

基于肌电信号的仿齿压头对食品质地的影响*

陈莉¹ 孙永海¹ 刘晶晶² 谢高鹏¹

(1. 吉林大学生物与农业工程学院, 长春 130022; 2. 东北电力大学自动化工程学院, 吉林 132012)

摘要: 利用设计的仿齿压头进行了食品质地测试,并提取了咀嚼过程中咬肌肌电图的特征值。研究表明:仿齿压头测试数据与特征值相关性显著;第1次压缩做功与咬肌活动量、硬度与咬肌信号峰值的相关系数分别为0.866、0.934,均大于普通压头的测试数据与特征值的相关系数(0.740、0.907)。利用仿齿压头测得的质地特性与咬肌活动变化规律的平均密切程度比普通压头高9.3%,仿齿压头能更好地反映食品的实际质地特性。

关键词: 仿齿压头 食品质地 肌电图

中图分类号: TB17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)08-0248-06

引言

食品质地是评价食品品质的重要指标,人们越来越热衷于研究食品的质地及其流变学特性^[1-4]。为了获得食品质地的数值描述,人们大多利用质构仪,但其压头与人牙齿的形态差距很大,测定结果有偏差。Lyon等利用普通压头分别测试米饭和白面包的质地,发现测试结果与感官评价结果均无显著相关性^[5-6]。汪磊等利用平底柱形压头对牛肉干进行质地测定,感官评分与咀嚼性和回复性相关性不显著^[7]。张馨木利用圆柱形压头对冷鲜猪肉进行质地测定,测得的弹力值与感官评定值相关系数只有0.640^[8]。

食品质地不同直接影响咀嚼肌功能的发挥,质地与咀嚼肌肌电信号之间存在相关关系。Cakir等记录咀嚼过程中咀嚼肌的电位变化情况,发现硬度与咬肌、颞肌活动量均高度相关^[9-10]。Mioche等研究发现咀嚼5种不同食品时平均肌肉活动量与最大应力呈指数关系,决定系数为0.999 9^[11]。Peng记录了咀嚼脆性谷物时的肌电信号,发现感官脆性与咬肌肌电信号特征值的相关系数达到了0.92^[12]。

本文利用设计的仿齿压头对食品进行质地测试,并研究咬合过程中起主要作用的咬肌肌电图,分析质地特性与咬肌活动电位特征值之间的相关关系,并与普通圆柱形压头进行比较,证明仿齿压头的优越性。

1 质地测试试验

1.1 仿齿压头的制作

人咀嚼食物时一般用磨牙区域,这里选取对食物破碎性能较好的第一磨牙为参照。

采用美国GE公司生产的Light speed螺旋CT扫描仪对无龋齿的某健康男子的牙齿齿列进行断层扫描,将得到的二维图片导入Mimics10.0中,进行阈值分割,获取整个牙列的点云数据,使用Geomagic studio12.0分别提取出上、下颌第一磨牙的点云数据,如图1所示。去掉牙根,保留齿冠,再进行封装多边形、曲面拟合等处理^[13],最终得到上、下第一磨牙牙冠的三维模型,如图2所示。

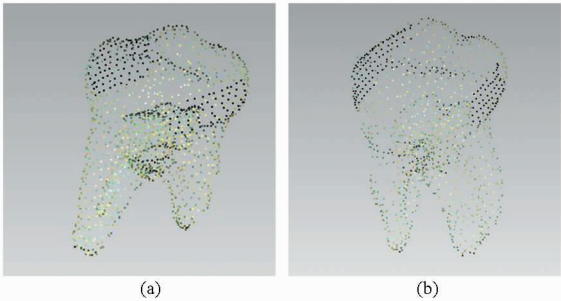


图1 第一磨牙点云

Fig.1 Point cloud data of first molars

(a) 上颌第一磨牙点云 (b) 下颌第一磨牙点云

对得到的上、下第一磨牙牙冠的三维模型进行计算机辅助加工,制成烤瓷材料的仿齿压头。下磨牙压头齿冠高8 mm,齿面长10 mm、宽10 mm;上磨

收稿日期: 2014-01-26 修回日期: 2014-04-13

* 国家自然科学基金资助项目(31271861)

作者简介: 陈莉,博士生,主要从事农产品智能检测与评价研究,E-mail: flygirl1983@126.com

通讯作者: 孙永海,教授,博士生导师,主要从事农产品智能检测与评价研究,E-mail: sunyh@jlu.edu.cn

牙齿冠高 8 mm,齿面长 8 mm、宽 8 mm。在上、下磨牙压头底部加工螺纹,下磨牙安装于 CT3 质构仪上,上磨牙安装于自行配置的底座上,如图 3 所示。

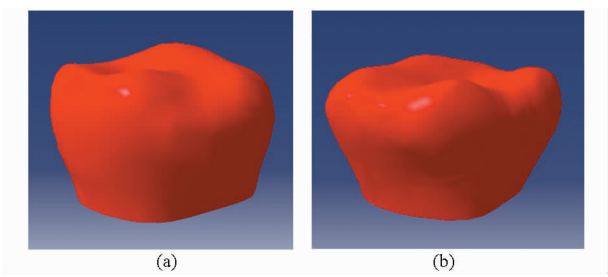


图 2 第一磨牙三维模型

Fig.2 Three-dimensional models of first molars

(a) 上颌第一磨牙三维模型 (b) 下颌第一磨牙三维模型

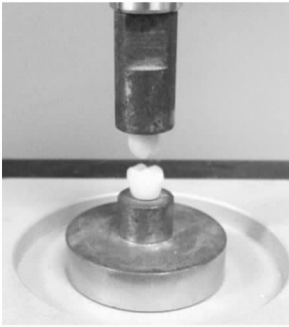


图 3 仿齿压头

Fig.3 Bionic indenter

1.2 质地测试

试验材料:圆形饼干($\phi 10\text{ mm} \times 4\text{ mm}$)、香蕉($\phi 26\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)、新鲜胡萝卜($\phi 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)、面包($15\text{ mm} \times 15\text{ mm} \times 15\text{ mm}$)、蛋糕($20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 20\text{ mm}$)、苹果($10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)、金丝猴奶糖($\phi 10\text{ mm} \times 30\text{ mm}$)、香肠($\phi 14\text{ mm} \times 15\text{ mm}$)、花生(粒长约 16 mm、直径约 10 mm)、杏仁(粒长约 18 mm、直径约 10 mm)、榨菜($\phi 6\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)、牛肉干($20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 10\text{ mm}$)。

选用美国 Brookfield 公司的 CT3 质构仪,使用仿齿压头,上、下压头按照“杵臼”模型^[14]规律配合放置。为了进行质地剖面分析,选取 TPA 模式(Texture profile analysis)。参照文献^[15],选取合适的测试条件,每种样品重复 5 次。饼干测试条件:触发点负载 2 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 50%;香蕉测试条件:触发点负载 1 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;胡萝卜测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 60%;面包测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;蛋糕测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 50%;苹果测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;奶糖测试

条件:触发点负载 2 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 60%;香肠测试条件:触发点负载 1 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;花生测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;杏仁测试条件:触发点负载 1 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 40%;榨菜测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 50%;牛肉干测试条件:触发点负载 0.5 N,测试速度 0.5 mm/s,形变量 50%。

同时,制作与仿齿压头材料一致、大小近似的圆柱形压头,压头直径 10 mm,进行物料破碎试验,条件同仿齿压头。

2 咀嚼肌电信号测试

2.1 测试对象

按照严格的牙科标准,参照文献^[16],选取 10 名拥有健康齿列且下颌运动功能正常的成年人,男女各 5 名,平均年龄 27 岁。

2.2 测试仪器

丹麦进口 Keypoint 型数字化肌电仪,采样频率为 24 kHz。

2.3 测试过程

(1)受试者端坐位,头直立,两眼平视,受测部位皮肤表面用酒精擦拭,以增加皮肤表面的导电性^[17]。

(2)受试者紧咬牙齿,通过触诊判断其咬肌的位置,将 2 个表面电极沿着咬肌肌肉块的长度放置于皮肤表面,并与肌纤维的方向平行,接地电极放置于手腕上^[9],图 4 为表面电极的放置位置。

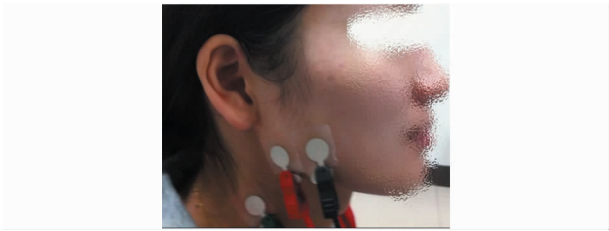


图 4 咬肌动作电位测试

Fig.4 Test of masseter potential

(3)受试者将样品放置于上、下磨牙之间,按惯用的方式进行咀嚼,从上下磨牙开始咬合时记录数据,采集前两个周期的咬肌肌电图,每个样品之间用纯净水漱口。

2.4 测试结果

在咀嚼的不同阶段,每块咀嚼肌的作用在不断变化,咬肌和颞肌主要在闭口和上下牙齿咬合时起主导作用^[9]。咀嚼食物时,咬肌和颞肌的肌电活动最大,且咬肌大于颞肌^[18],本文主要研究单侧咀嚼破碎食物过程中的咬肌的肌电活动变化情况。

咀嚼之前,受试者保持下颌姿势位,此时咬肌有轻微的电活动,图5为下颌姿势位时的右侧咬肌肌电图,后续分析时以下颌姿势位的肌电变化作为基准。在牙尖交错位最大紧咬时,咬肌的肌电活性最大,反映了其最大的收缩能力^[18]。为了减少试验误差,以受试者用最大力气紧咬橡胶时的肌电变化作为最大值参照,对正常方式咀嚼的测试结果进行归一化。图6为受试者用最大力气紧咬时的右侧咬肌肌电图。图7为正常方式咀嚼苹果和奶糖时的右侧咬肌肌电图。

由图7看出,食品的质地不同,肌电活跃度明显

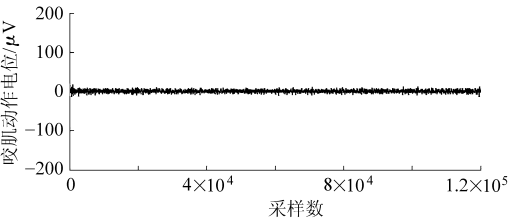


图5 下颌姿势位咬肌肌电图

Fig.5 Masseter EMG of postural position

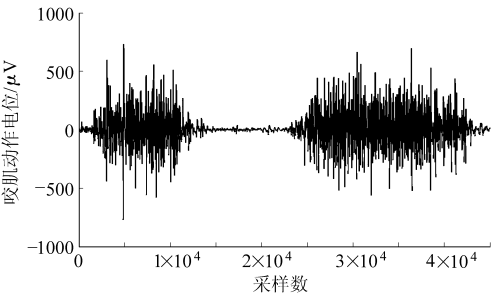


图6 最大力气咬肌肌电图

Fig.6 Masseter EMG of biggest strength

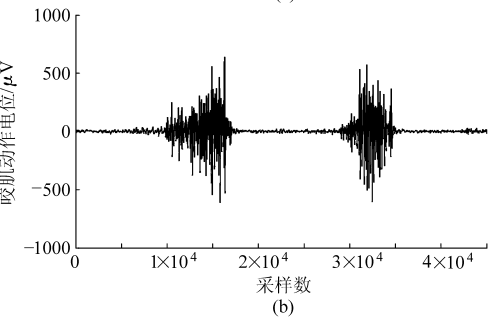
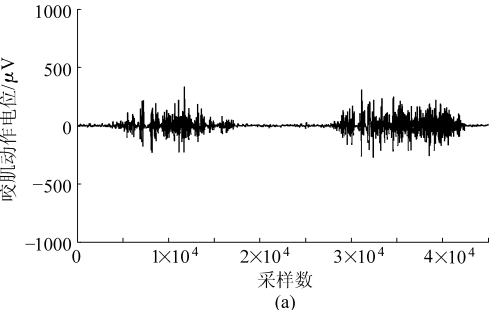


图7 正常咀嚼咬肌肌电图

Fig.7 Masseter EMG of habitual chewing

(a) 苹果 (b) 奶糖

不同。质地较硬的奶糖的肌电信号更活跃,其幅值变化范围高于质地较软的苹果,相同时间内咀嚼奶糖所做的功大于咀嚼苹果所做的功。

3 肌电图特征值与质地测量结果的相关性分析

根据咬肌在咀嚼食品时产生的活动电位变化,可以求得咬肌在咀嚼食品时所做的功,即咬肌活动量,它是评价咬肌功能的重要指标,不同质地特性的食品产生的咬肌活动量必然存在一定的差异。质构仪压头对食品所做的功直接反映出不同食品机械性能的差别,因此咬肌活动量与质构仪压头所做的功必然存在一定的联系。

咀嚼不同硬度的食品时,一段时间内咬肌信号的振幅变化规律也不同,咬肌每次收缩时所释放的最大能量为咬肌信号的峰值,硬度越大,咬肌收缩释放的能量越大,食品的硬度用破碎食物时产生的咬肌信号的峰值来表征。

咀嚼之前,保持下颌姿势位,咀嚼至食物产生最大变形量时,磨碎食物,之后下颌回到初始位置,完成一次咀嚼。图8为咀嚼1次的典型肌电图,分破碎阶段和磨碎阶段^[19]。磨碎阶段需要力的作用,食品本身也存在残余应力,因此在磨碎阶段肌电信号减小到零需要一个过渡,时间长短取决于食品的质地,脆性食品过渡时间极短,粘性食品过渡时间较长。图8为粘弹性食品(奶糖)的肌电图。将磨碎阶段的咬肌活动量与破碎阶段的咬肌活动量的比值定义为咬肌保持能力,它与食品的回复性存在着一定联系。

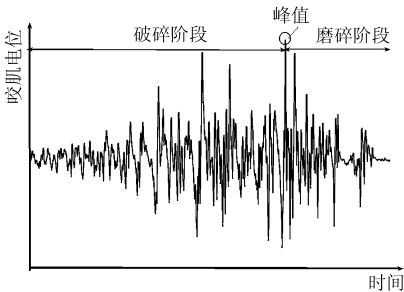


图8 咀嚼1次典型肌电图

Fig.8 Typical EMG for first chew

咬肌在第2次咀嚼产生的活动量必然与第1次咀嚼时有差异,这种差异也体现出不同质地食品在第1次咀嚼之后表现出的对第2次咀嚼的抵抗能力,用2次咬肌活动量之比来表征食品的内聚性。

Friedman 等将食品的机械特性按咀嚼先后分为一次特性和二次特性^[20],第1次压缩食品时产生的峰值定义为硬度;第1次压缩循环过程中返回时样品所释放的弹性能与压缩过程的探头耗能之比定义

为回复性;两次压缩做功之比定义为内聚性;这种分 profile analysis,TPA)。析方法后来被命名为质地剖面分析模式(Texture 表 1、2 为 2 种压头测试结果。

表 1 仿齿压头测试结果
Tab.1 Test results of bionic indenter

材料	第 1 次压缩做功/mJ	硬度/N	回复性	内聚性
奶糖	460.84 ± 67.87 ^c	86.64 ± 14.05 ^c	0.03 ± 0.01 ^a	0.16 ± 0.02 ^c
胡萝卜	374.30 ± 27.38 ^b	108.58 ± 7.20 ^d	0.31 ± 0.02 ^e	0.33 ± 0.05 ^a
牛肉干	349.78 ± 72.85 ^b	137.69 ± 11.83 ^f	0.21 ± 0.04 ^b	0.61 ± 0.03 ^b
杏仁	133.06 ± 35.11 ^d	85.27 ± 13.91 ^c	0.02 ± 0.01 ^a	0.17 ± 0.02 ^c
花生	85.54 ± 13.95 ^e	71.92 ± 3.94 ^{ae}	0.21 ± 0.04 ^b	0.24 ± 0.03 ^g
苹果	85.16 ± 8.50 ^e	42.30 ± 3.32 ^a	0.19 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.05 ^f
香肠	70.25 ± 10.82 ^{ae}	15.44 ± 1.56 ^b	0.55 ± 0.03 ^f	0.71 ± 0.11 ^d
榨菜	49.16 ± 9.06 ^{ae}	82.04 ± 12.06 ^{ce}	0.08 ± 0.01 ^c	0.65 ± 0.08 ^{bd}
蛋糕	39.46 ± 3.08 ^a	5.22 ± 0.35 ^b	0.02 ± 0.01 ^a	0.18 ± 0.01 ^c
面包	37.16 ± 4.39 ^a	2.87 ± 0.28 ^b	0.08 ± 0.01 ^c	0.48 ± 0.03 ^e
饼干	30.86 ± 3.80 ^a	57.54 ± 4.32 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.32 ± 0.01 ^a
香蕉	9.21 ± 2.41 ^a	3.83 ± 0.94 ^b	0.12 ± 0.02 ^d	0.63 ± 0.02 ^b

注:表示形式为均值 ± 标准差,上标字母不同者表示二者之间差异显著(P < 0.05),下同。

表 2 圆柱形压头测试结果
Tab.2 Test results of cylindrical indenter

材料	第 1 次压缩做功/mJ	硬度/N	回复性	内聚性
奶糖	543.76 ± 110.71 ^c	113.87 ± 28.30 ^e	0.02 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.02 ^c
胡萝卜	534.80 ± 82.65 ^c	185.81 ± 11.84 ^e	0.13 ± 0.03 ^d	0.24 ± 0.06 ^a
牛肉干	897.32 ± 22.49 ^e	191.15 ± 34.46 ^e	0.10 ± 0.01 ^c	0.47 ± 0.08 ^g
杏仁	229.34 ± 43.50 ^d	124.64 ± 10.49 ^e	0.02 ± 0.01 ^a	0.05 ± 0.01 ^f
花生	51.04 ± 13.45 ^a	50.89 ± 2.93 ^d	0.02 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.03 ^c
苹果	136.60 ± 6.49 ^b	56.38 ± 2.03 ^d	0.08 ± 0.01 ^b	0.19 ± 0.04 ^{ac}
香肠	76.32 ± 5.42 ^a	18.08 ± 1.31 ^b	0.29 ± 0.02 ^e	0.62 ± 0.03 ^{de}
榨菜	90.66 ± 15.81 ^{ab}	81.87 ± 12.27 ^a	0.03 ± 0.01 ^a	0.60 ± 0.11 ^{be}
蛋糕	51.90 ± 3.20 ^a	6.73 ± 0.84 ^b	0.02 ± 0.01 ^a	0.15 ± 0.05 ^c
面包	36.62 ± 3.61 ^a	3.17 ± 0.44 ^b	0.08 ± 0.01 ^b	0.56 ± 0.04 ^{bd}
饼干	40.92 ± 4.36 ^a	85.07 ± 3.78 ^a	0.02 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.01 ^a
香蕉	26.30 ± 3.76 ^a	8.32 ± 0.59 ^b	0.09 ± 0.01 ^{bc}	0.55 ± 0.02 ^b

利用 Matlab7.0.1 环境对肌电图提取特征值。求咬肌活动量时需要先将每个采样点的电位去零飘后取绝对值、再使用 trapz 语句实现。下颌姿势位时右侧咬肌的峰值电位为(49.7 ± 17.19) μV,因此对每个咀嚼周期的肌电图使用 trapz 语句时以电位大于 50 μV 的时刻为起始点,以电位小于 50 μV 的时刻作为终止点。咬肌信号峰值用 max 语句实现。

为避免原始样本数据的误差,对正常方式咀嚼测得的样本数据进行归一化。对于每种样品 X,对样本数据去零飘后取特征值,可以构成 m × n 的矩阵,如下

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中 m——受试者总数,m = 10
n——特征值总数,n = 4

对样本数据进行归一化,变换公式为

$$\overline{x_{ij}} = \frac{x_{ij}}{x_{ijmax}} \tag{2}$$

式中 $\overline{x_{ij}}$ ——经归一化后的样本数据
i——受试者序号,i = 1,2,⋯,10
j——特征值序号,j = 1,2,3,4
 x_{ijmax} ——第 i 个受试者用最大力气采集的肌电图去零飘后相应的第 j 个特征值

表 3 为正常咀嚼方式的肌电图以最大紧咬位为参照进行归一化之后的结果。

将压头测试结果与肌电图特征值做 Pearson 相关性分析,相关系数如表 4 所示。

由表 4 可以看出,仿齿压头测试结果与咬肌肌电图特征值的相关系数均大于圆柱形压头测试结果。对于第 1 次压缩做功和硬度,仿齿压头测试结

表 3 肌电图测试结果
Tab.3 Test results of EMG

材料	第 1 次咬肌活动量/($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)	第 1 次咬肌信号峰值/ μV	咬肌保持能力	2 次咬肌活动量之比
奶糖	$0.72 \pm 0.25^{\text{b}}$	$0.79 \pm 0.26^{\text{b}}$	$0.24 \pm 0.03^{\text{ac}}$	$0.69 \pm 0.33^{\text{ac}}$
胡萝卜	$0.37 \pm 0.11^{\text{a}}$	$0.74 \pm 0.27^{\text{a}}$	$0.37 \pm 0.09^{\text{bc}}$	$0.63 \pm 0.18^{\text{ab}}$
牛肉干	$0.51 \pm 0.21^{\text{c}}$	$0.98 \pm 0.41^{\text{c}}$	$0.46 \pm 0.19^{\text{bd}}$	$0.85 \pm 0.16^{\text{a}}$
杏仁	$0.35 \pm 0.06^{\text{a}}$	$0.64 \pm 0.17^{\text{a}}$	$0.31 \pm 0.11^{\text{acd}}$	$0.70 \pm 0.13^{\text{ac}}$
花生	$0.32 \pm 0.10^{\text{a}}$	$0.59 \pm 0.16^{\text{a}}$	$0.46 \pm 0.15^{\text{b}}$	$0.72 \pm 0.07^{\text{ac}}$
苹果	$0.32 \pm 0.11^{\text{a}}$	$0.51 \pm 0.15^{\text{a}}$	$0.22 \pm 0.11^{\text{ac}}$	$0.77 \pm 0.15^{\text{a}}$
香肠	$0.26 \pm 0.08^{\text{a}}$	$0.45 \pm 0.10^{\text{a}}$	$0.59 \pm 0.28^{\text{b}}$	$0.81 \pm 0.30^{\text{a}}$
榨菜	$0.27 \pm 0.10^{\text{a}}$	$0.55 \pm 0.17^{\text{a}}$	$0.49 \pm 0.16^{\text{b}}$	$0.71 \pm 0.13^{\text{ac}}$
蛋糕	$0.30 \pm 0.10^{\text{a}}$	$0.41 \pm 0.12^{\text{a}}$	$0.40 \pm 0.19^{\text{bc}}$	$0.53 \pm 0.08^{\text{bc}}$
面包	$0.34 \pm 0.11^{\text{a}}$	$0.33 \pm 0.09^{\text{a}}$	$0.39 \pm 0.19^{\text{bc}}$	$0.76 \pm 0.25^{\text{a}}$
饼干	$0.27 \pm 0.05^{\text{a}}$	$0.47 \pm 0.14^{\text{a}}$	$0.13 \pm 0.02^{\text{a}}$	$0.62 \pm 0.19^{\text{ab}}$
香蕉	$0.18 \pm 0.06^{\text{a}}$	$0.37 \pm 0.12^{\text{a}}$	$0.25 \pm 0.10^{\text{ac}}$	$1.41 \pm 0.64^{\text{d}}$

表 4 仿齿压头和圆柱形压头测试结果与肌电图特征值的相关系数
Tab.4 Correlation coefficients between test results measured by bionic indenter and
cylindrical indenter and eigenvalues of EMG

肌电图特征值	第 1 次咬肌活动量	第 1 次咬肌信号峰值	咬肌保持能力	2 次咬肌活动量之比
仿齿压头第 1 次做功	0.866 * *			
圆柱压头第 1 次做功	0.740 * *			
仿齿压头硬度		0.934 * *		
圆柱压头硬度		0.907 * *		
仿齿压头回复性			0.640	
圆柱压头回复性			0.532	
仿齿压头内聚性				0.566
圆柱压头内聚性				0.506

注：* * 表示相关性极显著 ($P<0.01$)。

果与咬肌活动变化规律相关性极显著。食品回复性与磨碎阶段咬肌保持能力无显著相关性,说明磨碎阶段的咬肌信号规律不足以表征食品的回复性;食品内聚性是 1 个多次咀嚼的质地特性,第 1 次咀嚼之后,舌头和口腔肌肉会本能的调节物料的位置和形态,会出现第 2 次咀嚼活动量大于第 1 次(即内聚性大于 1)的情况,导致 2 次咀嚼的活动量之比与内聚性的相关系数出现偏差,二者相关性不显著,关于多次咀嚼的肌电图特征有待后续进一步研究。

这里用 P_1 表示仿齿压头测得的质地特性与咬肌活动规律的平均相关程度, P_2 表示圆柱形压头测得的质地特性与咬肌活动规律的平均相关程度,即

$$P_1 = \sum_{i=1}^N P_{1i} / N$$

(3)

$$P_2 = \sum_{i=1}^N P_{2i} / N$$

(4)

式中 P_{1i} ——仿齿压头测得的质地特性与咬肌活动规律的相关系数
 P_{2i} ——圆柱形压头测得的质地特性与咬肌活动规律的相关系数

N ——相关性显著的质地参数总数
仿齿压头的优越性为

$$P = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100\%$$

(5)

根据表 4 数据,得出 P 为 9.3%。说明利用仿齿压头测得的质地特性与咬肌活动规律的平均密切程度比圆柱形压头高 9.3%。

4 结束语

利用逆向工程技术加工制作了仿齿压头,对食品质地进行测试,采集人在咀嚼食物时的表面咬肌肌电图,分析了咬肌活动变化规律,提取了咀嚼 2 个周期的咬肌电位活动特征,对咬肌信号的特征值与仿齿压头测得的质地特性进行相关性分析,仿齿压头的测试结果与咬肌活动变化规律相关性极显著,且相关系数大于普通圆柱形压头的测试结果,利用仿齿压头测得的质地特性与咬肌的活动特征值密切程度比圆柱形压头高 9.3%,更适合于研究食品的质地特性。

参 考 文 献

1 李志文,张平,张昆明,等. 1-MCP 结合冰温贮藏对葡萄果实质地的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(7): 176 – 181.
Li Zhiwen, Zhang Ping, Zhang Kunming, et al. Effect of 1-methylcyclopropene combined with controlled freezing-point storage on texture of grape fruit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(7):176 – 181. (in Chinese)

2 姜绍通,钟昔阳,潘丽军,等. 超高压改性谷朥粉对面条加工品质的影响[J]. 农业机械学报,2010,41(3): 153 – 158.
Jiang Shaotong,Zhong Xiyang,Pan Lijun,et al. Effect of addition of ultra-high pressure treated wheat gluten on the quality of noodle [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(3):153 – 158. (in Chinese)

3 汪立君,吴敏,王勇,等. 豆渣-玉米粉挤压膨化分散体系流变特性[J]. 农业机械学报,2012,43(4):119 – 125.
Wang Lijun,Wu Min,Wang Yong,et al. Rheological properties of extruded okara-maize blend based on extrusion technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2012,43(4):119 – 125. (in Chinese)

4 王娟,张荣芳,王相友. 双孢蘑菇硬度的近红外漫反射光谱无损检测[J]. 农业机械学报,2012,43(11):163 – 168.
Wang Juan, Zhang Rongfang, Wang Xiangyou. Non-destructive detection of *Agaricus bisporus* firmness based on near-infrared diffused spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(11):163 – 168. (in Chinese)

5 Lyon B G, Champagne E T, Vinyard B T, et al. Sensory and instrumental relationships of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices[J]. Cereal Chemistry,2000,77(1): 64 – 69.

6 Gâmbaro A, Varella P, Gimenez A, et al. Textural quality of white pan bread by sensory and instrumental measurements[J]. Journal of Texture Studies,2002,33(5):401 – 413.

7 汪磊,张文芳,朱波,等. 牛肉干感官与质构的相关性[J]. 食品科技,2013,38(1):142 – 149.
Wang Lei,Zhang Wenfang, Zhu Bo,etal. Correlation between sensory evaluation and texture parameters of beef jerky[J]. Food Science and Technology, 2013,38(1):142 – 149. (in Chinese)

8 张馨木. 质构仪测定冷鲜肉新鲜度方法的研究[D]. 长春:吉林大学,2012.
Zhang Xinmu. Research on detection methods of meat freshness by texture analyzer[D]. Changchun: Jilin University,2012. (in Chinese)

9 Cakir E, Vinyard C J, Essick G, et al. Interrelations among physical characteristics, sensory perception and oral processing of protein-based soft-solid structures[J]. Food Hydrocolloids,2012,29(1):234 – 245.

10 Foster K D, Woda A, Peyron M A. Effect of texture of plastic and elastic model foods on the parameters of mastication[J]. Journal of Neurophysiology,2006,95(6):3469 – 3479.

11 Mioche L, Bourdiol P, Martin J F, et al. Variations in human masseter and temporalis muscle activity related to food texture during free and side imposed mastication[J]. Archives of Oral Biology,1999,44(12):1005 – 1012.

12 Peng Y K, Sun X Z. Electronic sensing measurement of texture characteristics of food[C]//2002 ASAE Annual Meeting ASAE Paper 026200, 2002.

13 钱志辉,丁筠,任露泉,等. 基于 CT 图像的人体下肢骨骼三维实体模型重建[J]. 吉林大学学报:工学版,2012,42(增刊1): 415 – 418.
Qian Zhihui,Ding Yun, Ren Luquan,et al. Analysis of three dimensional reconstruction methods of human lower limb skeleton system based on CT images[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition,2012,42(Supp. 1):415 – 418. (in Chinese)

14 孙钟雷. 基于咀嚼模拟的食品质地评价研究[D]. 长春:吉林大学,2012.
Sun Zhonglei. Study on evaluation of food texture based on chewing simulation[D]. Changchun: Jilin University,2012. (in Chinese)

15 孙彩玲,田纪春,张永祥. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术,2007,5(2):1 – 4.
Sun Cailing,Tian Jichun,Zhang Yongxiang. Application of TPA test mode in the study of food[J]. Experiment Science and Technology, 2007,5(2):1 – 4. (in Chinese)

16 Cakir E, Koc H, Vinyard C J, et al. Evaluation of texture changes due to compositional differences using oral processing[J]. Journal of Texture Studies,2012,43(4):257 – 267.

17 陈玉琴,耿屹,钱海馨,等. 咀嚼肌表面电极肌电图重复性检验和参考值的建立[J]. 口腔颌面修复学杂志,2007,8(4):246 – 250.
Chen Yuqin, Geng Yi, Qian Haixin, et al. A study on the repeatability of EMG of the mastication muscles through surface eletrodes and its reference values[J]. Chinese Journal of Prosthodontics,2007,8(4):246 – 250. (in Chinese)

18 易新竹. 牙合学[M]. 北京:人民卫生出版社,2012:70 – 71.

19 李云飞,殷涌光,徐树来,等. 食品物性学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2009:133 – 134.

20 Friedman H H, Whitney J E, Szczesniak A S. The texturometer—a new instrument for objective texture measurement[J]. Journal of Food Science, 1963, 28(4): 390 – 396.

17 Monsi M, Saeki T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production[J]. Japanese Journal of Botany, 1953, 14: 22 – 52.

18 Weiss M, Beret M, Smith G J, et al. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2004, 121: 37 – 53.

19 Zhang L, Hong T, Wu W, et al. Detection of LAI for fruiter based on hemispherical photography[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 2): 213 – 220.

Detecting System of Citrus Canopy LAI Based on Wide-angle Photographing Technology

Wu Weibin¹ Feng Zhuofeng² Hong Tiansheng³ Zhang Lijun² Du Junyi² Huang Shuangping²

(1. Key Laboratory of Key Technology on Agricultural Machine and Equipment, Ministry of Education, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China 2. College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China 3. Division of Citrus Machinery, China Agriculture Research System, Guangzhou 510642, China)

Abstract: An innovative way was proposed to detect citrus canopy LAI fast and easily based on wide-angle photographing technology. The citrus canopy images obtained by wide-angle lens were first sent into computer. And then the images were grayed, enhanced, filtered and binarized. The system calculated the citrus canopy gap fraction and derived LAI. The citrus canopy LAI detected by scanning method was taken as true value in the whole experiment. The Canadian WinSCANOPY was used in comparison with the system in detecting effect. The result of data collection experiment showed that the variation range of relative error was $-30.39\% \sim 43.53\%$ and the average of absolute relative error was 18.90% by the Canadian WinSCANOPY. The variation range of relative error was $-27.26\% \sim 37.06\%$ and the average of absolute relative error was 19.91% by the system based on same test condition. This system meets test requirements of citrus canopy LAI detecting.

Key words: Citrus Leaf area index Wide-angle photographing technology Measurement system Image processing

(上接第 253 页)

Influence of Bionic Indenter on Food Texture Based on Electromyographic Signal

Chen Li¹ Sun Yonghai¹ Liu Jingjing² Xie Gaopeng¹

(1. College of Biological and Agricultural Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China 2. School of Automation Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132012, China)

Abstract: Bionic indenter was developed and used for food texture testing, and the characteristics of the masseter EMG in chewing process was obtained. The research found that the measurement results of bionic indenter and characteristics of the masseter EMG were significantly correlated. The correlation coefficients between the total energy of the first time compression and masseter activity, and between the hardness and the peak of masseter signal were 0.866 and 0.934, and the datas were bigger than the coefficients between the results of universal indenter and characteristics of the masseter EMG (0.740, 0.907). The results showed that the average closeness between food texture measured by bionic indenter and the variation of masseter activity was 9.3% higher than universal indenter, and the bionic indenter was better in reflection of actual food texture.

Key words: Bionic indenter Food texture Electromyography