

# 红烧肉咀嚼过程中咸味和鲜味的释放规律

邓亚军, 刘登勇\*, 郭晨, 韩耀辉

(渤海大学食品科学与工程学院, 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 辽宁 锦州 121013)

**摘要:** 经过招募、筛选和培训, 构建由10人组成的感官评价小组。要求10名评价员自然咀嚼红烧肉样品并在不同咀嚼阶段收集食团, 对咀嚼过程中食团的水分含量、脂肪含量、pH值、氯化钠含量、核苷酸及其降解产物含量进行动态跟踪并结合电子舌检测技术评价其味觉变化规律。结果表明: 在咀嚼过程中, 食团的水分含量显著上升, 脂肪含量持续降低, 在吞咽点时分别达到质量分数55.65%和19.40%; 除咀嚼初期外, pH值无显著变化; 氯化钠含量与风味核苷酸含量逐渐降低并在吞咽点时略有升高, 其含量分别达到1.07%和79.90 mg/100 g。相关性分析显示: 食团的氯化钠含量与其pH值呈显著负相关, 风味核苷酸含量与其脂肪含量呈显著负相关。结合电子舌分析红烧肉咀嚼过程中的食团咸味和鲜味释放规律, 咸味和鲜味释放呈先上升后下降趋势, 且在咀嚼中后阶段咸味和鲜味值最强。

**关键词:** 食团; 红烧肉; 咀嚼; 咸味; 鲜味; 释放

## Changes in the Release of Salty and Umami Taste during Mastication of Stewed Pork with Brown Sauce

DENG Yajun, LIU Dengyong\*, GUO Chen, HAN Yaohui

(National and Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, College of Food Science and Engineering, Bohai University, Jinzhou 121013, China)

**Abstract:** A trained sensory panel consisting of 10 judges was requested to masticate stewed pork with brown sauce, and boluses were collected at different stages of mastication for dynamically monitoring moisture, fat, sodium chloride, nucleotides, nucleotide degradation products and pH and detecting changes in the taste profile of the food boluses were measured during mastication and the changes in taste were monitored using an electronic tongue. The results obtained indicated that moisture content of boluses during mastication increased significantly, and fat content decreased continuously. Moisture and fat contents reached 55.65% and 19.40% at the swallowing point, respectively. There was no significant change in pH except during the early stage of mastication. The contents of sodium chloride and flavor-enhancing nucleotides gradually decreased during mastication but both of them were slightly elevated at the swallowing point, reaching 1.07% and 79.90 mg/100 g, respectively. Furthermore, the sodium chloride content of bolus was significantly negatively correlated with its pH, and there was a significantly negative correlation between flavor-enhancing nucleotide and fat contents. The electronic tongue analysis showed that the release of saltiness and umami during mastication of stewed pork with brown sauce increased first and then decreased, attaining the highest value at the middle and late stages.

**Key words:** bolus; stewed pork with brown sauce; mastication; saltiness; umami; release

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718013

中图分类号: TS251

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2017) 18-0080-07

引文格式:

邓亚军, 刘登勇, 郭晨, 等. 红烧肉咀嚼过程中咸味和鲜味的释放规律[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 80-86. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718013. <http://www.spkx.net.cn>

DENG Yajun, LIU Dengyong, GUO Chen, et al. Changes in the release of salty and umami taste during mastication of stewed pork with brown sauce[J]. Food Science, 2017, 38(18): 80-86. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-201718013. <http://www.spkx.net.cn>

食物入口后经口腔咀嚼并在唾液酶的作用下, 破碎形成微小颗粒或乳糜状微小食团, 呈味物质进入味蕾细

胞产生味觉<sup>[1-4]</sup>。作为食物中的主要呈味物质, 咀嚼过程中氯化钠与核苷酸的含量对咸味和鲜味感知至关重要

收稿日期: 2016-11-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31571861)

作者简介: 邓亚军 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。E-mail: dyj14434@163.com

\*通信作者: 刘登勇 (1979—), 男, 教授, 博士, 研究方向为肉品加工与质量安全控制、食品风味与感官科学。

E-mail: jz\_dyliu@126.com

要。此外,咀嚼过程中的食团质构<sup>[5]</sup>、水分含量和脂肪含量<sup>[6]</sup>等参数均可影响食物滋味物质的释放,尤其是咸味和鲜味<sup>[7-8]</sup>。

红烧肉酱香四溢、色泽红亮、肥而不腻、瘦而不柴,作为我国最具特色的中华传统美食而深受广大消费者喜爱。红烧肉含有丰富的皮下脂肪或肌间脂肪,且在成品中基本保持“原态”;这些“原态”脂肪入口后经牙齿破碎、唾液润滑,产生并释放风味物质,给人以独特口感(触觉、嗅觉、味觉等)。其中,咸味和鲜味是决定这类“原态”脂肪依赖型食物在口腔中滋味释放程度的重要参数之一,也是红烧肉诱人美味的关键所在。

本实验以红烧肉为研究对象,通过跟踪分析咀嚼过程中食团的水分含量、脂肪含量、pH值、氯化钠含量、核苷酸及其降解产物含量及其味觉的动态变化,探究“原态”脂肪依赖型食品的咸味和鲜味释放规律,以期在满足消费者喜好的同时,适当降低肉类食品中脂肪和盐的含量。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

三元猪五花肉、葱、姜、腐乳、绵白糖、酱油、大豆油、白酒(二锅头) 市购。

核苷酸标准品:5'-腺苷二磷酸(5'-adenosine diphosphate, 5'-ADP)、5'-腺苷一磷酸(5'-adenosine monophosphate, 5'-AMP)、5'-肌苷酸(5'-inosine monophosphate, 5'-IMP)、5'-鸟苷酸(5'-guanosine monophosphate, 5'-GMP)、次黄嘌呤(hypoxanthine, Hx)、肌苷(inosine, I) 美国Sigma公司;甲醇(色谱纯) 德国默克公司;其他试剂均为国产分析纯。

### 1.2 仪器与设备

SER148/6脂肪测定仪 意大利VELP公司;1260高效液相色谱仪(紫外-可见检测器) 美国Agilent公司;TSK-gel ODS-80<sup>TM</sup>色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm) 日本Tosoh公司;T25数显型均质机 德国IKA集团;TS-5000Z味觉分析系统 日本Insent公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 样品制备

参照刘登勇等<sup>[9]</sup>的方法制作实验样品。取出红烧肉成品,用吸水纸去除表面汤汁等杂物,切去皮层,切成20 mm×20 mm×10 mm的肉块(肥瘦比约为4:6)。在品评过程中,保持肉温在65~75℃之间。

#### 1.3.2 评价员筛选

参照GB/T 16291.1—2012《感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则》<sup>[10]</sup>中所述方法,从36名食品专业

在校大学生中筛选出10名(4名男生,6名女生)感官评价员,年龄在18~25周岁。要求评价员口腔健康、无牙疾、不偏食,不影响咀嚼能力、吞咽能力及唾液分泌。

#### 1.3.3 评价员培训与咀嚼实验

由于所选评价员此前基本没有参与过与感官分析相关的专业实验,所以首先必须对所有评价员进行食品感官品评基本知识方面的培训;同时,由于不同评价员之间存在咀嚼能力和唾液分泌等生理差异,所以感官培训实验内容主要是让每名评价员自然咀嚼并吞咽红烧肉样品,以此确定每名评价员的咀嚼时间(从入口到吞咽的时间),重复3次。

感官实验共进行9次,其中3次为培训实验。为防止饥饿或食物消化影响评价员的咀嚼和吞咽能力,要求评价员在感官实验前90 min内不进食。培训实验过程中,评价员咀嚼并吞咽红烧肉样品15块,记录咀嚼时间。分析实验要求评价员咀嚼但不吞咽食团,在不同咀嚼阶段吐出主要食团,口腔残渣不收集;其间不清洗口腔,以防饮用水和口腔内残留肉糜颗粒(可能导致唾液分泌量的增加)改变主要食团的质地结构。所有食团收集完毕后,评价员清洗口腔残渣。每个样品的咀嚼时间不超过2 min,每次感官实验不超过60 min。

每名评价员正常咀嚼并吞咽食团的时间记作100%咀嚼时间,即吞咽时间。为了研究红烧肉在咀嚼过程中的鲜味与咸味变化规律,选取20%、40%、60%、80%、100%咀嚼阶段进行分析。食团收集后立即对其进行测定分析,以防止水分蒸发及唾液酶的作用。在不同咀嚼阶段,每名评价员咀嚼红烧肉样品并吐出食团,每个取样点至少3次平行。本研究至少分别产生150个食团用于分析咀嚼过程中食团主要味觉成分含量测定,共计750个食团。

#### 1.3.4 水分含量测定

要求评价员按自然习惯咀嚼样品并在不同阶段吐出,收集后立即称质量。食团的湿基水分含量测定参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》<sup>[11]</sup>中的直接干燥法。

#### 1.3.5 脂肪含量测定

参考GB/T 14772—2008《食品中粗脂肪的测定》<sup>[12]</sup>,用脂肪测定仪进行粗脂肪含量测定。

#### 1.3.6 pH值测定

参考GB/T 9695.5—2008《肉与肉制品pH测定》<sup>[13]</sup>进行测定。

#### 1.3.7 氯化钠含量测定

参考GB/T 12457—2008《食品中氯化钠的测定》<sup>[14]</sup>中的间接滴定法测定氯化钠含量。

#### 1.3.8 核苷酸及其降解产物含量测定

核苷酸样品提取:取10 g食团样品切碎,加入5%高

氯酸溶液30 mL, 在冰浴条件下进行均质(10 000 r/min, 2×20 s), 用10 mL高氯酸溶液冲洗分散器, 洗液并入样品溶液离心(10 000 r/min, 10 min, 4 ℃), 取上清液, 沉淀物经相同条件洗涤后离心, 合并上清液, 三层纱布过滤3次, KOH溶液调节pH值至5.4, 超纯水定容至100 mL, 0.22 μm水相滤器过滤, 高效液相色谱分析。

高效液相色谱条件: TSK-gel ODS-80™色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm); 柱温30 ℃; 紫外检测器波长254 nm。流动相: A为甲醇, B为0.05 mol/L磷酸二氢钾缓冲溶液(pH 5.4)。

二元流动相梯度洗脱程序: 0 min A 0%、B 100%, 保持11 min; 12 min时调整为A 10%、B 90%, 保持6 min; 18 min时调整为A 2%、B 98%, 30 min时检测结束; 流速0.8 mL/min; 进样量10 μL。

标准曲线绘制: 分别称取6种核苷酸(5'-ADP、5'-AMP、5'-IMP、5'-GMP、Hx、I)各10 mg, 超纯水溶解并定容至10 mL, 4 ℃保存备用。准确吸取6种标准溶液各5 mL至100 mL容量瓶中, 超纯水定容, 得到质量浓度为500 μg/mL的混合标准溶液, 然后用超纯水稀释得到质量浓度分别为400、200、100、50、25、5、2.5 μg/mL的混合标准溶液, 用于高效液相色谱检测。以每种核苷酸的真空质量浓度为横坐标, 对应的峰面积 $A$ 为纵坐标, 建立标准曲线回归方程。

### 1.3.9 TS-5000Z电子舌分析法

作为一种分析、识别液体“味道”的新型检测手段, 电子舌分析技术采用人工脂膜传感器技术, 与人的味觉感官相匹配, 客观、数字化地评价样品中的咸味、鲜味、苦度、涩味、酸味、甜味等基本味觉感官指标。其原理是在测量过程中, 传感器上的脂膜通过疏水作用和静电作用与不同的味觉物质发生反应, 导致脂膜上的膜电势发生变化, 样品的味觉信息就是通过味道传感器输出终端的计算机检测到。

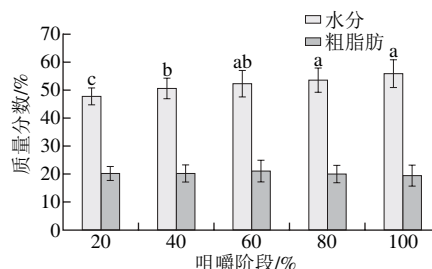
评价员按自然习惯咀嚼样品并在不同阶段吐出, 收集食团50 g后立即称质量, 加入200 mL 40 ℃蒸馏水均质(8 000 r/min, 3×20 s), 4 ℃离心(3 000 r/min, 10 min)取上清液并用三层纱布过滤3次, 待滤液恢复至室温, 进行测试。每个样品做4次循环, 去掉第1次循环取后3次测量结果, 传感器响应稳定, 重复性较好, 认为数据有效。

### 1.4 数据处理

每个样品测定至少3次重复, 数据统计采用SPSS 20.0软件处理, 结果以 $\bar{x} \pm s$ 计。方差分析采用ANOVA分析, 数据进行正态分布检验, 符合正态分布的多重比较采用Duncan法, 不符合正态分布的用Kruskal-Wallis检验, 差异显著性为 $P$ 值小于0.05。采用Origin 8.6软件对数据进行图形处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 咀嚼过程中食团的粗脂肪与水分含量变化



同一指标不同小写字母表示各组之间差异显著( $P < 0.05$ ), 下同。

图1 红烧肉咀嚼过程中粗脂肪与水分含量变化

Fig. 1 Changes in fat and moisture contents of stewed pork with brown sauce during mastication

作为五花肉主要组成成分, 脂肪和水分含量及其存在状态对红烧肉食团的质地与滋味特性影响显著<sup>[15-20]</sup>。口腔咀嚼行为和唾液分泌能显著改变食团的质地特性, 同时促进食物滋味成分与唾液之间的复杂传质行为<sup>[8,21-22]</sup>。由图1可知, 在咀嚼过程中, 食团的水分含量显著升高( $P < 0.05$ ), 在吞咽点时食团水分质量分数达到55.65%, 比咀嚼初期(20%咀嚼阶段)升高8.01%。在20%~40%咀嚼阶段, 食团水分含量显著升高( $P < 0.05$ ), 此时食物经咀嚼破碎形成松散且大小不一的食物块, 食物结构相对完整; 在40%~60%咀嚼阶段, 食团水分质量分数逐渐升高, 但无显著性差异( $P > 0.05$ ); 在60%咀嚼阶段至吞咽点, 食团水分含量逐渐升高并趋于稳定, 这可能是因为60%咀嚼阶段时食物已进一步破碎并聚集(唾液的黏合作用)形成质地均匀的食团。咀嚼过程中, 食团的脂肪含量变化无显著差异( $P > 0.05$ ), 在咀嚼阶段的中后期(60%咀嚼阶段直至吞咽点)食团脂肪含量逐渐降低。这一结果可能是由于食团脂肪组织中结缔组织经咀嚼严重破坏, 被包裹的脂肪细胞受到压力破碎, 溶解的脂肪流出唾液中, 导致食团中脂肪含量逐渐降低<sup>[23]</sup>, 同时脂肪的口腔流失及其在唾液酶的作用下熔化解, 产生脂肪酸和风味物质等, 也会引起脂肪含量降低<sup>[24]</sup>。

表1 红烧肉主要成分与咸味和鲜味物质含量间的相关性分析  
Table 1 Correlation between chemical properties and salty and umami taste in stewed pork with brown sauce

指标	pH值	水分含量	脂肪含量	氯化钠含量	风味核苷酸含量
咀嚼阶段	0.199*	0.574**	-0.068	-0.171*	-0.065
pH值		0.267**	-0.020	-0.196*	-0.127
水分含量			-0.180*	-0.109	0.081
脂肪含量				-0.029	-0.265*
氯化钠含量					0.148

注: \*.相关性显著( $P < 0.05$ ); \*\*.相关性极显著( $P < 0.01$ )。

如表1所示, 食团水分含量与咀嚼阶段( $r=0.574$ )呈极显著正相关( $P < 0.01$ ), 与脂肪含量( $r=-0.180$ )



呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。Drago等<sup>[25]</sup>研究发现,乳制品中脂肪抑制唾液分泌并进入食团,提高食团的黏附力。说明随着咀嚼时间的延长,食团中脂肪含量逐渐降低,在一定程度上促进其水分含量的升高。

## 2.2 咀嚼过程中食团的pH值变化

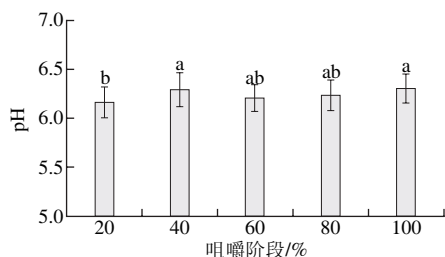


图2 红烧肉咀嚼过程中pH值变化

Fig. 2 Changes in pH of stewed pork with brown sauce during mastication

由图2可知,咀嚼过程中食团的平均pH值为6.23 (6.16~6.30),这一结果与Drago等<sup>[25]</sup>的研究结果一致。较低的pH值影响唾液中蛋白质和脂肪水解酶的活性,促进食团在口腔中的风味释放<sup>[26]</sup>。在20%~40%咀嚼阶段,食团pH值显著升高 ( $P < 0.05$ ),这可能是由于食物经咀嚼破碎与唾液润滑,引起食团中水分(包括唾液)被蛋白质牢牢束缚,导致pH值升高<sup>[27]</sup>;在40%~60%咀嚼阶段,食团pH值略有降低但差异不显著 ( $P > 0.05$ );继续咀嚼至吞咽点,食团pH值缓慢升高但差异不显著 ( $P > 0.05$ ),这可能是由于随着咀嚼时间的延长,评价员的唾液分泌量逐渐升高并趋于稳定<sup>[15]</sup>,导致食团pH值缓慢升高。

由表1可知,食团的pH值与咀嚼阶段 ( $r = 0.199$ ) 和水分含量 ( $r = 0.267$ ) 呈显著正相关 ( $P < 0.05$ )。说明食团的pH值受咀嚼时间的影响外,也与其水分含量密切相关。Kerns等<sup>[28]</sup>研究发现肉的保水性与其pH值呈正相关,说明咀嚼过程中食团具有良好的持水力和保水性。

## 2.3 咀嚼过程中食团的氯化钠含量变化

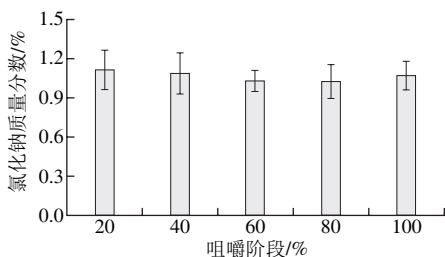


图3 红烧肉咀嚼过程中氯化钠含量变化

Fig. 3 Changes in sodium chloride content of stewed pork with brown sauce during mastication

食物在咀嚼过程中经牙齿破碎和唾液作用,导致氯化钠在食团与唾液间进行传质转移,最终融合形成相互黏连的食团。由图3可知,红烧肉食团的平均氯化钠质量

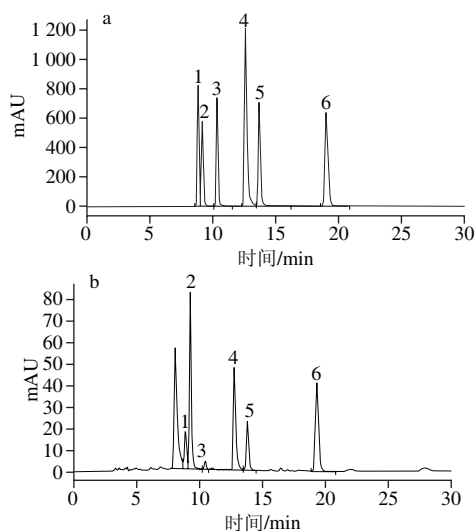
分数为1.07% (1.02%~1.12%),主要来自调味料(腐乳和酱油);食团在20%咀嚼阶段,其氯化钠含量最高,口腔中释放的氯化钠含量主要取决于食团中的氯化钠含量<sup>[29]</sup>;继续咀嚼至80%咀嚼阶段,食团氯化钠含量逐渐下降,但无显著性差异 ( $P > 0.05$ ),这可能是由于食团中脂肪抑制氯化钠的释放<sup>[8]</sup>;达到吞咽点时,食团中氯化钠含量略有升高,这可能由于唾液稀释、食团中水分大量流失导致氯化钠含量上升<sup>[25]</sup>。在整个咀嚼过程中,咀嚼行为中牙齿破碎、上颚挤压、唾液分泌以及舌的运动促进食物中氯化钠渗透进入唾液,导致食团氯化钠含量降低<sup>[8]</sup>,同时食团的水分含量升高也可引起氯化钠含量的降低,而在80%咀嚼阶段至吞咽点,氯化钠含量在食团与唾液之间达到动态平衡。

由表1可知,表明食团的氯化钠含量与咀嚼阶段 ( $r = -0.171$ ) 和pH值 ( $r = -0.196$ ) 均呈显著负相关 ( $P < 0.05$ )。随着咀嚼时间的延长,食团的氯化钠含量逐渐降低,并伴随pH值的升高;在一定的pH值范围内,较低的pH值可促进肉的风味释放。说明食团的氯化钠含量除了受咀嚼时间的影响外,也与pH值密切相关。

## 2.4 咀嚼过程中食团的核苷酸含量测定

### 2.4.1 色谱条件的优化

由于5'-GMP和5'-IMP分子结构相似,保留时间接近,因而较难将这2种核苷酸标准品同时分离。核苷酸测定实验采用二元流动相,其中甲醇洗脱液的比例对核苷酸标准品的保留时间影响显著;磷酸二氢钾缓冲溶液的pH值对5'-GMP和5'-IMP的分离效果有显著影响。多次实验表明pH值为5.4的磷酸二氢钾缓冲溶液能实现6种核苷酸标样较好的分离,使得标准品和样品的图谱分离效果良好,如图4所示。



1. 5'-GMP; 2. 5'-IMP; 3. 5'-ADP; 4. Hx; 5. 5'-AMP; 6. I。

图4 核苷酸及其降解产物标准品(a)和红烧肉样品(b)的高效液相色谱图

Fig. 4 HPLC chromatogram of mixed standards of nucleotides and nucleotide degradation compounds (a) and stewed pork with brown sauce (b)

2.4.2 咀嚼过程中食团的核苷酸含量变化

表2 红烧肉咀嚼过程中呈味核苷酸含量变化  
Table 2 Changes in nucleotide concentrations during mastication of stewed pork with brown sauce

核苷酸	咀嚼阶段				
	20%	40%	60%	80%	100%
5'-GMP	10.94±3.10 <sup>a</sup>	10.52±3.01 <sup>ab</sup>	10.10±2.14 <sup>ab</sup>	9.30±2.28 <sup>b</sup>	9.82±1.77 <sup>ab</sup>
5'-IMP	56.58±16.64	53.70±23.36	53.79±12.13	51.24±11.98	55.50±14.40
5'-ADP	3.28±0.64	3.24±0.86	3.21±0.43	3.19±0.41	3.31±0.42
Hx	16.65±5.17	15.56±4.06	15.83±2.52	14.93±2.48	14.37±1.83
5'-AMP	15.42±4.94	14.58±5.30	14.75±3.27	14.31±2.89	14.58±2.72
I	31.15±9.97	28.41±9.85	28.83±7.41	28.24±5.67	28.31±3.97
风味核苷酸	82.94±24.41	78.81±31.19	78.64±16.51	74.85±15.85	79.90±17.76

注：同行不同肩标小写字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）；风味核苷酸为5'-IMP、5'-GMP和5'-AMP之和。

由表2可知，红烧肉食团中的核苷酸类物质以5'-IMP和I为主。在咀嚼过程中，6种核苷酸的含量均逐渐下降，但差异不显著（ $P>0.05$ ）。其原因可能是一方面咀嚼破碎引起食团组织结构改变，并伴随唾液的酶解作用，引起各类核苷酸降解，另一方面可能是咀嚼过程中的流失进入唾液并吞咽。

5'-IMP是构成风味核苷酸的主要物质，咀嚼过程中5'-IMP的平均含量为53.96 mg/100 g，高出阈值（14 mg/100 g）3.8倍。在20%咀嚼阶段，食团中5'-IMP含量占风味核苷酸总量的68.22%，继续咀嚼至80%咀嚼阶段，其含量逐渐降低，达到吞咽点时其含量略有升高达到69.46%，这可能是由于5'-ADP的降解引起5'-AMP含量增加，5'-AMP又降解成5'-IMP<sup>[30]</sup>。但是食团中苦味物质（I、Hx）含量随着咀嚼时间的延长逐渐降低。

由表1可知，食团的风味核苷酸含量与脂肪含量（ $r=-0.265$ ）呈显著负相关（ $P<0.05$ ）。说明食团的风味核苷酸含量受脂肪含量的影响。

2.5 咀嚼过程中食团的味觉特征分析

TS-5000Z系列智能味觉系统是根据各人工传感器脂膜上的膜电势变化测定基本味觉感官指标。待检样品中的味觉感官指标数据以参与溶液的电势为基准，根据各人工传感器脂膜电势的绝对值与其差值计算而得，其中参比溶液（人工唾液）的输出值称为无味点。本实验参比溶液由KCl和酒石酸组成，故酸味的无味点为-13，咸味的无味点为-6。样品的味觉值低于无味点时，样品无该味道，反之则有。

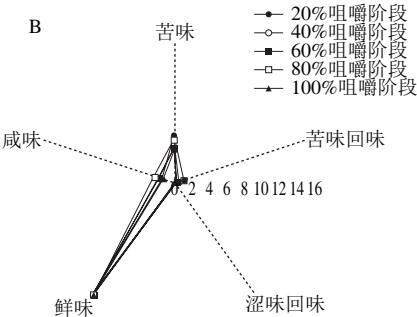
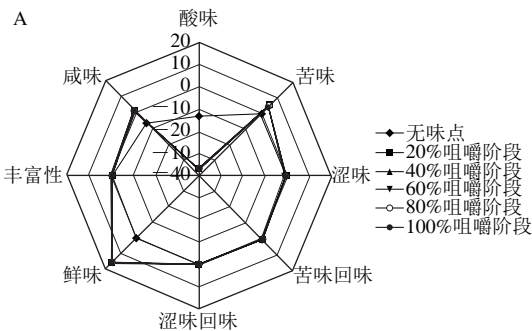


图5 红烧肉咀嚼过程中(A)和有效评价指标(B)味觉雷达图  
Fig. 5 Spider plot for effective evaluation using electronic tongue of taste attributes of stewed pork with brown sauce during mastication

由图5A可知，在咀嚼过程中，食团的酸味、涩味和丰富性均在无味点以下。因此，将其他味觉作为本样品的有效评价指标（图5B）。在咀嚼过程中，食团突出的味觉指标为鲜味、咸味和苦味，苦味回味和涩味回味接近于0，其中鲜味是食团最显著的味觉指标。

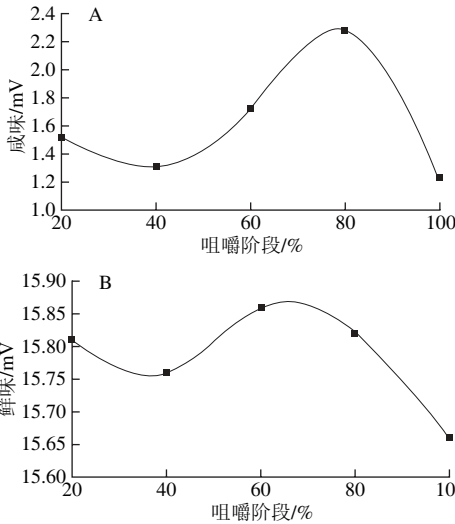


图6 红烧肉咀嚼过程中咸味(A)和鲜味变化(B)  
Fig. 6 Changes in saltiness (A) and umami taste (B) of stewed pork with brown sauce during mastication

在不同咀嚼阶段，食团的咸味值由TS-5000Z系列智能味觉系统中咸味人工传感器脂膜上的电势值与参比溶液电势值之差得出。对比测定食团中氯化钠含量的国家标准方法，电子舌检测技术是经参比溶液（人工唾液）对食团进一步处理，放大了咀嚼过程中唾液对食团中氯化钠的释放作用，促进其进入唾液而被舌味蕾细胞感知。由图6A可知，咸味在咀嚼过程中变化显著，在20%~40%咀嚼阶段，食团的咸味变化不明显；随着咀嚼时间的延长，食团的咸味呈线性增长并在80%咀嚼阶段时达到最大值；继续咀嚼至吞咽点时，食团的咸味显著下降，且降幅在1个刻度以上。在20%咀嚼阶段，食团的咸度主要取决于食物本身的氯化钠含量，这是由于在这

一阶段牙齿咀嚼和唾液分泌程度均较低；在40%咀嚼阶段，食团的咸度略有降低，一方面可能是由于唾液分泌引起食团水分含量升高，降低氯化钠含量，另一方面可能是红烧肉中脂肪对咸味物质的包裹作用阻碍其在口腔中的释放；继续咀嚼至80%咀嚼阶段时，食团的咸度呈线性增长并达到最大值，这可能是由于咀嚼作用增强促进食团中氯化钠在唾液中的溶解并进入味蕾细胞增强味觉，同时食团中脂肪细胞因受到牙齿-上颌-舌的挤压破碎、溶解，也在一定程度上减弱对氯化钠的包裹，促进其释放进入唾液，此时食团与唾液中的氯化钠含量达到动态平衡；在吞咽点时，食团的咸味显著下降，这可能是由于舌的运动与上颌挤压推动食团从口腔中运输至咽部，从而降低味蕾细胞中氯化钠的含量。在整个咀嚼过程中，咸味变化规律与Tian等<sup>[17]</sup>研究结果一致。

鲜味也是红烧肉最重要的味觉指标之一。如图6B所示，在整个咀嚼过程中，红烧肉的鲜味值在15.5~15.8 mV之间，变化幅度相对较小。这一结果与食团中鲜味核苷酸（5'-IMP、5'-AMP和5'-GMP）变化规律一致。在整个咀嚼过程中，食团的鲜味变化规律与咸味相似。在20%~40%咀嚼阶段，食团的鲜味无显著变化；随着咀嚼时间的延长，食团的鲜味呈线性增长，80%咀嚼阶段时咸味略有降低，说明在60%~80%咀嚼阶段时，食团的鲜味物质已充分释放；继续咀嚼至吞咽点，食团的鲜味显著下降，这可能与唾液稀释和水分流失有关。

### 3 结 论

基于电子舌检测技术对不同咀嚼阶段红烧肉咸味和鲜味的动态分析，并结合食团的水分含量、pH值、氯化钠含量、核苷酸及其降解产物含量变化以及相关分析，发现红烧肉咀嚼过程中的咸味和鲜味释放呈先上升后下降趋势，且在咀嚼的中后阶段咸味和鲜味成分在食团与唾液间达到动态平衡，咸度和鲜度最强。

在咀嚼过程中，食团的水分含量显著升高；脂肪含量持续降低；除咀嚼初期外，pH值无显著变化；氯化钠含量与风味核苷酸含量逐渐降低并在吞咽点时略有升高。

相关性分析表明，食团的氯化钠含量与其pH值呈显著负相关，风味核苷酸含量与脂肪含量呈显著负相关。说明较低的pH值促进氯化钠的释放，较低的脂肪含量促进风味核苷酸的释放。

咸味与鲜味作为红烧肉食团的主要有效味觉，其咀嚼过程中的释放规律相似，均在咀嚼中后阶段达到最大值。

### 参考文献：

- [1] CHEN J. Food oral processing: a review[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(1): 1-25. DOI:10.1016/j.foodhyd.2007.11.013.
- [2] CHEN J. Food oral processing: some important underpinning principles of eating and sensory perception[J]. Food Structure, 2014, 1(2): 91-105. DOI:10.1016/j.foostr.2014.03.001.
- [3] WITT T, STOKES J R. Physics of food structure breakdown and bolus formation during oral processing of hard and soft solids[J]. Current Opinion in Food Science, 2015, 3: 10-117. DOI:10.1016/j.cofs.2015.06.011.
- [4] ALLEN F E, ÇAKIR E, HICRAN K. Using dairy ingredients to alter texture of foods: implications based on oral processing considerations[J]. International Dairy Journal, 2010, 20(9): 562-570. DOI:10.1016/j.idairyj.2009.12.013.
- [5] MOSCA A C, VELDE F V D, BULT J H F, et al. Taste enhancement in food gels: effect of fracture properties on oral breakdown, bolus formation and sweetness intensity[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 43(1): 794-802. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.08.009.
- [6] SYARIFUDDIN A, SEPTIER C, SALLES C, et al. Reducing salt and fat while maintaining taste: an approach on a model food system[J]. Food Quality and Preference, 2016, 48: 59-69. DOI:10.1016/j.foodqual.2015.08.009.
- [7] LIU K, STIEGER M, LINDEN E V D, et al. Fat droplet characteristics affect rheological, tribological and sensory properties of food gels[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 44: 244-259. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.09.034.
- [8] CHABANET C, TARREGA A, SEPTIER C, et al. Fat and salt contents affect the in-mouth temporal sodium release and saltiness perception of chicken sausages[J]. Meat Science, 2013, 94(2): 253-261. DOI:10.1016/j.meatsci.2012.09.023.
- [9] 刘登勇, 谭阳, 盖圣美, 等. 猪五花肉红烧过程中脂肪和脂肪酸的变化规律[J]. 食品科学, 2015, 36(23): 28-32. DOI:10.7506/spkx.1002-6630-201523006.
- [10] 农业部. 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则: GB/T 16291.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [11] 卫生部. 食品中水分的测定: GB 5009.3—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] 卫生部. 食品中粗脂肪的测定: GB/T 14772—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 肉与肉制品 pH测定: GB/T 9695.5—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 食品中氯化钠的测定: GB/T 12457—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [15] MOTOI L, MORGENSTERN M P, HEDDERLEY D I, et al. Bolus moisture content of solid foods during mastication[J]. Journal of Texture Studies, 2013, 44(6): 468-479. DOI:10.1111/jtxs.12036.
- [16] SAINT-EVE A, PANOUILLÉ M, CAPITAINE C, et al. Dynamic aspects of texture perception during cheese consumption and relationship with bolus properties[J]. Food Hydrocolloids, 2015, 46(1): 144-152. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.12.015.
- [17] TIAN X, FISK I D. Salt release from potato crisps[J]. Food and Function, 2012, 3(4): 376-380. DOI:10.1039/c2fo10282j.
- [18] ZATA V, AMA P, THEODORE L, et al. Impact of almond form and moisture content on texture attributes and acceptability[J]. Journal of Food Science, 2014, 79(7): 1399-1406. DOI:10.1111/1750-3841.12509.
- [19] PANOUILLÉ M, SAINT-EVE A, DÉLÉRIS I, et al. Oral processing and bolus properties drive the dynamics of salty and texture perceptions of bread[J]. Food Research International, 2014, 62(8): 238-246. DOI:10.1016/j.foodres.2014.02.031.

- [20] LAVERGNE M D D, DERKS J A M, KETEL E C, et al. Eating behaviour explains differences between individuals in dynamic texture perception of sausages[J]. Food Quality and Preference, 2015, 41: 189-200. DOI:10.1016/j.foodqual.2014.12.006.
- [21] GOTO T, NAKAMICH A, WATANABE M, et al. Influence of food volume per mouthful on chewing and bolus properties[J]. Physiology and Behavior, 2015, 141: 58-62. DOI:10.1016/j.physbeh.2015.01.007.
- [22] PANOUILLE M, SAINT-EVE A, LOUBENS C D, et al. Understanding of the influence of composition, structure and texture on salty perception in model dairy products[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(4): 716-723. DOI:10.1016/j.foodhyd.2010.08.021.
- [23] MANDALARI G, GRUNDY M M, GRASSBY T, et al. The effects of processing and mastication on almond lipid bioaccessibility using novel methods of *in vitro* digestion modelling and micro-structural analysis[J]. British Journal of Nutrition, 2014, 112(9): 1521-1529. DOI:10.1017/S0007114514002414.
- [24] 王琳可, 赵改名, 柳艳霞, 等. 卤煮鸡肉质构测定条件的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 132-136. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.18.019.
- [25] DRAGO S R, PANOUILLE M, SAINTEVE A, et al. Relationships between saliva and food bolus properties from model dairy products[J]. Food Hydrocolloids, 2011, 25(4): 659-667. DOI:10.1016/j.foodhyd.2010.07.024.
- [26] 陈剑岚, 邵琳雅, 施文正, 等. 不同宰杀方式对草鱼肉呈味水溶性成分的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(17): 27-31. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201617005.
- [27] SILVA J A. Influence of ultimate pH on bovine meat tenderness during ageing[J]. Meat Science, 1999, 52: 453-459.
- [28] KERNS K N, FULTON J O, UNDERWOOD K R, et al. Determining the relationship between pH and instrumental color measurements to predict water-holding capacity and sensory juiciness[J]. Meat Science, 2016, 112: 154. DOI:10.1016/j.meatsci.2015.08.118.
- [29] MUELLER E, KOEHLER P, SCHERF K A. Applicability of salt reduction strategies in pizza crust[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 1116-1123. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.07.066.
- [30] LIU Y, XU X L, ZHOU G H. Changes in taste compounds of duck during processing[J]. Food Chemistry, 2007, 102(1): 22-26. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.03.034.