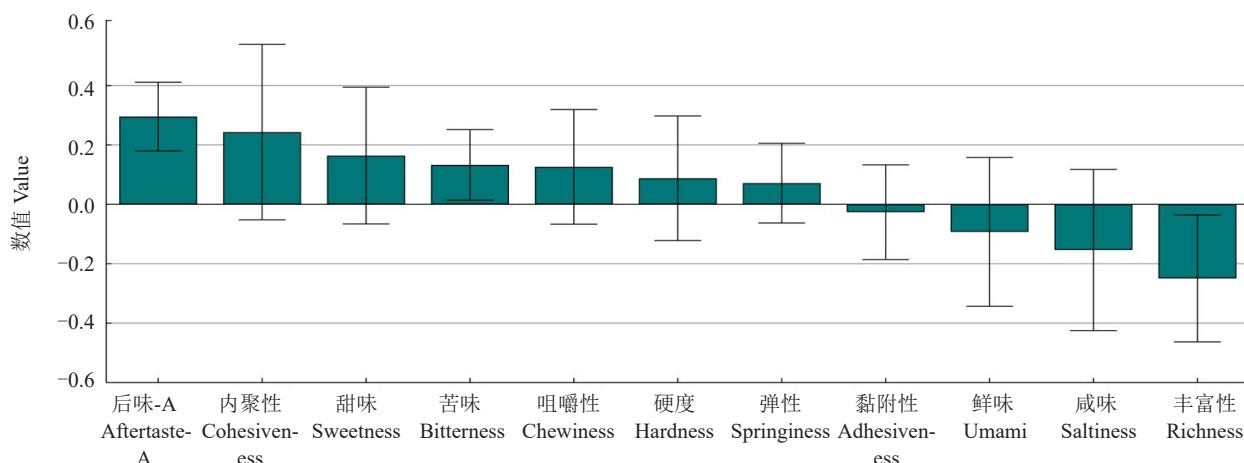


Fig. 4 The contribution analysis of texture and taste on comprehensive taste scores

表 10 各指标与综合口感相关的重要程度

Table 10 The importance of each indicator in relation to comprehensive taste

影响程度	SRC 范围	综合口感	Comprehensive taste
较大	$0.2 \leqslant \text{SRC}$	X_2 -后味-A(+), X_4 -丰富性(-), X_9 -内聚性(+)	X_2 -Aftertaste-A(+), X_4 -Richness(-), X_9 -Cohesiveness(+)
中等	$0.1 \leqslant \text{SRC} < 0.2$	X_6 -甜味(+), X_5 -咸味(-), X_1 -苦味(+), X_{11} -咀嚼性(+)	X_6 -Sweetness(+), X_5 -Saltiness(-), X_1 -Bitterness(+), X_{11} -Chewiness(+)
较小	$\text{SRC} < 0.1$	X_3 -鲜味(-), X_7 -硬度(+), X_{10} -弹性(+), X_8 -黏附性(-)	X_3 -Umami(-), X_7 -Hardness(+), X_{10} -Springiness(+), X_8 -Adhesiveness(-)

注:+表示指标具有正向贡献,-表示指标具有负向贡献。

Note: + indicates that the indicator has a positive contribution, - indicates that the indicator has a negative contribution.

回归法验证其相关性。由表11和图5可知,当使用SRC绝对值大于0.2的3项指标作为X-matrice预测甜柿口感品质时,多元回归模型的 R^2 仅为67.2%。随着引入方程的口感品质指标越多时,模型的 R^2 逐

测定值与综合口感得分PLSR回归模型的 R^2 为81.4%,可以看出样本点基本分布在对角线上,表明拟合效果较好。

为进一步明确甜柿综合口感的影响因素及程度,利用PLSR回归模型的标准化回归系数(SRC)无量纲化的比较各自变量对因变量的影响,SRC绝对值越大,代表影响程度越显著;SRC绝对值越小,代表影响程度越低^[20]。由图4和表10可知,影响综合口感得分的关键指标主要有后味-A、内聚性、丰富性、甜味、咸味、苦味和咀嚼性,对综合口感具有正向贡献的指标为后味-A、内聚性、甜味、苦味、咀嚼性、硬度和弹性,降低综合口感的指标为丰富性、咸味、鲜味和黏附性。

在明确各指标对综合口感影响程度的基础上,分别将SRC绝对值大于0.2和0.1的口感品质指标组成X-matrice,综合口感得分为Y-matrice,由多元

步提高,当使用SRC绝对值大于0.1时的7项指标做回归方程时 R^2 为80.4%,表明通过7项口感品质指标可以准确预测甜柿的综合口感。从模型中可以看出苦味、后味-A、甜味、内聚性和咀嚼性等指标有利于

表 11 口感品质指标与综合口感得分的回归方程

Table 11 The regression equation of taste quality index and comprehensive taste scores

序号 No.	影响程度 Influence degree	回归方程 Regression equation	R ² /%
1	>0.2	$Y=14.515+0.702X_2+0.173X_4+0.485X_9$	67.2
2	>0.1	$Y=14.515+0.201X_1+0.295X_2-0.207X_4-0.221X_5+0.221X_6+0.226X_9+0.129X_{11}$	80.4

注:序号 1~2 与图 5 中的拟合 1 及拟合 2 一致。

Note: The numbers 1-2 are consistent with fit 1 and fit 2 in Fig. 5.

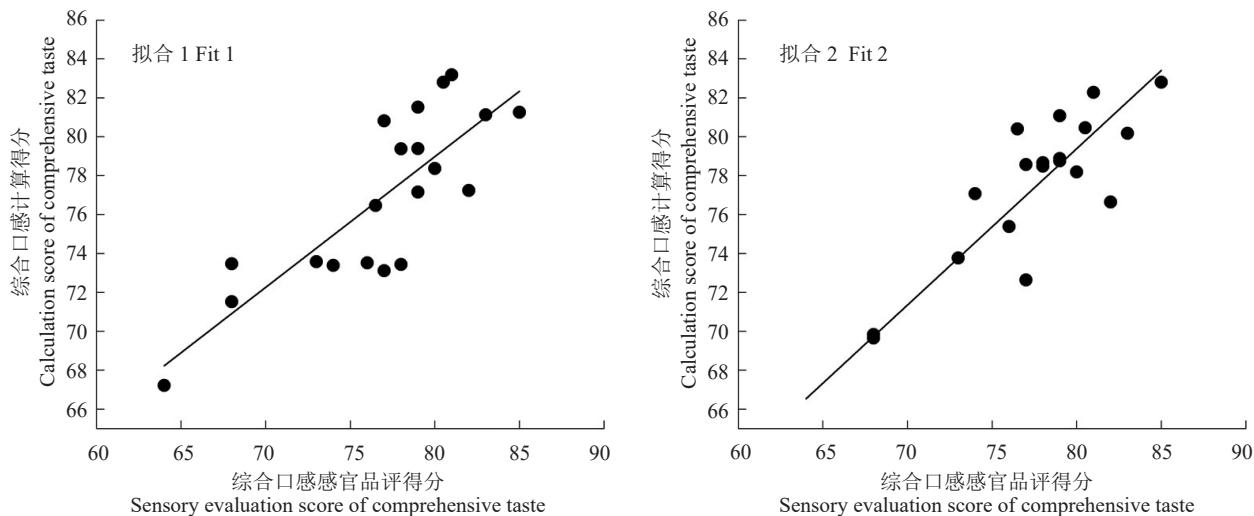


图 5 综合口感得分实际值和 2 个回归方程拟合值散点图

Fig. 5 Scatter plot of the regression equation between observed and predicted scores on comprehensive taste

提升甜柿综合口感;而丰富性和咸味则会降低综合口感。随机抽取 10 个样品对多元回归模型进行验证,如图 6 所示,综合口感实际得分和预测值相关系数达到 0.938,表明模型精确度较高,可用于甜柿口感特性的定量预测。

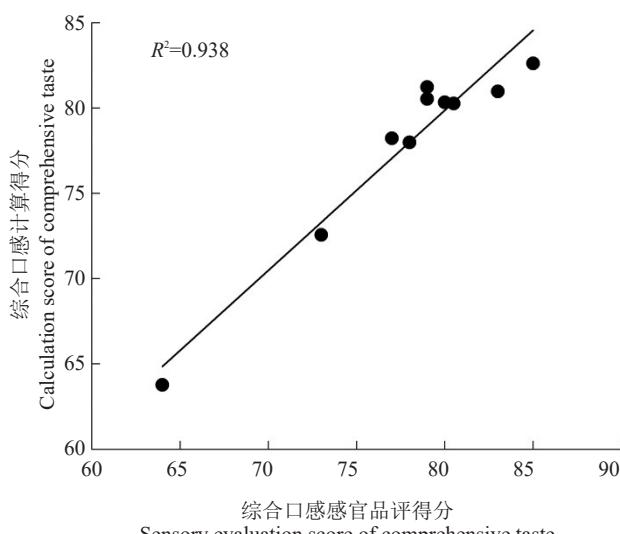


图 6 综合口感得分实际值与预测值散点图

Fig. 6 Scatter plot of observed and predicted scores of model about comprehensive taste

3 讨 论

口感是果品质量的一项重要品质特征,也是影响消费者购买的关键因素^[21],但不同甜柿种质口感品质良莠不齐,经济价值也相差较大,对其差异进行分析并建立口感评价的有效方法,是对甜柿口感品质快速分级的基础,也可进一步提升选育和栽培的精准化水平。

传统果实口感品质常用硬度指标评价质地,可溶性固形物含量衡量甜度,而质构仪反映的内聚性和咀嚼性等性状也与质地密切相关^[22],电子舌也可通过多个味觉传感器反映甜味以外的其他味觉,使得果实口感评价的内容更为丰富,评价结果也更加客观。本试验首次较大规模地对甜柿种质进行质地与滋味的评价,结果显示,多项指标种质间差异显著,表明口感品质组成丰富。同时,指标间也相互影响,质地参数相关性表明,硬度与内聚性、弹性和咀嚼性呈极显著正相关,咀嚼性与弹性呈极显著正相关,这与在京白梨^[23]和苹果^[24]上的研究结果相似,说明硬度、内聚性、咀嚼性和弹性与果肉的适口感关系密切,可以作为评价甜柿质地的重要参数,也为今后

进一步探明甜柿质地形成的关键因子提供研究基础。基于电子舌传感器响应值发现,酸味、涩味及后味-B均在无味点以下,而苦味、后味-A、鲜味、丰富性、咸味和甜味是甜柿有效滋味指标,不同甜柿种质间咸味和鲜味的味觉差异最大,说明电子舌可以有效区分甜柿样品间的滋味差异,前人研究也表明基于电子舌可准确识别柿单宁的涩味^[25]、绿茶的鲜味^[26]及红茶的苦味^[27]、甜味^[28]等滋味属性,这也对下一步探明甜柿滋味的物质基础具有积极意义。

因子分析可将多个且相关的变量进行降维处理,综合为少数几个主因子,使各主因子间互不相关但又能反映大部分指标的信息,提高分析效率^[29]。笔者在本研究中通过因子分析将11个果实口感品质相关指标简化为3个相对独立的主因子,并根据主因子得分和对应权重加权求和实现口感品质的综合评价,其中御所、亚林46号、罗田-1、花御所、上总和富有综合得分较高,正月、Z2、Z4、甘秋和Z6得分较低。感官品评也是品质评价中不可或缺的,结合客观的统计学方法与主观感觉,才能更准确地评价果实口感优劣。感官评价结果显示,20份甜柿样品的感官评分排名与因子分析的综合评价结果基本一致,亚林46号、富有和上总口感较好,果肉细腻、脆甜可口,Z4、Z6和正月的口感较差,其他甜柿样品相对居中,但御所的感官排名与统计学综合排名稍有出入,这可能是由于御所的硬度、内聚性和咀嚼性指标值过大,造成统计学分析时排名靠前,而果肉过于致密,感官上表现为较硬且不易咀嚼,导致感官排名略微靠后。潘好斌等^[30]采用因子分析与感官评价相结合的方法实现薄皮甜瓜质地品质的综合评价。张维等^[31]通过主成分分析法筛选出口感较好、适合鲜食的红心猕猴桃品种,并对其进行感官评价,验证了综合评价结果与感官品质评价结果具有较好的一致性。说明基于质地及滋味指标可准确判别不同甜柿种质的口感差异,可用于建立甜柿口感评价的预测模型。

影响果实口感特性的因素多且复杂,仅通过相关性和因子分析无法建立甜柿口感特征模型并确定关键的影响因素。偏最小二乘回归法综合了主成分分析、典型相关分析和多元线性回归分析的优点,并具有预测功能^[3],因此,笔者在本研究中利用PLSR分析不同质地和滋味特征与综合口感的关系,建立甜柿口感多元回归预测模型:综合口感=14.515+

$0.201X_1 + 0.295X_2 - 0.207X_4 - 0.221X_5 + 0.221X_6 + 0.226X_7 + 0.129X_{11}$,通过PLSR标准化回归系数发现,综合口感主要受后味-A(X_2)、内聚性(X_9)、甜味(X_6)和咸味(X_5)的影响。甜柿鲜食口感极佳,“甜、脆”是其最主要的优势,柿果中含有大量果糖、葡萄糖、蔗糖以及少量的甘露糖和棉子糖等具有甜味的糖类物质^[32],实际生产中甜度也是判断果品质量的重要指标,而内聚性为果肉抵抗牙齿咀嚼表现出的内部结合力,可以较好反映甜柿果实“脆”的质地特征。目前尚鲜见柿果中咸味物质的研究报道,而后味-A反映了涩味的残留程度,涩味是柿子的主要特征,由缩合单宁与口腔蛋白的相互作用产生有收敛性的味感^[25],尽管甜柿自然脱涩,可溶性单宁含量低于0.1%^[33],但部分甜柿仍有涩味回味,而对于我国消费者可能并不排斥,甚至认为更具有“柿子味”,如大别山区更加喜爱带有轻微残涩的罗田甜柿,这也提示在甜柿选育过程中,也需要适当考量轻微残涩口感材料的运用。而对于甜柿滋味的具体呈味物质明确和质地特性的结构基础及其形成调控机制仍有待研究。目前该模型可适用于不同甜柿种质间的口感特性分析,然而模型精确度取决于建立模型的样本数量,受限于我国目前甜柿种质数量较少,笔者选择了20份甜柿种质,因此在后续研究中需进一步增加样本数量,进一步提升模型预测的精度和扩大使用范围。

4 结 论

应用质构仪及电子舌技术并结合感官品评对20份甜柿种质的口感品质进行评价,感官品评结果与因子分析综合评价结果基本一致,利用PLSR建立了基于质构仪和电子舌的甜柿综合口感多元回归预测模型,拟合效果较好,表明该模型可用于甜柿口感特性的定量预测,解决了口感评价模糊导致的量化困难问题,为甜柿口感品质定量评价提供了技术手段。

参考文献 References:

- [1] RYU S, MURAMATSU T, FURIHATA K, WEI F, TANOKURA M. NMR-based metabolic profiling and comparison of Japanese persimmon cultivars[J]. Scientific Reports, 2019, 9(1): 15011.
- [2] 罗正荣. 国内外柿产业现状与发展趋势[J]. 落叶果树, 2018, 50(5):1-4.
LUO Zhengrong. Present situation and development trend of per-

- simmon industry at home and abroad[J]. Deciduous Fruits, 2018,50(5):1-4.
- [3] 梁志宏,李小平,茹慧玲,吕英忠.超高压处理对柿浆品质的影响[J].食品科学,2018,39(3):163-168.
LIANG Zhihong, LI Xiaoping, RU Huiling, LÜ Yingzhong. Effect of ultra-high pressure treatment on the quality of persimmon pulp[J]. Food Science, 2018, 39(3): 163-168.
- [4] 杜洋文,邓先珍,程军勇,姜德志.日本甜柿不同品种综合评价体系构建与应用[J].西南大学学报(自然科学版),2016,38(9):53-57.
DU Yangwen, DENG Xianzhen, CHENG Junyong, JIANG Dezh. Construction and application of comprehensive evaluation system for different varieties of Japanese sweet persimmon[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2016,38(9):53-57.
- [5] 刘敏,谭书明,张洪礼,刘芳宏.不同品种大米口感品质分析[J].食品科学,2018,39(15):88-92.
LIU Min, TAN Shuming, ZHANG Hongli, LIU Fanghong. Taste quality of different rice varieties[J]. Food Science, 2018, 39(15): 88-92.
- [6] 由美千惠,秦智伟,辛明,周秀艳.黄瓜种质资源食味性感官品质评价[J].中国瓜菜,2021,34(12):101-106.
YOU Meiqianhui, QIN Zhiwei, XIN Ming, ZHOU Xiuyan. Sensory evaluation of taste of cucumber germplasm resources[J]. Chinese Cucurbits and Vegetables, 2021,34(12):101-106.
- [7] 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):2014-2020.
WANG Binbin, LI Na, JIA Manli, CHEN Xiuling, FAN Wei, XIA Aihua, GAO Yujun, LI Jisheng. Measuring texture quality of mulberry fruit using a texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2021,38(11):2014-2020.
- [8] 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 CSAE, 2005,21(3):166-170.
- [9] 杨玲,张彩霞,丛佩华,程云,王强.基于质地多面分析法对不同苹果品种果肉质构特性的分析[J].食品科学,2014,35(21):57-62.
YANG Ling, ZHANG Caixia, CONG Peihua, CHENG Yun, WANG Qiang. Texture parameters of different apple varieties' flesh as measured by texture profile analysis[J]. Food Science, 2014,35(21):57-62.
- [10] 赵爱玲,薛晓芳,王永康,任海燕,弓桂花,焦晋华,隋串玲,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):631-641.
ZHAO Ailing, XUE Xiaofang, WANG Yongkang, REN Haiyan, GONG Guihua, JIAO Jinhua, SUI Chuanling, LI Dengke. Measuring texture quality of flesh jujube fruit using texture analyser[J]. Journal of Fruit Science, 2018,35(5):631-641.
- [11] 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. Evaluation of jujube fruit texture and cluster analysis based on TPA method[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2019,56(10):1860-1868.
- [12] 马媛媛,陆玲鸿,古咸彬,宋根华,张慧琴.基于TPA的猕猴桃质地差异分析及贮藏性评价[J].果树学报,2021,38(9):1579-1589.
MA Yuanyuan, LU Linghong, GU Xianbin, SONG Genhua, ZHANG Huiqin. Texture difference and storage characteristics evaluation based on texture profile analysis in kiwifruits[J]. Journal of Fruit Science, 2021,38(9):1579-1589.
- [13] 刘聪,李亚珍,尹嘉敏,邓云,孙静,王吉力特.不同贮藏温度对磴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]. Chinese Cucurbits and Vegetables, 2022,35(1):47-53.
- [14] 冯建英,李鑫,原变鱼,穆维松.智能感官技术在水果检测中的应用进展及趋势[J].南方农业学报,2020,51(3):636-644.
FENG Jianying, LI Xin, YUAN Bianyu, MU Weisong. Progress and trend of fruit detection by intelligent sensory technology[J]. Journal of Southern Agriculture, 2020,51(3):636-644.
- [15] 甘芝霖,刘远方,杨阳,张树明,陈芹芹,倪元颖.基于电子舌技术对信阳毛尖茶品质的评价[J].食品工业科技,2013,34(3):74-76.
GAN Zhilin, LIU Yuanfang, YANG Yang, ZHANG Shuming, CHEN Qinjin, NI Yuanying. Evaluation of Xinyang Maojian tea' quality by electronic tongue technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013,34(3):74-76.
- [16] 柴冲冲,曹妍,毛民,王靖越,刘娜,李欣欣,张凯,陈东玲,魏龙吟,尹怡慧,李飞.基于电子舌技术评价黄芩酒炙前后滋味变化及其在黄芩饮片鉴别中的应用研究[J].中国中药杂志,2020,45(11):2552-2559.
CHAI Chongchong, CAO Yan, MAO Min, WANG Jingyue, LIU Na, LI Xinxin, ZHANG Kai, CHEN Dongling, WEI Longyin, YIN Yihui, LI Fei. Evaluation of taste changes of Scutellariae Radix before and after wine-frying based on electronic tongue technology and its application in identification of Scutellariae Radix pieces[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2020,45(11):2552-2559.
- [17] 刘莉.黄桃罐头感官品质评价研究[D].天津:天津科技大学,2015.
LIU Li. The research on sensory quality evaluation of canned peach[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015.
- [18] 张凡,李书田,王显瑞,沈群.不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J].食品科学,2020,41(9):23-29.
ZHANG Fan, LI Shutian, WANG Xianrui, SHEN Qun. Compar-

- ative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science, 2020, 41(9): 23-29.
- [19] 刘佳, 黄淑霞, 余俊红, 胡淑敏, 杨朝霞, 黄树丽, 张宇昕. 基于电子舌技术的啤酒口感评价及其滋味信息与化学成分的相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 196-201.
LIU Jia, HUANG Shuxia, YU Junhong, HU Shumin, YANG Zhaoxia, HUANG Shuli, ZHANG Yuxin. Evaluation of beer taste and correlation between taste information and chemical composition based on electronic tongue technology[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(2): 196-201.
- [20] 胡淑敏, 黄淑霞, 余俊红, 刘佳, 杨朝霞, 黄树丽, 张宇昕. 啤酒口感特性与风味化学成分的关系[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 70-76.
HU Shumin, HUANG Shuxia, YU Junhong, LIU Jia, YANG Zhaoxia, HUANG Shuli, ZHANG Yuxin. Relationship between taste characteristics and flavor chemical components of beer[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(1): 70-76.
- [21] 章志远, 丁兴萃, 崔逢欣, 白瑞华, 蔡函江. 感官评定方法确定麻竹笋苦涩味物质成分及与口感的关系[J]. 食品科学, 2017, 38(5): 167-173.
ZHANG Zhiyuan, DING Xingcui, CUI Fengxin, BAI Ruihua, CAI Hanjiang. Identification of bitter and astringent components in Ma bamboo shoots and their relationship with taste by sensory evaluation[J]. Food Science, 2017, 38(5): 167-173.
- [22] 张霁红, 郑娅, 宋娟, 康三江, 张海燕. 质地多面分析不同脱涩处理后磨盘柿质地变化[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4496-4501.
ZHANG Jihong, ZHENG Ya, SONG Juan, KANG Sanjiang, ZHANG Haiyan. Texture profile analysis of Mopanshi persimmon texture variation by deastringency[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(11): 4496-4501.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 陈多多, 孔慧, 彭进明, 李春美. 基于电子舌技术的柿单宁制品涩味评价模型建立[J]. 食品科学, 2016, 37(23): 89-94.
CHEN Duoduo, KONG Hui, PENG Jinming, LI Chunmei. Development of a model for astringency estimation of persimmon tannin products based on electronic tongue[J]. Food Science, 2016, 37(23): 89-94.
- [26] HAYASHI N, CHEN R, IKEZAKI H, UJIHARA T. Evaluation of the umami taste intensity of green tea by a taste sensor[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(16): 7384.
- [27] HAYASHI N, UJIHARA T, CHEN R, IRIE K, IKEZAKI H. Objective evaluation methods for the bitter and astringent taste intensities of black and oolong teas by a taste sensor[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 816-821.
- [28] 姚月凤, 王家勤, 滑金杰, 许琦, 张铭铭, 江用文, 袁海波, 董春旺, 李佳. 电子舌在工夫红茶甜纯滋味特征评价中的应用[J]. 食品科学, 2019, 40(18): 236-241.
YAO Yuefeng, WANG Jiaqin, HUA Jinjie, XU Qi, ZHANG Mingming, JIANG Yongwen, YUAN Haibo, DONG Chunwang, LI Jia. Application of electronic tongue in the evaluation of sweet taste quality of Congou black tea[J]. Food Science, 2019, 40(18): 236-241.
- [29] 王佳豪, 段雅倩, 乜兰春, 宋立彦, 赵文圣, 方思雨, 赵佳腾. ‘羊角脆’类甜瓜果实品质因子分析及综合评价[J]. 中国农业科学, 2019, 52(24): 4582-4591.
WANG Jiahao, DUAN Yaqian, SONG Lanchun, SONG Liyan, ZHAO Wensheng, FANG Siyu, ZHAO Jiateng. Factor analysis and comprehensive evaluation of the fruit quality of ‘Yangjiao-cui’ melons[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2019, 52(24): 4582-4591.
- [30] 潘好斌, 刘东, 邵青旭, 高歌, 齐红岩. 不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(21): 35-42.
PAN Haobin, LIU Dong, SHAO Qingxu, GAO Ge, QI Hongyan. Analysis and comprehensive evaluation of textural quality of ripe fruits from different varieties of oriental melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino)[J]. Food Science, 2019, 40(21): 35-42.
- [31] 张维, 付复华, 罗赛男, 赖灯妮, 朱向荣, 张群. 湖南红心猕猴桃品种品质评价及综合分析[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(5): 201-210.
ZHANG Wei, FU Fuhua, LUO Sainan, LAI Dengni, ZHU Xiangrong, ZHANG Qun. Quality analysis and evaluation of Hunan red kiwifruit varieties[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(5): 201-210.
- [32] 葛博学. 柿果实糖组分分析及采后处理的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2018.
GE Boxue. Analysis of sugar composition and effect of postharvest treatment in persimmon fruit[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2018.
- [33] 费学谦, 周立红, 龚榜初. 不同甘、涩类型柿果实单宁组成的差异及罗田甜柿单宁的特性[J]. 林业科学研究, 1999, 12(4): 369-373.
FEI Xueqian, ZHOU Lihong, GONG Bangchu. Differences of the components of tannin among three types of persimmon fruits and characteristics of tannin from Luotian-tianshi[J]. Forest Research, 1999, 12(4): 369-373.