

肖康, 马阳阳, 赵春波, 等. 基于灰色关联度法构建西式香肠钠盐含量与电子舌的相关性 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 262–268. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080134

XIAO Kang, MA Yangyang, ZHAO Chunbo, et al. The Correlation Between Sodium Content of Western Sausage and Electronic Tongue Established Based on Grey Correlation Method [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 262–268. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080134

· 分析检测 ·

基于灰色关联度法构建西式香肠钠盐含量与电子舌的相关性

肖康, 马阳阳, 赵春波, 朱瑶迪, 赵莉君, 李苗云*, 赵改名
(河南农业大学食品科学技术学院, 河南郑州 450000)

摘要:为更进一步开发低钠肉制品, 本文以西式香肠为研究对象, 利用电子舌探究了不同钠盐含量与味觉特征之间的关系, 并利用灰色关联度法建立了钠盐含量与电子舌味觉特征的相关性模型。传感器响应值及主成分分析结果表明, 15 种不同钠盐含量的西式香肠电子舌响应值具有一定差异性 ($P < 0.05$), 不同钠盐含量下样品的 CT0 (咸味) 传感器响应值均存在显著差异 ($P < 0.05$); 灰色关联分析结果得出钠盐含量与五种电子舌传感器关联度大小为 CT0 (咸味) > CA0 (酸味) > AAE (鲜味) > AE1 (涩味) > C00 (苦味), 同时构建的钠盐含量与电子舌传感器相关性模型 $R^2 = 0.918$, 表明钠盐含量与 CT0、CA0、AAE 三种传感器的关联性较好, 可进一步针对钠盐含量与该三种味觉值的关系进行深入探讨。该研究有助于客观评价钠盐含量对味觉值的影响, 以期通过钠盐含量相关性较强的关键味觉值促进对低钠肉制品的减盐技术有效开发及优化, 从而推动低钠肉制品的快速研发。

关键词:低钠肉制品, 西式香肠, 电子舌, 钠盐含量, 灰色关联度分析

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)12-0262-07

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020080134

The Correlation Between Sodium Content of Western Sausage and Electronic Tongue Established Based on Grey Correlation Method

XIAO Kang, MA Yangyang, ZHAO Chunbo, ZHU Yaodi, ZHAO Lijun, LI Miaoyun*, ZHAO Gaiming

(School of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: In order to further develop low-sodium meat products, in this study, western sausage was chosen as the research object, the relationship between the sodium content of sausages with different sodium contents and taste characteristic was investigated using electronic tongue. And the correlation model between the sodium content of western sausage and electronic tongue taste characteristics was established using the grey relational analysis. The results of sensor response value and principal component analysis indicated that, the responses of the electronic tongues of 15 kinds of western sausage with different sodium content showed certain differences ($P < 0.05$). In addition, there were significant differences ($P < 0.05$) in CT0 (salty) sensor response values of samples with different sodium content. Furthermore, grey correlation analysis results of sodium content correlation with five kinds of electronic tongue sensor size was the CT0 (salty) > CA0 (sour) > AAE (freshness) > AE1 (astringency) > C00 (bitter); and the correlation of the model between sodium content and electronic tongue sensor was greater ($R^2 = 0.918$), which showed that the correlation between sodium content and these three sensors (CT0, CA0, AAE) was good. This suggested that further exploration of the relationship between sodium content and these three taste values. This study could contribute to evaluate the effect of sodium contents on taste value objectively, and it was expected to help the effective development and optimization of salt-reducing technology for low-sodium meat

收稿日期: 2020-08-14

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2018YFD0401200); 国家现代农业 (肉牛牦牛) 产业技术体系建设专项 (CARS-37); 河南农业大学科研启动项目 (30500668); 河南省科技攻关项目 (202102110141); 河南省教育厅重点研究项目 (20A550008)。

作者简介: 肖康 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: xiao_kangxk@126.com。

* 通信作者: 李苗云 (1976-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 肉品加工及质量安全控制, E-mail: limy7476@163.com。

products through the key taste values related to the sodium salt content, so as to promote the rapid development of low-sodium meat products.

Key words: low-sodium meat products; western sausage; electronic tongue; sodium content; grey relational analysis

西式香肠品种多、营养丰富、风味独特、安全卫生、携带食用方便,深受广大消费者的喜爱。其生产工艺流程主要包括:原料修整、腌制、绞肉、斩拌、灌肠、烘烤、蒸煮等,适合于规模化、工厂化大批量生产^[1]。食盐是西式香肠制作工艺中不可缺少的调味料之一,成分主要以氯化钠为主,对肉制品具有增强风味、提高保水性、降低水分活度、防腐抑菌等重要作用。然而,据统计全球每年有 700 多万人死于因高血压引发的疾病,过量的钠盐摄入已被证实是引发高血压及脑卒中等疾病的主要诱因^[2-3],而通过肉制品摄入的钠盐含量占据人体膳食钠盐总摄入量的 20% 左右^[4],开发高品质低钠肉制品,实现有效降低钠盐对保障人体营养健康至关重要。研究指出不同钠盐含量,对肉制品的口感、风味、品质、保质期等均具有显著影响^[5-7],单纯降低钠盐含量会引起肉制品产生口感、风味、质构等品质下降问题^[8-9];如何保证低钠产品的品质是目前低钠肉制品加工亟需解决的重点和难点。目前肉制品加工过程中降低钠盐的途径主要为钠盐替代,但钠盐替代物添加过量时已被证明会造成肉制品品质和风味降低^[10-12],因此保障肉制产品品质的同时,进行有效性、针对性、目的性的降盐,对低钠肉制品的开发具有重要推动意义。

电子舌技术灵敏、耗时短、无损耗、简便,可实现样品滋味的定性与定量分析,在食品中的技术应用范围其中包括:滋味的定量分析、品质分级^[13],货架期的评估、真伪性的识别与加工过程的监控^[14]等。灰色关联度分析法可通过灰色系统得出各因子不同的关联程度,以此来决定主次因素,在农作物的产量^[15-16]与品质评估^[17]、中药质量的评价^[18-19]、工业化生产等多个研究领域都有所涉及。

本文借助电子舌技术,基于灰色关联度法初步探究了西式香肠钠盐含量与电子舌味觉特征之间的相关性,并进一步构建二者之间的相关性模型,得到了钠盐含量与电子舌相关性较高的味觉指标;为更深层次研究加工肉制品中钠盐含量对味觉值的可能影响提供了理论性依据,也为电子舌技术实现对肉制品钠含量的客观评价给予了参考基础,以期通过钠盐含量影响的关键味觉值为低钠肉制品的减盐技术开发与生产工艺优化提供指导与帮助,从而促进低钠产品的开发。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

将样品进行编号,具体信息如表 1 所示,编号 1~9 号样品为市售西式香肠购于郑州市麦德龙商场;编号 10~15 号样品为实验室自制的不同钠盐含量香肠;原料肉与调味料均为市场销售。

表 1 不同种类西式香肠样品信息

Table 1 Sample information of different kinds of western sausage

样品编号	品牌	名称
1	Smith field	美式香肠
2	尊乐	美国经典原味
3	科尔沁	牛肉肠
4	麦德龙	台式烤香肠
5	万威客	脆皮热狗肠
6	厨之选	罗勒叶肠
7	麦德龙	牛肉早餐肠
8	宜客	脆皮热狗肠
9	宜客	牛肉早餐肠
10	自制样品	猪肉香肠1号
11	自制样品	猪肉香肠2号
12	自制样品	猪肉香肠3号
13	自制样品	牛肉香肠1号
14	自制样品	牛肉香肠2号
15	自制样品	牛肉香肠3号

Insent SA402B 电子舌 日本 Insent 公司; iCE3300 原子吸收光谱仪 德国 Thermo Fisher 公司; MM12B 型绞肉机 广东省韶关市大金食品机械厂; VF608Plus 真空灌肠机 百诚润和机械有限公司; BYXX-50 型烟熏箱 中国艾博公司; Allegra64R 高速冷冻离心机 山东博科科学仪器有限公司; CU-420 型电热恒温水槽 上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备

1.2.1.1 基础配方 经市场调研,目前大多数西式香肠的配方类似,多以原料肉、腌制剂(食用盐、三聚磷酸钠、焦磷酸钠、六偏磷酸钠、D-异抗坏血酸钠、亚硝酸钠)、辅料(水、大豆蛋白、淀粉、白砂糖、香辛料等)为主。本实验参考市场配方确定自制样品基础配方为:每千克肉抗坏血酸钠 0.6 g、复合磷酸盐 3 g(焦磷酸钠 30%,三聚磷酸钠 40%,六偏磷酸钠 30%)、亚硝酸钠 0.15 g、无水葡萄糖 5 g、冰水 400 g(分三次加入)、白砂糖 15 g、白胡椒粉 1.5 g、淀粉 60 g、大蒜粉 2 g、味精 2 g、生姜粉 1.5 g、鸡精 2 g、小茴香粉 1 g、谷氨酰胺转氨酶 1.5 g、大豆分离蛋白 20 g。

1.2.1.2 实验室自制样品信息 样品 10~15 参照基础配方,食盐添加量参考 Xiong 等^[20]的方法,主要材料依次为:猪肉+腌制剂(2.5% 食盐)+辅料;猪肉+腌制剂(不加食盐)+辅料;猪肉;牛肉+腌制剂(2.2% 食盐)+辅料;牛肉+腌制剂(不加食盐)+辅料;牛肉。以检测原料肉、腌制剂(不加食盐)及辅料所占西式香

肠钠盐含量的比重,基于本底值探究钠盐含量对味觉值的影响。

1.2.1.3 工艺流程 原料处理(选用新鲜牛后腿/猪后腿作为原料肉)→去膜筋→绞肉→腌制(24 h)→斩拌(9 min)→灌制→烟熏(1 h)→蒸煮(40 min)→冷却成品

1.2.2 钠盐含量测定 测定方法参照国标 GB 5009.91-2017 中第一法(火焰原子吸收光谱法)进行检测,每个样品测定三个平行,以平均值作为最终测定值。

1.2.3 电子舌测定 样品前处理:将样品编号后分别搅碎至肉沫,每个样品取 15 g 置于 250 mL 锥形瓶内,加入 150 mL 蒸馏水,50 ℃ 水浴加热 20 min,然后 4 ℃、5000 r/min 离心 15 min 经滤纸过滤除杂即可,滤液为电子舌待测样液。

检测条件:检测前电子舌传感器需活化、校准、诊断以保证数据稳定性与准确性^[21]。样品采集时间 120 s,1 s 采集 1 次数据,采集完毕清洗时间 300 s,以采集时间后 30 s 的数据作为采集一次样品的数据,每个样品重复 4 次,为确保传感器的稳定性与数据采集的准确性,采取后三次数据为测试结果^[22]。电子舌的参比溶液由 KCl 和酒石酸组成,其中酸味的无味点为-13,咸味的无味点为-6,其它味觉值的无味点均为 0。本实验共采用了 CA0、C00、AE1、AAE 和 CT0 五种传感器,其响应特性分别代表酸味、苦味、涩味、鲜味和咸味五种味觉,电子舌传感器响应值均是以测量值与参比溶液无味点的相对值作为基准。

1.2.4 灰色关联分析

1.2.4.1 确定分析数列 基于灰色系统理论及分析方法的要求,本研究将 15 种样品作为一个整体,即灰色系统^[23],电子舌不同传感器为灰色系统的子系统,每个传感器的响应值作为一个因素进行分析计算^[24]。

首先选择参考数列,记为 $Y_0, Y_0(x)=[Y_0(1), Y_0(2), Y_0(3), \dots, Y_0(x)]$, x 为肠样品, $x=1, 2, 3, \dots, 15$ 。

其次选择比较数列,记为 $Y_i(x), Y_i(x)=[Y_i(1), Y_i(2), Y_i(3), \dots, Y_i(x)]$, Y_i 为样品的电子舌传感器响应值, $Y_i=1, 2, 3, \dots, 10, x=1, 2, 3, \dots, 15$ 。

1.2.4.2 计算灰色关联系数 灰色关联系数按照公式(1)计算。

$$\varepsilon_i(x) = \frac{\min_k \min_l |Y_0(x) - Y_l(x)| + \rho \cdot \max_k \max_l |Y_0(x) - Y_l(x)|}{|Y_0(x) - Y_i(x)| + \rho \cdot \max_k \max_l |Y_0(x) - Y_l(x)|} \quad \text{式(1)}$$

式中: x 为不同种类香肠样品序号; Y_i 为不同种类肠的电子舌传感器响应值; $\varepsilon_i(x)$ 为第 x 种香肠的子序列 Y_i 与母序列 Y_0 的关联系数; $\min_k \min_l |Y_0(x) - Y_l(x)|$ 为两级最小差值,又记为 Δ_{\min} ; $\max_k \max_l |Y_0(x) - Y_l(x)|$ 为两级最大差值,又记为 Δ_{\max} ; $|Y_0(x) - Y_i(x)|$ 为母序列与子序列的绝对差值,又记为 $\Delta(k)$; ρ 为分辨系数。

为了减小 $\Delta(k)$ 太大而引起的失真,引入分辨系数 ρ ^[25], ρ 的取值范围为 0~1, 本研究中将 ρ 取值为 0.5^[26]。

1.2.4.3 灰色关联度的计算方法 关联系数的算术平均数为关联度,按照公式(2)计算。

$$r_i = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^n \varepsilon_i(x) \quad \text{式(2)}$$

式中: r_i 为母序列 Y_0 与子序列 Y_i 之间的关联度; N 为子序列的数据个数。

1.2.4.4 数据来源 以电子舌传感器中的 CT0(咸味传感器)响应值作为参照数列,分别计算不同样品的相对传感器响应值,按照公式(3)计算,并将此作为电子舌传感器响应值来源。

$$\text{相对传感器响应值} = \frac{\text{传感器响应值}}{\text{参照传感器响应值}} \quad \text{式(3)}$$

1.3 数据处理

采用 SPSS 22.0、Origin2017 软件对原始数据进行方差分析、主成分分析和绘图, Microsoft Office Excel 2007 软件对灰色关联进行函数和数据分析。

2 结果与分析

2.1 不同种类西式香肠钠盐含量分析

15 种样品钠盐含量,如表 2 所示。由表可看出,宜客品牌牛肉香肠钠盐含量在市售样品中最高, Smith field 品牌香肠钠盐含量在市售样品中最低,在实验室自制样品中样品 10 钠盐含量最高,样品 15 钠盐含量最低;与市售样品相比,由实验室自制的样品 10 和样品 13 的钠盐含量处于较低水平,根据目前英国食品标准局的建议,将食品的钠盐含量降为 650 mg/100 g^[27],大多数市售样品规格均超出标准,实验室自制样品牛肉香肠成品 1 号(样品 13)更

表 2 西式香肠钠盐含量分布表

样品编号	品牌	名称	钠盐含量(mg/100 g)
1	Smith field	美式香肠	647.50±3.11
2	尊乐	美国经典原味	654.25±5.44
3	科尔沁	牛肉肠	667.25±1.06
4	麦德龙	台式烤香肠	726.55±2.76
5	万威客	脆皮热狗肠	809.80±2.97
6	厨之选	罗勒叶肠	870.80±4.81
7	麦德龙	牛肉早餐肠	884.30±5.66
8	宜客	脆皮热狗肠	1112.00±5.66
9	宜客	牛肉早餐肠	1117.00±2.83
10	自制样品	猪肉香肠1号	785.55±0.21
11	自制样品	猪肉香肠2号	113.10±0.99
12	自制样品	猪肉香肠3号	27.53±0.03
13	自制样品	牛肉香肠1号	574.05±2.90
14	自制样品	牛肉香肠2号	93.62±1.08
15	自制样品	牛肉香肠3号	26.58±0.49

为符合低钠食品的标准;同时,从表 2 的钠盐含量检测结果中,发现西式香肠配方中除食盐外,其它辅料(原料肉、腌制剂、调味料)含有的钠盐成分较少,说明食盐的添加量是造成样品之间钠盐含量差异性的主要因素^[28-29]。

2.2 电子舌传感器响应值分析结果

表 3 的西式香肠电子舌传感器响应值结果表明 15 种样品电子舌传感器之间的味觉值存在不同的差异性($P<0.05$),其中 15 种样品咸味味觉值均存在显著性差异性($P<0.05$),样品钠盐含量越高,咸味值越大,两者呈正比关系。钠盐的咸味主要来源于解离后的 Cl^- 离子与 Na^+ 离子共同作用,钠盐含量的增加会引起咸味值的升高;除此之外,不同钠盐样品的酸味值、苦味值、涩味值、鲜味值也都存在差异性($P<0.05$),但味觉值变化规律性不明显,钠盐含量的增加在提高咸味的同时也会引起其它的味觉特性发生变化,同时可能也会造成不同味觉之间产生相互作用^[30],从而造成味觉值之间的差异性。根据市场调研结果,西式香肠之间的主要配方相似、原辅料钠含量占据比重小,故钠盐(食盐)含量不同可能会对样品间电子舌味觉值的差异造成影响,需进一步探讨与研究。

2.3 电子舌主成分分析结果

为进一步探究电子舌传感器响应值与样品钠盐含量的关系,本研究采用了主成分分析法对其进行分析与验证。图 1 为 15 种西式香肠的电子舌主成分(PCA)分析结果,主成分 1 为横坐标,主成分 2 为纵坐标,由图可看出,主成分 1(PC1)贡献率为 56.18%,主成分 2(PC2)贡献率为 25.38%,累计贡献率为 81.56%,表明这两种主成分能够表明传感器原始数据的主要信息,反映样品间滋味的差异性。在图中可看到 15 种样品之间的划分区域未出现重叠或交叉,

表明 15 种样品的滋味特性具有一定的差异性。其中钠盐含量分布比较接近的样品所在区域较为集中,钠盐含量差异性较大的样品相隔距离较远,而样品 1 与其它钠盐含量相近的样品坐标轴距离较远可能是由于它的酸味值(约-17)显著不同于其他样品(约-26~-32 之间),引起了味觉值之间的差异性。结合表 3 的电子舌响应值分析结果,不同钠盐含量的五种味觉值均存在显著性差异($P<0.05$),说明样品的钠盐含量对电子舌传感器味觉特性有一定的影响,可进一步研究钠盐与电子舌味觉值之间的相关性。

2.4 西式香肠钠盐含量与电子舌传感器响应值的灰色关联度分析

2.4.1 不同样品的相对传感器响应值 根据公式(3)得出 15 种样品不同电子舌传感器相对响应值,计算结果如表 4 所示。

2.4.2 无量纲化处理 将 15 个样品的钠盐含量数值设为参考数列,比较数列为电子舌的 5 个传感器响应值,将母序列与子序列进行灰色关联度分析。首先采用均值化变换的方法对每个数列进行无量纲化处理,结果如表 5 所示。

2.4.3 电子舌传感器响应值与钠盐含量的关联系数及关联度 计算 15 种西式香肠的钠盐含量参考数列与表 5 比较数列(电子舌传感器的响应值)的绝对差值,得到两级最大差值 Δ_{max} (钠盐含量)=17.1880,两级最小差值 Δ_{min} (钠盐含量)=0.0274,将其分别带入公式(1)即可得到电子舌传感器响应值与钠盐含量的关联系数,再将灰色关联系数带入公式(2)即可得到传感器响应值与钠盐含量的关联度,从而对其进行排序。

由表 6 可知,钠盐含量与五种电子舌传感器关联度大小为 $CT0(\text{咸味})>CA0(\text{酸味})>AAE(\text{鲜味})>AE1(\text{涩味})>C00(\text{苦味})$,传感器 CT0、CA0、AAE 的

表 3 西式香肠电子舌传感器响应值

Table 3 Value of electronic tongue sensor response of western sausage

样品编号	CA0	C00	AE1	AAE	CT0
1	-17.63±0.46 ^a	5.50±0.04 ^j	-0.60±0.01 ^a	1.37±0.15 ⁱ	7.52±0.04 ⁱ
2	-28.84±0.49 ^e	6.84±0.11 ^g	-0.96±0.02 ^c	9.48±0.04 ^f	7.77±0.01 ^b
3	-27.13±0.37 ^e	7.82±0.07 ^f	-1.18±0.03 ^c	9.49±0.04 ^f	7.56±0.02 ^j
4	-29.88±0.26 ^f	10.95±0.13 ^b	-1.50±0.04 ^f	12.54±0.05 ^a	8.07±0.03 ^g
5	-28.05±0.34 ^d	6.80±0.03 ^g	-0.78±0.01 ^b	10.18±0.05 ^b	8.92±0.01 ^e
6	-26.36±0.19 ^b	7.76±0.07 ^f	-1.20±0.01 ^c	9.30±0.09 ^f	9.42±0.01 ^d
7	-32.24±0.36 ^h	6.32±0.07 ^j	-1.48±0.01 ^f	12.09±0.03 ^c	9.64±0.03 ^c
8	-29.72±0.00 ^f	8.49±0.00 ^e	-1.62±0.00 ^b	12.44±0.00 ^a	10.37±0.00 ^b
9	-26.23±0.28 ^b	5.35±0.05 ^k	-1.10±0.01 ^d	9.95±0.06 ^b	10.57±0.03 ^a
10	-30.76±0.06 ^g	6.27±0.04 ⁱ	-1.55±0.03 ^g	12.32±0.04 ^b	8.54±0.06 ^f
11	-31.00±0.05 ^g	7.87±0.05 ^f	-2.38±0.02 ^j	12.25±0.03 ^b	0.54±0.05 ^k
12	-28.77±0.00 ^e	8.97±0.00 ^d	-2.78±0.00 ^k	10.80±0.00 ^c	-4.54±0.00 ^m
13	-30.86±0.07 ^g	6.67±0.07 ^h	-2.99±0.02 ^j	12.21±0.05 ^b	7.02±0.02 ^j
14	-30.95±0.08 ^g	14.17±0.03 ^a	-1.74±0.05 ⁱ	11.86±0.10 ^d	-1.82±0.06 ^l
15	-28.14±0.15 ^d	9.63±0.06 ^c	-1.75±0.04 ⁱ	10.52±0.03 ^f	-6.49±0.11 ⁿ

注:平均值±标准差,同一列英文字母上标不同表示存在显著性差异($P<0.05$)。

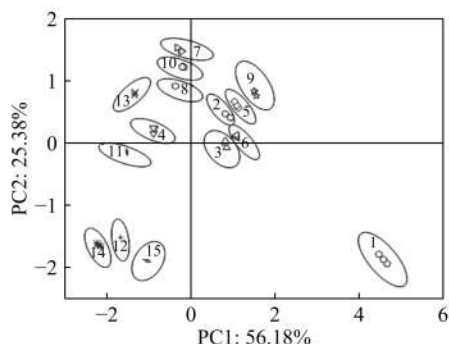


图1 电子舌主成分分析图

Fig.1 Principal component analysis diagram of electronic tongue response

响应值与15种样品钠盐含量的关联度较高^[31],其中CT0(咸味传感器)关联度最高,达到0.9511,这一结论与上述电子舌传感器响应值分析结果一致。由该结果推测钠盐含量对样品味觉特征中的咸味、鲜味、酸味影响相对较大,与苏智敏等^[32]的电子舌主成分分析结果相似,钠盐对鲜味与咸味响应值影响力较

大;而钠盐含量造成酸味响应值差异性大的原因可能是由于滋味物质间的相互作用引起^[33]。

2.4.4 钠盐含量与电子舌传感器响应值的回归模型

灰色关联度排序可用于描述各因子的重要性,魏常敏等^[15]、税红霞等^[16]、肖轲等^[25]均以灰色关联度排序作为各因子影响程度的评价依据。根据关联度分析结果,样品钠盐含量与电子舌传感器CT0(咸味)、CA0(酸味)、AAE(鲜味)的响应值之间关联度较高,将钠盐含量与传感器CT0、CA0、AAE响应值进行回归分析,回归模型参数见表7,其中y表示样品钠盐含量(mg/100g), x_1 表示传感器CA0的响应值, x_2 表示传感器AAE的响应值, x_3 表示传感器CT0的响应值。R表示拟合优度,衡量模型对观测值的拟合程度,数值越接近1,说明该模型拟合度越高, R^2 值一般选用调整后的,其更具有准确性。根据研究结果得出回归方程中的 R^2 为0.936,调整后的 R^2 为0.918;而且所得回归方程拟合精度较高,表明钠盐含量与CT0、CA0、AAE三种传感器的相关性

表4 电子舌传感器的相对响应值

Table 4 Relative response values of electronic tongue sensors

样品编号	CA0	C00	AE1	AAE	CT0
1	-2.3444	0.7314	-0.0798	0.1822	1.0000
2	-3.7117	0.8803	-0.1236	1.2201	1.0000
3	-3.5886	1.0344	-0.1561	1.2553	1.0000
4	-3.7026	1.3569	-0.1859	1.5539	1.0000
5	-3.1446	0.7623	-0.0874	1.1413	1.0000
6	-2.7983	0.8238	-0.1274	0.9873	1.0000
7	-3.3444	0.6556	-0.1535	1.2541	1.0000
8	-2.8660	0.8187	-0.1562	1.1996	1.0000
9	-2.4816	0.5061	-0.1041	0.9413	1.0000
10	-3.6019	0.7342	-0.1815	1.4426	1.0000
11	-57.4074	14.5741	-4.4074	22.6852	1.0000
12	6.3370	-1.9758	0.6123	-2.3789	1.0000
13	-4.3960	0.9501	-0.4259	1.7398	1.0000
14	17.0055	-7.7857	0.9560	-6.5165	1.0000
15	4.3359	-1.4838	0.2696	-1.6210	1.0000
均值	-4.3806	0.8388	-0.2901	1.6724	1.0000

表5 无量纲化处理结果

Table 5 Results of dimensionless processing

样品编号	CA0	C00	AE1	AAE	CT0	钠盐含量(mg)
1	0.5352	0.8719	0.2751	0.1089	1.0000	1.0653
2	0.8473	1.0494	0.4260	0.7295	1.0000	1.0769
3	0.8192	1.2331	0.5381	0.7506	1.0000	1.0983
4	0.8452	1.6176	0.6408	0.9291	1.0000	1.1971
5	0.7179	0.9088	0.3015	0.6824	1.0000	1.3337
6	0.6388	0.9820	0.4392	0.5903	1.0000	1.4342
7	0.7635	0.7816	0.5293	0.7499	1.0000	1.4556
8	0.6542	0.9760	0.5386	0.7173	1.0000	1.8310
9	0.5665	0.6034	0.3588	0.5629	1.0000	1.8392
10	0.8222	0.8752	0.6257	0.8626	1.0000	1.2942
11	13.1049	17.3740	15.1953	13.5645	1.0000	0.1861
12	-1.4466	-2.3554	-2.1111	-1.4224	1.0000	0.0453
13	1.0035	1.1327	1.4685	1.0400	1.0000	0.9451
14	-3.8820	-9.2815	-3.2961	-3.8955	1.0000	0.1541
15	-0.9898	-1.7689	-0.9297	-0.9692	1.0000	0.0438

表 6 传感器响应值与钠盐含量的关联系数及关联度

Table 6 Correlation coefficient and correlation degree between sensor response value and sodium content

样品编号	CA0	C00	AE1	AAE	CT0
1	0.9449	0.9811	0.9187	0.9027	0.9956
2	0.9771	1.0000	0.9326	0.9642	0.9943
3	0.9716	0.9877	0.9418	0.9642	0.9918
4	0.9637	0.9564	0.9423	0.9728	0.9807
5	0.9361	0.9559	0.8957	0.9325	0.9657
6	0.9182	0.9530	0.8992	0.9135	0.9549
7	0.9284	0.9302	0.9056	0.9270	0.9527
8	0.8824	0.9124	0.8722	0.8881	0.9147
9	0.8738	0.8771	0.8558	0.8734	0.9139
10	0.9510	0.9566	0.9309	0.9552	0.9700
11	0.4008	0.3344	0.3653	0.3924	0.9164
12	0.8548	0.7841	0.8020	0.8569	0.9029
13	0.9964	0.9818	0.9457	0.9922	0.9968
14	0.6826	0.4782	0.7158	0.6819	0.9133
15	0.8955	0.8284	0.9012	0.8975	0.9027
关联度	0.8785	0.8612	0.8549	0.8743	0.9511
关联度排序	2	5	4	3	1

表 7 钠盐含量与电子舌传感器响应值的回归模型

Table 7 Regression model of sodium content and response value of electronic tongue sensor

回归方程	系数	T检验	F检验	R ²	调整后R ²
$y=1313.3+ax_1+bx_2+cx_3$	a=69.35	2.274	53.517	0.936	0.918
	b=88.28	2.323			
	c=61.26	12.018			

较好。

3 结论

电子舌传感器响应值及主成分分析结果表明,不同钠盐含量的味觉值具有一定的差异性($P<0.05$),其中钠盐含量对CT0(咸味)传感器响应值影响显著,不同钠盐含量的咸味值均存在显著差异性($P<0.05$)。经灰色关联分析法得出钠盐含量与五种电子舌传感器关联度大小依次为:CT0(咸味)>CA0(酸味)>AAE(鲜味)>AE1(涩味)>C00(苦味);同时构建了钠盐含量与CT0(咸味)、CA0(酸味)、AAE(鲜味)的回归模型,模型 R^2 为0.918,具有较好的拟合精度。该研究可为进一步研究加工肉制品中钠盐对味觉值的可能影响提供理论基础与研究思路,下一步将针对钠盐含量对味觉值的具体影响进行探究,验证及优化钠盐含量与关键味觉值的相关模型,为低钠肉制品及减盐技术的开发提供一定的参考基础。

参考文献

- [1] 位建荣. 西式香肠生产工艺[J]. 肉类工业, 2002(2): 7-8.
- [2] 吴宁, 张红叶. 钠钾与高血压病关系的研究进展[J]. 中国循证心血管医学杂志, 2015, 7(2): 283-285.
- [3] 程萌, 佟钰, 左利君, 等. 钠盐摄入与卒中中发生风险关系的Meta分析[J]. 现代预防医学, 2018, 45(22): 4208-4212.
- [4] Inguglia E S, Zhang Z, Tiwari B K, et al. Salt reduction strategies in processed meat products-A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2017, 59: 70-78.
- [5] Schmidt U S, Pietsch V L, Rentschler C, et al. Influence of the

degree of esterification on the emulsifying performance of conjugates formed between whey protein isolate and citrus pectin[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 56(5): 1-8.

- [6] Marchetti L, Andres S C, Califano A N. Physicochemical, microbiological and oxidative changes during refrigerated storage of n-3 PUFA enriched cooked meat sausages with partial NaCl substitution[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(3): 1-11.
- [7] Zhang W M, Dong Q L, Song X Y, et al. Progress of sodium lactate as a preservative in meat and meat products[J]. Food Science, 2016, 37(1): 235-240.
- [8] 马晓丽, 黄雅萍, 张龙涛, 等. 肉制品加工中的低钠策略研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(14): 256-262.
- [9] Tobin B D, O'sullivan M G, Hamill R M, et al. Effect of varying salt and fat levels on the sensory and physicochemical quality of frankfurters[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 659-666.
- [10] 郝红涛, 赵改名, 李苗云, 等. 低脂低钠肉类制品的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2010, 36(2): 163-167.
- [11] Horita, C N, Messias V C, Morgano, M A, et al. Textural, microstructural and sensory properties of reduced sodium frankfurter sausages containing mechanically deboned poultry meat and blends of chloride salts[J]. Food Research International, 2014: 66.
- [12] Barat J M, Perez-esteve E, Aristoy M C, et al. Partial replacement of sodium in meat and fish products by using magnesium salts: A review[J]. Plant and Soil, 2013, 368(1/2): 179-188.
- [13] Rudnitskaya A, Rocha S M, Legin A, et al. Evaluation of the feasibility of the electronic tongue as a rapid analytical tool for wine

- age prediction and quantification of the organic acids and phenolic compounds. The case-study of madeira wine[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2010, 662(1): 82-89.
- [14] Escuder G L, Peris M. Review: Highlights in recent applications of electronic tongues in food analysis[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2010, 665(1): 15-25.
- [15] 魏常敏, 许卫猛, 邢永锋, 等. 不同年份玉米杂交种主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J]. *浙江农业科学*, 2019, 60(10): 1756-1759.
- [16] 税红霞, 王秀全, 何丹, 等. 西南区玉米新品种主要农艺性状与产量的灰色关联度分析[J]. *耕作与栽培*, 2015(5): 4-6.
- [17] 肖轲, 苏东林, 李志坚, 等. 基于改进 AHP 和灰色关联度分析法用于稻米蛋白质营养学评价[J]. *食品与机械*, 2019, 35(11): 52-57.
- [18] 龚雨虹, 罗光明, 张风波, 等. 基于灰色关联度法评价栀子药材质量[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2017, 23(13): 74-79.
- [19] 张阳, 李可强, 张鹏, 等. 灰色关联度分析法评价北豆根药材质量研究[J]. *辽宁中医杂志*, 2016, 43(2): 367-369.
- [20] Xiong Y L, Noel D C, Moody W G. Textural and sensory properties of low-fat beef sausages with added water and polysaccharides as affected by pH and salt[J]. *Journal of Food Science*, 1999, 64(3): 550-554.
- [21] 申慧珊, 张国权, 夏天雨, 等. 电子舌技术对市售不同品牌方便面调料的滋味识别[J]. *中国调味品*, 2018, 43(9): 134-139, 159.
- [22] 李双艳, 邓力, 汪孝, 等. 基于电子鼻、电子舌比较分析冷藏方式对小香鸡风味的影响[J]. *肉类研究*, 2017, 31(4): 50-55.
- [23] 邓聚龙. 灰色系统基础方法 [M]. 华中理工大学出版社, 1987: 10-13.
- [24] Zhou Q H, Lin L Q, Chen G, et al. Prediction and optimization of electrospun polyacrylonitrile fiber diameter based on grey system theory[J]. *Materials (Basel, Switzerland)*, 2019, 12(14): 2237-2252.
- [25] 税红霞, 何丹, 王秀全, 等. 鲜食甜玉米农艺性状与鲜穗产量的灰色关联度分析[J]. *西南农业学报*, 2011, 24(5): 1656-1659.
- [26] 肖轲, 吴跃辉, 李志坚, 等. 基于灰色关联度的柑橘果汁食味品质综合评价[J]. *湖南农业科学*, 2019(10): 80-82, 85.
- [27] Fellendorf S, Kerry J P, Hamill R M, et al. Impact on the physicochemical and sensory properties of salt replacers[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 92(6): 584-592.
- [28] 赵希荣, 汤芸. 低钠肉制品的开发研究进展[J]. *徐州工程学院学报(自然科学版)*, 2016, 31(3): 29-36.
- [29] 马晓丽, 黄雅萍, 张龙涛, 等. 肉制品加工中的低钠策略研究[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(14): 256-262.
- [30] 毛羽扬. 咸味、鲜味和咸鲜调味平台的建立[J]. *中国调味品*, 2001(12): 25-27, 29.
- [31] 孟舒雨, 李苗云, 赵改名, 等. 基于灰色关联度法的狮子头风味电子鼻分析与感官评分相关性[J]. *肉类研究*, 2019, 33(4): 24-28.
- [32] 苏智敏, 黄小平, 刘飞, 等. 电子舌技术在食用盐模糊感官评价中的应用 [J/OL]. *食品与机械*: 1-5[2020-07-08]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1183.TS.20200619.1351.006.html>.
- [33] 付娜, 王锡昌. 滋味物质间相互作用的研究进展[J]. *食品科学*, 2014, 35(3): 269-275.