

不同产地苹果贮藏酸度预测模型

孙 腾, 张京平*

(浙江大学 生物系统工程与食品科学学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 为了研究不同产地苹果贮藏期内酸度变化情况并对酸度进行预测, 采用了计算机断层扫描(CT)技术对苹果进行了无损检测, 并通过二次拟合建立预测模型。试验结果探明了苹果贮藏期内酸度的变化情况, 建立了不同产地苹果酸度和 CT 值的响应曲面模型以及综合的酸度预测模型。验证试验结果表明, 预测模型的平均误差率为 12.14%, 模型表现出了良好的预测效果。

关键词: 苹果; 计算机断层扫描; 贮藏期; 产地; 预测模型

中图分类号: TS 255.1 文献标志码: A 文章编号: 1673—1689(2013)06—0586—05

Study on the Prediction Model of Acidity in Apple Produced in Different Habitats

SUN Teng, ZHANG Jing-ping*

(School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: In order to study the changes of the acidity in apple produced in different habitat during the storage time and predict the acidity, Computed tomography (CT) was used in the apple nondestructive testing, and a prediction model was also established by the quadratic fitting. The changes of apple during the storage time were proven by the results, what's more a response surface model combining the acidity and the CT number and an acidity prediction model were established. The confirmation experiment indicates that the average error rate was 12.14%, which shows a good adaptability and predicting effect.

Keywords: apple, computed tomography, storage time, habitat, prediction model

中国的果蔬产量很高, 但是与发达国家相比, 在贮藏中的损失仍然巨大^[1]。在日常生产生活中, 酸度常被用来判断水果的种类、品质、产地以及成熟程度等。尤其是在水果的生长及贮藏过程中, 及时检测水果中酸的含量, 是判断水果品质的重要途

径^[2]。

CT(Computed tomography)技术, 又叫计算机断层扫描技术, 是在 X 射线检测技术的基础之上发展起来的, 最初应用于医学检测人体疾病, 后来发展到工业领域^[3]。如今人们开始将 CT 技术应用于农产

收稿日期: 2012-06-07

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(398240)。

* 通讯作者: 张京平(1956—), 男, 湖南长沙人, 工学博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要从事农产品无损检测和农业装备机械自动化方面的研究。E-mail: zhjzhp@126.com

品无损检测中。主要是对农产品内部损伤进行检测,另外也可将 CT 技术应用于水果、腌肉等农产品的品质研究^[4-8],其突出的优点将为其应用开拓广阔的空间。

前人的研究多是采用同一种苹果^[9-10],但对于不同产地的苹果,由于其生长环境的极大差异,苹果主要成分的含量也有很大的区别。尤其苹果中酸的含量,会受到生长环境的巨大影响。作者为了更好的预测苹果内部成分含量,利用 CT 技术,将可滴定酸度作为研究指标,对不同产地的苹果在贮藏期间酸度的变化情况进行了研究,首先针对单一产地苹果建立贮藏期内的响应曲面模型,分析贮藏期内苹果酸度的变化特性,之后建立综合的预测模型,对不同产地、不同贮藏时间苹果的酸度进行预测。

1 试验材料与方法

1.1 材料与仪器

山东红富士、陕西红富士和新疆阿克苏糖心苹果:购于浙江省杭州市沟庄;JS-1.5A 型赛多利斯电子天平:精度为 0.000 1 g,深圳衡力达公司;GE HISPEED Fx/I 型医用 CT 机:精确度 0.01 Hu,美国通用电气公司。

1.2 试验原理

计算机断层扫描技术根据不同组织对 X 射线的吸收与透过率的不同,应用灵敏度极高的仪器对物体进行测量,然后将测量所获取的数据输入计算机,并对数据进行重建得到断面或立体的图像,来反映组织中细小的变化。一束经过准直的足够窄的单能 X 射线(初始强度为 I_0)穿过被测物体后,该射线束的强度 I 与通过材料的成分、密度、厚度以及射线束的原始能量有密切关系,当物质穿过均匀物质时,其强度衰减遵循 Beer 定律:

$$I=I_0e^{-\mu l} \quad (1)$$

式中, I 为穿过物体后 X 射线出射强度(eV); I_0 为 X 射线入射时的强度 (eV); l 为穿过均匀物体的路径长度(mm); μ 为物体的衰减系数(eV/mm)。

在 CT 的实际应用中,我们将各种组织包括空气的吸收衰减系数都与水比较,并将水的衰减系数固定为上限+1 000。将空气定为下限-1 000,其它数值均表示为中间灰度,从而产生了一个相对的吸收系数标尺,将其定义为

$$N_{CT}=\lambda \cdot \frac{\mu_m-\mu_w}{\mu_w} \quad (2)$$

式中: N_{CT} 为受测物体的 CT 值(Hu); μ_m 为受测物体的衰减系数 (eV/mm); μ_w 为纯水的绝对衰减系数 (eV/mm); λ 为分度因素。在 Hounsfield 单位(Hu)中, $\lambda=1\ 000$ 。

1.3 试验方法

首先选取 3 种不同产地的苹果,分别为山东红富士、陕西红富士和新疆糖心苹果。试验期间将苹果贮存于室温下(25±5)℃不见光透气的纸箱中。每次试验时,对不同产地随机选取 3 个苹果(选取的苹果大小均匀,无明显伤疤,虫蛀等情况)进行 CT 扫描,按照相应种类编号 1~9。取苹果中心处 CT 图片,然后在苹果中心最大剖面上,不同半径的位置选取 6 个约 1 cm² 的圆形区域作为试验区域,测量计算 CT 值并编号记录。

沿着 CT 扫描的方向,并在采集 CT 值的圆形区域取出约 3 g 的苹果块,参照《GB/T 12293-1990 水果、蔬菜制品可滴定酸度的测定》测量相应区域的可滴定酸度。之后每次间隔 7 d 重复上述试验步骤进行试验数据的采集,共进行 7 次试验。

2 结果与讨论

2.1 不同产地苹果贮藏期内 CT 值和酸度的关系

通过对苹果进行 CT 扫描并测定其选定区域的可滴定酸度,可以得到每一阶段内 CT 值和苹果酸度的关系,采用最小二乘法进行线性拟合;为了观察整个贮藏期内酸度和 CT 值关系的变化情况,将时间参数与每一阶段的模型结合,得到整个贮藏周期内三维立体模型,见图 1~3。

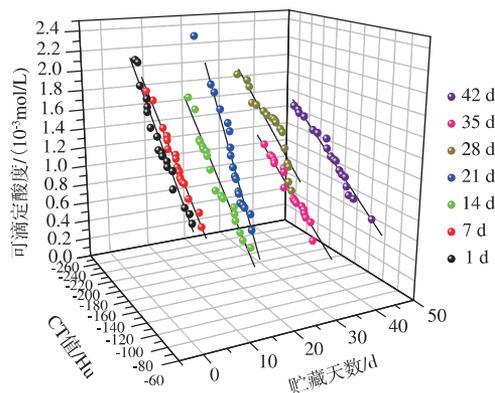


图 1 山东苹果贮藏期 CT 值与可滴定酸度线性模型
Fig. 1 Linear model of CT number and titratable acidity in Shandong apple during storage time

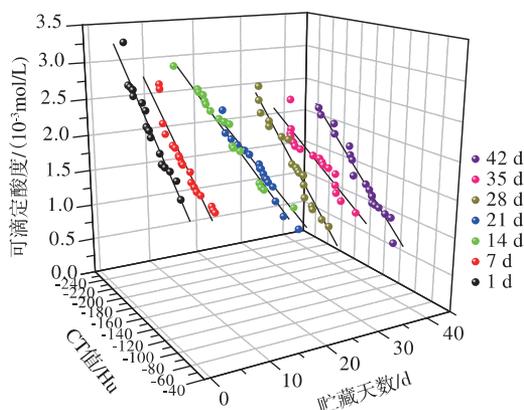


图2 陕西苹果贮藏期 CT 值与可滴定酸度线性模型
Fig. 2 Linear model of CT number and titratable acidity in Shanxi apple during storage time

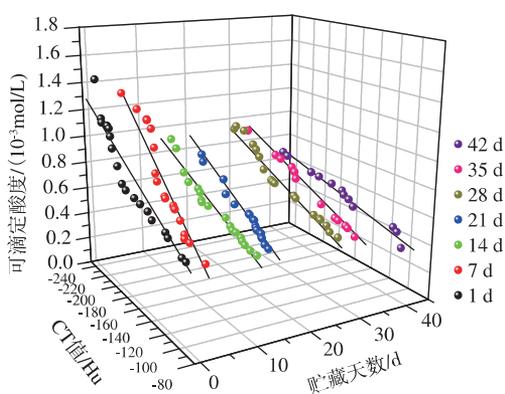


图3 新疆苹果贮藏期 CT 值与可滴定酸度线性模型
Fig. 3 Linear model of CT number and titratable acidity in Xinjiang apple during storage time

从以上数据发现,对于每一贮藏期内,同一生长环境下的苹果来说,由试验发现,其 CT 值和其酸度大致成线性关系,随着苹果可滴定酸度的升高,其 CT 值有下降的趋势。并且不同部位的酸度也略有不同,这与其他人得到的结果^[11]类似。

通常有机酸在果实生长的早期积累,苹果在贮藏过程中,虽然果实离开植株,但其内部仍然进行着一系列的新陈代谢活动,导致果实内部各物质的含量不断变化。在呼吸作用中,有机酸类作为一种较为重要的呼吸基质,其含量在生命活动中不断减少,这与试验中观察到的数据完全相符。对于山东红富士,其平均酸度由最初的 1.609 8 mmol/L 逐渐变小,但在第 5 周时其平均酸度突然增高至 1.571 4 mmol/L,然后再逐渐降低至贮藏末期的 1.229 7

mmol/L。同样的变化情况也出现在新疆糖心苹果中。但是对于陕西红富士苹果,其平均酸度从贮藏初期的 2.535 9 mmol/L 降低到贮藏末期的 1.420 6 mmol/L。这种变化可能是由于试验苹果在贮藏初期,虽然已经离体,但由于果实仍要进行物质合成而消耗掉有机酸,所以前期酸度会有所降低。由于果实分解作用,其他物质的分解使得总酸度升高,后期有机酸类作为苹果的呼吸基质而降低。

2.2 不同产地苹果贮藏期内响应曲面模型

在得到苹果贮藏期内线性的变化模型之后,为了更好的反应 CT 值、贮藏期和苹果酸度的关系,我们将这 3 个变量引入方程,采用二次拟合的方法建立响应曲面模型,来评价每一种水果的品质变化情况,3 个产地水果的响应曲面模型见图 4~6。

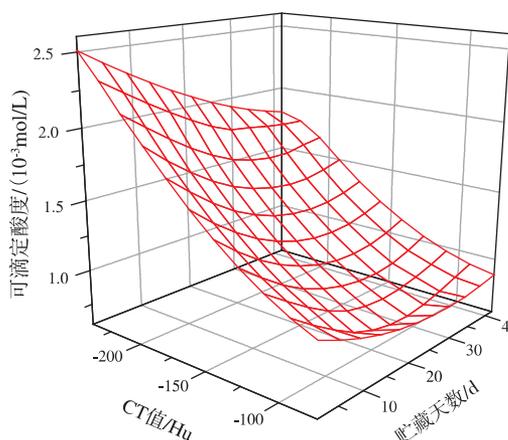


图4 山东苹果的响应曲面模型
Fig. 4 Response surface model of Shandong apple

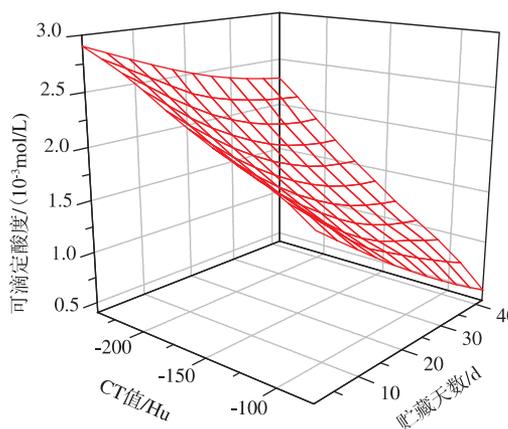


图5 陕西苹果的响应曲面模型
Fig. 5 Response surface model of Shanxi apple

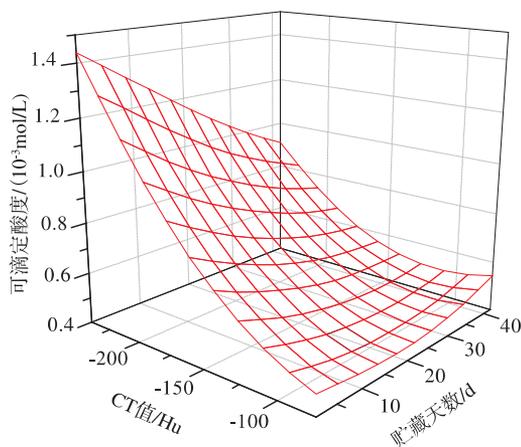


图 6 新疆苹果的响应曲面模型

Fig. 6 Response surface model of Xinjiang apple

从以上 3 个图形看出,3 个模型的整体变化趋势较为相似,在整个贮藏期内,苹果的酸度大致在初期成递减的趋势,但在贮藏的中后期其酸度有一定程度的升高,之后再逐渐降低。这与实际的变化相一致。但是由于水果的生长环境存在很大差异,导致 3 种不同产地苹果的酸度区间有很大区别,陕西红富士的酸度较高,山东红富士酸度次之,但与陕西红富士差距不大,新疆糖心苹果的酸度最低,因此为了综合评价不同产地苹果的酸度问题,还需要进一步研究。

2.3 不同产地苹果酸度预测模型建立

由上述的研究结果可知,不同品种的苹果,由于其酸含量本身的不同,贮藏期内的预测模型也会有不同程度的区别。因此将 CT 值、贮藏时间和不同产地的苹果作为参数,综合预测苹果内部的酸度值。将参数的一次项认为是影响结果的最直接因素,参数之间的交互关系也纳入考虑,并且将参数

的二次项作为补充,采用二次拟合的方法建立预测模型。并对模型进行验证。

在所有试验数据中,将每一产地苹果在每个贮藏期内随机抽取 15 个(占总数据的 5/6)用于建立模型,余下的进行预测模型的验证。模型建立结果如下:

$$Y=0.253\ 192+0.008\ 691X_1+0.003\ 464X_2+0.671\ 846X_3+0.000\ 0304\ 05X_1^2+0.000\ 053\ 048X_1X_2+0.000\ 412X_2^2-0.005\ 817X_1X_3-0.020\ 717X_2X_3+0.013\ 408X_3^2 \quad (3)$$

$$R^2=0.879\ 0$$

式中: X_1 为区域的平均 CT 值 (Hu); X_2 为苹果贮藏的天数(d); X_3 为不同产地的苹果(按照其平均酸度值的高低确定其数值); Y 为相应的可滴定酸度(mmol/L)。

为了验证上述模型对于苹果酸度预测的可行性以及预测结果的可靠性,现利用试验中除去建模后剩下的数据,进行模型精度的验证。

我们将实际测量的结果作为实测值,建立的模型得到的结果称为模拟值,将由预测模型得到的结果作为预测值。定义实测值与模拟值之差的绝对值再与实测值之比称为模拟误差率,将实测值与预测值之差的绝对值再与实测值之比称为预测误差率,将模拟误差率和预测误差率二者之间的误差率称为模型误差率。

其中,模拟误差率反映了各产地苹果模型和实际情况的准确程度,预测误差率则反映了 CT 值、贮藏时间和苹果产地为参数的综合模型对苹果酸度的预测准确程度。模型误差率则反映了最终的综合预测模型同各个产地苹果预测模型的相似程度。经过对数据的整理后,每个指标的最大值,最小值和平均值见表 1。

由以上试验数据可知,拟合值、预测值和真实

表 1 模型误差验证分析

Table 1 Analysis of error for the models

%

苹果种类	模拟误差率			预测误差率			模型误差率		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
山东	36.73	0.32	16.45	39.46	1.46	16.08	10.97	0.09	3.84
陕西	18.94	0.16	9.61	19.29	1.28	10.10	3.90	0.13	0.99
新疆	21.15	0.32	9.03	24.04	0.36	9.23	27.99	0.68	7.68
平均	—			12.14			4.06		

值相比都存在一定的误差,由于试验条件本身的限制,可滴定酸度的测定过程比较复杂,而且测量时

的浓度较低,不可避免地引入一定的测量误差。由不同产地苹果酸度的模拟误差率可以看出,与山东

苹果酸度平均模拟误差率相比,陕西苹果和新疆苹果都低于 10%,分别为 9.61%和 9.03%,而山东苹果的平均模拟误差率为 16.08%,并且山东苹果的最大模拟误差率也较高为 36.73%。山东苹果的结果相对偏高主要是第 5 周酸度出现较大的极大值,而模型拟合会使结果较为平坦所导致,并且模型末尾处的误差也较高;预测误差率的也显示了和模拟误差率相似的情况。同模拟误差率相比,尽管将不同产地引入了模型,并将三者整合到同一方程,这也在一定程度上带来了一定的误差,但相对于前者而言误差并不大,最终的平均预测误差率为 12.14%,由此看出,模型表现出了良好的预测效果。从模型的误差率来看,其平均值为 4.06%。综上所述,采用此种方法,利用综合的预测模型,在得到 CT 值、贮藏时间和苹果产地分类的情况下,使苹果酸度的预测成为可能。

3 结语

1) 作者利用计算机断层扫描技术对贮藏中苹

果内部酸度进行无损检测研究,可以较好的通过苹果的 CT 值、贮藏时间和苹果产地来预测苹果的酸度。

2) 通过 CT 扫描并进行试验,得到不同产地苹果在贮藏期内酸度的变化情况,并分别建立相应曲面模型,来评价不同产地苹果贮藏期内酸度的变化趋势。

3) 利用二次拟合,将 CT 值,贮藏时间和苹果产地作为参数,综合预测苹果的酸度,得到拟合公式如下:

$$Y=0.253\ 192+0.008\ 691X_1+0.003\ 464X_2+0.671\ 846X_3+0.000\ 030\ 405X_1^2+0.000\ 053\ 048X_1X_2+0.000\ 412X_2^2-0.005\ 817X_1X_3-0.020\ 717X_2X_3+0.013\ 408X_3^2$$

对模型进行验证,通过对误差率的分析表明,模型表现出了良好的预测效果,平均预测误差率为 12.14%。与苹果贮藏期内响应曲面模型相比,虽然误差略有增大,但是由于贮藏产地参数的增加,为预测带来了很大的方便。

参考文献:

- [1] 励建荣,朱丹实. 果蔬保鲜新技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(4):337-347.
LI Jian-rong,ZHU Dan-shi. Research progress of new postharvest technology on fruits and vegetables [J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2012,31(4):337-347. (in Chinese)
- [2] 潘永贵,谢江辉. 现代果蔬后生理学[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [3] 先武,李时光,王钰. 最佳无损检测手段—工业 CT 技术的发展[J]. 光电工程,1995,22(4):51-58.
XIAN Wu,LI Shi-guang,WANG Yu. Development of the optimal nondestructive testing approach—industrial CT [J]. **Opto-Electronic Engineering**,1995,22(4):51-58. (in Chinese)
- [4] Schatzki T F,Haff R P. Defect detection in apples by means of X-ray imaging [J]. **Transactions of ASAE**,1997,40 (5):1407-1415.
- [5] 章程辉,刘纯清,刘木华,等. 应用 X 射线 CT 图像技术检测红毛丹内部品质的试验研究[J]. 江西农业大学学报,2005,27(6):939-942.
ZHANG Cheng-hui,LIU Chun-qing,LIU Mu-hua,et al. A study on inspecting internal quality of rambuta using X-ray CT image[J]. **Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis**,2005,27(6):939-942. (in Chinese)
- [6] Barcelon E G,Tojo S,Watanabe K. X-ray computed tomography for internal quality evaluation of Pea Ches [J]. **Agric Engng Res**,1999,73:323-330.
- [7] Christian V,Soren G E,Torunn T,et al. Salt distribution in dry-cured ham measured by computed tomography and image analysis[J]. **Meat Science**,2005,69:9-15.
- [8] Fulladosa E,Santos E G,Picouet P,et al. Prediction of salt and water content in dry-cured hams by computed tomography[J]. **Journal of Food Engineering**,2010,96:80-85.
- [9] 徐澍敏,王俊. 水果含水率与 CT 值相关性的研究[J]. 科技通报,2006,22(4):496-499.
XU Shu-min,WANG Jun. Correlation between moisture of fruit and values of CT [J]. **Bulletin of Science and Technology**,2006,22(4):496-499. (in Chinese)
- [10] 王会. 基于 CT 技术的富士苹果内部品质无损检测研究[D]. 杭州:浙江大学 2007.
- [11] 张京平,刘孔绚. 基于 CT 技术的苹果贮藏期内主要成分无损检测[J]. 农业机械学报,2010,41(7):119-122.
ZHANG Jing-ping,LIU Kong-xuan. Nondestructive test of major internal components for fushi apple during storage based on CT technology[J]. **Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery**,2010,41(7):119-122. (in Chinese)