

羊肉纯度电子舌快速检测方法

田晓静^{1,2}, 王俊^{1*}, 崔绍庆¹

(1. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310058; 2. 西北民族大学生命科学与工程学院, 兰州 730024)

摘要: 为实现掺假羊肉的快速、客观评价, 利用电子舌对混入不同比例鸡肉的掺假羊肉糜进行检测及定性和定量分析。3种浸提溶液分别浸提, 样品量均对电子舌传感器的响应影响极显著; 以数据点重复性和聚类效果为依据, 采用主成分分析方法确定了电子舌检测羊肉糜样品的较佳条件为0.1 mol/L KCl溶液浸提15 g肉糜样品。在此较佳条件下, 对混入不同比例鸡肉的掺假羊肉进行检测, 结果表明: 采用主成分分析和典则判别分析, 前2个主成分累积贡献率均超过80%, 电子舌均能很好地区分混入不同比例鸡肉的羊肉糜样品; 采用多元线性回归分析和偏最小二乘回归分析建立的定量预测模型能有效预测混入的鸡肉比例($R^2 > 0.99$, $RMSE < 3\%$)。试验表明: 电子舌在羊肉掺入鸡肉的鉴别中具有可行性, 研究结果可为羊肉掺假鉴别提供参考。

关键词: 肉, 主成分分析, 模型, 电子舌, 判别分析, 掺假羊肉

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.20.033

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-20-0255-08

田晓静, 王俊, 崔绍庆. 羊肉纯度电子舌快速检测方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 255-262.

Tian Xiaojing, Wang Jun, Cui Shaoqing. Fast discriminating of purity on minced mutton using electronic tongue[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(20): 255-262. (in Chinese with English abstract)

0 引言

作为一种营养价值高的肉品, 羊肉深受广大消费者的青睐。但是, 市场上存在将猪肉、鸡肉、鸭肉等与羊腩混合或仅加入羊肉粉、香精等添加剂处理后冒充产地为青海、乌鲁木齐等地羊肉进行销售。如何实现羊肉掺假的鉴别和掺假含量的快速检测, 是中国动物源食品质量和安全研究的重点问题^[1], 羊肉掺假的研究具有重要的科学意义和研究价值^[2]。

检测肉与肉制品品质常用的方法有感官检验法、品质相关理化指标的化学分析法和确定受污染程度的微生物检测法^[3-6]。利用感官检验和化学分析法虽能实现不同品种和品质肉的区分, 但是这些方法均存在耗时长、样品预处理繁杂、需要特殊训练的人员等问题。作为一种快速分析技术, 近红外光谱等技术在肉品种和产地的鉴别有较多的应用^[7-9], 对混合肉样的研究较少, 且主要集中在猪肉、牛肉的掺假检测^[10-12]。

电子舌是基于生物味觉模式建立起来的检测体系, 主要由交互敏感传感器阵列、信号调整电路以及模式识别算法构成。在电子舌体系中, 味觉物质的信号由传感器获得, 并经数据分析处理获得最终结果。作为一种分析、识别和检测复杂呈味物质的仪器, 电子舌能够替代感官评定员对食品滋味进行评定, 并以其快速、简便、安全、无疲劳等特点迅速在很多领域内得到广泛的应用, 如食品^[13-17]、医药^[18-20]、环境监测^[21-22]等行业。在肉品质量检测中的应用主要集中在肉品新鲜度检测^[23-25]、定量分析^[26-27]、种类鉴别^[28-29]和肉品卫生质量^[30]等方面。电子舌在肉品掺杂掺假检测研究较少, 且主要是对不同种类肉的区别识别^[28-29]。本文研究了电子舌快速检测羊肉中掺杂鸡肉的可行性, 为羊肉掺杂掺假检测提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验用羊肉购自杭州农副产品物流中心, 鸡肉购自杭州沃尔玛超市。肉样去脂肪、结缔组织后, 置于-18℃冷冻。

1.2 仪器

试验用电子舌检测系统为法国阿尔法莫斯公司的Astree电子舌, 系统由传感器阵列、数据采集系统、数据分析软件和自动进样器组成。表1列出其传感器阵列各传感器的性能, 其传感器阵列包含

收稿日期: 2013-06-12 修订日期: 2013-09-15

基金项目: 国家科学部支撑计划(2012BAD29B02-4); 国家自然科学基金(31071548); 博士点基金20100101110133。

作者简介: 田晓静(1982-), 女, 河南许昌人, 博士, 讲师, 从事食品、农产品品质检测研究。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310058。Email: smile_tian@yeah.net。

*通信作者: 王俊(1965-), 男, 浙江东阳人, 教授, 博士生导师, 研究方向之一农产品加工工程与装备。杭州 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 310058。Email: jwang@zju.edu.cn

7 个交互敏感化学选择性区域效应味觉传感器和 1 个 Ag/AgCl 参比电极。试验时, 传感器阵列与样品浸出液接触, 传感器每秒采样 1 次, 响应数据由电子舌自带软件 (Alphasoft) 自动记录。每采样 1 次, 传感器进入清洗溶液清洗 1 次, 避免对下一个样品响应信号产生影响。

表 1 Astree 电子舌化学选择性区域效应传感器性能描述
Table 1 Main properties of chemically sensitive field-effect transistors sensors of Astree electronic tongue

传感器名称 Sensor name	性能描述 Main properties
ZZ	对鲜味敏感
BA	对酸敏感, 对咸味、鲜味和甜味不敏感, 对苦味基本没有响应
BB	对鲜味敏感
CA	对酸味和鲜味相对敏感
GA	对 5 种味觉物质均不敏感
HA	对 5 种味觉物质均很敏感
JB	对咸味、鲜味和甜味合和苦味物质较敏感, 对酸味不敏感

1.3 试验设计

1.3.1 电子舌检测羊肉的试验条件优化

受样品量和浸出液的影响, 浸出液中呈味物质浓度和离子活度的差异直接影响电子舌传感器阵列的响应信号。在不同浸提溶液 (去离子水、0.1 mol/L 氯化钾溶液^[31]和 10%乙醇溶液) 条件下, 通过纯羊肉样品量 (10、15、20 和 25 g) 的试验, 研究样品量对电子舌传感器响应信号的影响, 优化获得电子舌检测的较佳样品量和浸出液。

1.3.2 羊肉和掺假羊肉的预处理

将羊肉样品于 4℃解冻, 用绞肉机将肉样绞碎待用。将羊肉和鸡肉样品于 4℃解冻, 用绞肉机分别将 2 种肉样绞碎, 并按设定比例 (以混入鸡肉比例 (质量分数) 计 20%、40%、60%和 80%) 混合后再绞碎充分混合, 记纯羊肉样品为 0, 纯鸡肉样品为 100%。取一定质量的羊肉、掺假羊肉肉糜样品, 于 100 mL 浸提溶液中浸提 30min, 经滤纸过滤后收集滤液, 每个样品取 80 mL 滤液以备电子舌检测用, 每组样品均准备 28 个重复。

1.4 数据分析

采用主成分分析 (principle component analysis, PCA) 和典则判别分析 (canonical discriminant analysis, CDA) 对不同掺假羊肉进行定性判别; 采用偏最小二乘法 (partial least square regression, PLSR) 和多元线性回归分析 (multiple linear regression, MLR) 对羊肉糜中混入鸡肉的含量进行

定量预测。PCA、CDA 分析均由 SAS V8 完成, PLS 分析由 Minitab 14 软件完成, MLR 分析由 SPSS 16.0 软件完成, 并由 Origin8.0 软件完成绘图。

2 结果与分析

2.1 电子舌检测条件优化

2.1.1 样品量对传感器响应的影响

由浸提溶液不同引起呈味物质浸提效果的差异和由样品量不同引起样品浸出液呈味物质浓度的差异均对电子舌传感器响应信号造成影响。以氯化钾溶液浸提为例, 图 1 给出了电子舌传感器对不同样品量 (10、15、20、25 g) 肉糜浸出液的特征响应曲线。如图 1 所示, 电子舌传感器对不同样品量肉糜浸出液响应存在差异, 其响应信号从第 30 秒开始逐渐趋于平衡, 在第 120 秒时达到稳态值。选取第 120 秒稳态值作为分析的特征值。

以各传感器第 120 秒响应数据的均值为指标, 对每种浸提溶液做样品量 (10、15、20 和 25 g) 对电子舌传感器响应的影响规律。表 2 分别给出了 3 种不同浸提溶液的方差分析结果, 发现在 3 种不同浸提溶液条件下, 样品量对电子舌传感器响应存在显著影响 ($P < 0.01$), 且不同样品量之间差异显著。

2.1.2 样品量的主成分分析优化结果

在 3 种浸提溶液条件下, 以各传感器第 120 秒的响应信号为变量, 采用 SAS V8 对每组数据进行主成分分析 (图 2)。3 种浸提条件下, 主成分分析均能将样品按照其样品量聚集为一类, 且每类都能相互区分, 虽然每类数据均有 1~3 个点距该类中心点较远, 这主要是因为电子舌传感器在检测样品时, 存在一个学习、适应新样品滋味的过程, 一般前 1~3 个数据点存在较大的偏差, 但并不影响试验结果。

以去离子水浸提时, 第 1 主成分占 61.45%, 第 2 主成分占 14.71%, 总贡献率为 76.16%, 基本能反映原始数据信息。图 2a 中, 随第 1 主成分增加的方向, 样品质量增大; 各样品质量的数据点能够相互区分。从数据点的重复性来看样品量为 20 g 时, 数据点聚集性较好, 因此选择 20 g 作为较佳进样量。以氯化钾溶液浸提时, 第 1 主成分占 53.68%, 第 2 主成分占 21.88%, 总贡献率为 75.56%, 基本能反映原始数据信息, 各样品质量的数据点能够相互区分。从数据点的重复性来看样品量为 15 g 时, 数据点聚集性较好, 因此选择 15 g 作为较佳进样量。以乙醇溶液浸提时第一主成分占 57.11%, 第 2 主成分占 21.72%, 总贡献率为 78.83%, 基本能反映原始数据信息, 各样品质量的数据点能够相互区分。从数据点的重复性来看, 样品量为 15 g 时, 数

据点聚集性较好，因此选择 15 g 作为较佳进样量。 获得了 3 种浸提溶液的较佳样品量。

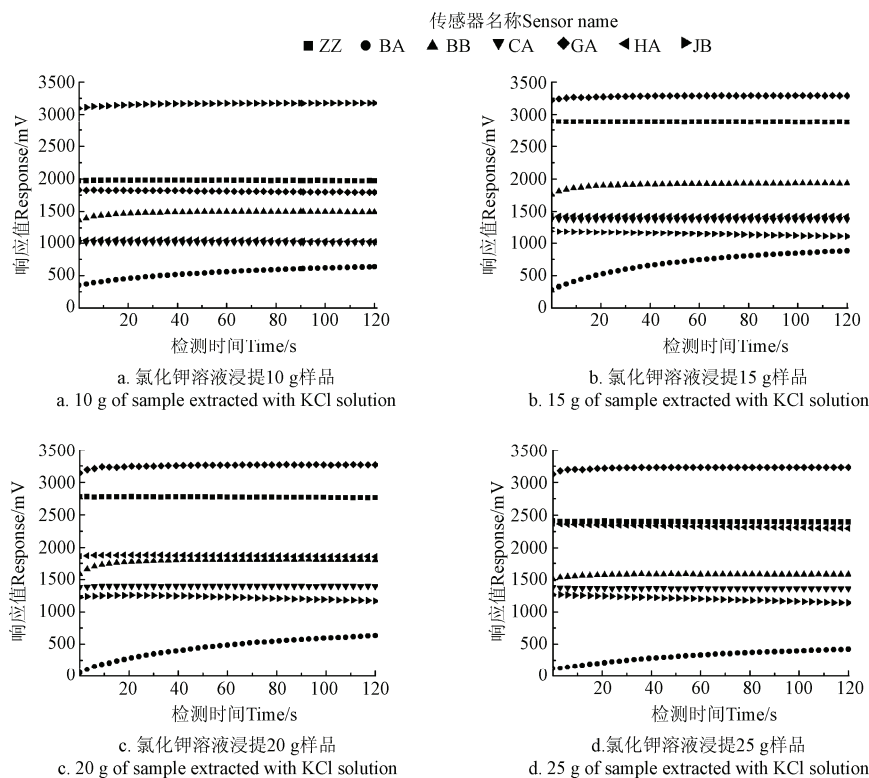


图 1 不同样品量纯羊肉糜浸出液的电子舌特征响应曲线

Fig.1 Typical response of electronic tongue for minced mutton with different sample weight

表 2 纯羊肉样品量对传感器响应的影响
 Table 2 Effect of sample weight on sensor's responses

浸提溶液 Extracting solution	样品量 Sample weight/g	响应值 Sensor response /mV						
		ZZ	BA	BB	CA	GA	HA	JB
氯化钾溶液 KCl solution	10	2 044.31 d	373.83 c	1 511.92 d	995.28 d	1 512.32 b	1 015.54 b	3 233.71 c
	15	2 891.16 a	916.24 a	1 956.55 a	1 390.93 a	1 383.60 c	1 094.78 a	3 303.59 a
	20	2 777.13 b	721.81 b	1 832.56 b	1 365.07 b	1 574.54 b	1 092.88 a	3 258.59 b
	25	2 490.56 c	373.99 c	1 646.62 c	1 303.41 c	1 844.82 a	1 119.02 a	3 246.46 bc
乙醇溶液 Alcohol solution	10	2 007.63 c	714.59 b	1 977.85 b	1 177.11 c	1 792.05 b	1 524.30 a	3 431.94 b
	15	2 233.69 a	604.21 c	2 110.50 a	1 452.71 a	1 773.19 b	1 495.52 ab	3 449.50 a
	20	1 608.42d	790.00 a	1 692.49 d	985.21 d	1 551.96 c	1 471.01 b	3 371.79 d
	25	2 076.96 b	643.12 c	1 900.97 c	1 388.95 b	2 005.53 a	1 403.36 c	3 383.83 c
去离子水 Deionized water	10	1 511.68 c	770.67 b	1 724.96 b	765.98 d	1 160.39 b	1 073.20 c	3 215.33 c
	15	1 611.15 c	658.47 d	1 641.96 c	844.51 c	1 209.39 b	1 296.19 a	3 195.88 d
	20	2 220.67 b	711.96 c	1 828.45 a	1 117.71 b	2 007.61 a	1 123.14 b	3 275.51 b
	25	2 724.88 a	876.42 a	1 909.25 a	1 289.06 a	2 066.49 a	1 136.05 b	3 314.37 a

注：同一列数据中字母不同表示差异在 5% 显著水平。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at 5% level.

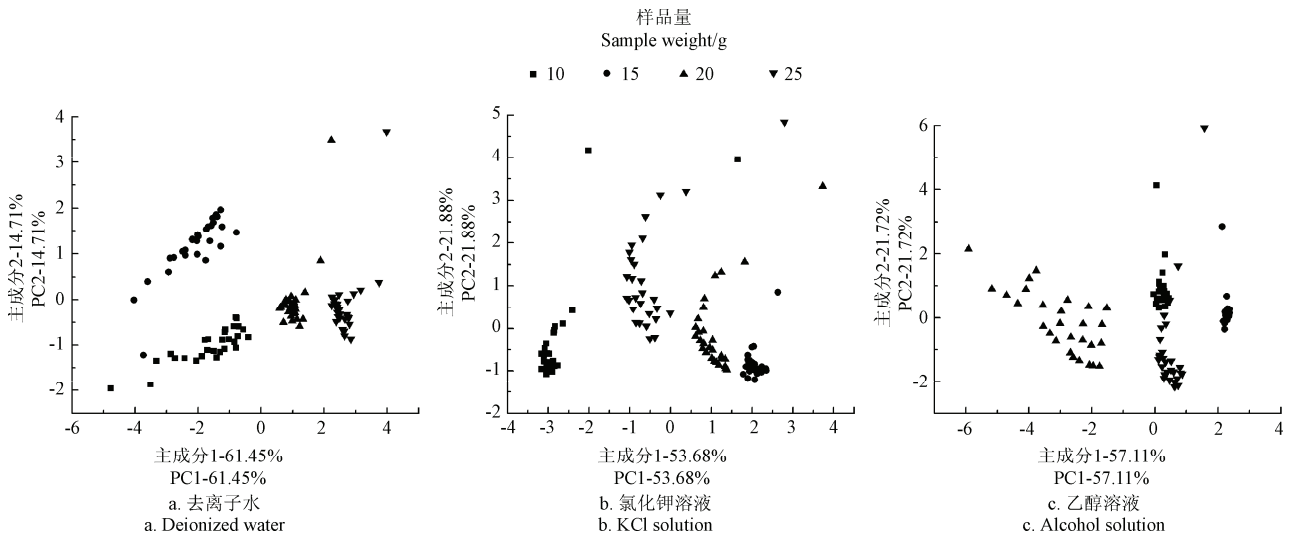
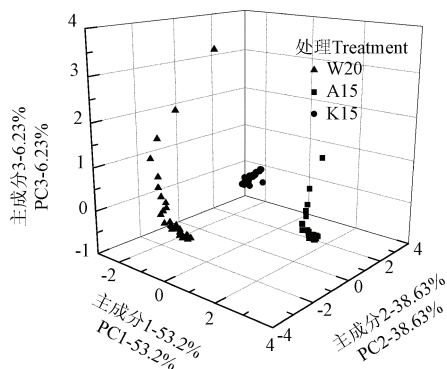


图2 3种不同浸提溶液不同纯羊肉样品量检测结果的主成分分析图
Fig.2 PCA results for three extracting solution of different sample weight

2.1.3 浸提液的主成分分析优化结果

在上述较佳样品量条件下（去离子水：20 g、氯化钾溶液：15 g、乙醇溶液：15 g），对肉糜的3种浸提溶液电子舌传感器第120秒时响应信号进行主成分分析，结果如图3所示。图中数据点按照其浸提溶液的不同而聚集为3类，其中去离子水组数据离散度最大，乙醇组数据次之，采用氯化钾溶液浸提时，数据的离散型最小，聚集效果较佳。因此，选择氯化钾溶液（0.1 mol/L）作为浸提溶液、样品量15 g作为羊肉电子舌检测的较佳样品预处理方法。



注：W20为去离子水浸提20 g纯羊肉样品；A15为乙醇溶液浸提15 g纯羊肉样品；K15为氯化钾溶液浸提15 g纯羊肉样品
Note: W20: 20 g sample extracted with deionized water; A15: 15 g sample extracted with alcohol solution; K15: 15 g sample extracted with KCl solution

图3 3种不同浸提溶液较佳样品量检测结果的主成分分析图
Fig.3 PCA results for three extracting solution with optimized sample weight

2.2 掺假羊肉电子舌传感器的特征响应分析

在上述较佳样品预处理条件下，对混入鸡肉的

掺假羊肉样品进行电子舌检测。掺入鸡肉的比例不同会造成被测样品浸出液呈味物质组成和含量的差异，进而影响传感器响应信号。掺假羊肉的电子舌响应曲线与羊肉的特征相应曲线类似，只是各传感器响应值的大小有所不同。对掺假羊肉，其电子舌响应信号在20 s后逐渐趋于稳定。选取各组掺假羊肉电子舌传感器第120秒响应信号，取其平均值绘制雷达图，结果见图4。电子舌7个传感器对含质量分数为0~100%鸡肉的掺假羊肉浸出物滋味均能做出不同程度的响应，鸡肉的响应信号最强，而羊肉的响应信号最低，其他掺假羊肉的信号介于两者之间，并随掺入鸡肉的量增大而增强。其中，传感器JB、HA响应值差异不大，传感器BA、BB、ZZ、CA的响应值随掺入鸡肉的量增大而呈规律性增强。传感器BA、BB、ZZ、CA的响应值可以区分不同掺假羊肉。

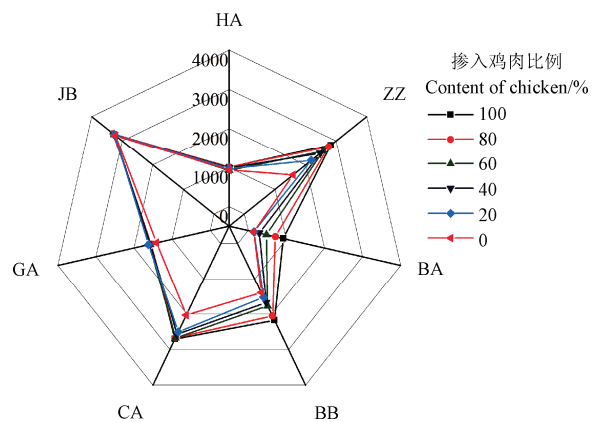


图4 掺入不同含量鸡肉的羊肉糜电子舌数据雷达图
Fig.4 Radar plot of electronic tongue for minced mutton adulterated with different content of chicken

2.3 电子舌对不同掺假羊肉的定性判别

提取各掺假羊肉电子舌传感器第 120 秒响应数据，以各传感器响应信号为变量进行 PCA 分析，以前 3 个主成分得分绘图，结果见图 5。由图可知，第 1 主成分 68.59%，第 2 主成分 15.99%，第 3 主成分 8.59%，总贡献率达到 93.17%，能很好地反映原始数据信息。除鸡肉（100%）和鸡肉质量分数为 80% 数据点有部分重合外，其他鸡肉含量的掺假羊肉样品均能相互区分，且随第 1 主成分减小的方向，混入鸡肉的比例降低。羊肉样品分布在图形的最左侧，与其他组样品距离较远，与混入鸡肉的掺假羊肉显著区分。不同种类肉浸出的呈味物质存在明显差异，而这种差异可由电子舌传感器区分。

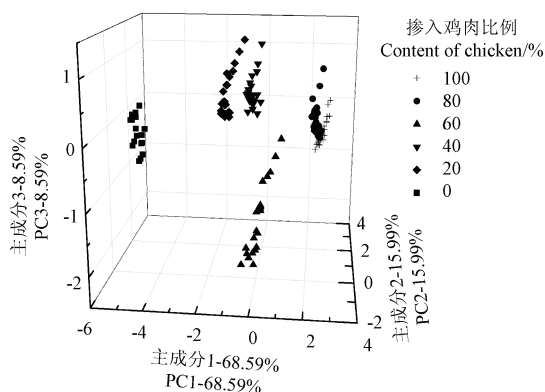


图 5 羊肉中掺入不同比例鸡肉的电子舌信号 PCA 结果
Fig.5 PCA plot of minced mutton adulterated with different content of chicken based on E-tongue responses

对上述数据进行 CDA 分析，以前 2 个成分绘图，结果见图 6。从图 6 中可以看出，第 1 成分 88.67%，第 2 成分为 8.85%，共解释了 97.52% 的原始变量。掺假羊肉样品按照掺入鸡肉的比例聚类，且相互能有效区分。随第 1 成分减小的方向，鸡肉含量降低，纯羊肉样品分布在图形的左上角，与混有鸡肉的掺假羊肉显著区分。相比于 PCA、CDA 分析后每种不同掺假羊肉的数据更为集中，相互之间的区分效果更显著，尤其是对鸡肉（100%）和鸡肉质量分数为 80% 的样品，其数据虽较接近，但能

相互区分。

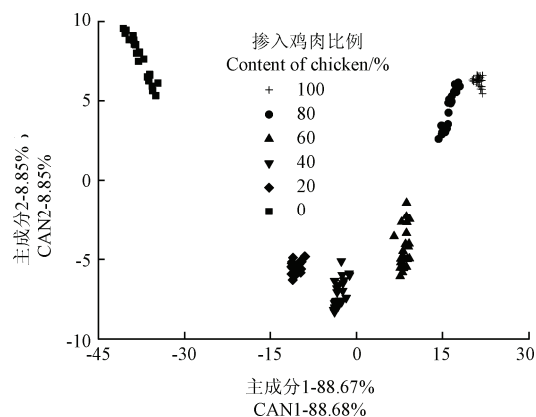


图 6 羊肉中掺入不同比例鸡肉的电子舌信号典则判别分析 CDA 结果

Fig.6 Anonical discriminant analysis CDA plot of minced mutton adulterated with different content of chicken based on E-tongue responses

2.4 电子舌对不同掺假羊肉的定量判别

为实现羊肉中混入鸡肉比例的定量预测，对比分析了多元线性回归分析和偏最小二乘回归分析在建立定量预测模型的效果，找出较佳预测模型。建模集为 126 (21×6) 个样本，验证集为 42 (7×6) 个样本，结果如图 7 和表 3 所示。表 3 为 2 个定量预测模型的评价指标，采用决定系数 R^2 、均方根误差 $RMSE$ 和 P 值对模型进行评价。对 PLS 和 MLR 模型， $P=0$ ，表明 2 个回归模型均具有极显著意义，且 2 个模型建模集中，真实值和预测值之间决定系数的 R^2 均高于 0.99， $RMSE$ 均小于 3%，图 7a 和 7c 可以看出 2 种预测方法建模集真实值和模型预测值之间的关系，建模效果较佳。采用建立的模型对验证集的 42 个样本进行预测，图 7b 和图 7d 分别给出了 2 种模型预测鸡肉含量与混入鸡肉真实值含量之间的相关关系。2 个验证集的 R^2 均高于 0.98， $RMSE$ 均小于 6.5%，预测效果较好。MLR 和 PLS 均能有效预测羊肉糜中混入鸡肉的比例，以建模集和验证集的 R^2 和 $RMSE$ 为依据，MLR 模型的预测效果略优于 PLS 模型的预测效果。

表 3 两种定量预测模型评价比价
Table 3 Comparison of two quantitative prediction methods

预测方法 Prediction methods	建模集 Training set		建立模型 Models	验证集 Test set	
	决定系数 R^2	均方根误差 $RMSE/\%$		决定系数 R^2	均方根误差 $RMSE/\%$
多元线性回归 MLR	0.9925	2.96	$Y=139.806+0.052BB-0.04HA+0.046BA-0.022GA+0.055CA-0.082JB$	0.9833	6.14
偏最小二乘回归 PLS	0.9923	2.99	$Y=146.767+0.018ZZ+0.050BA+0.037BB+0.032CA-0.016GA-0.04HA-0.075JB$	0.981	6.46

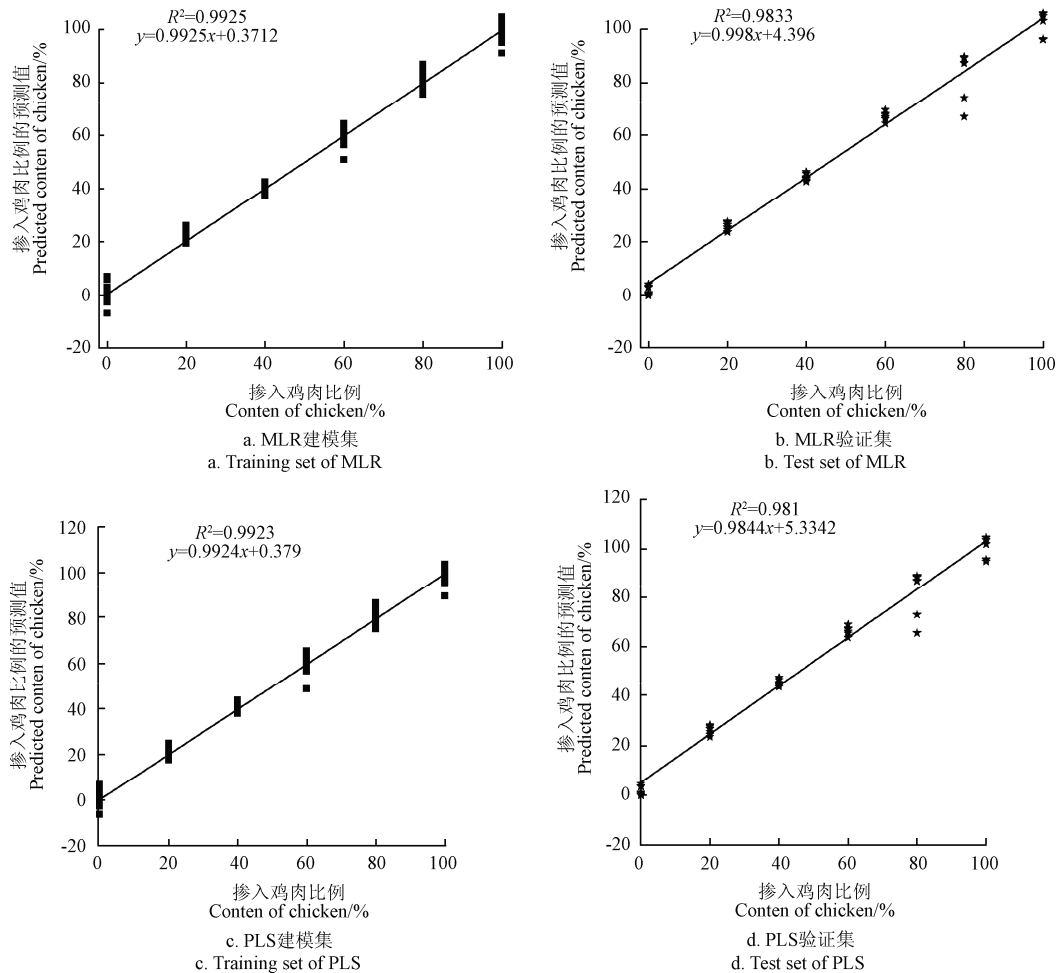


图7 羊肉中掺入鸡肉含量的MLR和PLS定量预测结果

Fig.7 Prediction of chicken content in minced mutton by MLR and PLS

3 结论

采用基于交互敏感的化学选择性区域效应味觉传感器组成的电子舌测定混入鸡肉的掺假羊肉糜,研究了不同浸提溶液条件下样品量对传感器响应的影响均显著,通过方差分析和主成分分析获得了较佳浸提溶液(氯化钾溶液,0.1 mol/L)和样品量(15 g)。在上述较佳检测条件下,采用电子舌检测混入不同比例鸡肉的羊肉糜。结果表明通过主成分分析和判别分析,电子舌可识别混入不同比例鸡肉的羊肉糜样本,且建立的PLS和MLR预测模型($R^2>0.99$)能有效预测混入鸡肉的比例。

[参考文献]

- [1] 国家自然科学基金委员会中国科学院. 未来10年中国学科发展战略[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 265—295.
- [2] Zhang Jia, Zhang Xiaoshuan, Dedi Lorena, et al. Review of the current application of fingerprinting allowing detection of food adulteration and fraud in China[J]. Food Control, 2011, 22(8): 1126—1135.

- [3] 袁芳, 郭培源, 吴浩, 等. 猪肉新鲜度检测方法发展的文献综述[J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(增刊1): 72—74.
Yuan Fang, Guo Peiyuan, Wu Hao, et al. Study on the development of pork freshness detection techniques[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2009, 11(Supp.1): 72—74. (in Chinese with English abstract)
- [4] 蒋爱民, 南庆贤. 畜产食品工艺学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 22—26.
- [5] GB2707-2005, 鲜(冻)畜肉卫生标准[S].
- [6] 王长远, 马万龙, 姜昱男. 猪肉新鲜度的检测及肉质综合评定[J]. 农产品加工, 2007, 10(10): 77—77.
Wang Changyuan, Ma Wanlong, Jiang Yunan. Detection of pork freshness and synthetic evaluation of pork quality[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2007, 10(10): 77—77. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张宁, 张德权, 李淑荣, 等. 近红外光谱结合SIMCA法溯源羊肉产地的初步研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 309—312.
Zhang Ning, Zhang Dequan, Li Shurong, et al. Preliminary study on origin traceability of mutton by near

- infrared reflectance spectroscopy coupled with SIMCA method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 309—312. (in Chinese with English abstract)
- [8] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱指纹分析在羊肉产地溯源中的应用[J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(4): 937-941.
Sun Shumin, Guo Boli, Wei Yimin, et al. Application of near infrared spectral fingerprint technique in lamb meat origin traceability[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(4): 937—941. (in Chinese with English abstract)
- [9] Sacco D, Brescia M A, Buccolieri A, et al. Geographical origin and breed discrimination of Apulian lamb meat samples by means of analytical and spectroscopic determinations[J]. Meat Science, 2005, 71: 542—548.
- [10] Rohman A, Erwanto Y, Che Man Y B. Analysis of pork adulteration in beef meatball using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy[J]. Meat Science, 2011, 88(1): 91—95.
- [11] Meza-Márquez O G, Gallardo-Velázquez T, Osorio-Revilla G. Application of mid-infrared spectroscopy with multivariate analysis and soft independent modeling of class analogies (SIMCA) for the detection of adulterants in minced beef[J]. Meat Science, 2010, 86(2): 511—519.
- [12] 杨志敏. 应用近红外光谱技术快速检测原料肉新鲜度及掺假的研究[D]. 陕西: 西北农林科技大学, 2011: 18—44.
- [13] 吴坚, 刘军, 傅敏, 等. 一种基于电子舌技术的绿茶分类方法[J]. 传感技术学报, 2006, 19(4): 963—969.
Wu Jian, Liu Jun, Fu Min, et al. Classification of Chinese green tea by a voltammetric electronic tongue[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2006, 19(4): 963—969. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王俊, 胡桂仙, 于勇, 等. 电子鼻与电子舌在食品检测中的应用研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 292—295.
Wang Jun, Hu Guixian, Yu Yong, et al. Research and application of electronic nose and electronic tongue in food inspection[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural (Transactions of the CSAE), 2004, 20(2): 292—295. (in Chinese with English abstract)
- [15] 高瑞萍, 刘辉. 电子鼻和电子舌在食品分析中的应用[J]. 肉类研究, 2010(12): 61—67.
Gao Ruiping, Liu Hui. The Application of Electronic nose and electronic tongue in food detection[J]. Meat Research, 2010(12): 61—67. (in Chinese with English abstract)
- [16] Kikkawa Y, Toko K, Yamafuji K. Taste sensing of tomatoes with a multichannel taste sensor[J]. Sensors and Materials, 1993(5): 83—83.
- [17] 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.
Jiang Lishi. Electronic tongue in the sensory evaluation of food[J]. Meat Research, 2011, 25(2): 49—52. (in Chinese with English abstract)
- [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.
Hu Weijun, Ji Gaixia, Wang Ping. Application of electronic nose and electronic tongue in aeronautic medicine[J]. Biomedical Engineering Foreign Medical Science, 2005, 28(4): 213—217. (in Chinese with English abstract)
- [19] Zheng J Y, Keeney M P. Taste masking analysis in pharmaceutical 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] Men H, Liu D, Zou S, et al. Electronic tongue for environmental detection[C]//The 10th International Meeting on Chemical Sensors, Tsukuba, Japan, 2004, 478—479.
- [22] Achterberg E P., Braungardt C. Stripping voltammetry for the determination of trace metal speciation and in-situ measurements of trace metal distributions in marine waters[J]. Analytica Chimica Acta, 1999, 400(1/2/3): 381—397.
- [23] Gil L, Barat J M, Escriche I, et al. An electronic tongue for fish freshness analysis using a thick-film array of electrodes[J]. Microchim Acta, 2008, 163(1/2): 121—129.
- [24] Luis Gil L, Barat J M, Garcia-Breijo E, et al. Fish freshness analysis using metallic potentiometric electrodes[J]. Sensors and Actuators B, 2008, 131(2): 362—370.
- [25] Gil L, Barat J M, Baigts D, et al. Monitoring of physical-chemical and microbiological changes in fresh pork meat under cold storage by means of a potentiometric electronic tongue[J]. Food Chemistry, 2011, 126(3): 1261—1268.
- [26] Labrador R H, Masot R, Alcaniz M, et al. Prediction of NaCl, nitrate and nitrite contents in minced meat by using a voltammetric electronic tongue and an impedimetric sensor[J]. Food Chemistry, 2010, 122(3): 864—870.
- [27] Campos I, Masot R, Alcaniz M, et al. Accurate concentration determination of anions nitrate, nitrite and chloride in minced meat using a voltammetric electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B-Chemical, 2010, 149(1): 71—78.
- [28] Chou C C, Lin S P, Lee K M, et al. Fast differentiation of meats from fifteen animal species by liquid chromatography with electrochemical detection using copper nanoparticle plated electrodes[J]. Journal of Chromatography B, 2007, 846(1): 230—239.
- [29] Rudnitskaya A L A, Seleznev B, Vlasov Y. Recognition of liquid and flesh food using an 'electronic tongue'[J].

International Journal of Food Science and Technology, 2002, 37(4): 375—385.

[30] Lan Y, Wang S, Yin Y, et al. Using a surface plasmon resonance biosensor for rapid detection of salmonella

typhimurium in chicken carcass[J]. Journal of Bionic Engineering, 2008, 5(3): 239—246.

[31] GB/T 9695.5-2008/ISO 2917:1999, 肉与肉制品 pH 测定[S].

Fast discriminating of purity on minced mutton using electronic tongue

Tian Xiaojing^{1,2}, Wang Jun^{1*}, Cui Shaoqing¹

(1. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 300058, China;

2. College of Life Science and Engineering, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730024, China)

Abstract: Cheaper animal protein, such as Chicken as an example, has been fraudulently used as a substitute for more expensive animal proteins, like mutton and beef. The adulteration of mutton has attracted increasing attention. It requires reliable methods for the authentication of mutton adulteration. An electronic tongue with chemically modified field-effect-transistor sensors was employed to analysis the adulteration of chicken in minced mutton. The effects of sample weight on the sensor responses of electronic tongue were studied at three different extraction solutions. Analysis of variance found that the sample weight affected the responses of the sensor significantly. With the help of Principle component analysis (PCA), the optimum experimental parameters were acquired: 15 g sample extracted by 100 mL KCl solution.

The adulterated mutton was made by mixing mutton with chicken at levels of 0, 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% by weight, respectively. With the optimum experimental parameters, 168 samples of adulterated mutton were detected, and the signals were analyzed by pattern recognition techniques to build models for classification of adulterated mutton with different content of chicken, and prediction of the content of chicken in minced mutton. With PCA, the adulterated mutton samples were grouped according to their content of chicken with good classification results, except that samples containing 80% and 100% chicken partially overlapped with each other. Better classification results were found when canonical discriminant analysis (CDA) was employed, as samples containing 80% and 100% chicken were clearly grouped and separated. Multiple linear regression (MLR) and Partial least square analysis (PLS) were employed to build the predictive model for the content of chicken adulterated into minced mutton. Both models could predict the adulteration with a high determination coefficient as high as 0.9925 and 0.9923, respectively. MLR was more effective for the prediction of chicken content. The E-nose proved to be a useful authentication method for meat adulteration detection for its efficiency and high accuracy.

Key words: meats, principle component analysis, models, Electronic tongue, discriminant analysis, adulteration of muttons

(责任编辑: 刘丽英)