

# 苹果水心病在贮藏期变化的无损检测

刘新鑫, 韩东海, 涂润林, 温朝晖

(中国农业大学食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

摘 要: 该研究通过自制差分仪监测了贮藏中苹果透光强度的变化, 建立了贮藏中苹果透光强度和质量随时间变化的回归方程。在贮藏过程中有水心病的苹果透光强度下降较无水心病苹果快, 贮藏后期发病不严重的病果症状消失, 同时发现质量较大的苹果中水心病发病比率高。

关键词: 苹果; 水心病; 无损检测; 贮藏

中图分类号: TS274.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)01-0211-04

## 0 引言

水心病是苹果的一种重要的生理病害, 有较高的发病率。研究者们在过去 100 年里已经研究了水心病形成的原因: 成熟度、温度、栽培条件(密度、化肥、灌溉等)、水果尺寸、形状、矿物质营养、解剖学上的变化和其它因素。水心病的特点是细胞间隙的空气被液体填充, 轻微的水心病果组织中的液体在 10 个维管束或其中的一些有流动性, 严重的水心病果组织中的液体则在维管束之间形成结晶<sup>[1]</sup>。正常苹果组织有 25% ~ 30% 的体积被空气占据, 而水心病果组织中的大量空间充满了液体<sup>[2]</sup>。这些填充细胞间隙的液体改变了苹果组织的光散射特性, 光散射因水心病而减少, 使通过苹果的光学路径更长, 有更多的能量透过<sup>[3]</sup>。Throop 等<sup>[4]</sup>使用可视计算机测量苹果透过光, 然而这个方法不足以精确的区分水心病的严重程度。Upchurch 和 Throop<sup>[5]</sup>进一步研究了计算机可视系统, 发现检测效果与摄像机灵敏度有关。

收获后的水心病不能进一步发展, 在贮藏几个月后可以消失。但是严重的水心病果比轻微病果更易随时间延长发生褐变。因此在贮藏过程中监测水心病发展是十分有必要的<sup>[6, 7]</sup>。本研究是通过自制的水心病检测差分仪来监测苹果贮藏过程中苹果光特性的变化规律和水心病的发展情况。

## 1 材料和方法

### 1.1 实验仪器和材料

自制差分仪(图 1), 电子天平, 贮藏冷柜。北京怀柔产秀水国光苹果 207 个。

### 1.2 自制差分仪介绍

水心病苹果中的发病组织充满了液体, 改变了光散射特性, 透光强度增加, 所以其在光谱图上比正常果有较少的吸光度(图 2)。根据光谱图, 我们选择 810 nm 和 760 nm 两个单波长 LED(发光二极管)灯作为检测水心病的特征波长光源。因为 810 nm 主要是蛋白质和酰

胺的吸收峰, 该波长下苹果吸收较小; 760 nm 主要是水的吸收峰, 受水分影响大, 且低于 760 nm 波长的 LED 灯能量较弱, 不易穿透苹果。

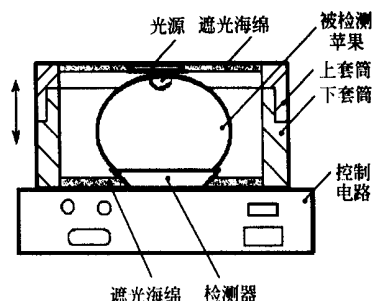


图 1 自制水心病检测装置简图

Fig 1 The sketch map for selfmade different meter

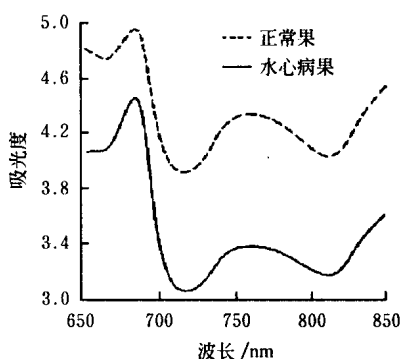


图 2 正常果与水心病果光谱图

Fig 3 The curves of water-cored apple and sound apple

差分仪结构: 光源由 12 个排列成一圈的 LED 灯组成, 即每 30 度设一个灯, 其中 810 nm 和 760 nm 的灯间隔排列。光源和检测器分别位于样品上下端, 并可随样品大小调整间距。整个样品室是封闭结构, 以保证不漏光。该仪器与电脑相连, 原始数据存于电脑, 并由电脑软件实行操作。

### 1.3 实验条件和方法

利用自制近红外差分仪对 100 个苹果进行分级研究。水心病果的分级见图 3(实验中因一级病果症状很轻, 故将其与好果归为一级, 1~4 级样品数量分别为 69、14、10、7)。各级水心病在 810 nm 透光能量分级见图 4(图中 A、B、C、D 分别表示 4~1 级, 760 nm 有类似

收稿日期: 2003-07-28 修订日期: 2003-12-08

作者简介: 刘新鑫(1979-), 男, 内蒙古人, 硕士生, 北京 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 100083

的结果未列出)。

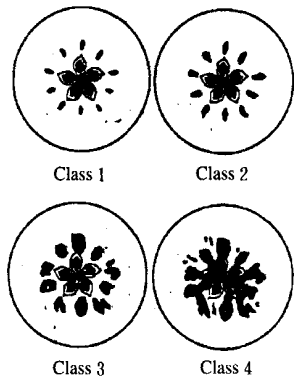


图 3 水心病分级标准  
Fig 3 The grade of watercore

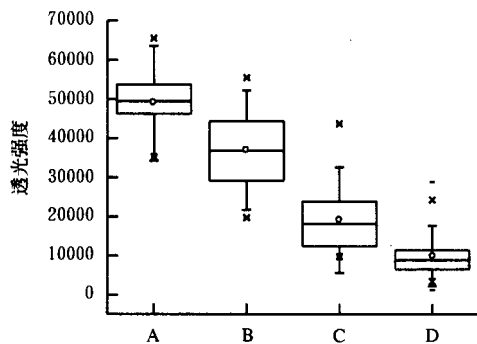


图 4 810 nm 各级苹果透光强度  
Fig 4 The transmission intension of each grade at 810 nm

对另 107 个苹果进行了为期约 4 个月的间断性的测量,记录其透射光能量的变化,同时测量了质量变化。将第一次测量的时间记为第一天(采摘后一个月),依此类推,共记录了第 1、13、25、52、65、79、104 天的情况。107 个苹果除了测量时是在室温下进行外,其他时间均在 2~4℃ 下进行贮藏。

测量时苹果果轴与光源、检测器平行,苹果果柄向上测量。每个苹果水平旋转测五个不同位置,取平均值,以尽量消除位置等的影响。

1.4 仪器性能评价

表 1 中的数据是在连续测量一小时后采集的,两波长的相对标准差均在 10<sup>-3</sup>级,说明仪器的稳定性较好,能满足实际使用对仪器的要求。

表 1 仪器稳定性测量结果

Table 1 The result of stability measuring of the apparatus			
波长/nm	均值	标准差	相对标准差/%
810	3782.82	1.08	0.03
760	3047.28	2.71	0.09

2 结果和讨论

2.1 透光强度与贮藏时间的关系

我们将 107 个苹果每次测量的透光强度进行平均,与贮藏时间作图。得到检测仪器中的两个波长的透射量

与贮藏时间的关系,如图 5、6 所示,从图中可以看出,无论是 810 nm,还是 760 nm 波长,其透射光能量都随时间而逐渐降低,而且在后期又略有升高。用方程(1)来拟和两曲线,得到很好的结果(表 2)。

$$Y = Y_0 + A_1e^{(-X/t_1)} + A_2e^{(-X/t_2)} \quad (1)$$
  
式中  $X$ ——时间;  $Y$ ——透光强度;  $Y_0$ ——透光强度常数;  $A$ ——振幅;  $t$ ——衰减常数。

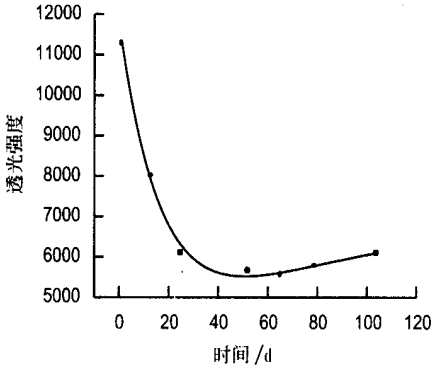


图 5 810 nm 透光强度与贮藏时间关系  
Fig 5 Relation of transmission intension and storage days at 810 nm

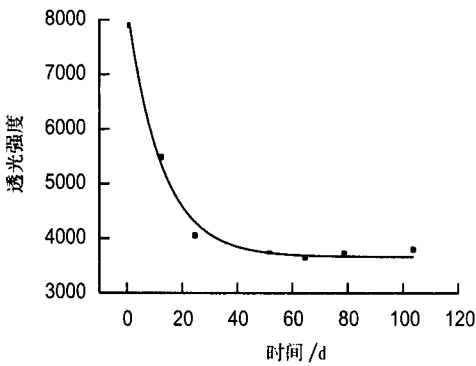


图 6 760 nm 透光强度与贮藏时间关系  
Fig 6 Relation of transmission intension and storage days at 760 nm

表 2 方程  $Y = Y_0 + A_1e^{(-X/t_1)} + A_2e^{(-X/t_2)}$  参数值

Table 2 Parameters of the equation $Y = Y_0 + A_1e^{(-X/t_1)} + A_2e^{(-X/t_2)}$		
参数	810 nm	760 nm
$Y_0$	6874.75419	3698.81321
$A_1$	9331.36562	4601.8095
$t_1$	18.30023	12.51686
$A_2$	-4479.03492	-36.27326
$t_2$	60.60465	-1.00307E93
$R^2$	0.9965	0.9921

苹果在贮藏过程中,尤其是在单纯的低温条件下,由于湿度等的原因,很容易造成苹果失水。苹果失水使其结构发生变化,直接导致光学透性的变化;同时,苹果内部物质也在贮藏过程中发生着转化,这也对苹果的光吸收产生影响。贮藏中随着水分的失去,透过光也越来越少。但当水分损失到一定程度时,光透射变化不再显著,甚至在 810 nm 处有增加的趋势,这也许和苹果

组织某种结构变化有关系。而 760 nm 的曲线在后期增加趋势不明显, 这可能是由于 760 nm 是水的一个吸收峰, 该波长透射量的大小受到苹果组织结构和水分多少直接的影响, 而 810 nm 与水分吸收无关, 所以 760 nm 的曲线后期变化没有 810 nm 那么明显。

有研究证明, 水心病苹果中的水分含量较正常果多, 其结构为水浸状结晶, 而一般程度的水心病会在贮藏过程中逐渐消失<sup>[3]</sup>, 由此可得水心病果在贮藏过程中的水分的损失应该与正常果不同。从病果到症状消失为止, 其过程水分损失应该较正常果的大, 从而导致苹果的组织结构变化也大, 光透性变化也明显。我们将贮藏的苹果按其 810 nm 和 760 nm 的透过能量分成两部分, 一部分为有水心病(如图 4, 810 nm 透光强度 > 25000, 这样可以保证没有好果被误判), 另一部分为无水心病(810 nm 透光强度 < 25000, 会误判一些病果为好果)。图 7、8 描述了两种苹果透光强度的变化。从图中可以看到, 不论是 810 nm 还是 760 nm 波长, 有水心病的苹果透光强度在贮藏前期变化比无水心病的剧烈, 而在后期两者相对一致。这一现象也说明了水心病果在贮藏中, “水心”被吸收过程中对苹果组织透光能力影响很大。其中水心病果失水率约 7%, 而好果失水率为 6.5%。

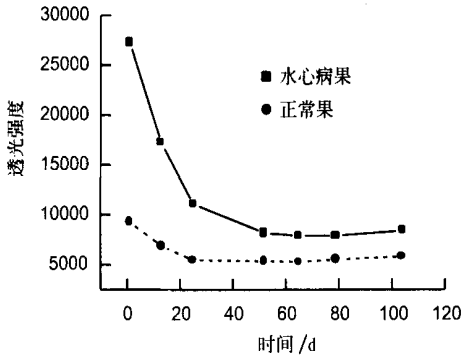


图 7 810 nm 正常果、病果透光强度与时间关系  
Fig 7 Relation of time and normal/watercore apple at 810 nm

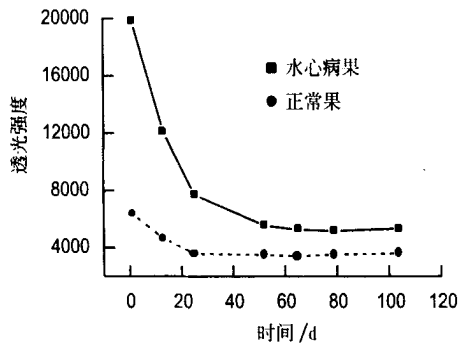


图 8 760 nm 正常果、病果透光强度与时间关系  
Fig 8 Relation of time and normal/watercore apple at 760 nm

样品水心病果在采摘后数量的变化见表 3。表中 1 级与 2 级, 2 级与 3 级透光强度分离界限值分别是 13000 和 25000(见图 4)。从表 3 中可以看出, 水心病果数量随贮藏月份增加而逐渐减少, 到贮藏末期, 基本全

部消失, 在透光强度上已表现得和正常果差不多, 无法区分, 说明其内部病组织已被吸收。

表 3 水心病果贮藏数量的变化

Table 3 Varies of the number of watercore during the storage

时间(月)	1	2	3	4
1 级(好果)	77	82	92	106
2 级	20	18	14	1
3 级	10	7	1	0

2 2 质量变化与贮藏时间的关系

苹果在贮藏过程中的质量损失主要是由于失水。质量减少与贮藏时间的关系见图 9, 水分的减少速度会随着贮藏时间的增加而逐渐变慢, 这个变化规律符合方程

$$Y = Y_0 + A_1 e^{(-X/t_1)}$$

式中  $Y_0 = 109.92, A_1 = 14.91, t_1 = 127.32,$   
 $R^2 = 0.99。$

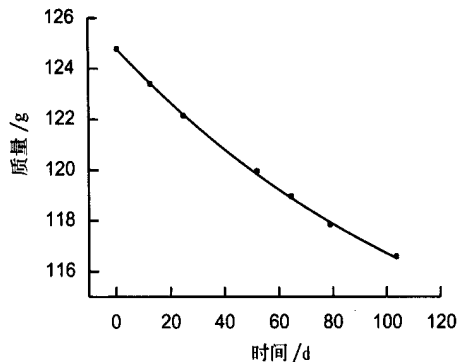


图 9 质量与贮藏时间关系  
Fig 9 Relationship between mass and storage days

2 3 苹果质量与水心病发病率关系

将本实验用来分级的 100 个苹果进行质量与等级的分析, 发现质量大的苹果水心病的数量较多, 而质量小的苹果水心病较少。把四个级别的苹果质量进行方差分析, 如表 4, 结果显示各级水心病果质量都与正常果存在显著差异, 各级之间差异不显著。我们把 100 个苹果按质量分成两等分, 其中质量大的一部分中水心病果占 50%, 而质量小的一部分水心病果只有 10%。这个现象虽然无法找到生理学上的依据, 但实验中研究尺寸对检测的影响时可以考虑这一点。

表 4 各级水心病果质量方差分析表

Table 4 ANOVA of mass of each grade of watercore

等级	4	3	2	1
数量	7	10	14	69
质量	145.43a*	139.21a	141.61a	127.42b

注\*: 不同字母间存在显著性差异。显著水平 0.05。

3 结 论

1) 贮藏苹果在 810 nm 和 760 nm 下的透光强度随时间变化都可以用  $Y = Y_0 + A_1 e^{(-X/t_1)} + A_2 e^{(-X/t_2)}$  方程来描述, 其中有水心病的部分在贮

藏前期变化显著,而无水心病的变化相对缓慢,在贮藏后期二者相对一致。

2) 本实验贮藏样品中水心病发病程度均未达到最严重,所以在贮藏过程中水心病症状均逐渐消失,到实验结束后切开目测,所有苹果都没有水心病。

3) 苹果在贮藏中质量随时间变化规律符合方程:  $Y = Y_0 + A \cdot e^{(-X/t_1)}$ 。苹果不同质量有不同的水心病发病率,质量大的水心病果数量相对大。

4) 苹果贮藏中的光特性的变化与贮藏条件、采摘时间、贮藏时间等密切相关<sup>[6]</sup>,而水心病在贮藏过程中的发展变化情况更是难以精确掌握,在今后的研究中,具体而准确的监测贮藏过程中水心病的消失或褐变将成为研究重点。

[参 考 文 献]

[1] U S D A Agricultural Marketing Service. U S Standards for grades of apples, F R Doc Washington D C: U S D A Food Safety and Quality Service, 1976, 64- 7406

[2] Birth G S, Olsen K L. Nondestructive detection of water core in delicious apples [J]. Proc Amer Soc Hort Sci, 1964, 85: 74- 84

[3] Hung Y C, Tollner E W, Upchurch B L. Physical properties of apples affected by watercore disorder[A]. A S A E Paper[C]. No. 89- 6507. A S A E, 1989. 2950

[4] Throop J A, Rehkugler G E. Application of computer vision for detecting watercore in apples[J]. Transactions of A S A E, 1989, 32(6): 2087- 2092

[5] Throop J A, Aneshansley D J, Upchurch B L. Camera system effects on detecting watercore in ‘Red Delicious’ apples [J]. Transactions of the A S A E, 1994, 37: 873- 877.

[6] Bowen J H, Watkins C B. Fruit maturity, carbohydrate and mineral content relationships with watercore in ‘Fuji’ apples [J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 11: 31- 38

[7] 韩东海, 刘新鑫, 涂润林. 果品无损检测技术在苹果生产分级中的应用[J]. 世界农业, 2003, 1, 42- 45

[8] 郝红伟, 施光凯. Origin 6.0 实例教程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002

[9] 洪楠, 侯军. SAS for Windows 统计分析系统教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.

[10] 关军锋. 果品品质研究[M]. 河北: 河北科学技术出版社, 2001.

Non-destructive detecting watercore apple during storage

Liu Xinxin, Han Donghai, Tu Runling, Wen Zhaohui

(College of Food Science & Nutritional Engineering China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The change of transmission intension of the apple during the storage period was inspected by the self-made difference meter. The regress equation of the variety of apple’s transmission intension and mass with storage time was established respectively. Further more watercore apple’s transmission intension decreased faster than normal apples, and that if the apple have a bigger mass, the incidence of a watercore is also higher.

**Key words:** apple; watercore; non-destructive detecting; storage