

基于电子舌评价不同品种番茄 制备番茄酱的滋味品质

李文欣^{1,2,3,4}, 赵文婷^{2,3,4}, 王宇滨^{2,3,4}, 张敏⁵, 赵煜炜⁵, 赵晓燕^{2,3,4}, 赵春燕^{1,*}

(1.沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866;

2.北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097;

3.果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 北京 100080;

4.农业部蔬菜产后处理重点实验室, 北京 100097;

5.龙大食品集团有限公司, 山东莱阳 265231)

摘要:采用电子舌分析技术和多元统计学方法相结合,对20个番茄品种制备的番茄酱进行滋味品质检测,并对所得数据进行主成分分析、聚类分析和判别因子分析。结果表明:通过主成分分析和聚类分析发现,不同品种番茄制备的番茄酱整体滋味品质存在明显差异,新番40号滋味特征与其他品种差别较大;晚熟品种的苦味、涩味和咸味显著大于早熟品种($P < 0.05$),且由聚类分析可知,所有早熟品种(屯河33号、新番36号、新番45号、里格尔87-5)都聚在第一类;通过判别因子分析,可以将不同来源的品种(石番、亨氏、新番、IVF)完全区分开,2个判别因子的总贡献率达到96.1%。由此可见,电子舌作为一种新型现代化的智能感官仪器,对不同熟性和不同来源的番茄制备番茄酱的滋味品质具有潜在的区分能力。

关键词:番茄酱;滋味品质;电子舌;主成分分析;聚类分析;判别因子分析

Evaluation of Taste Quality of Tomato Paste Prepared from Different Tomato Varieties by Electronic Tongue

LI Wen-xin^{1,2,3,4}, ZHAO Wen-ting^{2,3,4}, WANG Yu-bin^{2,3,4}, ZHANG Min⁵,

ZHAO Yu-wei⁵, ZHAO Xiao-yan^{2,3,4}, ZHAO Chun-yan^{1,*}

(1.College of Food Science and Engineering, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2.Beijing Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;

3.Beijing Key Laboratory of Agricultural Products of Fruits and Vegetables Preservation and Processing, Beijing 100080, China;

4.Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China;

5.LongDa Foodstuff Group Co., Ltd., Laiyang 265231, China)

Abstract: Taste profile of tomato paste prepared from twenty different tomato varieties was tested using electronic tongue combined with multivariate statistical analysis methods, including principal component analysis, cluster analysis and discriminant factor analysis. The results showed that, the overall taste quality of tomato paste prepared from different varieties were significantly different and the taste characteristics of Xinfan 40 was significantly different from those of other varieties through principal component analysis and cluster analysis. The bitterness, astringency and saltiness of late-maturing varieties were significantly higher than those of early-maturing varieties ($P < 0.05$), all of which (Tunhe 33, Xinfan 36, Xinfan 45, Ligeer 87-5) were gathered in the first cluster. Through discriminant factor analysis, different varieties (Shifan, Hengshi, Xinfan, IVF) could be completely distinguished, and the total contribution rate of the two discriminants reached 96.1%. Therefore, electronic tongue, as a new type of modern intelligent sensory instrument, could be regarded as a potential method to distinguish tomato paste prepared from different tomatoes with different maturity and sources.

Key words: tomato paste; taste quality; electronic tongue; principle component analysis; cluster analysis; discriminant factor analysis

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2019)19-0209-07

收稿日期: 2018-12-05

作者简介: 李文欣(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬加工和副产物的综合利用, E-mail: liwenxin9758@163.com。

* 通讯作者: 赵春燕(1966-), 女, 博士, 副教授, 主要从事食品生物技术方面的研究, E-mail: zhaochunyan108@163.com。

基金项目: 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJCX20170205); 现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-23); 山东省2017年泰山产业领军人才工程高效生态农业创新类专项(LJNY201705)。

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2019.19.035

引文格式:李文欣,赵文婷,王宇滨,等.基于电子舌评价不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质[J].食品工业科技,2019,40(19):209-215.

番茄酱是深受人们喜爱的调味品,具有独特的风味,含有多种营养物质和功能活性成分,如蛋白质、糖类、番茄红素、维生素 B 等。和新鲜番茄相比,其营养成分更易被人体吸收^[1]。番茄酱是我国重要的出口优势农产品^[2],2010 年番茄酱出口量为 102.8 万吨,占世界番茄酱出口总量的 35%,远高于其他番茄加工制品^[3]。滋味是评价番茄酱品质的重要指标,也是影响消费者选择的重要因素。番茄的品种特性决定了其加工品质,是食品领域研究的热点。目前国内外对番茄酱品质的研究,主要集中于番茄红素^[4]、色泽^[5]、黏度和流变性^[6]等,对番茄酱的滋味品质研究较少,尤其缺少对不同蕃茄品种制备番茄酱的滋味差异性研究。由此可见,筛选出具有较好滋味的番茄品种对番茄加工企业具有重要的指导意义和参考价值^[7]。

滋味品质一般通过专业感官品评人员进行评价,然而该方法受主观因素和外界环境影响较大,在一定程度上难以保证结果的准确性和客观性。电子舌(electronic tongue, ET)是模拟人体味觉机理开发出来的一种智能识别电子系统,通过不同种类的传感器,将酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味及各种回味的味觉指标进行客观数字化评价^[8]。目前,电子舌在乳品^[9-10]、酒精饮料^[11-12]、茶饮料^[13-14]以及调味品^[15-16]等领域具有广泛的应用,在番茄酱中应用的研究较少。刘梦婷等^[17]采用电子舌对番茄调味酱的滋味品质进

行了分析,将不同品牌的样品分为两类,确定了酸味是不同品牌间差异最大的滋味指标。电子舌能否用于区分不同品种制备番茄酱的滋味差异目前未见研究。

本研究以不同品种番茄为原料制备番茄酱,采用电子舌模拟天然味觉识别系统,并结合多元统计学方法对不同番茄酱样品的整体滋味进行差异性分析,以期对番茄酱的滋味品质评价提供一种高效、灵敏、便捷的方法,为番茄酱加工业的发展提供数据支持和参考^[18-19]。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

所有加工番茄品种 于 2017 年 3~9 月在新疆农科院安宁渠良种场试验基地统一种植,所用加工原料品种包括里格尔 87-5、新番 39 号、H8504 等早熟和晚熟加工番茄品种,共 20 个,品种名称、熟性和来源见表 1,每个品种采集 5 kg 果实,用于试验测定;电子舌试验所用参比溶液、阴离子溶液和阳离子溶液 日本 Insent 公司。

PAL-1 手持糖度计 日本 ATAGO 公司;HR 2377/E 全破碎打浆机 荷兰 Philips 公司;R-205 专业型旋转蒸发仪 瑞士 Buchi 公司;W201 恒温水浴锅 上海申生科技有限公司;LYNX 400 冷冻离心机 美国 Thermo 公司;SA-402B 味觉分析系统 日本 Insent 公司;DZQ-500 真空包装机 北京日上

表 1 加工番茄品种名称和来源

Table 1 Variety name and source of processing tomato

编号	品种名称	种子来源	熟性
PT-1	新番 36 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	早熟
PT-2	屯河 33 号	中粮新疆屯河种业有限公司	早熟
PT-3	新番 45 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	早熟
PT-4	里格尔 87-5	新疆石河子蔬菜研究所	早熟
PT-5	新番 39 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	晚熟
PT-6	新番 41 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	晚熟
PT-7	深红	中粮新疆屯河种业有限公司	晚熟
PT-8	石番 29 号	石河子开发区新番种业有限公司	晚熟
PT-9	石番 36 号	石河子开发区新番种业有限公司	晚熟
PT-10	金番 7 号	新疆金种农乐农业科技发展有限公司	晚熟
PT-11	新番 40 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	晚熟
PT-12	金番 1605	新疆金种农乐农业科技发展有限公司	晚熟
PT-13	H9888	美国亨氏公司	晚熟
PT-14	H9780	美国亨氏公司	晚熟
PT-15	H8504	美国亨氏公司	晚熟
PT-16	H2401	美国亨氏公司	晚熟
PT-17	H3402	美国亨氏公司	晚熟
PT-18	新红 49 号	新疆农业科学院园艺作物研究所	晚熟
PT-19	IVF5256	中国农业科学院蔬菜花卉所	晚熟
PT-20	IVF5306	中国农业科学院蔬菜花卉所	晚熟

表2 电子舌味觉传感器特点及性能
Table 2 Characteristics and performance of electronic tongue sensors

传感器名称	可评价的味道	
	基本味(相对值)	回味(CPA 值)
鲜味传感器(AAE)	鲜味(氨基酸、核酸引起的鲜味)	鲜味丰富度(可持续感知的鲜味)
咸味传感器(CT0)	咸味(食盐等无机盐引起的咸味)	无
酸味传感器(CA0)	酸味(醋酸、柠檬酸、酒石酸等引起的酸味)	无
苦味传感器(C00)	苦味(苦味物质引起的味道,在低浓度下被感知为丰富性)	苦味回味(啤酒、咖啡等一般食品的苦味)
涩味传感器(AE1)	涩味(涩味物质引起的味道,在低浓度下感知为刺激性回味)	涩味回味(茶、红酒等呈现的涩味)
甜味传感器(GL1)	甜味(糖或糖醇引起的甜味)	无

公司。

番茄酱品种进行定性判别。数据采用 SPSS 23.0 与 Excel 2010 软件完成,作图使用 Origin 9.0 软件完成。

1.2 实验方法

1.2.1 番茄酱的制备 以 20 种不同品种番茄为原料,选择形态良好、无病虫害的成熟果实,先用去离子水清洗一遍,再用 100 mg/L 次氯酸钠清洗一遍,最后用去离子水清洗两遍,沥干,去蒂切块,用打浆机打浆均质,再用 20 目的单层纱布过滤,将过滤后番茄汁经 100 ℃ 水浴加热到中心温度达 70 ℃ 后持续灭酶 5 min,以确保番茄汁内的果胶甲酯酶(PME)和半乳糖醛酸酶(PG)失活^[20-21]。灭酶后的番茄汁迅速冷却至室温,并使用 Buchi R-205 旋转蒸发仪,于真空度 0.09 MPa、60 ℃ 下,将番茄汁旋蒸到 28 °Brix(使用手持糖度计测定)。将旋蒸后的番茄酱装到铝箔袋中热封机封口,放到 100 ℃ 沸水中加热 20 min 灭菌后取出,立即冷却,备用。

1.2.2 样品前处理 分别从 20 种番茄酱样品取样 22 g,用去离子水将番茄酱稀释至 5 °Brix 后,置于离心机中以 8000 r/min 离心 20 min,所得上清液供电子舌进行分析与数据采集。

1.2.3 电子舌仪器参数与检测 SA-402B 味觉分析系统的传感器由味觉传感器、陶瓷参比电极和温度传感器组成,味觉传感器薄膜的电势是根据与参比电极的变化检测而得出^[22]。参比溶液为氯化钾和酒石酸的混合溶液,用来模拟人体口腔中只有唾液时的状态,所有样品均以参比溶液作为对照。通过检测各种滋味物质和人工脂膜之间的静电作用或疏水性相互作用产生的膜电势的变化,实现对 6 种基本味(酸、涩、苦、咸、鲜、甜)以及其回味的定性定量^[23]。电子舌味觉传感器特点及性能如表 2 所示。

检测条件为清洗时间 5.6 min,样品测试时间 30 s,测量回味 30 s^[24]。传感器在刚开始测定时,感应强度会上下波动,测定 1~2 次后,传感器响应强度趋于稳定,因此每个样品平行测定 5 次,选取后 3 次的响应强度数据用于后续分析。

1.3 统计分析

将电子舌检测获得的 20 种番茄酱样品的数据信息进行处理,使用 Pearson 相关性分析不同品种番茄制备番茄酱各滋味间的相关性,使用主成分分析(Principal component analysis, PCA)和聚类分析(Cluster analysis, CA)对不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质整体结构的差异性进行分析,使用判别因子分析(Discriminant factor analysis, DFA)对不同来源的

2 结果与分析

2.1 不同品种番茄制备番茄酱的各滋味间相关性分析

电子舌的检测通过 6 个传感器获得了 20 个不同品种番茄制备番茄酱的酸味、苦味、涩味、咸味、鲜味、甜味、鲜味丰富度等 7 组滋味指标的响应强度值(表 3)。对各滋味指标的响应值进行相关性分析(表 4),发现番茄酱样品不同滋味指标之间呈现出一定的相关性,其中酸味与鲜味、鲜味丰富度均呈极显著负相关($P < 0.01$);涩味与苦味呈极显著正相关($P < 0.01$),与咸味呈显著正相关($P < 0.05$);鲜味与鲜味丰富度呈极显著正相关($P < 0.01$),鲜味丰富度与甜味显著负相关($P < 0.05$)。由此可见,随着番茄酱样品中涩味的增加,苦味和咸味增强;随着番茄酱样品中鲜味丰富度的增加,其鲜味也随之增加,但甜味却随之减少;番茄酱样品的鲜味丰富度和鲜味随着酸味的增加而减少。

2.2 不同品种番茄制备番茄酱的电子舌滋味特征雷达图

雷达图可以客观、具体地反映各个样品之间的滋味特征差异大小,不同品种番茄制备番茄酱的滋味特征雷达如图 1 所示。由图 1 可知,6 个滋味传感器对不同品种番茄制备番茄酱的滋味均有响应,但敏感度有差异,番茄酱的咸味、苦味、涩味、鲜味的数值均高于参比溶液,而酸味值低于参比溶液。不同品种番茄制备的番茄酱之间整体滋味特征存在明显差异,其中甜味、咸味、酸味和苦味差异较显著,新番 40 号番茄酱的甜味显著高于其他品种($P < 0.05$)。

图 1(A)为来自新疆农业科学院园艺作物研究所的 5 个品种,不同样品在甜味上差异较大,新番 40 号番茄酱甜味值最高,新番 36 号番茄酱甜味值最低;由图 1(B)可以看出,来自美国亨氏公司的 5 个不同品种番茄也在甜味指标上差异较大, H9888 甜味值相对较高, H8504 甜味值相对较低;图 1(C)表明,不同来源不同品种的番茄制备的番茄酱在甜味和酸味上差异较大,这 5 个品种中,里格尔 87-5 的甜味值最高, IVF5256 的甜味值最低, IVF5306 酸味值最高,金番 7 号酸味值最低;由图 1(D)可以发现,这 5 个品种的番茄制备的番茄酱在酸味上差异较大,其中石番 29 号酸味值最高,屯河 33 号酸味值

表3 不同品种番茄制备番茄酱的各滋味响应强度值

Table 3 Flavor response intensity values of tomato paste prepared from different varieties

	酸味	苦味	涩味	鲜味	鲜味丰富度	咸味	甜味
新番 36 号	-13.01 ± 0.01	0.84 ± 0.01	0.92 ± 0.01	6.37 ± 0.01	2.21 ± 0.03	3.11 ± 0.03	2.5 ± 0.03
屯河 33 号	-13.64 ± 0.04	0.63 ± 0.02	0.98 ± 0.03	6.84 ± 0.01	2.05 ± 0.05	2.43 ± 0.01	1.62 ± 0.08
新番 45 号	-13.11 ± 0.03	0.35 ± 0.02	0.87 ± 0.02	6.18 ± 0.03	2.04 ± 0.06	3.05 ± 0.02	3.3 ± 0.17
里格尔 87-5	-12.47 ± 0.07	0.88 ± 0.03	0.91 ± 0.28	6.13 ± 0.02	1.97 ± 0.13	2.78 ± 0.20	4.23 ± 0.06
新番 39 号	-12.99 ± 0.03	2.37 ± 0.34	1.47 ± 0.21	6.16 ± 0.03	2.34 ± 0.07	3.19 ± 0.13	3.7 ± 0.09
新番 41 号	-13.87 ± 0.02	2.33 ± 0.01	1.7 ± 0.03	6.87 ± 0.01	2.25 ± 0.03	3.69 ± 0.03	4.52 ± 0.13
深红	-13.57 ± 0.01	2.7 ± 0.01	1.83 ± 0.01	6.52 ± 0.03	2.22 ± 0.01	3.42 ± 0.01	2.53 ± 0.01
石番 29 号	-10.10 ± 0.09	1.62 ± 0.21	0.94 ± 0.01	4.97 ± 0.02	1.55 ± 0.06	1.98 ± 0.06	2.46 ± 0.16
石番 36 号	-12.58 ± 0.02	3.35 ± 0.02	2.16 ± 0.02	6.13 ± 0.02	2.03 ± 0.04	4.41 ± 0.17	1.51 ± 0.10
金番 7 号	-14.79 ± 0.01	1.67 ± 0.01	1.38 ± 0.01	7.33 ± 0.01	2.31 ± 0.01	2.49 ± 0.01	1.83 ± 0.01
新番 40 号	-11.24 ± 0.03	2.25 ± 0.09	1.43 ± 0.01	5.43 ± 0.01	0.87 ± 0.07	5.33 ± 0.01	10.7 ± 0.01
金番 1605	-12.78 ± 0.02	3.05 ± 0.25	1.94 ± 0.01	6.24 ± 0.03	2.17 ± 0.04	5.48 ± 0.04	3.73 ± 0.04
H9888	-12.17 ± 0.04	0.68 ± 0.02	0.99 ± 0.01	5.94 ± 0.07	1.93 ± 0.03	3.76 ± 0.17	5.98 ± 0.04
H9780	-12.28 ± 0.01	0.74 ± 0.04	0.89 ± 0.14	6.03 ± 0.04	2.04 ± 0.05	4.58 ± 0.01	1.58 ± 0.01
H8504	-13.68 ± 0.05	1.7 ± 0.06	1.17 ± 0.02	6.97 ± 0.03	2.39 ± 0.05	3.91 ± 0.04	0.96 ± 0.05
H2401	-11.77 ± 0.39	0.94 ± 0.03	1.21 ± 0.04	5.86 ± 0.17	1.95 ± 0.09	4.44 ± 0.10	3.52 ± 0.09
H3402	-14.48 ± 0.01	1.58 ± 0.01	1.32 ± 0.03	7.09 ± 0.01	2.63 ± 0.06	3.53 ± 0.01	1.07 ± 0.06
新红 49 号	-10.59 ± 0.03	1.89 ± 0.03	1.52 ± 0.03	4.98 ± 0.02	1.52 ± 0.05	4.76 ± 0.01	2.33 ± 0.02
IVF5256	-12.65 ± 0.02	0.78 ± 0.02	1.13 ± 0.01	5.89 ± 0.01	2.11 ± 0.04	3.52 ± 0.02	-0.25 ± 0.03
IVF5306	-10.47 ± 0.03	1.14 ± 0.01	1.22 ± 0.02	5.36 ± 0.01	1.55 ± 0.07	5.5 ± 0.01	-0.19 ± 0.02

表4 不同品种番茄制备番茄酱的滋味间相关性分析(n=20)

Table 4 Correlation analysis between different tastes of tomato paste prepared from different tomato varieties(n=20)

	酸味	苦味	涩味	鲜味	鲜味丰富度	咸味
苦味	-0.091	1				
涩味	-0.17	0.931 **	1			
鲜味	-0.974 **	0.061	0.124	1		
鲜味丰富度	-0.818 **	0.042	0.116	0.799 **	1	
咸味	0.332	0.382	0.494 *	-0.318	-0.329	1
甜味	0.194	0.093	-0.029	-0.212	-0.522 *	0.097

注:**表示极显著相关($P < 0.01$);*表示显著相关($P < 0.05$)。

最低。

2.3 不同品种番茄制备番茄酱各滋味指标的差异性分析

箱形图可以直观明了地识别数据集中的异常值,判断数据集的偏态和尾重,被广泛地应用在产品品质管理和评价研究中。使用电子舌对食品的滋味品质进行测定时,若 2 个样品在某一个滋味指标上的极差值大于 1,则该差异可以通过感官鉴评的方法区分开来^[25]。纳入本研究的 20 种番茄酱样品各滋味指标相对强度值的箱形图如图 2 所示,20 种番茄酱样品在甜味指标上的差异最大,不同样品间甜味强度的极差值为 10.95,其次为酸味、咸味、苦味、鲜味、鲜味丰富度和涩味,其极差值分别为 4.69、3.52、3.00、2.36、1.76 和 1.54。

对 5 个不同熟性来源的番茄制备番茄酱(新番、石番、金番、亨氏和 IVF)各滋味指标进行差异性分析(见表 5),因为其他来源(如新红)只有 1 个品种,不具有代表性,不能说明所属来源的整体滋味特征情况,所以未列出。由表 5 可以看出,晚熟品种的苦

味、涩味和咸味显著大于早熟品种($P < 0.05$),而酸味、鲜味、鲜味丰富度、甜味之间无显著性差异($P > 0.05$)。不同来源的番茄制备的番茄酱,在酸味和苦味上差异较大,其中石番的酸味、鲜味、咸味和鲜味丰富度明显低于其他四个品种,亨氏的苦味和涩味相比于其他品种较低,而 IVF 的甜味与其他品种相比较低。

2.4 不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质主成分分析

在对 20 个不同品种番茄制备的番茄酱样品各滋味指标进行比较分析的基础上,使用主成分分析(PCA)对不同品种番茄制备的番茄酱整体滋味品质的差异性进行了分析,主成分 1 与主成分 2 的因子载荷图如图 3 所示。经 PCA 发现,不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质信息主要集中在前 2 个主成分,其累计方差贡献率为 75.56%。主成分 1 的贡献率为 43.52%,包括鲜味、鲜味丰富度和酸味信息;主成分 2 的贡献率为 32.04%,包含苦味、涩味和咸味信息。由此可见,第一主成分主要由番茄酱的特征性滋味指

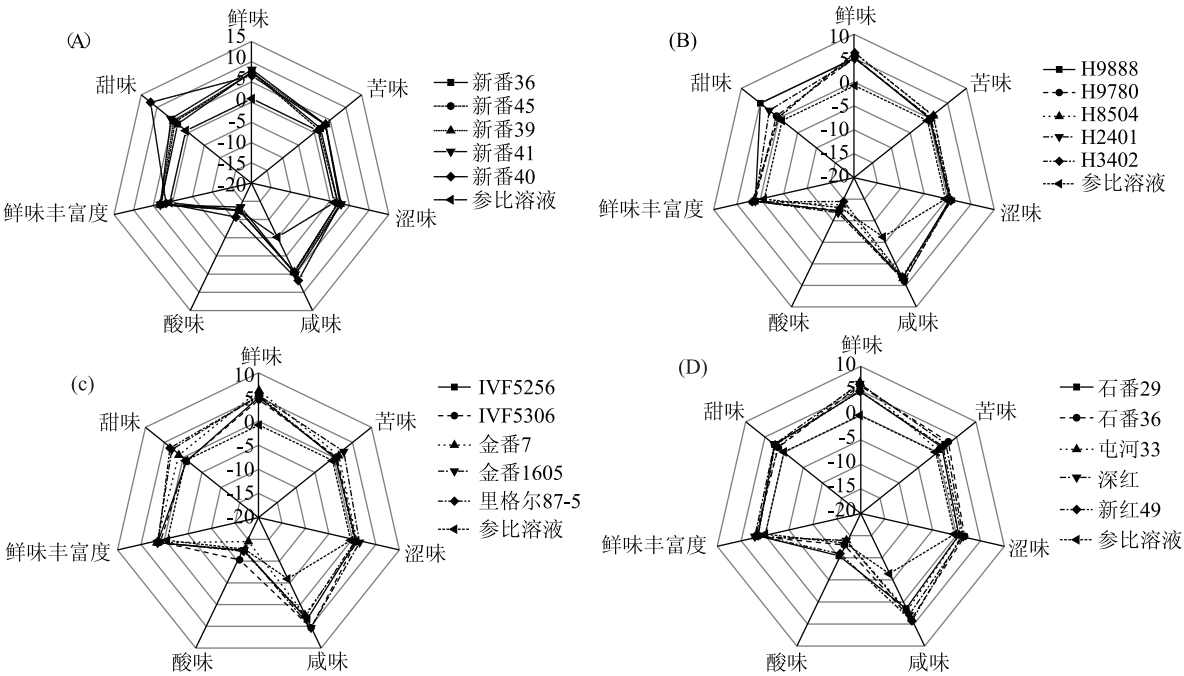


图1 番茄酱滋味属性雷达图
Fig.1 Radar chart of taste attributes of tomato paste

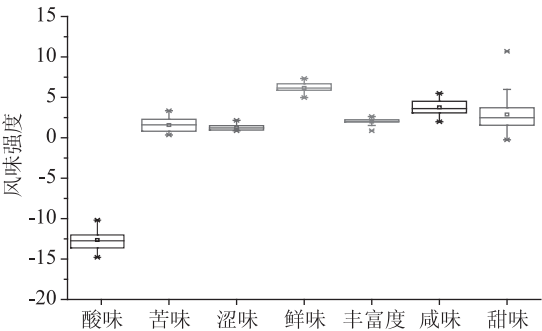


图2 不同品种番茄制备番茄酱各滋味指标相对强度的箱型图 (n=20)

Fig.2 Box plot of relative intensity of each taste index in tomato paste prepared from different tomato varieties (n=20)

2.5 不同品种番茄制备番茄酱整体滋味品质的差异性分析

由于各传感器对不同品种番茄制备番茄酱区分

表5 不同熟性和不同来源的番茄制备番茄酱各滋味指标的差异性分析

Table 5 Significance analysis of taste index in tomato paste prepared from different tomato varieties

味觉	熟性		来源				
	早熟	晚熟	新番	石番	金番	亨氏	IVF
酸味	-12.87 ± 0.59 ^a	-12.5 ± 1.41 ^a	-12.84 ± 0.97 ^{ab}	-11.34 ± 1.75 ^{ab}	-13.79 ± 1.42 ^{ab}	-12.88 ± 1.15 ^a	-11.56 ± 1.54 ^b
苦味	0.65 ± 0.22 ^a	1.80 ± 0.83 ^b	1.63 ± 0.96 ^{ab}	2.49 ± 1.22 ^{ab}	2.36 ± 0.98 ^a	1.13 ± 0.48 ^b	0.96 ± 0.25 ^b
涩味	0.86 ± 0.14 ^a	1.39 ± 0.37 ^b	1.28 ± 0.36 ^a	1.55 ± 0.86 ^a	1.66 ± 0.40 ^a	1.12 ± 0.17 ^a	1.18 ± 0.06 ^a
鲜味	6.31 ± 0.32 ^a	6.11 ± 0.72 ^a	6.20 ± 0.52 ^a	5.55 ± 0.82 ^a	6.79 ± 0.77 ^a	6.38 ± 0.60 ^a	5.63 ± 0.37 ^a
鲜味丰富度	2.02 ± 0.14 ^a	1.99 ± 0.43 ^a	1.94 ± 0.61 ^a	1.79 ± 0.34 ^a	2.24 ± 0.10 ^a	2.19 ± 0.31 ^a	1.83 ± 0.40 ^a
咸味	2.72 ± 0.38 ^a	4.00 ± 1.01 ^b	3.67 ± 0.96 ^a	3.20 ± 1.72 ^a	3.99 ± 2.11 ^a	4.04 ± 0.45 ^a	4.51 ± 1.40 ^a
甜味	3.48 ± 1.59 ^a	2.87 ± 2.67 ^a	4.94 ± 3.30 ^a	1.99 ± 0.67 ^a	2.78 ± 1.34 ^a	2.62 ± 2.14 ^a	-0.22 ± 0.04 ^a

注:含有不同字母的同一行数据间差异显著 (P<0.05)。表7同。

表6 不同品种番茄制备番茄酱滋味品质成分矩阵表

Table 6 Component matrix table of taste indexes in tomato paste prepared from different tomato varieties

味觉	主成分	
	1	2
酸味	-0.943	-0.091
苦味	0.034	0.938
涩味	0.104	0.973
鲜味	0.935	0.062
鲜味丰富度	0.936	0.029
咸味	-0.439	0.632
甜味	-0.449	0.059

的贡献率可能不同,因此采用主成分分析区分 20 种番茄酱,其结果见图 4。每个点代表一个样品,点之间的距离代表样品之间差异大小。由图 4 可以看出,主成分 1 和主成分 2 的累积贡献率为 99.28%,分别为 97.36% 和 1.92%,取前 2 个主成分对应的特征向量所决定的两维子空间就可充分保存原始数据的

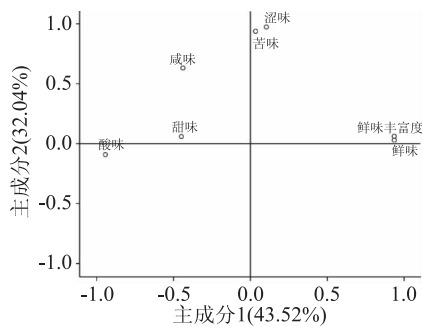


图3 不同品种番茄制备番茄酱滋味品质的主成分1与主成分2因子载荷图

Fig.3 Graphical representation of the principal component analysis of the taste profile of tomato paste from different varieties showing PC₁ and PC₂ factor loading

信息。新番40较其他品种番茄酱的分布区域明显偏左,差异显著,结合图3,可以认为新番40的酸味、甜味和咸味可能较其他样品偏高,与图1观察结果一致。新番45号、H2401和新番39号三个品种间,石番29号和金番1605两个品种间,H9780、金番7号和屯河33号三个品种间、H8504和H3402两个品种间发生重叠,说明利用主成分分析不能有效区分这些品种,其他品种没有互相干扰,存在一定的差异,可以很好地区分。其中新疆农业科学院园艺作物研究所的新番41号、新番45号和新番39号,美国亨氏加工番茄品种H9780、H8504和H3402,中国农业科学院蔬菜花卉研究所 IVF5306、IVF5256有聚类趋势。

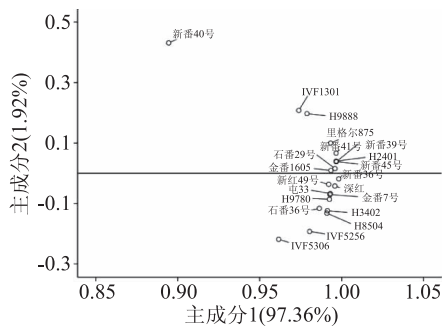


图4 不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质的主成分分析图(n=20)

Fig.4 Principal component analysis of tomato paste prepared from different varieties (n=20)

对滋味品质进行判别分析,结果如图5所示,2个判别因子的总贡献率为96.1%(函数1为83.6%,函数2为12.5%),样品组内离散度小,组间空间距离大,即判别因子分析可以将不同来源的品种(石番、亨氏、新番、IVF)完全区分开。说明DFA法在不同品种番茄制备番茄酱的区分上优于PCA法,能够对不同来源的番茄品种制备的番茄酱进行区分。

2.6 不同品种番茄制备番茄酱整体滋味品质的聚类分析

对电子舌检测所得值进行聚类分析,采用最短距离聚类法,度量标准采用Euclidean距离,得到聚类分析树状图(如图6所示)。由图6可知,可将番茄

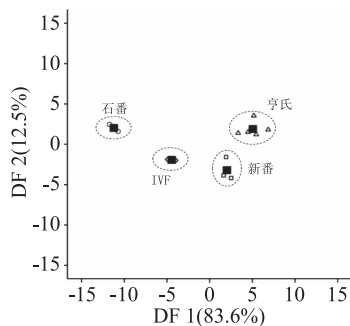


图5 不同品种番茄制备番茄酱的判别因子分析结果

Fig.5 Discriminant factor analysis of

tomato paste prepared from different tomato varieties

酱样品简单地分为4类,第一类包括H8504、H3402、屯河33号、金番7号、IVF5256、新番36号、新番45号、里格尔87-5、H9780、H2401、新番39号、深红、新番41号、金番1605、石番36号,第二类包括H9888,第三类包括新红49号、IVF5306、石番29号,第四类包括新番40号。所有早熟品种(屯河33号、新番36号、新番45号、里格尔87-5)都在第一类,新番40号和H9888显著区别于其他品种。

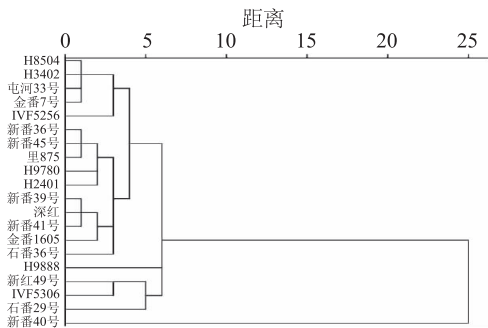


图6 不同品种番茄制备番茄酱整体滋味品质的聚类分析

Fig.6 Cluster analysis of taste profile of

tomato paste prepared from different tomato varieties

不同品种番茄制备番茄酱聚类特性分析结果如表7所示,各类番茄酱的涩味品质没有显著性差异($P > 0.05$),第四类即新番40号的鲜味丰富度显著低于其他各类($P < 0.05$),且甜度显著高于其他各类样品($P < 0.05$)。但前期研究发现,新番40的总糖含量并未显著高于其他品种($P > 0.05$)。根据文献报道,甜味不仅与含糖量有关,还与糖类组成、溶液pH及果胶含量等因素有关^[25]。影响鲜味的指标有游离氨基酸,如丙氨酸、谷氨酸和肌氨酸的含量^[26]。后续将进一步系统研究不同品种糖类和呈味氨基酸组成、含量及果胶含量等与滋味相关的性质指标,对数据进行深入分析,阐明新番40号甜度和鲜味丰富度显著区别于其他品种的原因。

另外,由聚类特性可以看出,第一类的酸味显著高于第三类和第四类($P < 0.05$),第四类的苦味与第一类和第三类没有显著差别($P > 0.05$),但显著高于第二类($P < 0.05$),第三类和第四类的鲜味没有显著差别($P > 0.05$),均显著低于第一类($P < 0.05$),第四类的咸味与第三类没有显著差异($P > 0.05$),但显著高于第一类和第二类($P < 0.05$)。

表7 不同品种番茄制备番茄酱滋味品质的聚类分析

Table 7 Cluster analysis of taste profile of tomato paste prepared from different tomato varieties

类别	酸味	苦味	涩味	鲜味	鲜味丰富度	咸味	甜味
第一类	-13.18 ± 0.83 ^a	1.59 ± 0.96 ^{ab}	1.33 ± 0.42 ^a	6.44 ± 0.47 ^a	2.18 ± 0.18 ^a	3.60 ± 0.84 ^b	2.42 ± 1.38 ^c
第二类	-12.17 ± 0.04 ^{ab}	0.68 ± 0.09 ^b	0.99 ± 0.01 ^a	5.94 ± 0.00 ^{ab}	1.93 ± 0.03 ^b	3.76 ± 0.17 ^b	5.98 ± 2.92 ^b
第三类	-10.39 ± 0.26 ^c	1.55 ± 0.38 ^{ab}	1.23 ± 0.29 ^a	5.10 ± 0.22 ^c	1.54 ± 0.02 ^c	4.08 ± 1.86 ^{ab}	1.53 ± 1.49 ^c
第四类	-11.24 ± 0.03 ^{bc}	2.25 ± 0.02 ^a	1.43 ± 0.01 ^a	5.43 ± 0.03 ^{bc}	0.87 ± 0.07 ^d	5.33 ± 0.01 ^a	10.7 ± 0.59 ^a

3 结论

利用电子舌味觉智能识别系统和多变量统计学方法相结合的手段,发现 20 个不同品种番茄制备番茄酱的滋味品质整体结构存在明显差异,且各滋味指标中甜味差异较大,新番 40 号番茄酱的甜味值显著高于其他品种($P < 0.05$)。晚熟品种的苦味、涩味和咸味显著大于早熟品种($P < 0.05$)。不同来源的番茄制备的番茄酱在酸味和苦味上差异较大。通过判别因子分析,可以将不同来源的品种(石番、亨氏、新番、IVF)完全区分开,2 个判别因子的总贡献率达到 96.1%,判别因子分析对不同来源的番茄品种制备的番茄酱的区分能力显著优于 PCA 法。由此可见,电子舌在不同品种番茄制备番茄酱的来源及熟性类别的区分上具有较大的应用潜力。

参考文献

[1] 赵美佳,邹通,汤泽君,等.番茄营养成分以及国内外加工现状[J].食品研究与开发,2016,37(10):215-218.

[2] 孔媛.世界番茄产品贸易竞争力研究[J].世界农业,2006(3):24-27.

[3] 周清杰,王雪坤,尹俊伟.我国番茄酱加工业的发展与演进[J].食品科学技术学报,2013,31(3):64-68.

[4] 侯晓静.新疆加工番茄品质分析及可控性研究[D].新疆:新疆大学,2013.

[5] Maul F, Sargent S A, Sims C A, et al. Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature [J]. Journal of Food Science, 2010, 65(7):1228-1237.

[6] Koocheki A, Ghandi A, Razavi S M A, et al. The rheological properties of ketchup as a function of different hydrocolloids and temperature [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(3):596-602.

[7] Mert B. Using high pressure microfluidization to improve physical properties and lycopene content of ketchup type products [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 109(3):579-587.

[8] 王栋轩,卫雪娇,刘红蕾.电子舌工作原理及应用综述[J].化工设计通讯,2018,44(2):140-141.

[9] 丛艳君,易红,郑福平.基于电子舌技术不同超声处理时间的奶酪滋味区分[J].食品科学,2015,36(6):114-118.

[10] 李璐琦,葛含静,兰永丽,等.黑米红枣乳酸菌发酵饮料

品质分析[J].西北农业学报,2018,27(9):1387-1394.

[11] 贾洪峰,邓红,何江红,等.电子舌在食品检测中的应用研究进展[J].中国调味品,2013,38(8):12-17.

[12] 戴鑫,于海燕,肖作兵.电子鼻和电子舌在饮料酒分析中的应用近况[J].食品与发酵工业,2012,38(8):114-118.

[13] 薛长风,裴志胜,文攀,等.基于电子舌的茶叶滋味与特征成分相关性分析[J].食品科技,2018,43(7):316-321.

[14] 唐平,许勇泉,汪芳,等.电子舌在茶饮料分类中的应用研究[J].食品研究与开发,2016,37(11):121-126,165.

[15] 易宇文,范文教,彭毅秦,等.鱼香调味汁人工感官评价与电子舌感官分析相关性研究[J].食品科技,2017,42(11):290-294.

[16] 吴让.鸡精调味品的风味特征及影响因素研究[D].上海:上海应用技术大学,2016.

[17] 刘梦婷,沈馨,王念,等.基于电子舌技术市售番茄调味酱滋味品质的分析[J].食品科技,2016,41(11):248-253.

[18] Arrieta ú A, Rodríguezméndez M L, Saja J A D, et al. Prediction of bitterness and alcoholic strength in beer using an electronic tongue[J]. Food Chemistry, 2010, 123(3):642-646.

[19] 杨天意,蒋云升,吴鹏,等.电子舌对果酱的区分识别研究[J].中国调味品,2018,43(8):114-117.

[20] Vercet A, Sanchez C, Burgos J, et al. The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 53(3):273-278.

[21] Panovská, Z Štern P, Váchová A, et al. Textural and flavour characteristics of commercial tomato ketchups [J]. Czech Journal of Food Sciences - UZEI (Czech Republic), 2009, 27(3):165-170.

[22] 胡洁.人工味觉系统——电子舌的研究[D].浙江:浙江大学,2002.

[23] 潘印卿.电子舌技术在食品品质检测与评价中的应用研究[D].河南:河南工业大学,2015.

[24] Ciosek P, Wróblewski W. Sensor arrays for liquid sensing—electronic tongue systems [J]. Analyst, 2007, 132(10):963-978.

[25] 曹荣,赵玲,王联珠,等.基于电子舌技术分析不同采收期紫菜的滋味特征[J].渔业科学进展,2019,40(1):147-154.

[26] 胡嘉杰,康正雄,李洪亮.甜味感受及其影响因素的研究进展[J].饮料工业,2017,20(1):57-60.

(上接第 208 页)

[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2003, 43(6):587-606.

[22] GB/T 1040.3-2006 塑料-拉伸性能的测定:第 3 部分薄膜和薄片的试验条件[S].

[23] 黄智.大豆射频加热过程有限元模拟及均匀性优化研究

[D].杨凌:西北农林科技大学,2018.

[24] 王昆.射频加热系统上极板电压的模型验证和分布均匀性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.

[25] 宋翠,陈淑祥,高翠玲,等.国内外微波食品塑料包装安全性研究现状[J].中国塑料,2010,24(12):102-106.