

基于计算机视觉的油炸薯片中丙烯酰胺含量测定系统*

何鹏 王成琳 万晓青

(齐齐哈尔大学通信与电子工程学院, 齐齐哈尔 161006)

摘要: 设计了一套基于计算机视觉技术的油炸薯片中丙烯酰胺含量的测定系统, 图像获取装置采集每隔 60 s 从电炸锅内取出的薯片的双面图像, 采用气相色谱-质谱法测定相应薯片的丙烯酰胺含量; 采用图像滤波算法、彩色图像分割算法和颜色测量算法从双面图像中提取目标薯片, 测量整体薯片的 L^* 、 a^* 、 b^* 平均值。数据分析表明, 薯片双面 a^* 平均值的平均值与薯片中丙烯酰胺含量之间有很强的相关性 ($R^2 = 0.971$), 建立了两者之间的线性回归方程。采集了 10 个不同品牌薯片的双面图像, 将获取的双面 a^* 平均值的平均值代入方程, 计算得到的丙烯酰胺含量与标准化学方法测定值之间的最大相对误差为 4.94%, 表明该方法可行、准确。

关键词: 油炸薯片 丙烯酰胺 测定系统 双面图像 计算机视觉

中图分类号: TS217; S532; TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)01-0119-06

Determination of Acrylamide Contents in Fried Potato Chips Based on Computer Vision

He Peng Wang Chenglin Wan Xiaoqing

(Communication and Electronic Engineering Institute, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China)

Abstract: A system of determining acrylamide contents in fried potato chips based on computer vision technology was developed. For each 60 s, the image acquisition device collected double-sided images of potato chips removed from the fryer. The acrylamide contents of the corresponding potato chips were determined by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) method, meanwhile, the target potato chips of the double-sided images were extracted and L^* , a^* , b^* average of the overall target was measured by proposed image filtering algorithm, the color image segmentation algorithm and the color measurement algorithm, respectively. The obtained data was analyzed and a strong correlation between the average of double-sided a^* average and acrylamide contents of potato chips was found ($R^2 = 0.971$) and a linear regression equation was established. Potato chips double-sided images of 10 different brands sold on the market was collected and the average of double-sided a^* average was put into the equation. The maximum relative error between the acrylamide contents calculated and standard chemical method was 4.94%, which indicated that the method was feasible and accurate.

Key words: Fried potato chips Acrylamide Determination system Double-sided images Computer vision

引言

油炸薯片中含有致癌物质丙烯酰胺, 其含量的测定方法已取得了较多成果^[1-4]。我国于 2005 年

发布的国家标准是以标准的化学方法测定食品中丙烯酰胺含量^[5]。

化学检测法存在需对被检测食品取样、检测设备昂贵、检测方法复杂等问题^[6]。国外部分学者在

收稿日期: 2012-06-07 修回日期: 2012-07-24

* 国家自然科学基金资助项目(61100103)、黑龙江省普通高等学校青年学术骨干支持计划资助项目(1155G63)和黑龙江省研究生创新项目(YJSCX2012-390HLJ)

作者简介: 何鹏, 教授, 主要从事生物信息检测、图像处理研究, E-mail: paper503@163.com

研究了油炸薯片中丙烯酰胺的形成与使薯片表面棕色化的美拉德反应有关的基础上,利用色度计或计算机视觉技术获取薯片在油炸过程中表面颜色的变化值,发现该值与其丙烯酰胺含量有较高的相关性,从而将测量的薯片表面颜色值代入已经建立的回归方程中,计算出丙烯酰胺含量^[7-10]。这些方法虽以低廉的成本解决了无损检测样品的问题,但色度计测量样品的单点性、计算机视觉技术中图像获取装置获取样品图像的单面性导致样品表面颜色信息的缺失,使得丙烯酰胺含量的测定存在较大误差。因此,本文提出一种基于计算机视觉技术的油炸薯片中丙烯酰胺含量的测定方法。

1 系统结构

提出的基于计算机视觉技术的油炸薯片中丙烯酰胺含量的测定系统如图 1 所示,主要包括图像获取装置和计算机处理分析系统。图像获取装置为一个由桶壁、1 个主桶盖、2 个副桶盖构成的 20 cm 高、10 cm 宽的可随身携带、自由移动的圆柱体小桶。主桶盖内侧固定 1 块 DSP 板,板上外扩了图像压缩模块、图像存储模块、无线传输模块、无线接收模块、1 个 CCD 摄像机及安插在摄像机两侧的高灵敏光源,整体由主桶盖底部外侧的开关控制。获取图像时,薯片平放在副桶盖内,处于桶壁下方并拧紧,主桶盖放在桶壁上方并拧紧,按开关,启动高灵敏光源,CCD 摄像机抓拍薯片一面图像;取下主桶盖,拧上另一个副桶盖,将整个装置倒转 180°,取下之前的副桶盖,再将主桶盖拧在桶壁上方,抓拍薯片另一面图像。获取的图像经压缩后统一存储在 DSP 板的存储模块内。图像获取结束后,经 DSP 板的无线传输模块,通过具有传输距离远、传输速度快的 GPRS 网络与计算机处理分析系统进行通信。计算机处理分析系统为 CPU (Pentium (R) Dual-Core) 2.50 GHz、RAM 2 GB、操作系统 Windows XP 的 PC 机,在接收到图像获取装置无线传送来的图像后,以 Matlab 软件为平台,对图像进行处理分析,得到的数据用 SPSS 软件进行分析,将计算出的油炸薯片中丙烯酰胺含量值再通过 GPRS 网络传回给图像获取装置的无线接收模块,最终显示在主桶盖外侧的液晶显示屏上。

2 材料与方 法

2.1 材料与试剂

马铃薯(大西洋品种)块茎 10 个、花生油(金龙鱼牌) 5 L。

试剂均为分析纯,水为二次蒸馏超纯水。正己

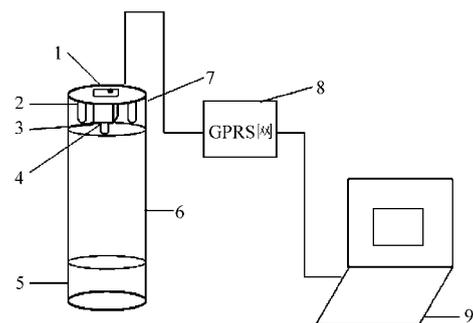


图 1 薯片中丙烯酰胺含量计算机视觉测定系统
Fig. 1 Computer vision test system for acrylamide content in fried potato chips

1. 开关和液晶显示屏 2. 高灵敏光源 3. DSP 板 4. CCD 摄像机 5. 副桶盖 6. 桶壁 7. 主桶盖 8. GPRS 网络 9. 计算机处理分析系统

烷(重蒸馏)、乙酸乙酯(色谱纯)、丙烯酰胺标准品(质量分数 99% 以上)、丙烯酰胺标准溶液(准确称取适量的丙烯酰胺标准样品,精确至 0.1 mg,用甲醇定容,制备成 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 标准储备溶液,存放于 -20°C 冰箱中)、无水硫酸钠(650 $^\circ\text{C}$ 灼烧 4 h,干燥器中保存)、饱和溴水(质量分数 3% 以上)、氢溴酸(质量分数 40% 以上)、硫代硫酸钠溶液(0.2 mol/L)、甲醇、溴化钾。

2.2 设备与仪器

所需仪器设备包括:DF-81 型可控温电炸锅、ZX-300 型马铃薯切片机、美国菲尼根质谱公司生产的气相色谱-质谱联用仪、振荡器、冷冻离心机(5 000 ~ 10 000 r/min)、固相提取装置(石墨化碳黑柱,规格为 Carbotrap B. SPE 柱)、粉碎机(或均质机)、精密天平(精度 0.1 mg)、聚四氟乙烯活塞分液漏斗、具塞三角瓶、0.45 μm 有机系过滤膜。

2.3 试验方法

2.3.1 油炸薯片制作

将马铃薯洗净,放在切片机内去皮,切成 2 mm 厚、直径为 5 cm 的薯片,准备 20 片。将 5 L 花生油置于电炸锅内。由于工业上的薯片最佳油炸温度是 170 $^\circ\text{C}$,所以将电炸锅的温度调至 170 $^\circ\text{C}$,待温度达到 170 $^\circ\text{C}$ 时,将准备的 20 片薯片置于锅内油炸,并计时,之后每隔 60 s 捞出一片薯片,直至捞出最后一片炸至焦糊的薯片为止^[11]。

2.3.2 丙烯酰胺含量测定

采用 GB/T 5009.204—2005,即食品中丙烯酰胺含量的测定方法气相色谱-质谱(GC-MS)法,测定每隔 60 s 捞出的油炸薯片中丙烯酰胺含量。

提取:准确称取已粉碎均匀的油炸薯片 4 份,各 10 g(精确至 1 mg),分别置于 250 mL 具塞三角瓶中,各加入丙烯酰胺标准使用液(10 $\mu\text{g}/\text{mL}$)0、0.5、

1.0 和 2.0 mL 以及水共计 50 mL, 振荡 30 min, 过滤, 取滤液 25 mL。

净化: 将滤液置于聚四氟乙烯活塞分液漏斗中, 加 20 mL 正己烷, 室温下振荡萃取, 静置分层, 取下层水相。将水相进行高速冷冻离心 (转速 5 000 ~ 10 000 r/min, 时间 30 min, 温度 0 ~ 40℃), 上清液用玻璃棉过滤。将过滤液直接进行溴化衍生。在过滤液出现浑浊时, 应过石墨化碳黑固相萃取柱 (柱使用前依次用 5 mL 甲醇和 5 mL 水活化), 再用 20 mL 水淋洗, 收集过柱和淋洗后的溶液用于衍生化。

衍生化: 净化后的溶液中加入溴化钾 7.5 g、氢溴酸 0.4 mL、饱和溴水 8 mL 衍生, 在 0 ~ 40℃ 下避光放置 15 h。逐滴加入硫代硫酸钠溶液至衍生液褪色, 加乙酸乙酯 25 mL, 振荡 20 min, 静置分层, 收集乙酸乙酯层, 加 10 g 左右无水硫酸钠脱水。可根据需要浓缩定容备用。进样前将待测液过 0.45 μm 有机系过滤膜。

仪器条件: DB-5 石英毛细管柱, 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm; 色谱柱初始温度 65℃ (保温 1 min), 以 15℃/min 程序升温至 280℃ (保温 15 min); 进样口温度 280℃; 离子源温度 230℃; 色谱-质谱接口温度 260℃; 电离方式为 EI 源; 电离能量 70 eV。测定方式: 离子监测 (SIM), 选择监测离子质荷比为 106、108、150、152。载气: 高纯氦气 (纯度 99.999%); 流速 1.0 mL/min。进样方式: 恒流, 不分流进样; 进样量 1 μL。

3 丙烯酰胺含量计算机视觉测定

利用本文设计的图像获取装置对刚切好的薯片和每隔 60 s 从电炸锅内捞出的薯片, 分别获取双面表面图像, 统一传送至计算机处理分析系统。计算机处理分析系统以 Matlab 软件为平台, 通过图像预处理、彩色图像分割、颜色测量 3 部分算法记录薯片在油炸过程中的表面颜色变化值。

3.1 图像预处理

图像在无线传输时会受到外界的干扰, 容易产生椒盐噪声、加性噪声, 如图 2a 和 2b 所示。椒盐噪声是由图像传感器、传输信道、解码处理等产生的黑白相间的亮暗点噪声。将待处理的薯片彩色图像, 在 R 、 G 、 B 颜色空间中, 分别对 R 、 G 、 B 单通道灰度图像进行滤波。把每个单通道灰度数字图像考虑为二维平面直角坐标系中的点阵, 将以某点 (x, y) 为中心的小窗口内所有像素的灰度按从小到大的顺序排列, 若窗口中的像素为奇数个, 则将中间值作为 (x, y) 处的灰度, 若窗口中的像素为偶数个, 则取两个中间值的平均值作为 (x, y) 处的灰度。将滤波后

的 R 、 G 、 B 3 个单通道灰度图像重新组合成彩色图像, 完成对薯片彩色图像中椒盐噪声的去除, 结果如图 2c 所示。采用 Matlab 软件中自带的维纳滤波去噪函数 `deconvwnr` 对人为噪声、自然噪声、系统装置内部噪声等加性噪声滤波去噪, 可有效地还原图像, 结果如图 2d 所示。

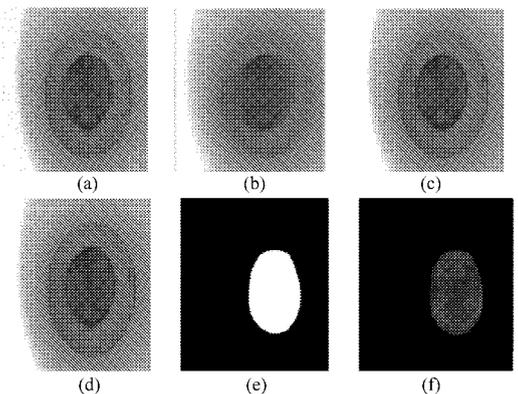


图 2 薯片图像处理结果

Fig. 2 Processing results of potato chips images

(a) 椒盐噪声干扰 (b) 加性噪声干扰 (c) 椒盐噪声去除
(d) 加性噪声去除 (e) 目标薯片标记 (f) 薯片图像分割

3.2 图像分割

3.2.1 颜色空间选择

选择合适的颜色空间是成功进行彩色图像分割的首要环节。如图 2 所示, 计算机处理分析系统接收到的由图像获取装置传送来的彩色图像是在 R 、 G 、 B 颜色空间中表示的, 但是由于该空间将色调、亮度、饱和度 3 个量放在一起, 并且 R 、 G 、 B 3 个分量有高度的相关性, 使得在细节方面难以进行数字化调整, 因此图像分割和分析不适合采用该模型。 L^* 、 a^* 、 b^* 颜色空间将亮度和色彩分开, 取坐标 L^* 、 a^* 、 b^* , 其中 L^* 代表亮度, 取值为 0 ~ 100 (纯黑 ~ 纯白); a^* 、 b^* 分量取值都在 -128 ~ 127 之间, a^* 的正数代表红色, 负数代表绿色; b^* 的正数代表黄色, 负数代表蓝色, 使得在处理数字图像时保留尽量宽阔的色域和丰富的色彩。

3.2.2 目标薯片提取

将经预处理后的薯片彩色图像从 R 、 G 、 B 颜色空间转换到 L^* 、 a^* 、 b^* 颜色空间。提取 a^* 、 b^* 颜色分量, 计算两个颜色分量的维数, 分别以 a^* 颜色分量和 b^* 颜色分量的维数作为由 a^* 、 b^* 颜色信息构成的二维矩阵的行数和列数。从该矩阵中随机选取 2 个元素作为初始聚类中心, 然后计算各元素到聚类中心的欧式距离, 将该矩阵中的元素归到离它最近的那个聚类中心所在的类之中。重新计算新形成的每一个类的元素颜色平均值来得到新的聚类中心, 如果相邻两次的聚类中心没有任何变化, 说明调

整结束,如果不同,重新计算直至两次聚类中心相同为止。在该矩阵中的元素聚类完成之后,对两类的元素加以标记,将薯片彩色图像的背景颜色设置为黑色,将目标薯片颜色重新定义到新的数组中,即可完成薯片与背景的分离,达到提取目标薯片的目的,如图 2e 和 2f 所示。

3.3 颜色测量

根据已经提取的目标薯片的大小维数,对 L^* 、 a^* 、 b^* 3 个分量重新组合,分别定义到 3 个不同的向量中,计算每一个一维数组的和,进而求得每个分量的平均值。重复图像分割环节,计算目标薯片另一面的颜色分量平均值。

4 结果分析

4.1 误差分析

从第 3 节可以看到,本文设计的滤波算法可有效消除外界和系统内部噪声对图像的干扰,使得计算机处理分析系统得到的是保真的彩色图像,从而保证测量颜色时系统误差对测量结果不会产生影响。但是,由于薯片在油炸过程中所产生的表面颜色信息彼此相关性很大,即使将其彩色图像转换到颜色分量相关性很小的 L^* 、 a^* 、 b^* 颜色空间后再进行测量,也会因为随机误差的存在使得最终的测量结果不够准确。本文对薯片在油炸过程中不同时刻的表面颜色分量进行多次测量,如在 8 min 时,反复测量薯片两个表面颜色 a^* 分量的平均值各 30 次,求得每一组 a^* 平均值的平均值 \bar{a} ,如表 1 所示。

表 1 薯片在 8 min 时两面 a^* 平均值的 30 次测量值

Tab. 1 30 measure values of double sides a^* of potato chips in the 8th minute

双面 a^* 平均值									\bar{a}
正面 3 次测量值			反面 3 次测量值						
24.85	24.32	24.78	25.01	24.92	24.74	24.93	24.62	24.76	
24.44	24.71	24.83	24.48	24.37	25.23	24.46	24.54	25.03	
24.75	25.09	25.05	25.21	24.61	24.61	24.98	24.85	24.83	
24.75	24.75	24.70	24.91	24.71	24.74	24.83	24.73	24.72	
24.68	24.99	24.71	24.78	24.59	24.71	24.73	24.79	24.71	
24.72	24.77	24.62	24.70	24.61	24.68	24.76	24.69	24.65	
24.60	24.66	24.71	24.62	24.72	24.75	24.61	24.69	24.73	
24.71	24.69	24.76	24.67	24.73	24.78	24.69	24.71	24.77	
24.76	24.73	24.64	24.72	24.81	25.00	24.74	24.77	24.82	
24.72	24.89	24.65	24.80	24.63	24.71	24.76	24.76	24.68	

做出频率直方图和高斯拟合曲线,如图 3 所示。30 组 \bar{a} 值的平均值为 24.71,标准差 σ 为 0.05。

计算公式为

$$P(\sigma) = \int_{-\sigma}^{\sigma} f(x) dx \quad (1)$$

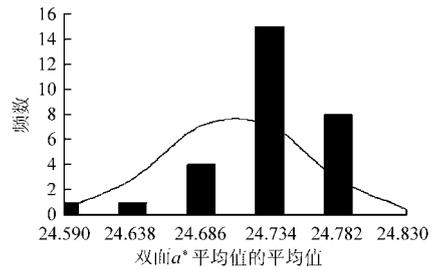


图 3 \bar{a} 值的统计图

Fig. 3 Chats of \bar{a} values

$$\text{其中} \quad f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{a})^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

式中 x ——测量值
 \bar{a} ——30 次双面 a^* 平均值的平均值
 σ ——标准差

算得: $P(\sigma) = 0.691$; $P(2\sigma) = 0.949$; $P(3\sigma) = 0.996$ 。

由计算和图 3 可知,测量值的分布基本符合正态分布,同时随机误差 μ 为测量值 x 与 \bar{a} 值的平均值之差,代入式(2),随机误差 μ 满足

$$f(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\mu^2}{2}} \quad (3)$$

标准正态分布,通过表 1 可以看到,经过 10 次的测量,就可以大大减小随机误差,使得测量值趋于平均值。

4.2 相关性分析

由气相色谱-质谱(GC-MS)法测得的薯片在油炸过程中的丙烯酰胺含量及变化情况如图 4a 所示,可以清晰看到,薯片在刚炸时,其丙烯酰胺含量不断升高,大约在 8 min 时达到最大值,之后迅速减少,这与文献[4]和[7]的报道相吻合。利用本文方法测得的薯片在油炸过程中正、反两面的颜色值及变化情况如图 4b~4g 所示,从图中可以看到,由于薯片在油炸过程中正、反两面的受热情况不能精确地保持相同,以至于经油炸后其各自的颜色不能保持一致,这就说明了文献[8~10]报道存在的不足:①文献[8]采用计算机视觉的方法测定薯片中丙烯酰胺含量,但是图像获取装置只采集了薯片的单面图像,丢失了薯片表面部分颜色信息,利用单面颜色信息与丙烯酰胺含量进行线性拟合必然导致测定结果存在较大误差。②文献[9~10]提供的是利用色度计测量薯片表面上、中、下 3 个位置的颜色值,用 3 个位置颜色的平均值代替薯片表面整体颜色的方法,如图 4h 所示,虽然薯片 3 个位置颜色 a^* 分量平均值的变化趋势与丙烯酰胺含量的变化趋势大致相同,但色度计测量食物表面颜色的单点性,同样导致了采集薯片表面颜色信息的缺失,虽具有相关性,但

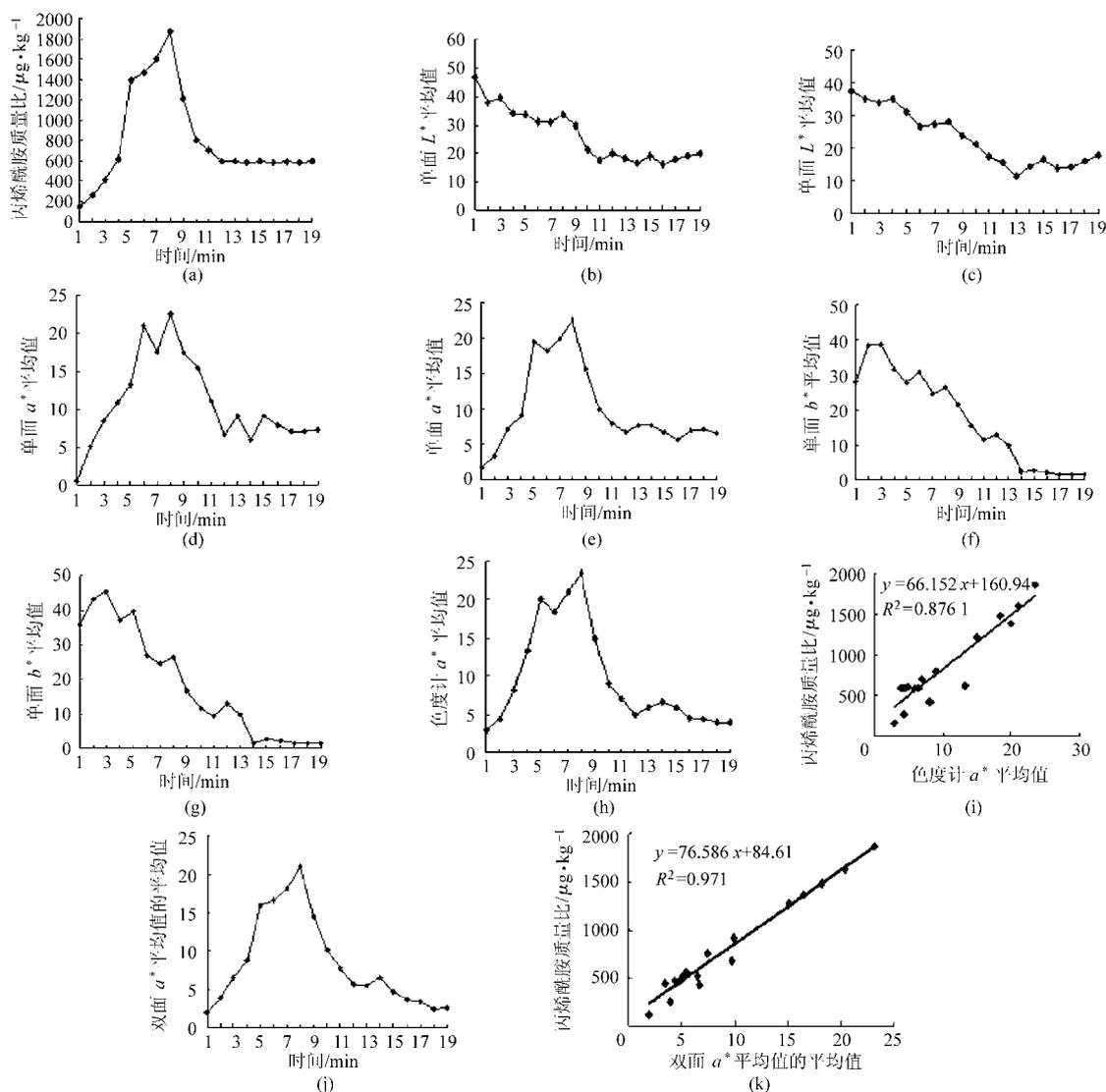


图 4 薯片数据图

Fig. 4 Data images of potato chips

- (a) 薯片中丙烯酰胺含量随油炸时间变化曲线 (b) 薯片正面 L^* 平均值随时间变化曲线 (c) 薯片反面 L^* 平均值随时间变化曲线
 (d) 薯片正面 a^* 平均值随时间变化曲线 (e) 薯片反面 a^* 平均值随时间变化曲线 (f) 薯片正面 b^* 平均值随时间变化曲线 (g) 薯片反面 b^* 平均值随时间变化曲线 (h) 薯片表面 a^* 平均值色度计测量结果 (i) 色度计测量的 a^* 平均值与丙烯酰胺含量相关曲线
 (j) 薯片表面 a^* 平均值的本文测量结果 (k) 本文测量的 a^* 平均值与丙烯酰胺含量相关曲线

如图 4i 所示, R^2 仅为 0.8761, 导致丙烯酰胺含量的测定存在较大误差。

利用本文设计的图像获取装置获取薯片双面图像, 最大限度采集薯片表面颜色信息, 通过提出的图像分割算法分离出目标薯片, 用提出的颜色测量算法对整体薯片两个表面的颜色平均值进行多次测量, 以减小随机误差, 最终用两个表面颜色 a^* 分量平均值的平均值 \bar{a} 来代替薯片表面颜色值, 如图 4j 所示, 变化趋势与薯片中丙烯酰胺含量的变化趋势几乎相同, 利用 SPSS 软件对 \bar{a} 值和丙烯酰胺含量数据进行分析, 发现两组数据存在很强的线性相关性, 决定系数 $R^2 = 0.971$, 从而建立 \bar{a} 值与丙烯酰胺含量之间的线性回归方程, 如图 4k 所示, 以计算的

薯片表面颜色 \bar{a} 值代替薯片中丙烯酰胺含量的测定。

4.3 系统测试

利用本文设计的图像获取装置, 对不同超市出售的共计 10 个品牌的薯片, 各随机选取一片, 获取双面图像, 通过 GPRS 网络无线传送给远端计算机处理分析系统, 并计时, 当计算机处理分析系统传回待检测薯片中丙烯酰胺含量, 并显示在图像获取装置的液晶显示屏上时, 计时结束, 最长时间仅为 52.3 s; 利用标准化学方法对随机选取的薯片测定其丙烯酰胺含量, 如表 2 所示, 与本文方法相比, 两者间最大相对误差仅为 4.94%。由此说明, 本文提出的测定薯片中丙烯酰胺含量的系统稳定, 方法可行、准确。

表2 本文方法和标准化学方法对不同品牌薯片中丙烯酰胺含量的测定结果

Tab.2 Measured results of acrylamide contents for potato chips of different brands with proposed method and standard chemical method

薯片品牌	\bar{a} 值	丙烯酰胺质量比/ $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$		相对误差/ %
		本文方法	标准化学方法	
乐事	7.62	668.19	689.21	3.05
可比克	4.07	396.32	380.52	4.15
上好佳	1.95	233.95	246.12	4.94
品客	9.71	828.26	802.45	3.22
艾比利	2.23	255.40	246.03	3.81
好友趣	4.56	433.84	417.11	4.01
亲亲	2.54	279.14	289.71	3.65
天使	5.20	482.86	467.34	3.32
小王子	2.44	271.48	262.71	3.34
子弟	4.21	407.04	391.31	4.02

5 结论

(1)设计了一套结构简单、成本低廉的基于计算机视觉技术的油炸薯片中丙烯酰胺含量的测定系

统,可以快速、无损坏地完成薯片中有毒有害物质丙烯酰胺含量的测定。图像获取装置获取薯片的双面图像,最大限度地采集薯片表面颜色信息,并且与计算机处理分析系统无线通信,达到随时随地检测薯片安全的效果。

(2)采用标准的化学方法气相色谱-质谱(GC-MS)法测定薯片中的丙烯酰胺含量,以此作为参考的标准。

(3)提出了基于数字图像处理的图像分割、颜色测量算法,记录了整体目标薯片在油炸过程中的颜色变化情况。

(4)分析了得到的薯片表面颜色数据和丙烯酰胺含量,发现薯片双面 a^* 平均值的平均值与其丙烯酰胺含量有很强的相关性,决定系数 $R^2=0.971$,建立了两者之间的线性回归方程 $y=76.586x+84.61$ 。

(5)分别利用本文提出的方法和标准化学方法测定市场上出售的薯片中丙烯酰胺含量,两者间的最大相对误差仅为4.94%,说明本文提出的方法可行、准确。

参 考 文 献

- 1 欧仕益,张玉萍,黄才欢,等. 几种添加剂对油炸薯片中丙烯酰胺产生的抑制作用[J]. 食品科学,2006,27(5):137~140.
Ou Shiyi, Zhang Yuping, Huang Caihuan, et al. Inhibition of acrylamide formation in fried potato crisps by some food additives [J]. Food Science, 2006, 27(5): 137~140. (in Chinese)
- 2 杨斯超,张慧,汪俊涵,等. 柱前衍生化-气相色谱-质谱法定量测定食品中丙烯酰胺的含量[J]. 色谱,2011,29(5):404~408.
Yang Sichao, Zhang Hui, Wang Junhan, et al. Quantification of acrylamide in foods by gas chromatography-mass spectrometry coupled with pre-column derivatization [J]. Journal of Chromatography, 2011, 29(5): 404~408. (in Chinese)
- 3 蒋俊树,程静,卢业举,等. 气相色谱-质谱(GC-MS)法测定食品中丙烯酰胺研究[J]. 食品科学,2006,27(11):430~434.
Jiang Junshu, Cheng Jing, Lu Yeju, et al. Determination of acrylamide in food by chromatography-mass spectrometry [J]. Food Science, 2006, 27(11): 430~434. (in Chinese)
- 4 张辉珍. 食品中丙烯酰胺等有毒有害物质检测方法建立及其应用研究[D]. 山东:青岛大学,2010.
- 5 GB/T5009.204—2005 食品中丙烯酰胺含量的测定方法气相色谱-质谱(GC-MS)法[S]. 2005.
- 6 袁媛,刘野,陈芳,等. 食品中丙烯酰胺分析方法研究进展[J]. 食品与发酵工业,2005,31(10):115~119.
Yuan Yuan, Liu Ye, Chen Fang, et al. Recent study on analysis of acrylamide in food [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(10): 115~119. (in Chinese)
- 7 Gokmen V, Senyuva H Z, Dulek B, et al. Computer vision-based image analysis for the estimation of acrylamide concentrations of potato chips and French fries [J]. Food Chemistry, 2007, 101(2): 791~798.
- 8 Franco Pedreschi, Pedro Moyano, Karl Kaack, et al. Color changes and acrylamide formation in fried potato slices [J]. Food Research International, 2005, 38(1): 1~9.
- 9 Thomas M, Amrein, Barbara Schonbachler, et al. Acrylamid in gingerbread: critical factors for formation and possible ways for reduction [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(13): 4282~4288.
- 10 Nicolas Surdyk, Johan Rosen, Roger Andersson, et al. Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2004, 52(7): 2047~2051.
- 11 林河通,陈绍军,张炳铃. 低油脂红心甘薯薯片的常压油炸工艺研究[J]. 农业工程学报,2001,17(5):122~126.
Lin Hetong, Chen Shaojun, Zhang Bingling. Frying technological process of low-fat "red heart" sweet potato slices at normal atmospheric pressure [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2001, 17(5): 122~126. (in Chinese)
- 12 李蕾,张涛,孙志健,等. 普洱茶中丙烯酰胺含量检测与生成机理研究[J]. 农业机械学报,2012,43(3):123~129.
Li Lei, Zhang Tao, Sun Zhijian, et al. Survey of acrylamide contents in Pu-erh Tea and study on its formation mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(3): 123~129. (in Chinese)