

牛肉味觉品质快速检测的传感器阵列优化方法

王笑丹 徐丽萍 王洪美 才英明 金佳慧 朱灵涛
(吉林大学食品科学与工程学院, 长春 130062)

摘要: 为了快速辨识不同味觉品质的牛肉汁,对牛肉味觉品质等级进行划分,构建了由 12 个离子电极与 1 个参比电极组成的味觉传感器阵列,将该阵列应用于牛肉汁的等级辨识中,评价 30 组牛肉汁样品味觉品质等级。采用基于欧氏距离的聚类分析方法划分牛肉味觉品质等级。针对牛肉汁味觉品质评价自动化关键技术问题,对用于牛肉汁等级评价的传感器阵列进行了筛选优化。采用单因素方差分析对各离子电极响应信号之间的内在关联进行了研究,根据优化结果选择 S1、S2、S5、S7、P2、P3 离子电极构建新的传感器阵列,并对 30 组牛肉汁进行评价。试验结果表明:优化后的传感器阵列对牛肉汁的等级评定正确率为 93.33%,高于未经优化的传感器阵列的等级评定正确率(80.00%)。

关键词: 牛肉; 味觉; 单因素方差分析; 传感器阵列优化; 欧氏距离

中图分类号: TS251.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2017)07-0332-07

Optimization Method of Sensor Array for Quick Detection of Taste Quality of Beef

WANG Xiaodan XU Liping WANG Hongmei CAI Yingming JIN Jiahui ZHU Lingtao
(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130062, China)

Abstract: In order to quickly identify different taste qualities of beef juices and divide the quality grade of beef individuals, a taste sensor array was built by the method according Byrd Luo taste theory, containing twelve working electrodes and one reference electrode. The array was applied to classify the quality grade of beef juices, and 30 groups of beef juices were distinguished. The method of clustering analysis based on Euclidean distance was used to classify the taste quality of beef, which showed that the taste characteristics of the same grade of beef juice samples were very similar and could be aggregated into one group. And the accuracy of sensor array to detect the beef taste quality was assessed by sensory evaluation. The sensor array for identification of beef juices was optimized for the key technical issues of automated quality evaluation of beef juices. The inherent relationship among the response signals of sensors was analyzed by the factor analysis of variance. Six working electrodes (S1, S2, S5, S7, P2 and P3) were selected to compose beef taste sensor array with the reference electrode, and 30 groups of beef juices were identified. The results showed that the identification accuracy rate for beef juices by the optimized sensor array was 93.33%, which was higher than 80.00% by the non-optimized one.

Key words: beef; taste; single factor analysis of variance; optimization of sensor array; Euclidean distance

引言

牛肉味觉品质是影响牛肉适口性至关重要的因素。从实际情况来看,牛肉品质检测主要针对气味^[1]、嫩度^[2-3]、新鲜度^[4-5]、颜色、pH 值^[6]、含水

率^[7-8]、微生物检测等方面^[9-11],对于牛肉味觉品质检测方面的研究较局限化。为了对牛肉味觉品质快速划分等级,迫切需要开发牛肉味觉品质等级辨识的方法。近年来,多传感器阵列因其与传统化学检测方法比较而言具有快速、全面和客观的优点而

被应用于多种食品的分类辨识过程中^[12]。国内,研究人员构建传感器阵列研究了肉制品品质^[13-14]以及玉米饮料^[15]、白酒^[16-18]、纯牛奶^[19]、食醋^[20]、水果^[21-22]、小麦^[23]、甜菊糖的气味和味觉^[24]。国外,研究人员利用电子舌分辨橄榄油^[25]、茶、清洁剂^[26]、软饮料^[27]、红葡萄酒^[28]。传感器阵列可以快速准确地辨识牛肉汁味觉品质的等级。然而,牛肉汁成分复杂,尽可能多地选择传感器固然可以比较全面地表示牛肉汁的特征,但同时也会引入一些对其等级划分造成干扰的因素,使结论产生误差,因而需要对传感器阵列进行优化。

本文依据伯德罗味觉理论构建包含 12 个离子电极与 1 个参比电极的味觉传感器阵列,依据传感器对不同牛肉汁样品的识别能力和单因素方差分析对传感器阵列进行优化,并选取 6 个传感器作为优化阵列。利用 SPSS 20.0 软件,通过欧氏距离和组间联接方法进行聚类分析,从而分析得出牛肉汁等级,并利用感官评定进行验证。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验所用的牛眼肉购于吉林省长春市皓月清真肉业股份有限公司,均为健康沃金黑牛,体质量为 400~550 kg,月龄为 30~36 月,育肥 6 个月以上。屠宰前 24 h 禁食,8 h 禁水;按 NY/T 676—2010《牛肉等级规格》要求的操作规程屠宰,屠宰后冷却 24 h,取牛眼肉部位进行测定。该肉经 24 h 冷却排酸,充分解僵,质地较好^[29]。

1.2 仪器与设备

H 型数显恒温水浴器,金坛市金城国盛实验仪

器厂;DH070A 型干燥箱,上海一恒科学仪器有限公司;雷磁电极,上海仪电科学仪器股份有限公司;CHI660D 型电化学工作站,上海辰华仪器有限公司;BSA124S 型电子分析天平,赛多利斯科学仪器(北京)责任公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备

共购买 30 组不同的牛肉样品,每组 250 g,编号 1~30。每组试验样品切成尺寸 10 mm×10 mm×10 mm 的小块,剔除试验样品中的肌间脂肪和结缔组织。将样品在去离子水中洗净,去除表面污染物,分装入保鲜袋并密封,放入 75~80℃的水浴锅中加热,待牛肉内部温度达到 70℃后再煮 15 min,挤出其中的肉汁,过滤,自然冷却至室温(20℃),每组取 100 mL 滤液,即为检测样品^[29]。

1.3.2 基于伯德罗味觉理论的传感器阵列构建

伯德罗理论提出味觉的产生是呈味物质的刺激在味感受体上达到热力学平衡的过程,不同呈味物质在味感神经去电荷形式上的不同会引起脉冲数的变化,从而在大脑中形成不同的味觉。本研究根据伯德罗味觉理论,选择对于不同离子敏感度不同而引起电位差异的传感器构建阵列,包含 12 个离子电极和 1 个饱和甘汞参比电极。传感器阵列中的 12 个离子电极包含 2 个玻璃电极(传感器编号为:G1、G2)、3 个液膜电极(传感器编号为:P1、P2、P3)和 7 个难溶盐(固态)膜电极(传感器编号为:S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7)。对于干燥保存的全部离子电极,需在去离子水中扫描电位-时间曲线,直至达到稳定状态,待用,传感器类型及活化参数如表 1^[30]所示。

表 1 传感器类型及活化参数

Tab.1 Type of sensors and parameters of activation

传感器 编号	离子电极 类型	离子电极 薄膜类型	离子电极敏感薄膜的活性材料 及制备方法	活化溶液	相对分子 质量	质量/g	体积/ mL	活化溶液浓度/ (mol·L ⁻¹)	活化 时间/h
G1	敏感玻璃球	Na ⁺	5% Al ₂ O ₃ 、68% SiO ₂ 、27% Na ₂ O 制成球泡状敏感膜	NaCl	58.5	0.005 85	1 000	1×10 ⁻⁴	8
G2	敏感玻璃球	H ⁺	72% SiO ₂ 、22% Na ₂ O、6% CaO 制成球泡状敏感膜	H ₂ O	18		250		2
P1	液体离子交换膜	Ca ²⁺	双(对异辛基苯基)磷酸钙于磷酸酯中制成敏感膜	CaCl ₂	111	0.027 75	250	1×10 ⁻³	6
P2	中性分子载体膜	K ⁺	中性分子载体膜	KCl	74.5	0.018 63	250	1×10 ⁻³	2
P3	PVC 薄膜	NO ³⁻	季铵盐与 PVC 粉溶入四氢呋喃等制成透明均匀薄膜	NaNO ₃	85	0.021 25	250	1×10 ⁻³	6
S1	压片(多晶)膜	I ⁻	碘化银添加硫化银压制成致密薄片作为敏感膜	KI	166	0.041 50	250	1×10 ⁻³	12
S2	单晶膜	F ⁻	氟化镧制备成单晶膜	H ₂ O	18		250		6
S3	压片(多晶)膜	Cl ⁻	氯化银添加硫化银压制成致密薄片作为敏感膜	KCl	74.5	0.018 63	250	1×10 ⁻³	2
S4	固体沉淀膜	Pb ²⁺	纯度极高的硫化铅分散至硅橡胶中制成一种非均相薄膜	Pb(NO ₃) ₂	331	0.082 75	250	1×10 ⁻³	8
S5	单晶膜	Cu ²⁺	硫化铜制备成单晶膜	CuSO ₄ ·5H ₂ O	249.5	0.062 37	250	1×10 ⁻³	6
S6	压片(多晶)膜	Br ⁻	溴化银添加硫化银压制成致密薄片作为敏感膜	KBr	118.9	0.029 73	250	1×10 ⁻³	2
S7	压片(多晶)膜	Ag ⁺ /S ²⁻	硫化银晶体粉末加压处理制成的坚实薄片作为敏感膜	AgNO ₃	170	0.042 50	250	1×10 ⁻³	2

1.3.3 牛肉味觉品质检测及传感器阵列优化方法

试验在室温条件下进行,将传感器阵列进行活化后与电化学工作站连接,将传感器浸入去离子水中,在无搅动状态下浸泡后扫描至信号平衡。然后将传感器工作电极敏感膜浸入待测牛肉汁液面下 15 mm,使用开路电位法检测牛肉汁,参数设定如表 2 所示。每次测量完成后均用去离子水对传感器测量端和浸入溶液部分进行冲洗,并再次在去离子水中扫描至信号平衡。每组牛肉汁样品重复检测 3 次,将 3 次测量平均值作为样品味觉信号原始数据。

表 2 开路电位法参数设定

Tab. 2 Parameter setting of open circuit potential				
参数	运行时间/s	时间间隔/s	高电位/V	低电位/V
数值	60	0.1	1	-1

由于牛肉汁的味觉成分复杂,仅用单个传感器无法评定味觉品质,味觉传感器的工作原理是建立在模拟人味觉形成过程的基础上,利用 12 个离子电极和 1 个参比电极组成的味觉传感器阵列对牛肉汁

进行检测和分析,可以更加全面地表达牛肉味觉品质信息,但并不是每个传感器对所有待检测的牛肉汁都有很大的响应。如果传感器响应信号方差相对较小,表明该传感器辨识不同牛肉味觉品质等级的能力较弱,在数据处理中可以去掉这些信号来减少计算量,节约时间和存储空间。本研究采用单因素方差分析方法对试验数据进行分析,以减少阵列中传感器数量,提高对牛肉味觉品质信息的有效辨识率。

1.3.4 牛肉味觉品质感官评定

为验证传感器阵列评定牛肉味觉品质的准确性,以感官评定方法作为牛肉味觉品质评定的验证标准。将上述已处理的牛肉样品冷却至室温,每组样品均取出 3 个小块,由 30 名感官评定员依次进行咀嚼,然后吐净,漱口,准备咀嚼下一样品。30 名感官评定员要求年龄在 20 ~ 25 岁之间且身体健康,无饥饿感和口渴感^[29]。根据国标规定^[31]与国内外研究设计感官评定表(表 3),牛肉味觉品质等级如表 4 所示。每个感官评定员咀嚼的牛肉样品来自同一牛肉,根据感官评定表进行打分,总分 100 分。

表 3 牛肉味觉品质感官评定

Tab. 3 Sensory evaluation of beef taste quality		评分等级				
		1	2	3	4	5
鲜味(40 分)	有浓郁、醇厚的鲜爽感,有牛肉特有鲜味	33 ~ 40	25 ~ 32	17 ~ 24	9 ~ 16	1 ~ 8
咸味(20 分)	有微弱的咸味、新鲜度、无其他刺激性异味	17 ~ 20	13 ~ 16	9 ~ 12	5 ~ 8	1 ~ 4
酸甜味(10 分)	有肉制品特有的微弱淡甜味,无刺激性酸味、腐败味	9 ~ 10	7 ~ 8	5 ~ 6	3 ~ 4	1 ~ 2
入口味(30 分)	爽嫩、可口、口感适中	25 ~ 30	19 ~ 24	13 ~ 18	7 ~ 12	1 ~ 6

表 4 牛肉味觉品质等级

Tab. 4 Degree for sensory evaluation of beef sample taste quality					
参数	品质描述				
	极好	较好	好	一般	差
味觉等级	1	2	3	4	5
感官评分	80 ~ 100	60 ~ 80	40 ~ 60	20 ~ 40	0 ~ 20

1.3.5 试验结果处理方法

聚类分析法(Cluster analysis)是研究分类问题的一种多元统计分析方法,最常用的聚类方法为系统聚类法,其基本思想是认为所研究的样品或指标间存在程度不同的相似性(亲疏关系),于是根据一批样品的多个观测指标,具体地找出一些能度量样品间相似性的统计量,并以这些统计量为划分类型的依据。其中欧氏距离计算是最为常见的相似度量方法,将距离相近的样品聚为一类,直至所有样品聚合完毕,形成一个由小到大的分类系统,并得到一张能表示所有样品间亲疏关系的谱系图^[32]。样品间 n 维向量 $\mathbf{x}_1(x_{11}, x_{12}, \cdots, x_{1n})$ 与 $\mathbf{x}_2(x_{21}, x_{22}, \cdots, x_{2n})$

的欧氏距离为

$$d_{12} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{1k} - x_{2k})^2}$$

(1)

数据分析采用 Microsoft Excel 2007 软件,聚类分析与单因素方差分析均由 SPSS 20.0 统计分析软件完成,系统聚类分析中类间聚合使用组间联接,个体之间的相似性使用欧氏距离。

2 结果与分析

2.1 传感器响应信号分析

对传感器阵列响应信号进行分析,传感器在去离子水中和牛肉汁中响应信号稳定时如图 1、2 所示

(以 G1 传感器为例)。从图中可以看出,前 10 s 内,传感器 G1 的响应信号强度迅速减小,10 ~ 60 s 过程中,在去离子水中 G1 响应信号强度稳定,在牛肉汁中 G1 响应信号曲线变化较小,趋于稳定,达到动态平衡。因此,为了不将设备干扰和人为干扰引入分析过程中,提取 10.1 ~ 60 s 的传感器响应信号平均值,并转换为 mV 单位进行数据分析。

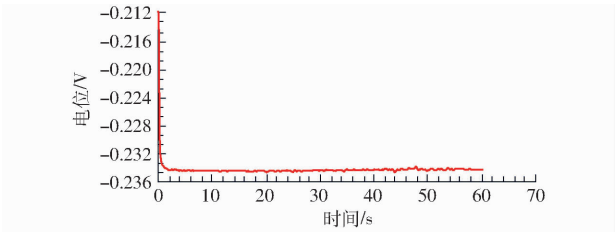


图 1 G1 在去离子水中响应信号图

Fig. 1 G1 signal response in deionized water

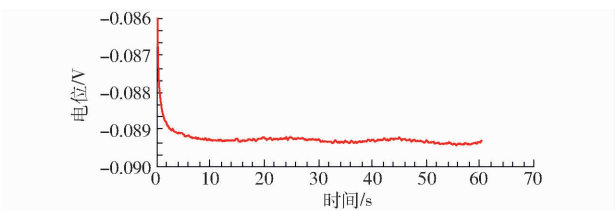


图 2 G1 在牛肉汁中响应信号图

Fig. 2 G1 signal response in beef juice

2.2 牛肉味觉品质感官评定结果

对 30 组牛眼肉进行感官评定,每组样品评定 3 次取平均值,并根据分值求得牛肉味觉品质等级,结果为:30 组肉样中,牛肉味觉品质为 1 级的有 6 组,牛肉味觉品质为 2 级的有 11 组,牛肉味觉品质为 3 级的有 5 组,牛肉味觉品质为 4 级的有 4 组,牛肉味觉品质为 5 级的有 4 组。这说明,市场上销售的大多数牛肉味觉品质良好,具有很高的食用价值。

2.3 牛肉味觉品质传感器阵列的优化

采用单因素方差分析方法对 30 组牛肉汁的传感器阵列响应信号值进行分析,以 F 值作为判别统计量,其结果如表 5 所示。

由表 5 可知,各传感器的单因素方差分析模型都是极显著的,显著水平均小于 0.000 1,表明 30 组牛肉汁对各传感器响应信号都具有极显著影响,意味着可以利用传感器响应信号区分不同等级的牛肉汁。 F 值由大到小的传感器排列顺序为 S5、P3、S7、S1、S2、P2、S4、S3、G2、S6、P1、G1, F 值越小,传感器对不同等级牛肉汁的区分能力越弱,因此取 S1、S2、S5、S7、P2、P3 这 6 个传感器,与参比电极共同组成牛肉味觉传感器阵列。

2.4 利用欧氏距离对牛肉汁样品进行聚类分析

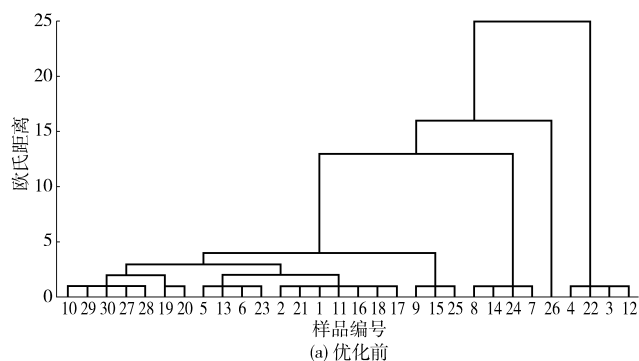
本研究选用系统聚类分析,利用试验牛眼肉样

表 5 单因素方差分析结果						
Tab. 5 Results of single factor analysis of variance						
传感器	变异来源	平方和	自由度	均方	F	显著性
S1	组间	25 609. 50	29	883. 09	3 502. 08	< 0. 000 1
	组内	18. 91	75	0. 25		
	总数	25 628. 41	104			
S2	组间	43 290. 16	29	1 492. 76	2 254. 74	< 0. 000 1
	组内	49. 65	75	0. 66		
	总数	43 339. 81	104			
S3	组间	4 585. 78	29	158. 13	591. 93	< 0. 000 1
	组内	20. 04	75	0. 27		
	总数	4 605. 82	104			
S4	组间	271 657. 84	29	9 367. 51	741. 19	< 0. 000 1
	组内	947. 89	75	12. 64		
	总数	272 605. 73	104			
S5	组间	746 783. 56	29	25 751. 16	10 609. 24	< 0. 000 1
	组内	182. 04	75	2. 43		
	总数	746 965. 60	104			
S6	组间	2 975. 56	29	102. 61	245. 14	< 0. 000 1
	组内	31. 39	75	0. 42		
	总数	3 006. 95	104			
S7	组间	1 371 686. 20	29	47 299. 52	3 982. 53	< 0. 000 1
	组内	890. 76	75	11. 88		
	总数	1 372 576. 96	104			
P1	组间	2 093. 66	29	72. 20	168. 86	< 0. 000 1
	组内	32. 07	75	0. 43		
	总数	2 125. 73	104			
P2	组间	8 907. 11	29	307. 14	810. 90	< 0. 000 1
	组内	28. 41	75	0. 38		
	总数	8 935. 52	104			
P3	组间	57 254. 58	29	1 974. 30	4 383. 75	< 0. 000 1
	组内	33. 78	75	0. 45		
	总数	57 288. 36	104			
G1	组间	1 017. 91	29	35. 10	68. 59	< 0. 000 1
	组内	38. 38	75	0. 51		
	总数	1 056. 29	104			
G2	组间	18 731. 91	29	645. 93	300. 61	< 0. 000 1
	组内	161. 16	75	2. 15		
	总数	18 893. 07	104			

品的味觉品质等级与牛肉汁电位作为特征参数对 30 组试验牛眼肉样品数据进行聚类分析,将其编号 1 ~ 30 号。分类时距离较近的聚合一类,当所有的数据聚合为一类时停止聚类。首先对 30 组牛肉汁样品进行初始聚类,每个样品自成一类;计算 30 组样品之间的欧氏距离,选择数值最小的 2 个样品即最相近的 2 个样品进行合并,此时类别数目由最初的 30 组减少到 29 组,再次进行欧氏距离的计算,以此类推,重复此过程直至将 30 组牛肉汁样品都归为一类。

在牛肉汁样品的系统聚类分析中,类间聚合使

用组间联接,个体之间的相似性使用欧氏距离,得到牛肉汁样品聚类分析图,优化前传感器阵列的聚类



分析图如图 3a 所示,优化后传感器阵列的聚类分析图如图 3b 所示。

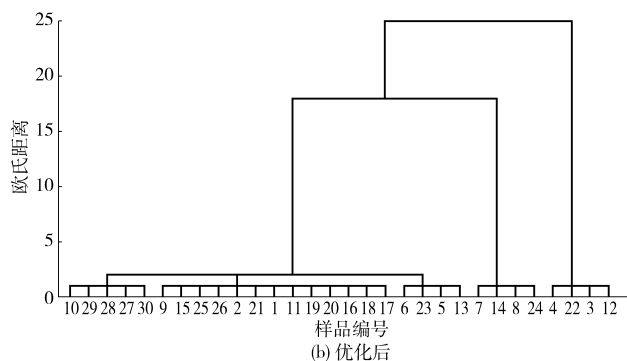


图 3 传感器阵列的聚类分析图

Fig. 3 Clustering analyses of sensor array

优化前传感器阵列的聚类分析中共 30 组样品进入聚类分析。通过聚类图谱可以看出按牛肉汁电位将牛肉味觉品质分为 8 类,即 30 组样品类间距离。第 1 类包括 5 个样品,味觉品质等级为 1 级;第 2 类包括 2 个样品,味觉品质等级为 2 级;第 3 类包括 4 个样品,味觉品质等级为 3 级;第 4 类包括 7 个样品,味觉品质等级为 2 级;第 5 类包括 3 个样品,味觉品质等级为 2 级;第 6 类包括 4 个样品,味觉品质等级为 4 级;第 7 类包括 1 个样品,味觉品质等级为 3 级;第 8 类包括 4 个样品,味觉品质等级为 5 级。将等级划分结果与牛肉感官评定结果做比较,其中,19 号、20 号、9 号、15 号、25 号、26 号分类错误,19 号为 1 级,应与第 1 类分为一组,20 号、9 号、15 号、25 号为 2 级,应与第 4 类为一组,26 号为 3 级,应与第 3 类为一组。此时分组正确率为 80.00%。

优化后传感器阵列的聚类分析中,共 30 组样品进入聚类分析。随着聚类数目逐渐减少,类与类的距离逐渐增大。通过聚类图谱可以看出按牛肉汁电位将牛肉味觉品质分为 5 类,即 30 组样品类间距离。第 1 类包括 5 个样品,味觉品质等级为 1 级;第 2 类包括 13 个样品,味觉品质等级为 2 级;第 3 类包括 4 个样品,味觉品质等级为 3 级;第 4 类包括 4 个样品,味觉品质等级为 4 级;第 5 类包括 4 个样

品,味觉品质等级为 5 级。将等级划分结果与牛肉感官评定结果做比较,其中,26 号、19 号归类错误,正确率为 93.33%,相比未优化时分组正确率提高了 13.33 个百分点。

总体来讲,利用优化后的传感器阵列进行检测和分析,可以节约时间、人力物力,并较大程度上提高了等级划分的正确率。这说明,优化后的味觉传感器阵列可以依据不同味觉特征完成牛肉汁等级的分类辨识,并且提高了检测效率。

3 结束语

基于伯德罗味觉理论,选择 12 个响应不同离子种类的离子电极和参比电极共同构建味觉传感器阵列,检测 30 组牛眼肉样品的味觉品质。提取传感器检测的电位后,通过单因素方差分析优化传感器阵列,挑选出 S1、S2、S5、S7、P2、P3 6 个工作电极与参比电极共同组成牛肉味觉传感器阵列。并使用 SPSS 20.0 软件对电位矩阵进行聚类分析,应用欧氏距离对 30 组牛眼肉样品进行分类。优化后传感器阵列的聚类分析中,等级分类正确率达 93.33%,较优化前提高 13.33 个百分点,结果表明:所优化的传感器阵列和基于欧氏距离的牛肉味觉品质检测方法可以准确快速地检测牛肉味觉品质,并评定牛肉味觉品质等级。

参 考 文 献

- 1 滕炯华,袁朝辉,王磊.多气体传感器信号样条回归分析[J].同济大学学报:自然科学版,2004,32(6):792-794.
TENG Jionghua, YUAN Zhaohui, WANG Lei. Spline regression of multi-gas sensors[J]. Journal of Tongji University: Natural Science, 2004, 32(6): 792-794. (in Chinese)
- 2 SUN X, CHEN K J, MADDOCK-CARLIN K R, et al. Predicting beef tenderness using color and multispectral image texture features[J]. Meat Science, 2012, 92(4): 386-393.
- 3 王笑丹,刘爱阳,孙永海,等.基于自组织神经网络模型与质构特性的牛肉嫩度评定方法[J].农业工程学报,2015,31(18):262-268.
WANG Xiaodan, LIU Aiyang, SUN Yonghai, et al. Evaluation method of beef tenderness based on texture properties and self-organizing neural network model[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(18): 262-268. (in Chinese)

- 4 海铮. 基于电子鼻的牛肉新鲜度检测[D]. 杭州:浙江大学,2006:1-58.
HAI Zheng. Detection of beef freshness by an electronic nose[D]. Hangzhou: Zhejiang University,2006:1-58. (in Chinese)
- 5 王樊静. 牛胴体分级信息自动检测和牛肉分级系统的研究[D]. 长春:吉林大学,2009:1-63.
WANG Fanjing. Research on automatic inspections of grading features of beef carcasses and beef grading system[D]. Changchun: Jilin University,2009:1-63. (in Chinese)
- 6 张玉华,孟一. 肉类品质无损检测技术研究现状与发展趋势[J]. 食品工业科技,2012(12):392-400.
ZHANG Yuhua, MENG Yi. Research and progress of non-destructive testing technology of meat quality[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012(12):392-400. (in Chinese)
- 7 陈坤杰,秦春芳. 牛肉品质检测技术的研究进展[J]. 食品科学,2009,30(7):277.
CHEN Kunjie, QIN Chunfang. Research progress on detection technology of beef quality[J]. Food Science,2009,30(7):277. (in Chinese)
- 8 郑晓春,李永玉,彭彦昆,等. 基于可见/近红外光谱的牛肉品质无损检测系统改进[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(增刊):332-339. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016s051&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.051.
ZHENG Xiaochun, LI Yongyu, PENG Yankun, et al. Improvement of nondestructive detection system of beef quality based on visible/near infrared spectroscopy[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(Supp.):332-339. (in Chinese)
- 9 MANDOUR H A, ANTONIO M F, XIA X F, et al. Electrochemical genosensor to detect pathogenic bacteriay (*Escherichia coli* O157:H7) as applied in real food samples (fresh beef) to improve food safety and quality control[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2015,63:5017-5025.
- 10 MANDOUR H A, ANTONIO M F, MOHAND B, et al. Rapid and sensitive detection of food borne pathogenic bacteria (*Staphylococcus aureus*) using an electrochemical DNA genomic biosensor and its application in fresh beef[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2014,62:12659-12667.
- 11 BYOUNG-KWON H, HYOCHIN K, ATUL K S. Pathogen enrichment device (PED) enables one-step growth, enrichment and separation of pathogen from food matrices for detection using bioanalytical platforms[J]. Journal of Microbiological Methods, 2015,117:64-73.
- 12 王俊,崔绍庆,陈新伟,等. 电子鼻传感技术与应用研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(11):160-167. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20131129&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.11.029.
WANG Jun, CUI Shaoqing, CHEN Xinwei, et al. Advanced technology and new application in electronic nose[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(11):160-167. (in Chinese)
- 13 洪雪珍,王俊. 牛肉品质检测中电子鼻参数的优化[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(9):125-131. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20130923&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.09.023.
HONG Xuezhen, WANG Jun. Parameters optimization of electronic nose in detection of beef freshness[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(9):125-131. (in Chinese)
- 14 孙永海,孙钟雷,李宇. 基于遗传组合网络的肉用人工嗅觉系统[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(5):1209-1213.
SUN Yonghai, SUN Zhonglei, LI Yu. Meat artificial olfactory system based on composite GA-RBF network[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition,2007,37(5):1209-1213. (in Chinese)
- 15 刘晶晶. 基于传感器阵列的玉米汁饮料智能检测方法研究[D]. 长春:吉林大学,2013:1-115.
LIU Jingjing. Study on intelligent detection methods of corn juices based on a sensor array[D]. Changchun:JilinUniversity,2013:1-115. (in Chinese)
- 16 殷勇,白玉,于慧春,等. 电子鼻鉴别白酒信号小波去漂移方法[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):219-223. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161130&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.030.
YIN Yong, BAI Yu, YU Huichun, et al. Drift elimination method of electronic nose signals based on wavelet analysis and discrimination of white spirit samples[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(11):219-223. (in Chinese)
- 17 王洪彬. 基于仿生味觉阵列传感器的白酒检测研究[D]. 重庆:重庆大学,2013:1-67.
WANG Hongbin. Study of liquor identification system based on bio mimetic taste array sensor[D]. Chongqing: Chongqing University,2013:1-67. (in Chinese)
- 18 陈华,郁志勇,朱国斌. 中国白酒香型的化学模式识别——聚类分析[J]. 食品科学,2000,21(8):37-41.
CHEN Hua, YU Zhiyong, ZHU Guobin. Chemical pattern recognition of Chinese liquor flavor—clustering analysis[J]. Food Science,2000,21(8):37-41. (in Chinese)
- 19 吴从元,王俊,肖宏. 纯牛奶品牌识别中电子舌传感器阵列优化[J]. 农业机械学报,2010,41(10):138-142.
WU Congyuan, WANG Jun, XIAO Hong. Optimization of electronic tongue sensors array in identifying the brands of pure milk

[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(10):138-142. (in Chinese)

20 殷勇,薛俊莉,于慧春,等. 基于KFDA的食醋电子鼻鉴别方法[J/OL]. 农业机械学报,2014,45(9):236-240. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140938&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.09.038.

YIN Yong, XUE Junli, YU Huichun, et al. Identification method of electronic nose based on KFDA for different vinegar samples [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2014,45(9):236-240. (in Chinese)

21 赵杰文,邹小波,潘胤飞,等. 基于遗传神经网络的苹果气味识别方法研究[J]. 江苏大学学报:自然科学版,2004,25(1):1-4.

ZHAO Jiewen, ZOU Xiaobo, PAN Yinfei, et al. Research on method of apples odorant recognition based on GA-neural network [J]. Journal of Jiangsu University:Natural Science Edition,2004,25(1):1-4. (in Chinese)

22 徐赛,陆华忠,周志艳,等. 基于理化指标和电子鼻的果园荔枝成熟度识别方法 [J/OL]. 农业机械学报,2015,46(12):226-232. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20151230&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.12.030.

XU Sai, LU Huazhong, ZHOU Zhiyan, et al. Identification of litchi's maturing stage in orchard based on physicochemical indexes and electronic nose[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(12):226-232. (in Chinese)

23 张红梅,王俊. 电子鼻传感器阵列优化及其在小麦储藏年限检测中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(12):164-167.

ZHANG Hongmei, WANG Jun. Optimization of sensor array of electronic nose and its application to detection of storage age of wheat grain[J]. Transactions of the CSAE,2006,22(12):164-167. (in Chinese)

24 杨阳,沈诚,桑跃,等. 电子舌在甜菊糖甜味特性评价中的应用[J/OL]. 农业机械学报,2015,46(6):239-243. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20150634&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.06.034.

YANG Yang, SHEN Cheng, SANG Yue, et al. Evaluation of steviol glycosides sweetness taste by electronic tongue[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2015,46(6):239-243. (in Chinese)

25 ANA C A V, LUIS G D, NUNO R, et al. Sensory intensity assessment of olive oils using an electronic tongue[J]. Talanta, 2016,146:585-593.

26 PATRIK I, YUKIKO K, FREDRIK W, et al. Comparison of a voltammetric electronic tongue and a lipid membrane taste sensor [J]. Analytica Chimica Acta,2001,449(Supp. 1-2):59-68.

27 DIAS L G, PERES A M, BARCELOS T P, et al. Semi-quantitative and quantitative analysis of soft drinks using an electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B—Chemical,2011,154(2):111-118.

28 PRIETO N, GAY M, VIDAL S, et al. Analysis of the influence of the type of closure in the organoleptic characteristics of a red wine by using an electronic panel[J]. Food Chemistry,2011,129(2):589-594.

29 WANG X D, SUN Y H, LIU A Y, et al. Modeling structural and compositional changes of beef during human chewing process [J]. LWT—Food Science and Technology, 2015,60(2):1219-1225.

30 刘晶晶,孙永海,谢高鹏,等. 基于味觉传感器阵列的玉米汁饮料分类辨识[J]. 农业工程学报,2012,28(24):265-271.

LIU Jingjing, SUN Yonghai, XIE Gaopeng, et al. Classification identification of corn juices based on taste sensor array[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(24):265-271. (in Chinese)

31 GB/T 22210—2008 肉与肉制品感官评定规范[S]. 2008.

32 何晓群. 现代统计分析方法与应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,1999.