

# 苹果水分与 CT 值相关性的研究

张京平, 彭 争, 汪 剑

(浙江大学)

**摘 要:** 利用数值仿真方法研究果蔬干燥过程, 含水率的数值计算结果必须得到试验的验证。然而以往的验证都是整体平均值的验证, 不是含水率的分布值验证, 这就不能证明计算结果的完全正确性, 也不能给改进干燥工艺提供有重要价值的参考。为了能够检测果蔬内部含水率的在线分布值, 通过试验及对苹果(红富士)CT 图片特性的检测、数据分析, 发现苹果某点的含水率与其相应 CT 图片上点的 CT 值之间、CT 图片上的点的 RGB 值与其 CT 值之间都存在着显著的线性相关性, 从而使我们可通过某点的 CT 值或 RGB 值得到该点的含水率。由此找到一条通过 CT 图像来检测果蔬在线含水率分布的新途径。

**关键词:** 干燥; 检测; X 射线; CT; 含水率; 苹果

**中图分类号:** S377; R814; S661.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2003)02-0180-03

## 1 引 言

我国是一个世界果蔬生产的大国, 果蔬的生产量位居世界的首位, 但其在流通、加工、储藏的过程中损失很大, 保鲜的程度不够, 与世界上的发达国家相比有着很大的差距。如何科学的保鲜、加工是一个重要的研究课题。研究水果在流通、加工和储藏过程中的质量是以研究水分性质为基础的, 因此了解水果中水分的含量及其分布形态对水果有着重要的意义。当前水果的含水率数值计算, 是可以得出其含水率的分布值, 但由于缺乏在线的含水率分布检测手段, 只能将计算的平均值与试验平均值相比较, 无法全面的验证水果内部含水率的在线分布状况。CT 在医学领域的应用已十分广泛, 技术比较成熟, 主要用于人体内部组织器官的病理检测, 以得到其内部物质状态的信息。但是经过我们广泛的文献检索, 至今还未发现利用 CT 的技术来检测果蔬内部含水率分布的研究和报道。由此, 我们希望利用 X 射线来检测水果中的水分分布, 这样就可以更好的分析水分的内部分布形态。对研究水果加工、储藏、保鲜、干燥有着重要的现实意义。

本文通过试验研究来得到 X 射线特征值(CT 值)与对应点含水率值之间的关系, 再将 CT 照片扫描输入计算机, 研究其图像的 RGB 值与 CT 值之间的对应关系, 从而建立起含水率、CT 值、RGB 值三者之间的相互关系, 为测量果蔬含水率的分布找到一条新路。

## 2 CT 原理和试验方法

### 2.1 CT 原理

我们现实生活中指的 CT, 实际上指 X 射线 CT, 全称是“X 射线电子计算机断层摄影技术”。CT 的目的是

得到物体体内占有确切位置的物质特性的有关信息。一张 CT 图片可以得到物体的断层扫描图, 是从一个指定方向的切面的平面显示。通过这张断层扫描图我们可以分出不同的物质, 因为 X 射线在不同的物质里的衰减值是不同的。

当一束单色 X 射线束通过一个密度均匀的小物体时, 衰减量由以下方程决定:

$$I = I_0 e^{-\mu l}$$

式中  $I$ ——穿过均匀物体时, 透射的强度;  $I_0$ ——入射的强度;  $l$ ——穿过均匀物体的路径长度;  $\mu$ ——线形衰减系数。

X 射线穿过物体某一层断面的组织后, 由 CT 机的探测器接受, 不同物质特性的组织对 X 射线的吸收量是不同的。把这种衰减的 X 射线量转换成电信号输入电子计算机, 经过电子计算机的数据的处理, 最终将数据在屏幕上显示出图像, 并获得相应点的 CT 值, 这就是 CT 的原理。

### 2.2 试验设备

干燥设备——能提供稳定热风的干燥机器, 以达到干燥要求; 称量的设备——电子天平; X 射线放射源及成像的装置——医用的 CT 机; 图像处理设备——装有 PHOTO SHOP 软件的计算机。

### 2.3 试验方法

选取水果(红富士苹果)小块若干块, 把它们按照一定的次序进行标号, 以便区分各个小块。称量各小块的质量。把这些大小均匀的小块利用烘干设备将其烘到不同的干燥程度。

我们采用了热风干燥, 为了得到不同干燥程度的小块, 我们对不同的小块选取不同的干燥时间。干燥过程中不时的给小块换面, 以保证干燥的均匀进行, 随后将干燥后的小块在空气当中放置 1~2 d, 让各小块的水分能够得到充分的缓苏, 内部所含的水分能够充分的均匀。并称量各小块的质量。

接着把小块放在一起进行 CT 扫描, 得到 CT 图

收稿日期: 2002-06-04

基金项目: 浙江省自然科学基金项目资助(398240)

作者简介: 张京平(1956-), 男, 博士, 副教授, 杭州市 浙江大学生物科学与工程食品科学学院, 310029。Email: zhjp@mail.hz.zj.cn

像, 并得到每一小块的平均 CT 值。

再把小块烘干到恒质量或者重质量变化很小的程度, 称量烘干后的各小块质量, 利用传统的计算的方法得到每一小块的含水率的值。

最后把这些小块的 CT 照片经高分辨率扫描仪扫描入计算机, 通过 PHOTOSHOP 软件对图像进行数据信息分析。由于每一块的含水率不同, 相应的在图像上有不同颜色显示。先把扫描图上的每一小块区域标出, 然后在每一小块区域内较均匀的选取 10 点, 分别读出每一点的 RGB 值, 取其平均值(每一小苹果块内, 含水率分布近似均匀)。得到每一小块的 RGB 值。

### 3 试验结果和分析

#### 3.1 CT 值与含水率关系的试验处理和分析

试验后, 如表 1 所示, 我们得到了两个重要的数据量: 从数据可以看出各小块的含水率的不同导致了各个小块的 CT 值的不同, 为此, 我们可以寻找两者之间的联系。

表 1 试验苹果含水率及其对应 CT 值

Table 1 Water content of apple and its CT value obtained from experiment

序号	干燥前的质量/g	第 1 次干燥质量/g	第 2 次干燥质量/g	拍片时含水率/%	CT 值
1	5.495	1.854	0.700	62.20	-189
2	5.781	0.848	0.716	15.60	-89.6
3	5.546	1.819	0.446	75.50	-330.8
4	5.932	0.832	0.684	17.80	48.9
5	6.650	1.369	0.726	46.90	-148.6
6	6.824	1.182	0.773	34.60	-7.3
7	5.058	1.303	0.597	54.20	-354.7
8	5.259	1.916	0.531	72.30	-255.1
9	5.147	1.556	0.690	55.70	-39.6
10	7.007	1.601	1.190	30.10	-58.6
11	6.007	2.838	0.337	88.10	-329.5

画出含水率与 CT 值间关系的散点图(图 1)。

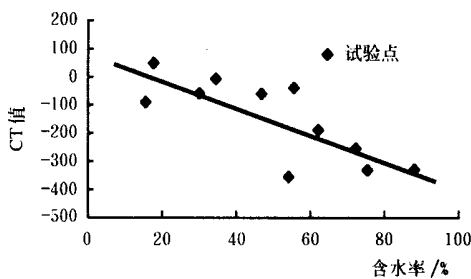


图 1 苹果(红富士)含水率对 CT 值的影响

Fig 1 Influence of water content of apple on the CT value

从图 1 我们可以看出, 小块的含水率和 CT 值在数值上有明显的线形关系, 根据这种特点, 我们运用回归分析的方法进行分析。首先, 我们把小块的含水率与其 CT 值分别设为非随机的自变量  $X\%$  和对应的应变量  $Y$ 。根据回归分析的理论, 一元回归方程的公式为

$$Y = A + BX$$

其中  $B = L_{xy}/L_{xx}$ ;  $A = \bar{Y} - B\bar{X}$ ;

相关系数  $r = L_{xy}/\sqrt{L_{xx}L_{yy}}$

$$F \text{ 统计量 } F = \frac{MSR}{MSE} = \frac{SSR/1}{SSE/n-2}$$

$$\text{其中 } SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{Y})^2; SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

根据以上的公式, 我们将含水率与 CT 值代入进行计算分析如下(采用 EXCEL 进行一元回归曲线拟合, 见图 1): ( $n = 11$ )

可得:  $B = -4.82$ ;  $A = 90.78$ ;  $r = -0.788$ ;

$$F = 14.765$$

查表得:  $r = 0.735$ ;  $F_{(0.005)(1,9)} = 13.61$

由此可知: 在显著性水平  $\alpha = 0.005$ , 有  $F > F_{(0.005)(1,9)}$ , 可见 CT 值与含水率之间存在着十分显著的线性关系。回归模型通过  $F$  检测。对于这种线性相关性的强弱程度的度量, 有  $|r| > r_{0.01(1,9)}$ 。根据相关关系显著性原理可知, 如果  $|r|$  大于表上  $\alpha = 1\%$  相应的值时, 称  $X$  与  $Y$  有十分显著线性关系。故 CT 值与含水率之间是存在十分显著的线性关系, 回归模型是合适的。拟合方程为:  $Y = 90.78 - 4.82X$ , 它有着重要的实际意义。

#### 3.1 CT 值与 RGB 值关系的试验处理和分析

将 CT 照片经扫描仪输入计算机中, 通过 PHOTOSHOP 软件, 读取 RGB 值, 计算得到每小块 RGB 的平均值, 从而得到如下 CT 值与 RGB 值的试验数据(见表 2)。

画出 CT 值与 R 值、G 值、B 值间关系的散点图(图 2)。

表 2 CT 值及其图像对应 RGB 值

Table 2 CT value and the RGB value on the CT image

序号	R 值	G 值	B 值	RGB 值	CT 值
1	53	62.7	69.7	185.4	-189
2	102	98.78	116.33	317.11	-89.6
3	24.9	28.4	28.6	81.9	-330.8
4	143.2	157.5	176.6	477.2	48.9
5	86.82	78.77	95.22	260.81	-148.6
6	141.3	157	177.6	475.9	-7.3
7	29.5	33.8	36.9	100.2	-354.7
8	49.4	62.4	67.9	179.7	-255.1
9	145.2	167.8	184	497.3	-39.6
10	109	123.08	119.58	351.66	-58.6
11	22	25.1	24.73	71.83	-329.5

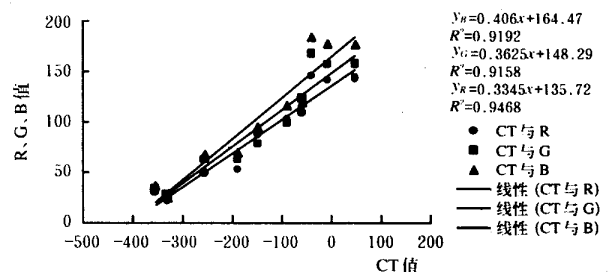


图 2 CT 值分别与其 R 值、G 值、B 值的对应关系

Fig 2 Correlation between the CT value and each of its R value, G value and B value

画出 CT 值与 RGB 总值间关系的散点图(图 3)。

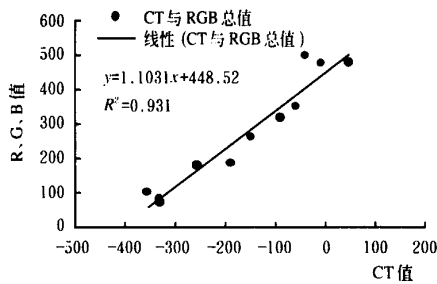


图3 CT值分别与其RGB总值的对应关系

Fig 3 Correlation between the CT value and the total value of its R, G and B value

从以上的图表中我们分析得到R值、G值、B值和RGB总值分别与CT值的一元回归方程相关系数为:

$$r_R = 0.973 \quad r_G = 0.957 \quad r_B = 0.959$$

都有  $|r| > r_0$ 。根据相关关系显著性原理可知,R值、G值、B值和RGB总值分别与CT值的线性关系都是十分显著的。且R、G、B值与CT值的拟合曲线(图2)趋势都近似一致。每一曲线都能较合理正确的代表其它曲线,曲线近似重合。由线性方程迭加性可知RGB总值与CT值的拟合曲线也同样具有一致趋势,因此可取RGB总值与CT值的一元回归方程来代表(当然,任取一组的一元回归方程都具有同样的代表性)。从而可利用试验的数据分析结果,通过图像的RGB值与CT值、CT值与苹果含水率之间的相互关系,建立RGB值与苹果含水率之间的间接关系,采用计算机图像信息处理,得到苹果含水率在线分布。

试验的结论为我们在检测苹果含水率分布的方法上,开拓了新思路。试验采用CT技术,对含水率与CT值、CT值与RGB值间相互关系的进行分析研究,为通过图像处理对苹果含水率的在线检测提供了试验依据,为我们进一步得到苹果含水率与CT值的精确函数关系提供了基础,为精确的果蔬在线检测提供了新思路。

#### 4 结 语

1) 利用CT图像上各点的CT值来检测苹果中的

对应各点的含水率,找到一条检测苹果含水率分布的新途径。

2) 通过试验得到苹果内各点的含水率与其在CT图像上对应点的CT值之间的相互关系。并通过一元线性回归分析发现其线性相关性是显著的,得出一个具体的回归方程。

3) 通过PHOTOSHOP对CT照片的扫描图进行RGB值读取,分别处理分析了R值、B值、G值和RGB总值与CT值之间的相互关系。并分别通过一元线性回归分析发现其线性相关性是十分显著,得到具体回归方程,并且四个方程趋势一致。

4) 本文具体研究的对象是苹果,其方法也适用于对其它果蔬的研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王士潘等译 食品干燥原理及其应用[M] 上海: 上海科技出版社出版, 1986, 23~ 68
- [2] 王朝晖等 脱水干燥过程质热传递的简化模型[J] 化工学报, 1995, 46(5): 579~ 571.
- [3] 周复恭, 黄运成 应用线性回归分析[M] 北京: 中国人民大学出版社, 1989, 1~ 73
- [4] 曹崇文 农产品干燥机理、工艺与技术[M] 北京: 中国农业大学出版社, 1998, 1~ 34
- [5] 栾 军 现代试验设计优化方法[M] 上海: 上海交通大学出版社, 1995, 42~ 56
- [6] 陈国铭, 郭耀曾 统计质量控制相关和回归分析[M] 北京: 中国石化出版社, 1989, 132~ 153
- [7] 林日增, 张雪林 螺旋CT原理、扫描参数和图像重建 CT理论与应用研究[J] 第一军医大学南方医院影像中心, 1999, 8(2): 23~ 25
- [8] Nunez D B, Quence R M. The role of helical CT in the assessment of cervical spine injuries [J]. AJR, 1998, 171(4): 951~ 957.
- [9] Kemmerer S R, Morteale K J, Ros P R. CT scan of the liver[J] A dial Clin North Am, 1998, 36(2): 247~ 261.
- [10] 孙家广, 杨长贵 计算机图形学(新版) [M] 北京: 清华大学出版社, 1997, 533~ 545
- [11] 方开泰, 全 辉等 实用回归分析 北京: 科学出版社, 1998, 20~ 63

## Correlation between moisture of apples and values of CT

Zhang Jingping, Peng Zheng, Wang Jian

(College of Biological Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

**Abstract** In studying the drying process by numerical simulation, the computational results of moisture must be validated by experiment. However, it was only validated by the value of the average moisture in the fruit, and was confirmed by the distribution value of the moisture. This in itself cannot validate the accuracy of the computational result and cannot yet provide important and valuable reference for improving drying techniques. To test the distribution of water in fruits, through experiment and analysis of the experiment result, the correlation between different points of moisture in fruit (apple) with the corresponding CT value on the CT image and the RGB value on the image with the corresponding CT value was found. The marked linear correlation between a point moisture of apple and its CT value exists, therefore every point of moisture in an apple can be found through the CT value or the RGB value at this point. It is a new way to test the moisture of different points in fruit.

**Key words:** drying; measurement; X rays; CT; moisture; apple