

基于电子舌的氯吡脒对草莓风味影响的研究

郭琳琳, 罗静, 庞荣丽, 王瑞萍, 乔成奎, 李君, 庞涛, 谢汉忠

(中国农业科学院郑州果树研究所, 河南郑州 450009)

摘要: 在草莓“甜查理”盛花后一周, 喷施清水及4个浓度(2.5、5.0、10、20 mg/L)的氯吡脒, 检测由此产生的草莓果实可溶性固形物、总酸、游离氨基酸、单宁等风味营养品质含量, 电子舌分析技术检测酸、甜、苦、鲜、咸、涩味、苦味回味、涩味回味等味觉指标, 评价氯吡脒的使用及浓度水平对草莓风味营养品质和滋味的影响, 并分析电子舌在检测氯吡脒对草莓滋味影响方面运用的优势。结果表明: 氯吡脒能够提高草莓果实的可溶性固形物的含量, 降低总酸含量, 提高固酸比值, 降低游离氨基酸种类和游离氨基酸总量; 低浓度(2.5、5.0 mg/L)的氯吡脒处理能降低草莓单宁含量, 而高浓度(10、20 mg/L)处理会使单宁含量显著升高; 电子舌味觉分析结果表明低浓度氯吡脒处理可使草莓甜味增加, 酸味降低, 但是咸味和鲜味及与其高度相关(相关系数均为0.99)的苦味也相应降低; 游离氨基酸总量与鲜味值、单宁含量与涩味回味值、总酸含量与酸味值、固酸比与甜味值均呈正相关性。低浓度氯吡脒使用对草莓的甜味、酸味等滋味和风味组成具有正面影响, 而无论氯吡脒浓度使用高低对咸味和鲜味等滋味和风味组成均有负面影响。

关键词: 草莓; 氯吡脒; 电子舌; 风味品质

文章编号: 1673-9078(2019)010-182-188

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.10.025

Electronic Tongue-based Study on the Effect of Clopidogrel Phenyl Urea (CPPU) on the Flavor Quality of Strawberry

GUO Lin-lin, LUO Jing, PANG Rong-li, WANG Rui-ping, QIAO Cheng-kui, LI Jun, PANG Tao, XIE Han-zhong
(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: One week after the 'Sweet Charlie' strawberry trees produced flowers, they were sprayed with water or CPPU at either of the four concentrations (2.5, 5.0, 10, 20 mg/L). The contents of soluble solids, total acid, free amino acids, and tannins of the resultant strawberry fruits were measured. The taste indicators such as sourness, sweetness, bitterness, umami, saltiness, astringency, and aftertaste of bitterness and astringency were analyzed by the electronic tongue technique, to evaluate the effect of CPPU and its concentration on the flavor, nutritional quality and taste of strawberry, as well as the advantages of using electronic tongue to investigate the effect of CPPU on the taste of strawberries. The obtained results showed that the use of CPPU could increase the content of soluble solids, reduce the total acid content, increase the solid-to-acid ratio, and reduce the number of species and total amount of free amino acids in strawberry fruits. Low concentrations (2.5 or 5.0 mg/L) of CPPU could reduce the tannin content of strawberries, whilst high concentrations (10 or 20 mg/L) could increase significantly this content. The results of the electronic tongue analysis, the CPPU treatment at low concentrations could increase the sweetness and reduce sourness, with the corresponding reduction in the saltiness and umami along with their highly correlated bitterness (correlation coefficient: 0.99). There were positive correlations between the total amount of free amino acids and umami, the tannin content and astringency, the total acid content and sourness, the solid-to-acid ratio and sweetness. The CPPU treatments at low concentrations had a positive impact on the sweetness and sourness and associated flavor composition of strawberry. However, a CPPU treatment, regardless of its concentration, had a negative impact on salty and umami tastes and associated flavor composition.

Key words: strawberry; clopidogrel phenyl urea (CPPU); electronic tongue; flavor quality

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(GAAS-ASTIP-2015-ZFR1); 中国农业科学院科技创新工程协同创新项目(GAAS-ASTIP-2019-ZFR1)

作者简介: 郭琳琳(1981-), 女, 助研, 研究方向: 果品品质与质量安全

通讯作者: 谢汉忠(1965-), 男, 研究员, 研究方向: 果品品质与质量安全

果品中糖、酸和氨基酸等营养指标含量对其风味品质的影响极为重要,各单项指标通过理化分析检测对水果风味进行评价,但由于各种呈味之间存在着相互作用,如味觉的对比、相成、变调和相杀等现象,所以单个仪器测得的物理化学特性参数并不能真实全面地反应出样品的味觉特征。电子舌是一种利用选择性、非特异性、交互敏感的多传感器阵列检测液体样品的味觉特征结果,通过合适的多元统计分析方法进行信号模式识别,模拟人类味觉对液体样品各种性质分析检测的新型仪器^[1-3],它可以对味道综合信息进行快速实时的检测和评价。氯吡脲化学名称为N-(2-氯-4-吡啶基)-N'-苯基脲,是细胞分裂素类的一种植物生长调节剂,主要用途是提高果实坐果率和促进果实膨大。目前,我国草莓生产中普遍存在使用氯吡脲的现象。采用电子舌检测技术,并结合理化分析方法来研究氯吡脲对草莓风味营养品质和滋味的影响,对于提高草莓品质具有重要意义。近年来,电子舌在果品方面的应用研究主要集中在电子舌对柑桔^[4-6]、苹果^[7]品牌区分、质量分级、储藏时间识别等方面;高利萍等^[8]为了探讨不同冷藏时间草莓鲜榨汁的品质变化规律,利用电子舌对4℃冷藏草莓鲜榨汁进行逐天的品质检测并进行定性和定量分析,电子舌能够很好的反映出不同冷藏时间草莓的鲜榨汁品质的变化趋势,并能够为草莓鲜榨汁品质的预测提供参考。而电子舌应用于喷施植物生长调节剂后的水果风味品质方面的研究还未见报道。本文以不同浓度氯吡脲处理的草莓果实为研究对象,通过理化分析方法检测果实可溶性固形物、总酸、单宁、游离氨基酸等风味营养品质指标,利用电子舌技术分析草莓果实酸味、甜味、鲜味、咸味、苦味及回味、涩味及回味等味觉变化,探讨氯吡脲处理对草莓风味营养品质和味觉值的影响,电子舌味觉值与理化检测数据的相关性,可为植物生长调节剂对果品品质影响的全面评价提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在河南省中牟县官渡镇温室内进行,以草莓品种‘甜查理’作为试验材料。80 cm起垄,双行栽培于垄背,株行距25 cm×25 cm,常规管理。盛花后一周用4个浓度的氯吡脲2.5 mg/L、5.0 mg/L、10 mg/L、20 mg/L喷施幼果,以清水为对照,每处理重复3次。草莓完全变红成熟后,采摘运回实验室备用。

1.2 仪器与设备

电子舌 TS-5000Z 智能味觉分析系统,日本 INSENT; 809 全自动滴定仪,瑞士万通; 861 离子色谱仪,瑞士万通; SPECORD210 紫外可见分光光度计,德国耶拿; QA300 全自动氨基酸分析仪,德国曼默尔。

1.3 试验方法

1.3.1 电子舌检测准备溶液的配制方法

参照赫君菲^[9]的方法。

1.3.2 电子舌检测样品预处理

每个处理浓度称取80 g草莓浆,2倍稀释,稀释后充分混匀单层纱布过滤,取100 mL过滤后的混合物测试。

1.3.3 电子舌测试方法

首先,在清洗液中清洗90 s,接着用参比液清洗120 s,继续用另一参比液清洗120 s,传感器在平衡位置归零30 s,达到平衡条件后,在草莓滤液中浸泡30 s测试,不同传感器的电势差即为待测样品鲜味、酸味、咸味、苦味和涩味等五个基本味的相对强度值;在两组参比液中分别清洗3 s,传感器插入新的参比液中30 s测试回味。每个样品循环测试4次,仅选取后3次测量的数据作为测试结果。甜味待更换传感器后测定与上述方法相同。

1.3.4 品质理化检测方法

总糖的测定采用菲林试剂滴定法。每个处理取10个果实,可溶性固形物的测定参照《水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定折射仪法》(NY/T 2637-2014)^[10]。总酸含量的测定参照《食品中总酸的测定》(GB/T 12456-2008)^[11]。游离氨基酸的测定参照《国家食品安全标准食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)^[12]。单宁的测定参照农业行业标准《水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定分光光度法》(NY/T1600-2008)^[13]。

1.3.5 数据统计

使用 SPSS 17.0 中的理化和电子舌信息数据进行差异性显著分析(*t* 检验)和 Pearson 相关性分析,TS-5000Z 所测味觉指标的图形及数据处理均在仪器终端管理服务器的数据库中完成。

2 结果

2.1 电子舌对不同浓度氯吡脲处理的草莓果

实味觉指标分析

电子舌采用了类似于人类舌头味觉细胞工作原理

的人工脂膜传感器技术,可以客观数字化的评价食品或药品等样品的酸味、甜味、苦味、咸味、鲜味、涩味等基本味觉指标,同时还可以分析苦味的回味、涩味的回味。在整个测量过程中,味觉传感器具有整体选择性,就像人的舌头一样,可以对同一种味道具有连续性的响应,可实现对样品味觉特征的总体评价^[14]。这个传感器技术的响应状态同人的舌头对味道的响应极为相似,如图1所示,味觉传感器上的脂膜通过静电作用和疏水作用同不同的味觉物质发生反应,导致脂膜上的膜电势发生变化,这种变化会通过传感器输出终端的计算机检测到,并依据韦伯-费希纳定律将差值转化为味觉数值^[15]。由于可感知的最小浓度差为20%,将此定义为一个刻度,低于1个刻度,不经过专业训练的普通人感知不到味觉的差异^[16-18]。

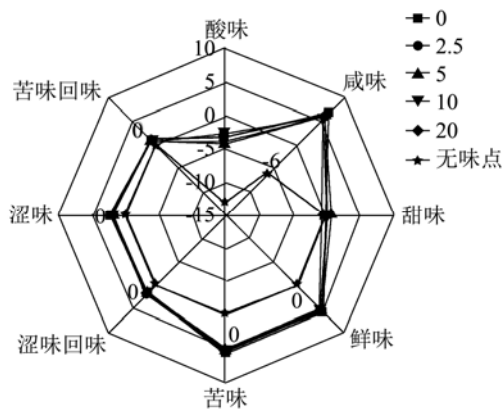


图1 草莓味觉指标雷达图

Fig.1 Radar chart of strawberry taste index

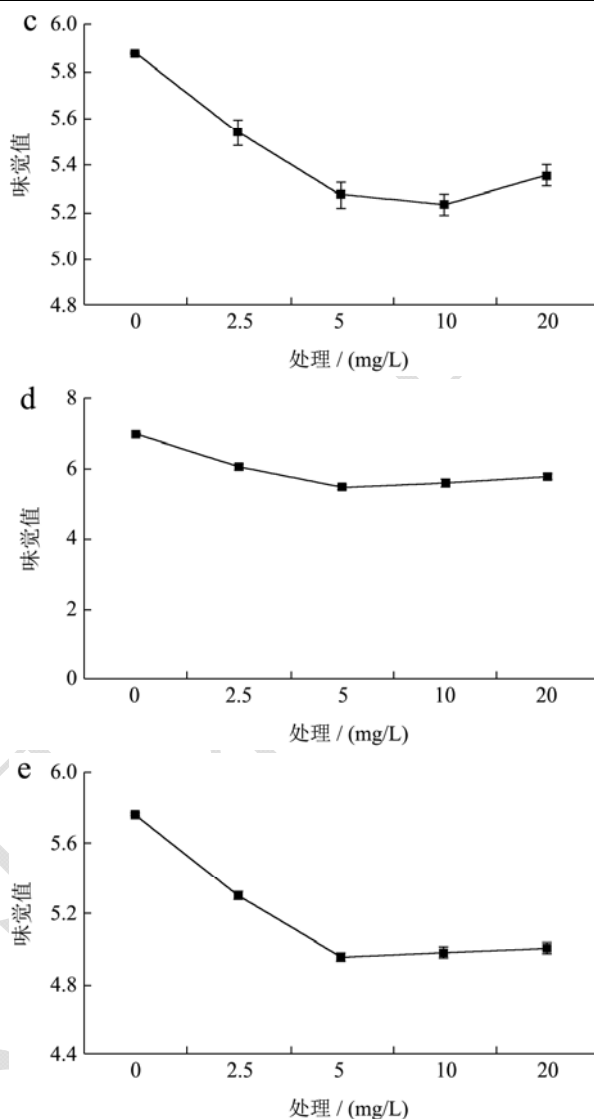
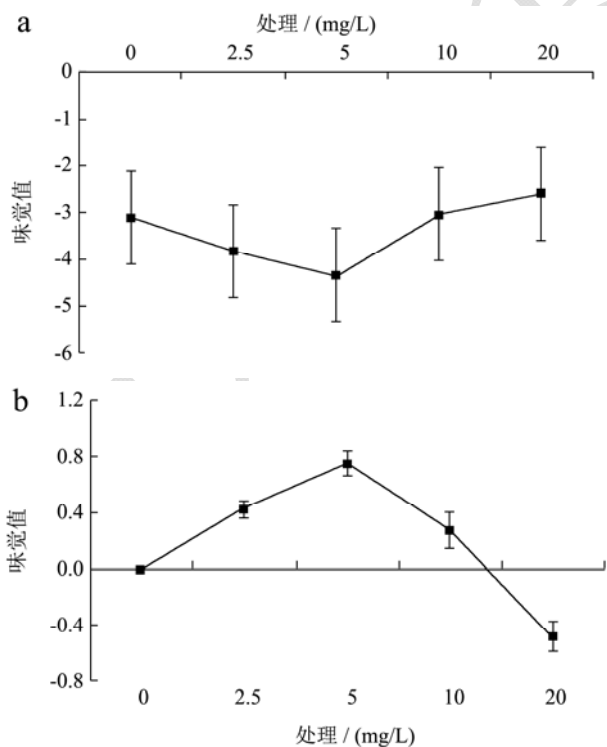


图2 不同浓度氯吡脞处理对草莓味觉的影响

Fig.2 Effect of E-tongue taste value in different CPPU treated strawberry

以基准溶液的输出为无味点,除了酸味和咸味,其他指标的无味点均为0,因为基准溶液中含有少量的酸和盐,酸味和咸味的无味点分别为-13和-6,将大于无味点的味觉项目作为评价对象,小于无味点的味觉项目判定为该样品没有的味道(甜味除外)。不同浓度氯吡脞处理的草莓滤液引起电子舌传感器电势输出发生变化,将其转化为味觉信息,绘制成雷达图,见图1,从雷达图可以看出,所有的味觉指标均大于无味点(甜味除外),均可作为评价指标,由于甜味的检测值较小,故以内插差分法处理,对照样品的甜味为0。根据极差值判断不同浓度氯吡脞处理的草莓,味觉差异主要体现为酸味、咸味、甜味、苦味和鲜味等方面。

从表1和图2中可以看出,电子舌能准确量化草

莓果实内的酸、甜、苦、鲜、咸、涩、苦味回味、涩味回味等味觉指标,并能区分各处理间的差异,而这种差异是由于酸味、咸味、甜味、苦味和鲜味等5个指标的变化导致。CPPU处理后草莓果实电子舌味觉值中,变化极差值从大到小排列依次为酸味1.73、咸味1.5、甜味1.22、鲜味0.81、苦味0.65、涩味回味0.21、涩味0.17、苦味回味0.15。其中处理后的草莓酸味值先逐渐减小,5 mg/L酸味值最低,浓度大于5 mg/L时,酸味逐渐增大,且20 mg/L浓度的酸味值显著高于对照;咸味值和鲜味值对照均高于氯吡脞处理,随着处理浓度增大咸味值和鲜味值分别逐渐降低,其

中5 mg/L处理咸味值和鲜味值分别达到最低为5.49和4.95;不同处理对草莓甜味的影响差异显著,随着处理浓度的升高呈现先增大后减小的趋势,5 mg/L处理后甜味最大为0.75,20 mg/L处理后甜味最低为-0.47;不同处理对草莓苦味的影响差异显著,随着浓度的升高,苦味逐渐降低,浓度达到10 mg/L时苦味降至最低为5.23,20 mg/L苦味少量增加,但仍显著低于对照;涩味回味随着处理浓度增加的变化趋势为先减小后增大,20 mg/L浓度处理的果实涩味回味显著高于其他处理;对照果实涩味显著高于处理。

表1 不同浓度氯吡脞处理草莓电子舌味觉值

Table 1 The E-tongue taste value of different CPPU treated strawberry

处理	酸味	咸味	甜味	鲜味	苦味	涩味回味	涩味	苦味回味
CK	-3.12±0.00 ^b	6.99±0.00 ^a	0.00±0.00 ^c	5.76±0.00 ^a	5.88±0.00 ^a	1.49±0.00 ^b	2.19±0.00 ^a	0.83±0.00 ^b
2.5(mg/L)	-3.84±0.01 ^c	6.06±0.08 ^b	0.43±0.06 ^b	5.30±0.02 ^b	5.54±0.05 ^b	1.47±0.03 ^{bc}	2.04±0.09 ^b	0.79±0.02 ^c
5(mg/L)	-4.34±0.06 ^d	5.49±0.05 ^d	0.75±0.09 ^a	4.95±0.02 ^c	5.27±0.06 ^{cd}	1.44±0.02 ^c	2.02±0.07 ^b	0.70±0.01 ^d
10(mg/L)	-3.05±0.05 ^b	5.61±0.11 ^{cd}	0.02±0.13 ^c	4.98±0.03 ^c	5.23±0.05 ^d	1.55±0.06 ^{ab}	2.03±0.05 ^b	0.75±0.02 ^c
20(mg/L)	-2.61±0.02 ^a	5.77±0.08 ^{bc}	-0.47±0.11 ^d	5.00±0.03 ^c	5.35±0.05 ^c	1.65±0.06 ^a	2.11±0.02 ^b	0.85±0.01 ^a
极差值	1.73	1.5	1.22	0.81	0.65	0.21	0.17	0.15

注:同列数据后不同字母表示不同处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

表2 草莓味觉指标的相关性分析

Table 2 Related analysis of strawberry E-tongue taste value

味道	酸味	咸味	甜味	鲜味	苦味	涩味回味	涩味	苦味回味
酸味	1.00							
咸味	0.25	1.00						
甜味	-0.93 ^{**}	-0.30	1.00					
鲜味	0.12	0.99 ^{**}	-0.17	1.00				
苦味	0.13	0.99 ^{**}	-0.23	0.99 ^{**}	1.00			
涩味回味	0.88 ^{**}	-0.17	-0.88 ^{**}	-0.30	-0.26	1.00		
涩味	0.56	0.86 ^{**}	-0.66	0.78 [*]	0.82 [*]	0.25	1.00	
苦味回味	0.77 [*]	0.59	-0.90 ^{**}	0.50	0.56	0.63	0.78 [*]	1.00

注:**表示在0.01水平上显著相关;*在0.05水平上显著相关。下同。

水果蔬菜中均含有丰富性的有机酸盐,咸味传感器的响应值反应是样品中有机酸盐的含量,结果表明,喷施低浓度氯吡脞,可使草莓甜味增加,酸味降低,此结果与苏杭等^[19]研究结果相一致;但是咸味和鲜味,以及与其高度相关的苦味也相应降低,此结果是对前人研究结果的进一步补充。

2.2 味觉指标的相关性分析

根据相关矩阵直观检验原则,利用SPSS软件计算相关系数矩阵,结果如表2所示。不同氯吡脞浓度处理的草莓果实味觉值的甜味与酸味、涩味回味和苦味回味分别呈极显著负相关,相关系数分别为-0.93、

-0.88和-0.90,说明甜味值增高,酸味、涩味回味和苦味回味值相应减小;酸味与涩味回味和苦味回味分别呈极显著和显著正相关,相关系数分别为0.88和0.77,说明酸味值增高,涩味回味和苦味回味值也相应增高;咸味与鲜味、苦味和涩味分别呈极显著正相关,相关系数分别为0.99、0.99和0.86,说明咸味值增高,鲜味、苦味和涩味值也相应增高;苦味与涩味呈显著正相关,相关系数为0.82,说明苦味值增高,涩味值也相应增高。此结果也表明了电子舌在草莓风味评价应用中,味觉指标之间具有一定的规律性,而其他草莓品种或者其他果品中是否存在类似的规律,有待研究。

2.3 不同浓度氯吡脞处理草莓对果实理化指

标的影响及与味觉指标的相关性分析

2.3.1 不同浓度氯吡脞处理对草莓果实的理化指标影响

由表 3 可看出, 随着 CPPU 处理浓度的增加, 草

莓总酸含量先降低后略有升高, 当浓度为 5 mg/L 时, 总酸含量最低为 0.70 g/100 g, 固酸比最高为 12.2, 与对照相比差异显著; 可溶性固形物含量先升高后降低, 当浓度为 2.5 mg/L 时, 可溶性固形物含量最高为 8.93 g/100 g, 与对照相比差异显著; 单宁含量先降低后升高, 当浓度为 5 mg/L 时, 单宁含量最低为 1.39 g/kg, 与 10 mg/L 和 20 mg/L 处理具有显著性差异。

表 3 不同浓度氯吡脞处理对草莓果实主要风味营养品质含量的影响

Table 3 Effects of different concentrations of CPPU on flavor quality index

处理	可溶性固形物/ ^o Brix	总酸/(g/100 g)	固酸比	单宁/(g/kg)
0 mg/L	8.07±0.34 ^b	0.80±0.03 ^a	10.1±0.77 ^b	1.44±0.06 ^{bc}
2.5 mg/L	8.93±0.09 ^a	0.76±0.04 ^{ab}	11.8±0.54 ^{ab}	1.40±0.02 ^c
5 mg/L	8.60±0.16 ^{ab}	0.70±0.17 ^b	12.2±0.50 ^a	1.39±0.03 ^c
10 mg/L	8.47±0.09 ^{ab}	0.75±0.07 ^{ab}	11.4±5.31 ^{ab}	1.60±0.10 ^a
20 mg/L	8.40±0.43 ^{ab}	0.75±0.03 ^{ab}	11.2±0.96 ^{ab}	1.54±0.02 ^{ab}

表 4 不同浓度 CPPU 处理对草莓游离氨基酸含量的影响 (mg/100 g)

Table 4 Effect of free amino acid content in different CPPU treated strawberry (mg/100 g)

氨基酸/(mg/100 g)	处理				
	CK	2.5 mg/L	5 mg/L	10 mg/L	20 mg/L
天门冬氨酸	9.06±1.98 ^a	7.70±0.58 ^b	5.91±0.54 ^c	6.73±1.02 ^c	6.29±0.74 ^d
苏氨酸 Thr	41.4±4.39 ^a	32.3±0.70 ^b	24.9±1.37 ^d	28.1±2.84 ^c	21.0±1.18 ^d
丝氨酸	18.4±1.25 ^a	16.1±1.82 ^b	14.0±0.63 ^c	13.9±1.01 ^c	12.6±1.59 ^d
谷氨酸 Glu	12.6±1.11 ^a	10.6±0.52 ^b	10.9±2.56 ^b	10.0±0.91 ^c	9.52±0.80 ^d
甘氨酸	1.78±0.11 ^b	1.88±0.16 ^b	1.77±0.13 ^b	1.61±0.22 ^c	4.69±0.60 ^a
丙氨酸	28.2±2.91 ^a	26.4±5.46 ^b	27.7±3.05 ^{ab}	24.6±1.72 ^c	16.0±1.35 ^d
缬氨酸	2.35±0.23 ^a	1.49±0.38 ^c	2.06±0.00 ^b	1.51±0.28 ^c	2.47±0.39 ^a
蛋氨酸	1.10±0.02 ^c	1.65±0.00 ^a	1.45±0.00 ^b	0.00±0.00 ^d	0.00±0.00 ^d
异亮氨酸	1.09±0.00 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b
酪氨酸	1.82±0.11 ^a	1.31±0.27 ^c	1.76±0.02 ^a	1.34±0.04 ^c	1.47±0.33 ^b
苯丙氨酸	3.93±1.55 ^a	3.12±1.68 ^b	2.31±0.55 ^c	1.78±0.78 ^d	2.44±0.39 ^c
组氨酸	1.82±0.14 ^b	1.50±0.37 ^c	1.36±0.12 ^d	1.33±0.09 ^d	2.52±0.10 ^a
总量	124±12.1 ^a	104±8.46 ^b	94.2±4.93 ^c	91.0±4.78 ^d	80.0±3.54 ^e

氯吡脞能够提高草莓果实的可溶性固形物的含量, 降低总酸含量, 从而提高固酸比值, 这一结论与前人的研究结果相似, 可能因为氯吡脞可以促进果实内光合产物积累, 改善果实碳水化合物的代谢, 增加生长期可溶性糖和淀粉含量^[20]。并且发现低浓度氯吡脞处理的草莓糖酸风味优于高浓度处理, 此结果与费学谦等^[21]在猕猴桃中的研究结果一致。单宁是与涩味相关的一类物质, 本研究结果表明低浓度的氯吡脞处理能降低草莓单宁含量, 而高浓度处理会使单宁含量显著升高。

游离氨基酸是多功能团分子, 味感丰富, 即是重要的风味物质, 也是营养价值的重要指标^[22], 由表 4 可看出, 随着氯吡脞处理浓度的增加, 12 种游离氨基

酸总量与对照相比, 一直呈现降低趋势, 对照的游离氨基酸总量最高为 124 mg/100 g, 当氯吡脞浓度为 20 mg/L 时, 游离氨基酸总量最低为 80.0, 低于对照 33.5%, 具有显著性差异。氯吡脞处理降低草莓游离氨基酸种类和游离氨基酸总量, 氯吡脞无论浓度高或低均可使草莓风味受到影响。

2.3.2 不同浓度氯吡脞处理后草莓果实的理化指标与味觉指标间的相关性分析

味觉分析系统可以定量得出不同处理草莓果实的酸、甜、鲜、咸、苦、涩及其相应的回味, 为了进一步考察仪器测试的味觉值与理化指标分析的一致性, 分别对 5 个处理草莓果实的味觉值与理化分析值线性拟合。

表 5 电子舌味觉值与风味品质指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of E-tongue taste value and flavor quality index

指标	酸味	咸味	甜味	鲜味	苦味	涩味回味	涩味	苦味回味
固酸比	-0.67*	-0.85*	0.63*	-0.77*	-0.72*	-0.28	-0.94**	-0.72*
总酸	0.58*	0.88*	-0.52	0.85*	0.83*	0.17	0.79*	0.76*
单宁	0.78*	-0.27	-0.72*	-0.36	-0.41	0.78*	0.00	0.23
游离氨基酸总量	-0.28	0.79*	0.36	0.87**	0.81*	-0.69*	0.42	0.00

由表 5 可以看出,酸味值与单宁含量和总酸含量分别呈显著正相关,相关系数分别为 0.78 和 0.58;甜味值与固酸比呈显著正相关,相关系数为 0.63;鲜味值与游离氨基酸总量呈极显著正相关,相关系数为 0.95;涩味回味值与单宁含量呈显著正相关,相关系数为 0.78,而涩味值与单宁含量的相关系数为 0,表明单宁物质代表的涩味主要是通过回味体现的,说明电子舌味觉数值和理化检测数据之间存在一定的线性相关性,可互为验证。同时也印证了电子舌分析技术可以代替人舌头或传统理化实验,更精细直观全面的反映出果实风味变化。然而,是否能通过组建电子舌评价模型预测或区分草莓氯吡脞施用情况还需要做更深入的研究。

3 结论

本研究采用电子舌技术、理化分析试验和多变量统计学方法相结合的手段,对施用不同浓度氯吡脞的草莓果实的风味品质分别进行了评价分析,电子舌分析的滋味值与理化检测风味品质数据具有一定相关性,低浓度氯吡脞使用对草莓的甜味、酸味等滋味和风味组成具有正面影响,而无论氯吡脞浓度高低对咸味和鲜味等滋味和风味组成均有负面影响。

参考文献

- [1] Tian S Y, Deng S P, Chen Z X. Multifrequency large amplitude pulse voltammetry: A novel electrochemical method for electronic tongue [J]. Sensors and Actuators B, 2007, 123(2): 1049-1056
- [2] Vlasov Y G, Legin A V, Rudnitskaya A M, et al. Electronic tongue-new analytical tool for liquid analysis on the basis of non-specific sensors and methods of pattern recognition [J]. Sensors and Actuators B, 2000, 65(1/2): 235-236
- [3] Ciosek P, Wroblewski W. Performance of selective and partially selective sensors in the recognition of beverages [J]. Talanta, 2007, 71(2): 738-746
- [4] Piroška H, István D. Physical-chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus juices [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2011(8): 1-21
- [5] Hans R, Fritz S, Otmar Z. Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements [J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(10): 1906-1912
- [6] Philip E S, Russell L R, Kevin L G, et al. Comparison of headspace gc and electronic sensor techniques for classification of processed orange juices [J]. Lebensm.-Wiss. u.-Technol, 2000, 33(5): 331-334
- [7] Rebecca N B, Herbert S, Tsung T, et al. Comparison of sensory and consumer results with electronic nose and tongue sensors for apple juices [J]. Food Quality and Preference, 2002, 13(6): 409-422
- [8] 高利萍,王俊,崔绍庆.电子舌检测不同冷藏时间草莓鲜榨汁的品质变化[J].农业工程学报,2012,28(23):250-256
GAO Li-ping, WANG Jun, CUI Shao-qing. Evaluation for fresh juice of strawberries with different storage period using electronic tongue [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(23): 250-256
- [9] 赫君菲,耿利华,陈庆森,等.咖啡味觉量化的初步研究[J].食品工业科技,2014,35(9):307-311
HE Jun-fei, GENG Li-hua, CHEN Qing-sen, et al. Initial research of quantifying coffee taste evaluation [J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(9): 307-311
- [10] NY/T 2637-2014,水果和蔬菜可溶性固形物含量的测定折射仪法[S]
NY/T 2637-2014, Refractometric Method for Determination of Total Soluble Solids in Fruits and Vegetables [S]
- [11] GB/T 12456-2008,食品中总酸的测定[S]
GB/T 12456-2008, Determination of Total Acid in Foods [S]
- [12] GB5009.124-2016,食品中氨基酸的测定[S]
GB5009.124-2016, Determination of Amino Acid in Foods [S]
- [13] NY/T1600-2008,水果、蔬菜及其制品中单宁含量的测定分光光度法[S]
NY/T1600-2008, Determination of Tannin Content in Fruit, Vegetable and Derived Product-spectrophotometry method [S]

- [14] 陈美丽.基于感官审评与化学计量学的茶叶色香味品质研究[D].杭州:浙江大学,2013
CHEN Mei-li. Quality study of tea color, aroma, taste based on sensory evaluation and chemometrics [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013
- [15] Kobayashi Y, Habata M, Ikezaki H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores [J]. *Sensors*, 2010, 10(4): 3411-3443
- [16] Pfaffmann, C. The sense of taste. In *Handbook of Physiology, Neurophysiology* [M]. Field, J., Eds., Baltimore, MD, USA: Williams & Wilkins, 1959: 507-533
- [17] Beider, L.M. Part 2 Taste. In *Handbook of Sensory Physiology IV: Chemical Senses* [M]. Beider, L M Ed., Berlin: Springer-Verlag, 1971: 200-220
- [18] Schutz H G, Pilgrim F J. Differential sensitivity in gestation [J]. *Journal of Experimental Psychology*, 1957, 54(1): 41-48
- [19] 苏杭,王琦,李春梅,等.植物生长调节剂噻苯隆对甜瓜品质的影响[J].*中国农业科学*,2018,51(16):3095-3105
SU Hang, WANG Qi, LI Chun-mei, et al. Effects of plant growth regulators thidiazuron on melon quality [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(16): 3095-3105
- [20] Antognozzi E, Battistelli A, Famiani F, et al. Influence of CPPU on carbohydrate accumulation and metabolism in fruits of *Actinidia chinensis* (A.Chev.) [J]. *Scientia Horticulture*, 1996, 65: 37-47
- [21] 费学谦,方学智,丁明,等.不同浓度 CPPU 处理对中华猕猴桃生长于营养品质的影响[J].*农业环境科学学报*,2005,24: 30-33
FEI Xue-qian, FANG Xue-zhi, DING Ming, et al. Effect of different concentrations of CPPU on growth and nutritional quality of *Actinidia chinensis* plant [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24: 30-33
- [22] 丁耐克.食品风味化学[M].中国轻工业出版社,1996
DING Nai-ke. *Food Flavor Chemistry* [M]. China Light Industry Press, 1996

(上接第 154 页)

- [24] 孙圣麟,刘鹏飞,秦洋,等.改性方式及马来酸酐添加量对淀粉/聚羟基脂肪酸酯复合膜性能的影响[J].*食品科学*,2018,7: 221-229
SUN Sheng-lin, LIU Peng-fei, QIN Yang, et al. Effects of modification methods and maleic anhydride content on the properties of starch/polyhydroxyalkanoate composite films [J]. *Food Science*, 2018, 7: 221-229
- [25] Clough S, Rhodes M B, Stein R S. The transmission of light by films of crystalline polymers [J]. *Journal of Polymer Science Polymer Symposia*, 1967, 18(1):1-32
- [26] 王文生,王旭霞.聚合物结晶度对注塑制品性能影响的研究[J].*图书情报导刊*,2002,12(3):116-117
WANG Wen-sheng, WANG Xu-xia. Study on the influence of polymer crystallinity on the properties of injection molding products [J]. *Library and Information Guide*, 2002, 12(3): 116-117
- [27] 董峰.基于果蔬包装的纳米纤维素/壳聚糖复合膜的制备、性能及应用[D].哈尔滨:东北林业大学,2015
DONG Feng. Preparation, property and application of nanocellulose/chitosan composite film based on fruit and vegetable package [D]. Haerbin: Northeast Forestry University, 2015
- [28] Savadekar N R, Mhaske S T. Synthesis of nano cellulose fibers and effect on thermoplastics starch based films [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2012, 89(1):146-151
- [29] Azeredo Henriette M C, Mattoso Luiz H C, Wood D, et al. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers [J]. *Journal of Food Science*, 2009, 74(5): 31-35

(上接第 217 页)

- [11] Gezimati J, Creamer L K, Singh H. Heat-induced interactions and gelation of mixtures of β -lactoglobulin and α -lactalbumin [J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 1997, 45: 1130-1136
- [12] Schmitt C, Moitzi C, Bovay C, et al. Internal structure and colloidal behaviour of covalent whey protein microgels obtained by heat treatment [J]. *Soft Matter*, 2010, 6: 4876-4884
- [13] Yuan D B, Hu Y Q, Zeng T, et al. Development of stable Pickering emulsions/oil powders and Pickering HIPEs stabilized by gliadin/chitosan complex particles [J]. *Food & Function*, 2017, 8: 2220-2230
- [14] Liu F, Tang C H. Soy protein nanoparticle aggregates as Pickering stabilizers for oil-in-water emulsions [J]. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 2013, 61: 8888-8898