电子舌与感官评定对咸度评价的比较

黄孝闯,张雅玮,任晓镁,朱玉霞,刘世欣,鲍英杰,刘成花,李　顺,彭增起*
(南京农业大学食品科技学院,江苏南京 210095)

摘　要:本文以氨基酸、有机酸与氯化钠的混合溶液为研究对象,利用电子舌和感官评定方法对该混合溶液的咸度等味道进行评定。电子舌同时对溶液的咸、酸、苦、涩、甜五种味道进行评定,感官方法只对溶液的咸度进行评定。通过对电子舌评定结果和感官评定结果进行主成分分析和相关性分析,发现两者呈现显著正相关($r=0.969$,$p<0.01$)。由此可知,电子舌可以对溶液的咸度进行客观准确地评定。

关键词:电子舌,感官评定,咸度,相关性分析

Comparison of electronic tongue and sensory on evaluation of saltiness

HUANG Xiao-chuang, ZHANG Ya-wei, REN Xiao-pu, ZHU Yu-xia,
LIU Shi-xin, BAO Ying-jie, LIU Cheng-hua, LI Shun, PENG Zeng-qi*
(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The saltiness of the mixtures of amino acid, organic acid and sodium chloride was evaluated by electronic tongue system and sensory evaluation method. The saltiness, sourness, bitterness, astringent and sweetness of the solution were evaluated by electronic tongue system but only the saltiness was evaluated by sensory evaluation method. Based on Principal component analysis and Pearson correlation analysis, it was found that the results evaluated by electronic tongue were almost similar to the results by sensory evaluation. There were significant positive correlation ($r=0.969$, $p<0.01$) between the saltiness results of electronic tongue and sensory evaluation. Accordingly, electronic tongue system could evaluate the saltiness of solutions accurately and objectively.

Key words: electronic tongue; sensory evaluation; saltiness; correlation analysis
中图分类号:TS201.1　　**文献标识码:**A　　**文 章 编 号:**1002-0306(2017)11-0285-06
doi:10.13386/j.issn1002-0306.2017.11.046

食盐是人们日常生活所必需的调味品,氯化钠是其主要成分。氯化钠具有维持细胞外液渗透压和调节体内酸碱平衡的作用,是人体必不可少的重要物质。然而食盐的过量摄入会诱发一系列疾病,如高血压和心血管疾病等[1-3],严重威胁人们的身体健康。为了减少氯化钠的摄入量,关于食盐替代物的研究越来越多。为了开发新型的食盐替代物,国内外有许多关于酸、甜、苦等其他味道对氯化钠咸度的影响的研究[4]。Prescott 等研究发现 0~18 mmol/L 柠檬酸对 0.15 mol/L 和 0.3 mol/L 氯化钠溶液的咸度有增强作用[5],而 0~19 mg/mL 蔗糖对 1.5~40 mg/mL 氯化钠溶液的咸度却没有影响[6],鲜味物质谷氨酸钠(MSG)也可以增强食物的咸度[7]。在食盐替代物的研究过程中必不可少的就是对咸度的评定,通过反复的评定最终筛选出咸度适宜的最佳低钠盐配比。目前检测食品质量和味道的方法主要有感官评定法和电子舌评定法。上述研究中均是采用感官评定方法,由专业的感官评定人员对样品的咸度进行评定。感官评定需要经过长期训练、拥有特殊味觉判别能力的专业人士来进行判断。此外,人的感觉器官在分辨力、敏感度、稳定性等方面存在个体差异,并且很容易受外界因素的干扰[8]。而电子舌是模仿人体味觉机理研制出来的一种智能识别电子系统,是近年来发展起来的一种分析、识别液体味道的新型检测手段[9-10]。相比之下,电子舌检测技术的结果输出比传统感官评定结果输出更加快速、稳定和标准。电子舌检测技术在饮料鉴别与区分[11]、酒类产品(啤酒、清酒、白酒和红酒)[12-15]区分与品质检测、农产品

收稿日期:2016-12-27
作者简介:黄孝闯(1991-),男,硕士研究生,研究方向:畜产品加工与质量控制,E-mail:2014108047@njau.edu.cn。
* 通讯作者:彭增起(1956-),男,博士,教授,研究方向:畜产品加工与质量控制,E-mail:zqpeng@njau.edu.cn。
基金项目:国家自然科学基金(31601491)。

表1 氯化钠和氨基酸、有机酸的浓度(mg/mL)

Table 1 Levels of sodium chloride, amino acid and organic acid(mg/mL)

浓度水平	氯化钠	L-谷氨酸	L-赖氨酸	柠檬酸	苹果酸
1	1.83	0.38	0.23	0.26	0.19
2	3.66	1.54	0.94	1.03	0.76
3	7.31	7.68	4.68	4.14	3.02
4	14.63	–	–	–	–
5	29.25	–	–	–	–

识别与分级[16-17]、航天医学检测[18]、制药工艺研究[19-20]、环境监测[21]等中有较多应用。牛云蔚[22]等对五种不同樱桃酒的属性(酸、甜、苦、涩)进行感官评价和电子舌分析,利用主成分分析对电子舌区分樱桃酒的能力进行了评价,发现感官评价结果与电子舌分析结果之间具有较高的相关性。

然而,关于电子舌在食盐替代物研究中对咸度的评定却鲜有报道。因此,本实验采用日本INSENT公司的SA402B电子舌,以添加氨基酸、有机酸的氯化钠混合溶液为研究对象,对其咸度进行评定,并与感官评定结果进行比较,探究电子舌在咸度评定上的适用性以及在食盐替代物研究中的应用前景。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

氯化钠、氨基酸,有机酸均为食品级 购买于Sigma公司。

电子舌(型号:SA402B) 日本INSENT公司。

AL104型电子天平 上海Mettler Toledo公司。

1.2 氯化钠混合溶液的配制

本文选取L-谷氨酸(L-Glu)、L-赖氨酸(L-Lys)、L-柠檬酸(L-Citric)、L-苹果酸(L-Malic)为研究对象,以0.03125、0.0625、0.125、0.25、0.50 mol/L(即1.83、3.66、7.31、14.63、29.25 mg/mL)的氯化钠作为反应浓度[23-24]。将不同浓度的谷氨酸、赖氨酸、柠檬酸、苹果酸(表1所示)分别添加至1.83、3.66、7.31、14.63、29.25 mg/mL的氯化钠溶液当中,配制成4组不同的溶液。

1.3 感官评定

溶液咸度的感官评价采用9分制定量描述性评分法(9=非常强烈,7=强烈,5=适中,3=微弱,1=几乎感觉不到)。以纯净水(咸度分数为1)和0.625 mol/L氯化钠溶液(咸度分数为9)为参比液[6,23]。在参加正式实验之前,感官评定人员先对0.2%、0.4%、0.8%、1.0%和1.5%(w/v)NaCl溶液的咸度进行评定并按照咸度依次增加的顺序进行排列。最终筛选出15名排列正确的人员,其中8名女生,年龄在20~30岁之间[25]。在进行感官评定实验之前至少1 h之内,除纯净水外,感官评定人员不得进食其他食物和饮料。所有评定人员只对溶液的咸度进行评分,不考虑其他的味道。每次品尝量为5 mL,每次评定结束后用去离子水漱口,且两次评定之间间隔60 s。混合溶液在评定前24 h完成配制,放置在4 ℃条件下[26-27],于感官评定之前取出,待溶液温度至室温后再进行感官评定。

1.4 电子舌评定

味觉信号采用日本INSENT公司的SA402B电子舌系统进行检测。采用同人舌头味觉细胞工作原理相类似的人工脂膜传感器技术,选用CAO、COO、AE1、AAE、CTO 5个传感器阵列和一个参比电极(Ag/AgCl),可以将电信号强度转换为对应的味觉信号强度,从而能够数字化的评价样品的酸味、苦味、涩味、鲜味、咸味5个基本味觉感官指标,同时分析出苦的回味、涩的回味和鲜的回味(丰富度)[28-29]。CAO获取的电信号强度对应转换为样品的酸味强度,COO反映样品的苦味强度,AE1反映样品的涩味强度,AAE反映样品的鲜味强度,CTO反映样品的咸味强度。在正式测定前传感器和参比电极需要进行前处理、校准、初始化过程,以此确保数据的稳定性和可靠性。每个样品均采集4次,采用最后三次的数据。

1.5 数据处理

将电子舌所测得的咸、酸、苦、涩、鲜五组数据和感官咸度评定数据进行主成分分析(PCA),采用Pearson相关性分析对电子舌咸度评分和感官咸度评分进行相关性分析,用邓肯多重比较法(Duncan's Multiple-rang test)进行差异显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 氨基酸与氯化钠混合溶液咸度的评定

2.1.1 L-谷氨酸与氯化钠混合溶液咸度的评定 电子舌除了对溶液的咸度进行评定以外,还对溶液的酸、苦、涩、鲜四种味道进行评定。将电子舌所测得的咸、酸、苦、涩、鲜五组数据和感官咸度评分共六个因素进行主成分分析(PCA)得到主成分载荷图[18](图1)。由图1可以看出,PC1和PC2累积方差贡献率为80.644%,反映了样品的大部分信息。在图上距离越近,因素间的相关性越强。如图1所示,"感官咸度评分"与电子舌输出数据"咸"距离最近,而与电子舌其他数据"酸"、"苦"、"涩"、"鲜"距离很远,说明电子舌对溶液咸度的评分"咸"与感官咸度评分相关性较高。

图2是L-谷氨酸与氯化钠混合溶液咸度的感官评定结果,可以看出在相同的氯化钠浓度水平下,混合溶液与氯化钠溶液的咸度差异不显著($p>0.05$);图3是电子舌对溶液咸度的评定结果,混合溶液与氯化钠溶液的咸度有显著性差异($p<0.05$),在1.83、7.31 mg/mL氯化钠水平下,混合溶液的咸度低于氯化钠溶液的咸度,而在3.66、14.63、29.25 mg/mL氯化钠水平下,混合溶液的咸度高于氯化钠溶液的咸度。

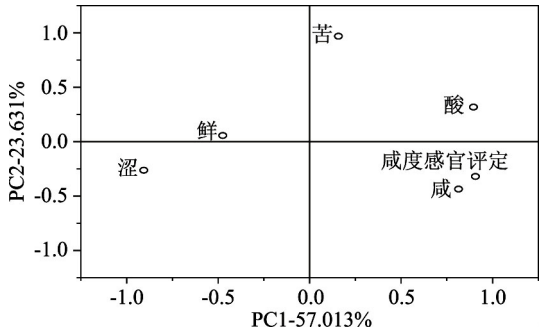


图1 *L*-Glu与NaCl混合溶液电子舌评定与感官评定结果相关性PCA分析图

Fig.1 PCA plot of correlation between electronic tongue and sensory evaluation in *L*-Glu and NaCl mixtures

低浓度氯化钠水平下，谷氨酸对其咸度有抑制效果，但在3.66 mg/mL氯化钠水平下，谷氨酸对其咸度却有增强作用，而在高浓度氯化钠水平下，谷氨酸对其咸度有增强作用。谷氨酸对氯化钠咸度的作用效果受物质浓度的影响，Kemp[9]等研究发现低浓度的谷氨酸钠对氯化钠咸度无影响，高浓度的谷氨酸钠则对氯化钠的咸度有增强作用。将*L*-谷氨酸与氯化钠混合溶液咸度的感官评定结果和电子舌评定结果进行相关性分析，发现其相关性系数$r=0.993$（$p<0.01$）。

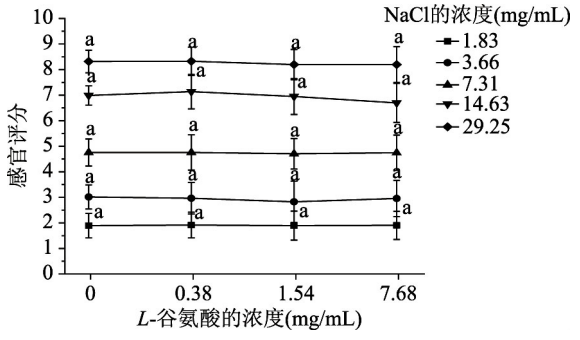


图2 *L*-Glu与NaCl混合溶液咸度感官评分

Fig.2 The saltiness of *L*-Glu and NaCl mixtures by sensory evaluation

注：a~d：不同字母表示相同氯化钠浓度水平下各组数据差异显著（$p<0.05$），图3、图5、图6、图8、图9、图11、图12同。

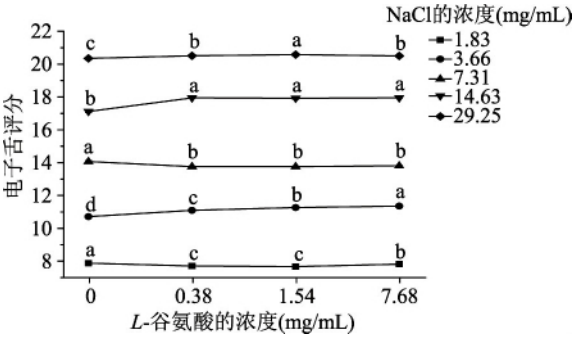


图3 *L*-Glu与NaCl混合溶液咸度电子舌评分

Fig.3 The saltiness of *L*-Glu and NaCl mixtures by electronic tongue

2.1.2 ***L*-赖氨酸与氯化钠混合溶液咸度的评定** 对*L*-Lys与NaCl混合溶液的感官咸度评分和电子舌所测得的咸、酸、苦、涩、鲜五组数据进行主成分分析，如图4所示，PC1和PC2累积方差贡献率为81.219%，“感官咸度评分”和电子舌数据“咸”在图上位置重合，而与电子舌其他数据“酸”、“苦”、“涩”、“鲜”距离很远，说明电子舌对溶液咸度的评分“咸”与感官咸度评分相关性较高。

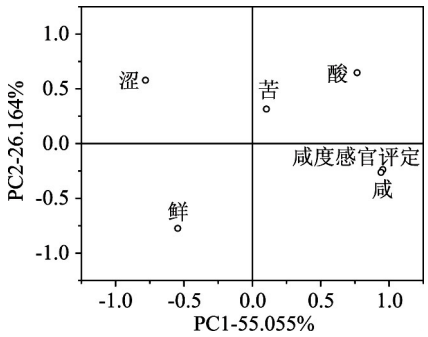


图4 *L*-Lys与NaCl混合溶液电子舌评定与感官评定结果相关性PCA分析图

Fig.4 PCA plot of correlation between electronic tongue and sensory evaluation in *L*-Lys and NaCl mixtures

图5是*L*-Lys与NaCl混合溶液咸度的感官评定结果，可以看出在相同的氯化钠浓度水平下，整体上混合溶液与氯化钠溶液的咸度差异不显著（$p>0.05$）；图6是电子舌对溶液咸度的评定结果，在相同的氯化钠浓度水平下，混合溶液的咸度显著高于氯化钠溶液的咸度（$p<0.05$）。将*L*-赖氨酸与氯化钠混合溶液咸度的感官评定结果和电子舌评定结果进行相关性分析，发现其相关性系数$r=0.989$（$p<0.01$）。

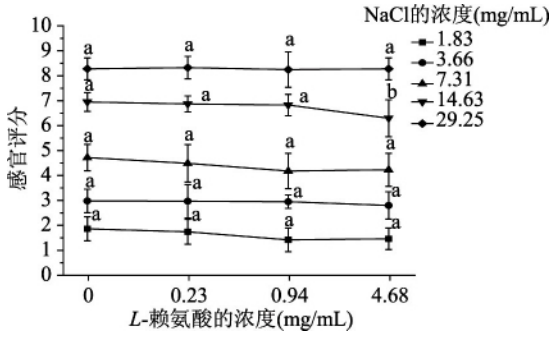


图5 *L*-Lys与NaCl混合溶液咸度感官评分

Fig.5 The saltiness of *L*-Lys and NaCl mixtures by sensory evaluation

2.2 有机酸与氯化钠混合溶液咸度的评定

2.2.1 ***L*-Citric与NaCl混合溶液咸度的评定** 对*L*-Citric与NaCl混合溶液的感官咸度评分和电子舌所测得的咸、酸、苦、涩、鲜五组数据进行主成分分析。如图7所示，PC1和PC2累积方差贡献率为97.981%，“感官咸度评分”和电子舌数据“咸”在图上位置相近，说明电子舌对溶液咸度的评分“咸”与感官咸度评分相关性较高。在PCA分析图上，“感官咸度评分”除了与电子舌数据“咸”在图上位置相近之外，还与电子舌数据“苦”有着非常近的距离。文中主要研究的是两种方式对溶液咸度的评定，而没

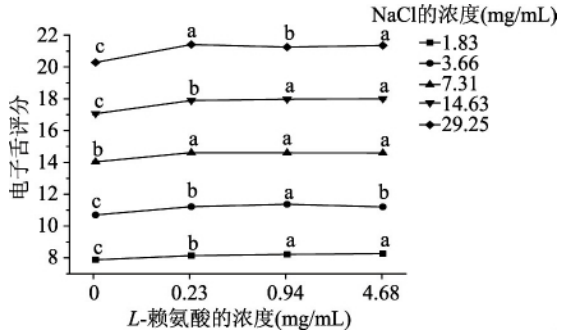


图6　*L*-Lys 与 NaCl 混合溶液咸度电子舌评分

Fig.6　The saltiness of *L*-Lys and NaCl mixtures by electronic tongue

有将苦味的感官评定和电子舌评定进行比较。在 *L*-Citric与 NaCl 混合溶液味道的电子舌评定中，“苦”味可能受到其他味道的干扰而判断有误，导致其在 PCA 图上与“感官咸度评分”相距很近，但不影响对“感官咸度评分”和“咸”之间相关性的分析。

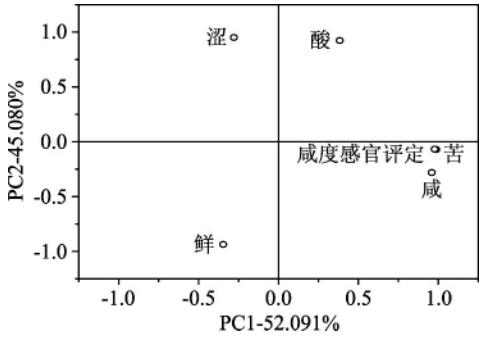


图7　*L*-Citric 与 NaCl 混合溶液电子舌评定与感官评定结果相关性 PCA 分析图

Fig.7　PCA plot of correlation between electronic tongue and sensory evaluation in *L*-Citric and NaCl mixtures

图8 是 *L*-Citric 与 NaCl 混合溶液咸度的感官评定结果。在相同的氯化钠浓度水平下，添加 0.26 mg/mL *L*-柠檬酸的混合溶液与氯化钠溶液的咸度没有显著差异($p>0.05$)，添加 1.03、4.14 mg/mL *L*-柠檬酸的混合溶液的咸度则显著高于氯化钠溶液的咸度($p<0.05$)；但是在 29.25 mg/mL 氯化钠浓度下添加 4.14 mg/mL *L*-柠檬酸时，混合溶液的咸度则受到抑制，不同的味道在口中具有不同的传导途径，当氯化钠和柠檬酸的浓度过高时，柠檬酸会对氯化钠的味觉传导途径产生影响，阻碍了氯化钠咸度的感知[31]。

图9 是电子舌对溶液咸度的评定结果。在 1.83、3.66 mg/mL的氯化钠浓度下，混合溶液的咸度显著高于氯化钠溶液($p<0.05$)，但随着氯化钠浓度的升高，混合溶液的咸度有所下降。感官评定和电子舌评定均表明添加 1.03、4.14 mg/mL 的 *L*-柠檬酸对 1.83、3.66 mg/mL 氯化钠溶液的咸度有增强作用，随着氯化钠浓度的升高，柠檬酸对咸度的增强作用逐渐减弱并转变成对咸度的抑制作用。将 *L*-柠檬酸与氯化钠混合溶液咸度的感官评定结果和电子舌评定结果进行相关性分析，发现其相关性系数 $r=0.966$ ($p<0.01$)。

2.2.2　*L*-Malic 与 NaCl 混合溶液咸度的评定　对

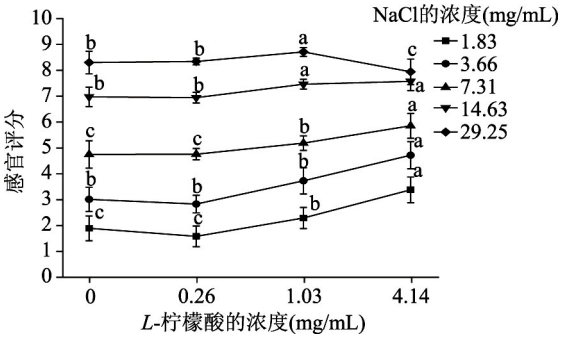


图8　*L*-Citric 与 NaCl 混合溶液咸度感官评分

Fig.8　The saltiness of *L*-Citric and NaCl mixtures by sensory evaluation

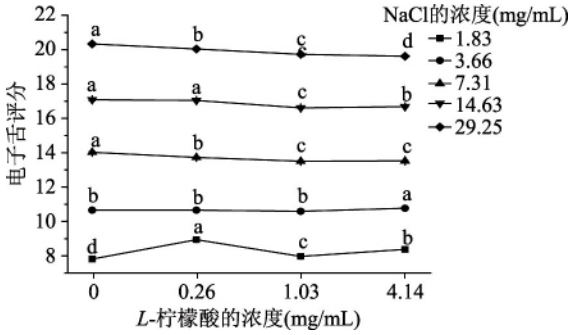


图9　*L*-Citric 与 NaCl 混合溶液咸度电子舌评分

Fig.9　The saltiness of *L*-Citric and NaCl mixtures by electronic tongue

L-Malic与 NaCl 混合溶液的感官咸度评分和电子舌所测得的咸、酸、苦、涩、鲜五组数据进行主成分分析(如图 10 所示)。PC1 和 PC2 累积方差贡献率为 81.818%，“感官咸度评分”和电子舌数据“咸”在图上位置相近，表明电子舌对溶液咸度的评分“咸”与感官咸度评分相关性较高。

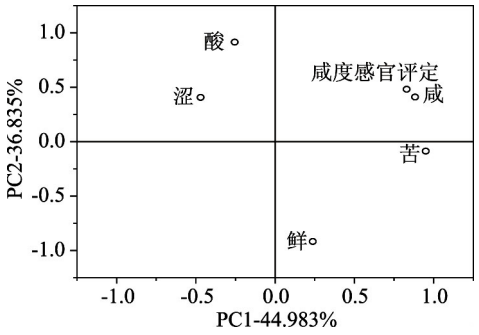


图10　*L*-Malic 与 NaCl 混合溶液电子舌评定与感官评定结果相关性 PCA 分析图

Fig.10　PCA plot of correlation between electronic tongue and sensory evaluation in *L*-Malic and NaCl mixtures

图11 是 *L*-Malic 与 NaCl 混合溶液咸度的感官评定结果。在 1.83、3.66 mg/mL 的氯化钠浓度下，添加 0.76、3.02 mg/mL *L*-苹果酸的混合溶液的咸度显著高于氯化钠溶液($p<0.05$)；在 29.25 mg/mL 氯化钠浓度下，添加 3.02 mg/mL *L*-苹果酸的混合溶液的咸度显著低于氯化钠溶液($p<0.05$)。图 12 是电子舌对溶液咸度的评定结果。在 1.83，3.66 mg/mL 的氯化钠浓度下，混合溶液的咸度显著高于氯化钠溶液

($p<0.05$)；而在其他氯化钠浓度下，混合溶液的咸度显著低于氯化钠溶液($p<0.05$)，其中在 7.31 mg/mL 的氯化钠浓度下，添加 3.02 mg/mL L-苹果酸的混合溶液的咸度显著高于其他两组混合溶液，但仍显著低于氯化钠溶液($p<0.05$)。将 L-苹果酸与氯化钠混合溶液咸度的感官评定结果和电子舌评定结果进行相关性分析，发现其相关性系数 $r=0.984$($p<0.01$)。

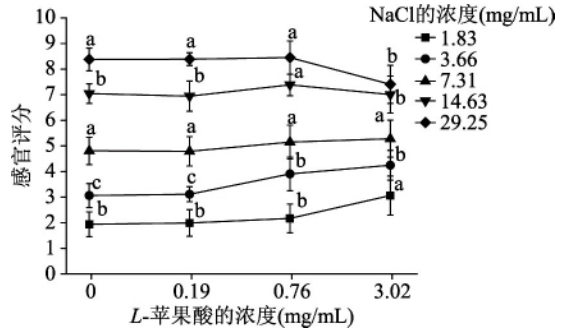


图 11 L-Malic 与 NaCl 混合溶液咸度感官评分

Fig.11 The saltiness of L-Malic and NaCl mixtures by sensory evaluation

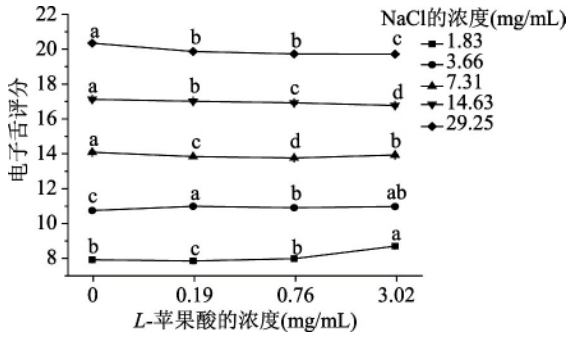


图 12 L-Malic 与 NaCl 混合溶液咸度电子舌评分

Fig.12 The saltiness of L-Malic and NaCl mixtures by electronic tongue

在氨基酸与氯化钠混合溶液咸度的评定中，感官评定结果表明 L-谷氨酸和 L-赖氨酸的添加整体上对氯化钠的咸度无显著影响；而在电子舌评定结果中可知，L-谷氨酸对低浓度氯化钠的咸度有抑制效果而对高浓度氯化钠的咸度有增强作用，但是在 3.66 mg/mL 的低氯化钠水平下，谷氨酸对其咸度却有增强作用；L-赖氨酸对氯化钠溶液的咸度有增强作用。感官评定结果和电子舌评定结果存在一定的差异。因为感官评定是符合韦伯-费希纳定律的，一般情况下当物理刺激量呈几何级增长时才会引起味觉感知量的数学级增长，即感知量的增加小于物理量的增加；而电子舌捕获的仅仅是物理量的改变，这种改变程度与感官评定中味觉感知量的改变是不一样的。在 L-柠檬酸与氯化钠混合溶液咸度的评定中，电子舌与感官评定结果均表明添加 1.03、4.14 mg/mL L-柠檬酸对 1.83、3.66 mg/mL 氯化钠溶液的咸度有增强作用；在 L-苹果酸与氯化钠混合溶液咸度的评定中，电子舌与感官评定结果均表明添加 0.76、3.02 mg/mL L-苹果酸对 1.83、3.66 mg/mL 氯化钠溶液的咸度有增强作用。L-柠檬酸与 L-苹果酸本身没有咸味，但它们的添加对氯化钠溶液的咸度有增强作用，这与 Prescott 和王仕钰等人的研究结果一致。Prescott[20] 等研究发现 0~18 mmol/L 柠檬酸对 0.15 mol/L 和 0.3 mol/L 氯化钠溶液的咸度有增强作用，王仕钰[13] 等通过研究 L-苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、富马酸等有机酸味剂与低钠盐的复配效果，发现添加 1.6% L-苹果酸的复配溶液咸味纯正，增咸效果可达 1.33 倍。因此可以推测 L-柠檬酸、L-苹果酸与氯化钠之间存在交互作用，该作用增强了氯化钠溶液的咸度。

对以上四组混合溶液的咸度电子舌评定结果和感官评定结果进行相关性分析，得到相关性系数 $r=0.969$($p<0.01$)。根据主成分分析和相关性分析结果，可知电子舌对溶液咸度的评定结果与感官评定结果有着显著的正相关。

3 结论

本文以氨基酸、有机酸与氯化钠混合溶液为研究对象，利用电子舌和感官评定方法对混合溶液的咸度进行评价。在对 L-柠檬酸与氯化钠、L-苹果酸与氯化钠的混合溶液咸度的评定中，电子舌和感官评定结果均发现 L-柠檬酸、L-苹果酸的添加对 1.83、3.66 mg/mL 氯化钠溶液的咸度有增强作用。研究结果发现电子舌系统对溶液咸度的评定结果与感官评定结果呈现显著正相关($r=0.969$，$p<0.01$)。本文为今后电子舌在食盐替代物研制中关于咸度评定提供了理论依据，电子舌可以实现对咸度的快速有效的评定。

参考文献

[1] Intersalt Cooperative Research Group. Intersalt: an international study of electrolyte excretion and blood pressure. Results for 24 hour urinary sodium and potassium excretion [J]. British Medical Journal,1988,297(64):319-328.

[2] He F J,Macgregor G A.A comprehensive review on salt and health and current experience of world wide salt reduction programmer [J].J Hum Hypertens,2009,23(6):363-384.

[3] He F J,Macgregor G A.Reducing population salt intake worldwide: from evidence to implementation [J]. Progress in Cardiovascular Diseases,2010,52(5):363-382.

[4] Lynn M Wilkie,Elizabeth D Capaldi Phillips.Heterogeneous binary interactions of taste primaries: Perceptual outcomes, physiology, and future directions [J]. Neuroscience and Biobehavioral Reviews,2014,47:70-86.

[5] Prescott J,Ripandelli N,Wakeling I.Binary taste mixture interactions in PROP non-tasters, medium-tasters and supertasters [J].Chemical Senses,2001,26:993-1004.

[6] Kamen J M,Pilgrim F J,Cutman N J.Interactions of Suprathreshold Taste Stimuli [J].Experimental Psychology,1961,62:348-356.

[7] S Fuke,Y Ueda.Interactions between umami and other flavor characteristics [J].Trends in Food Science and Technology,1996,7(12):407-411.

[8] 蒋丽施.电子舌在食品感官品评中的应用 [J].肉类研究,

2011,25(2):49-52.

[9] Deisingh A K, Stone D C, Thompson M. Application of electronic noses and tongues in food analysis [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2004, 39(6): 587-604.

[10] 姜莎,陈芹芹,胡雪芳,等.电子舌在红茶饮料区分辨识中的应用[J].农业工程学报,2009,25(11):345.

[11] Quansheng Chen, Jiewen Zhao, Saritporn Vittayapadung. Identification of the green tea grade level using electronic tongue and pattern recognition [J]. Food Research International, 2008, 41: 500-504.

[12] 王永维,王俊,朱晴虹.基于电子舌的白酒检测与区分研究[J].包装与食品机械,2009,27(5):57-61.

[13] Buratti S, Ballabio D, Benedetti S, et al. Prediction of Italian red wine sensorial descriptors from electronic nose, electronic tongue and spectrophotometric measurements by means of Genetic Algorithm regression models [J]. Food Chemistry, 2007, 100(1): 211-218.

[14] Alisa Rudnitskayaa, Evgeny Polshinb, Dmitry Kirsanovb, et al. Instrumental measurement of beer taste attributes using an electronic tongue [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 646(2): 111-118.

[15] Legin A, Rudnitskaya A, Seleznev B, et al. Electronic tongue for quality assessment of ethanol, vodka and eau-de-vie [J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 534(1): 129-135.

[16] Zhenbo Wei, Jun Wang, Wenyan Liao. Technique potential for classification of honey by electronic tongue [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 94: 260-266.

[17] 吴从元,王俊,韦真博,等.电子舌预测不同体积分数牛奶的表观黏度[J].农业工程学报,2010,26(6):226-230.

[18] 胡卫军,许改霞,王平.电子鼻和电子舌在航天医学检测中的应用[J].国外医学生物医学工程分册,2005,28(4):213-217.

[19] Jack Y Zheng, Melissa P Keeney. Taste masking analysis inpharmaceutical formulation development using an electronic tongue [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2006, 310(1): 118-124.

[20] 李文敏,吴纯洁,艾莉,等.基于电子鼻、电子舌技术实现中药性状气味客观化表达的展望[J].中成药,2009,31(2):282-284.

[21] Hong Men, Dalong Liu, Shaofang Zou, et al. Electronic Tongue for Environmental Detection [C]. The 10th International Meeting on Chemical Sensors, Tsukuba, Japan, 2004: 478-479.

[22] 牛云蔚,张晓鸣,肖作兵,等.樱桃酒感官评价与电子舌感官分析的相关性研究[J].食品工业科技,2012,33(16):105-107.

[23] Schifferstein HNJ, Frijters JER. Two-stimulus versus one-stimulus procedure in the framework of functional measurement: a comparative investigation using quinine HCl/NaCl mixtures [J]. Chemical Senses, 1992, 17(2): 127-150.

[24] Breslin P A S, Beauchamp G K. Suppression of bitterness by sodium: variation among bitter taste stimuli [J]. Chemical Senses, 1995, 20(6): 609-623.

[25] Yawei Zhang, Qiaofen Cheng, Zengqi Peng. A preliminary study: saltiness and sodium content of aqueous extracts from plants and marine animal shells [J]. European Food Research and Technology, 2014, 238: 565-571.

[26] Bathsheva Rifkin. Taste synergism between monosodium glutamate and disodium 5′-guanylate [J]. Physiology and Behavior, 1980, 24: 1169-1172.

[27] Robert A Frank1, Sara Jane S. Mize. An assessment of binary mixture interactions for nine sweeteners [J]. Chemical Senses, 1989, 14(5): 621-632.

[28] Yohko Miyanagaa, Atsu Tanigakea, Tomoko Nakamuraa. Prediction of the bitterness of single, binary- and multiple component amino acid solutions using a taste sensor [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2002, 248(1-2): 207-218.

[29] Masumi Kataoka, Emi Tokuyama, Yohko Miyanaga. The taste sensory evaluation of medicinal plants and Chinese medicines [J]. International Journal of Pharmaceutics, 2008, 351(1-2): 36-44.

[30] Kemp S E, Beauchamp G. K. Flavor modification by sodium chloride and monosodium glutamate [J]. Journal of Food Science, 1994, 59(3): 682-686.

[31] Oka Y, Butnaru M, von Buchholtz L. High salt recruits aversive taste pathways [J]. Nature, 2013, 494(7438): 472-475.

[32] 王仕钰,张立彦.有机酸味剂对低钠盐增咸作用的研究[J].食品工业科技,2012,(6):370-373.