

食品的介电特性在食品干燥过程中的在线无损检测技术

秦文^{1,2} 陈宗道¹ 羽仓羲雄³ 铃木宽一³

1(西南农业大学食品科学院,重庆,400716) 2(四川农业大学信息与工程技术学院,雅安,625014)

3(日本广岛大学生物生产学部食品工学研究室,日本东广岛,739-8528)

摘 要 选用标准蔗糖、新鲜胡萝卜、葱、蘑菇和生菜为原料,研究干燥过程中原料电特性参数电容和水分含量的变化规律以及它们之间的相关性。结果表明:60℃温度下热风干燥几种新鲜蔬菜,其水分含量随着干燥时间的延长而下降,到一定的水分含量后质量不再发生变化,电容的变化趋势与水分的变化相同,质量不变时电容也趋于恒定,两者之间存在极显著的线性正相关性,说明干燥过程中水分含量的测定可以用检测相对应点的电容值来计算,从而实现在线、无损监控食品干燥过程。

关键词 介电特性,干燥,在线检测,控制

干燥食品加工是一种传统的食品加工方式。它以制品体积小,运输方便,保存期长而广泛应用于农产品的加工。对干燥过程的控制是食品加工十分重要的环节,一般的控制方法是检测加工过程中含水率的变化,感官检测外观状况,组织结构特征的变化等,但这些都很难准确地检测干燥箱中产品水分的变化^[1]。Sagara 和 Ichiba(1994)^[2]报道了用电子天平进行对冷冻干燥过程连续检测食品重量变化的方法,但是也没有真正用于干燥食品加工过程。

利用食品介电特性对产品品质检测是食品物性学研究的重点之一,产品品质的变化可以客观地评价加工工艺的优劣,准确地判断加工过程的终点。根据前人的研究报道,水分在不同的状态下存在固定的介电特性(Higo,1987)^[3],食品的介电特性主要决定于水分含量(Ryynanen,1995)^[4],Sipahioglu and Baringer(2003)^[5]报道 15 种水果和蔬菜的介电特性与其水分,灰分及处理温度等有关,介电常数随温度和灰分的升高而下降;所以干燥过程中水分的变化直接可由食品的介电特性变化来反映。如何对干燥过程实行连续性、非破坏性检测以精确控制干燥过程是一个新的课题,也是食品介电特性的非常特有的应用之一,具有很大的实用价值(Sadao,2002)^[6]。但在国内未见相关研究的报道,更没有实际应用。

本研究的目的是建立在干燥过程中能方便、连续检测新鲜蔬菜电特性参数的实验装置,研究水分与介电特性之间的相关性,试图根据电特性参数的变化来反映几种蔬菜干燥过程中品质的变化,从而确定干燥终点,为实现快速、在线、非破坏性控制食品干燥过程

提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

新鲜胡萝卜、葱、蘑菇和生菜,均由日本广岛大学食品工学研究室提供。

标准蔗糖(分析纯,Wako 化学工业公司,日本)。

1.2 原料处理

每种材料分成 2 组,一组将原料切成各种大小和形状的圆片、细丝等,另一组进行烫漂处理,不进行烫漂处理,直接进行干燥。烫漂处理方法为:胡萝卜切成 $\phi(35\sim45)$ mm \times 8mm 的圆片或细丝(electric vegetable slicer,岩谷产业株式会社,日本),在 100℃沸水中烫漂 2 min,急冷至室温,浸泡于质量分数 0.1%柠檬酸溶液中 10 min,捞出待用;蘑菇切成大小为 10 mm \times 10mm \times 5mm 的丁状,在 100℃沸水中烫漂 2 min,急冷至常温,浸泡于质量分数 0.1%柠檬酸溶液中 10 min,捞出待用;生菜和葱切成细丝,在 pH 值为 8.0 的弱碱性溶液中烫漂 2 min,浸泡于质量分数 0.01%的醋酸铜溶液中 10 min,捞出待用。

1.3 干燥过程介电特性测定

干燥过程中介电特性的测定装置见图 1。2 块平行不锈钢电极板尺寸为 200 mm \times 200 mm \times 1 mm,两板之间用丙烯酸树脂做垫块,距离为 20 mm,固体样品放在板之间,各板面对样品的一面都用 80 μ m 厚的聚乙烯膜绝缘,液体样品盛于玻璃容器里并放在两板之间,两板分别连接在 LCR3522-50 型电容电感检测仪(HIOKI 日置电机株式会社,日本)的高低输出端,外加不锈钢网丝做的噪音屏蔽罩,置于 SA31 干燥箱中(masuda 公司,日本),干燥温度控制为

第一作者:博士研究生,副教授。

收稿日期:2005-02-12,改回日期:2005-07-08

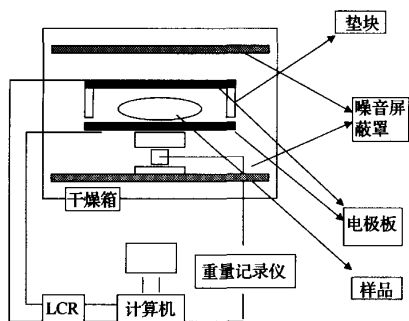


图1 干燥过程中样品介电特性测定装置图

60℃,调节 LCR 检测频率为 100 kHz,每 1 min 测定一次电容,电感和介电损失,所有数据由计算机自动记录并输出,每 20 min 记录一次样品重量。干燥过程保持空气的温度和相对湿度分别为 60℃和 10%。

1.4 标准蔗糖溶液干燥过程中电容及水分变化测定

用蒸馏水配制质量分数为 10%的蔗糖溶液 100 mL,盛于玻璃容器中,60℃下干燥成晶体状态为干燥终点,测定 0.1~100 kHz 范围内 7 个频率点的电容变化,讨论水分与电容的相关性。

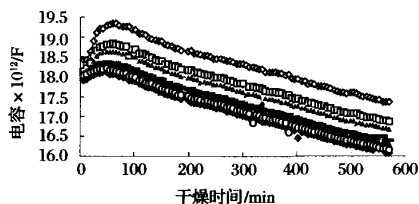
2 结果与分析

2.1 蔗糖溶液干燥过程中水分、电容的变化及其相关性分析

蔗糖溶液在 60℃加热条件下由于自由水蒸发而导致溶液质量下降,所以可以用质量的减少来表示水分含量的减少。图 2、图 3 显示,干燥过程中蔗糖溶液的电容值和水分含量都随干燥时间的延长而呈相同的下降趋势。起初的 90 min 是处于升温阶段,电容略有上升,90 min 后温度趋于恒定,随着干燥过程水分的蒸发,电容开始下降,待水分降低到 23%时电容变化很小,当水分不再下降,质量逐渐趋于稳定时,电容也趋于恒定,此点即为干燥终点。从不同频率看,在同一干燥时间,电容随测试频率的增加而降低,频率越大,电容越小。

在蔗糖溶液干燥过程中水分变化与电容改变关系表明(见图 4),蔗糖溶液干燥过程中水分不断被移出,溶液逐渐被浓缩而成为结晶体,电容随蔗糖含水量降低而下降,两者呈极显著的线性正相关,10、50 和 100 kHz 下相关系数分别为 0.991、0.9933、0.9898,50 kHz 相关数学模型是 $Y = 0.025X + 15.555$ (Y 为电容,单位为法拉 $\times 10^{-12}$ F; X 为水分含量,%)。表明水分的变化规律可以用相对应点的电容的变化来说明。在 10~100 kHz 高频率段比较

稳定,且 50 kHz 下具有很高的相关系数,故选择在 50 kHz 频率下对干燥过程进行检测和控制。



检测的频率分别为 0.1kHz(◇);0.5kHz(□);

1kHz(▲);5kHz(-);10kHz(△);50kHz(◆) 100kHz(○)

图2 10%蔗糖溶液 60℃干燥过程中不同频率下电容的变化情况

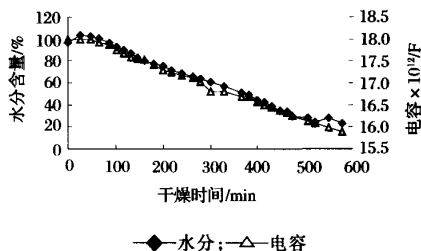
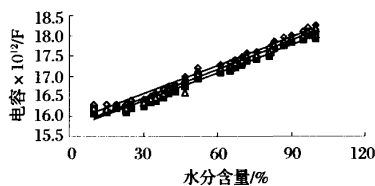


图3 10%蔗糖溶液 60℃干燥过程中 50 kHz 频率下电容和水分的变化情况



10kHz(◇) $R^2 = 0.991$;50kHz(■) $R^2 = 0.9933$;

100 kHz(△) $R^2 = 0.9898$

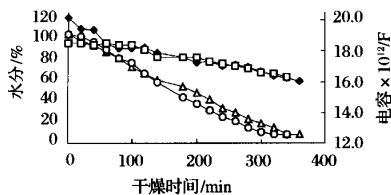
图4 10%蔗糖溶液干燥过程中电容与水分变化的相关性

2.2 四种新鲜蔬菜干燥过程中水分和电容的变化

4 种蔬菜样品干燥过程中电容和水分的变化情况见图 5~图 8。从图 5~图 8 可以看出,生菜的电容与水分的变化趋势相同,对样品是否进行烫漂处理对干燥时间的影响不大,干燥到 340 min 后质量变化趋于零,经烫漂处理的产品保持了较好的鲜绿色;生葱干燥过程中水分开始下降快,干燥到一定程度后下降速度减慢,未经过烫漂的样品干燥得快,只需要 220 min 就达到干燥终点,经烫漂的样品干燥时间延长,需要 280 min 才能达到终点,但是经烫漂处理的与直接干燥的相比,产品绿色保持好,外观颜色呈鲜绿色;蘑菇干燥时水分也呈一定速度下降,干燥时间为 300 min;胡萝卜经过烫漂处理后干燥时间明显延

长,需要 480 min 完成干燥过程,未烫漂处理的只需要 420 min,但表皮有褐变现象出现,新鲜胡萝卜的橙黄色消退,外观品质较差。

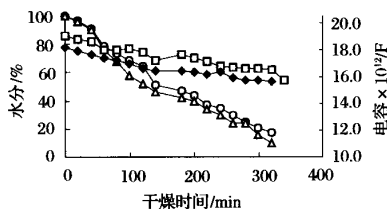
随着干燥过程的进行,4 种原料的电容逐渐下降,分别干燥到一定时间,样品的质量几乎不再减少时,电容也趋于稳定;样品质量的变化与电容变化趋势相同。经过烫漂处理的一组干燥时间相对延长一些,但产品色泽鲜艳,褐变程度低,外观品质好。经 100℃ 烫漂并加入护色剂处理后,引起品质劣变的多酚氧化酶,过氧化物酶及叶绿素降解酶等酶的活性被破坏,抑制了变色反应的进行,使产品颜色保持较好。



水分变化:烫漂处理样品(○);未烫漂处理样品(△)

电容变化:烫漂处理样品(□);未烫漂处理样品(◆)

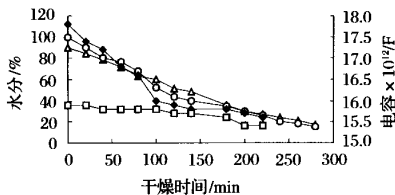
图 5 生菜干燥过程中电容和水分的变化



水分变化:烫漂处理样品(○);未烫漂处理样品(△)

电容变化:烫漂处理样品(□);未烫漂处理样品(◆)

图 6 蘑菇干燥过程中电容和水分的变化



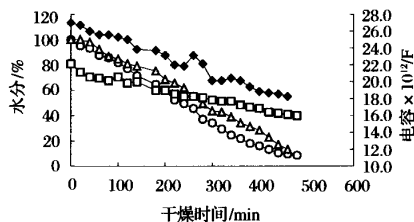
水分变化:烫漂处理样品(○);未烫漂处理样品(△)

电容变化:烫漂处理样品(□);未烫漂处理样品(◆)

图 7 生葱干燥过程中电容和水分的变化

2.3 介电特性与水分含量相关性的研究

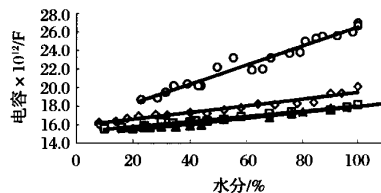
4 种蔬菜样品干燥过程中电容与水分的相关性见图 9、图 10。图 9 显示了 4 种供试蔬菜未进行烫漂处理直接热风干燥过程中电容与水分之间的相关性。从图 9 中可以得出,根类的胡萝卜电容最大,干燥过程中的变化量也最大,从 $2.7 \times 10^{-11} \text{ F}$ 下降到 1.83



水分变化:烫漂处理样品(○);未烫漂处理样品(△)

电容变化:烫漂处理样品(□);未烫漂处理样品(◆)

图 8 胡萝卜干燥过程中电容和水分的变化



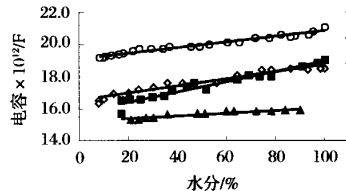
生菜(◇) $y = 0.0361x + 15.883, R^2 = 0.943$; 蘑菇(□) $y = 0.0281x + 15.228, R^2 = 0.981$; 生葱(▲) $y = 0.032x + 14.786, R^2 = 0.969$; 胡萝卜(○) $y = 0.0998x + 16.491, R^2 = 0.963$

图 9 未烫漂处理的蔬菜样品干燥过程中电容

与水分含量的相关性

$\times 10^{-11} \text{ F}$, 变化了 0.9, 其他 3 种材料的电容都小于 $2.0 \times 10^{-11} \text{ F}$, 干燥过程中的变化量也小为 0.2~0.4; 各种材料的电容变化与其水分变化的趋势都相同, 两者呈极显著的线性正相关性, 其数学模型为 $Y = aX + b$, 其中 Y 为电容, X 为水分含量, $a = 0.028 \sim 0.0998$, $b = 14.8 \sim 16.5$, 其相关系数都大于 0.94, 说明可以通过检测干燥过程中电容值来计算样品对应点水分值, 从而确定干燥的终点。

图 10 显示了 4 种供试蔬菜进行烫漂处理后热风干燥过程中电容与水分之间的相关性。从图 10 中可以得出, 烫漂后胡萝卜电容最大, 干燥过程中的变化量也最大, 从 $2.21 \times 10^{-11} \text{ F}$ 下降到 $1.60 \times 10^{-11} \text{ F}$,



生菜(◇) $y = 0.0222x + 16.513, R^2 = 0.935$; 蘑菇(■) $y = 0.0315x + 15.785, R^2 = 0.941$; 生葱(▲) $y = 0.088x + 15.184, R^2 = 0.894$; 胡萝卜(○) $y = 0.0545x + 15.88, R^2 = 0.97$

图 10 烫漂处理的蔬菜样品干燥过程中电容

与水分含量的相关性

变化了0.6,其他3种材料的电容都小于 2.0×10^{-11} F,干燥过程中的变化量也变小,为0.06~0.2;各种材料的电容变化与其水分变化的趋势都相同,两者呈极显著的线性正相关性,其数学模型为 $Y = aX + b$,其中Y为电容,X为水分含量, $a = 0.022 \sim 0.088$, $b = 15.2 \sim 16.5$,其相关系数都大于0.90,说明可以通过检测干燥过程中电容值来计算样品对应点水分值,从而确定干燥的终点。

4 讨论

食品的电特性主要有介电特性、电导特性和带电特性等(李里特 2002)^[7]。蔬菜属于活性生物体,在某种程度上也属于电介质。若将电介质置于外加电场中,电介质将被极化,产生相反电场,因而会减小电场中两电荷间作用力,减小电容器带电极板间的电位差,使电容量增大。蔬菜作为生物体由生物组织构成,从微观结构角度观察,其内部存在大量带电粒子形成生物电场,而生物电场的分布和强度又会从宏观上影响蔬菜的电特性。因此蔬菜的内部品质及其在加工过程中的品质变化可以通过对其电特性的无损检测加以判别,从而实现了对加工过程的控制(胥芳等 2002)^[8]。

在蔗糖标准溶液干燥过程中,只有水分的脱出过程,质量的减少完全来源于水分的蒸发,当浓缩到过饱和溶液时形成结晶,达到干燥终点,整个干燥过程中水分的下降趋势与电容的降低趋势完全相同,两者的线性相关系数在50kHz测定频率下为0.993 3,说明在干燥过程中完全可以用LCR检测到的电容值来确定产品水分的变化情况,在不需要取样分析的情况下实现对产品的非破坏性及连续性检测,准确确定干燥终点,从而实现了对干燥过程的自动化控制。

新鲜蔬菜是由许多化学物质构成的复杂的综合体,存在的物质的种类和数量影响到原料及产品的电物性,在干燥过程中各种物质的变化对产品的品质起着决定性的作用,如硬度、组织结构、色泽、复水性等,比蔗糖纯溶液干燥过程中的变化复杂得多。新鲜蔬菜化学物质中水分含量占90%以上,而自由水占绝大部分,具有纯水的物理性质,容易蒸发和冻结,结合

水不容易发生变化,一般情况下不易脱出,干燥过程本质上是一个脱水过程,自由水分首先被蒸发出去,导致样品质量下降,当脱水达到一定水分含量(即平衡水分)时,干燥过程几乎停止,生产上即确定为干燥终点(Paul, 1993)^[9],所以可以将样品质量的减少完全归结于水分蒸发。从供试的4种新鲜蔬菜干燥实验可以得出,干燥过程中水分含量的变化与介电特性参数值电容的变化趋势相同,两者呈极显著的线性正相关,原料的种类、大小、形状、质量和预处理方法对其相关性影响不大,可以认为两者能相互替代,所以可以用LCR仪器很方便地检测到食品干燥过程中水分含量的变化,从而实现了对干燥过程的在线、非破坏性地检测和控制,说明该装置的设计是可行的。

介电特性与新鲜原料化学特性之间的相关性有待进一步研究。

参考文献

- 1 Hara T. Drying[M]. Tokyo: Kagaku Kogyosha, 1973
- 2 Sagra Y, Ichiba J. Measurement of transport properties for the dried layer of coffee solution undergoing freeze drying[J]. Drying Technology, 1994, 12: 1 081~1 103
- 3 Higo A. An Electronic Oven. A Microwave Handbook for Foods[M]. Tokyo (Japanese): Nippon Kogyo Shinbunsha, 1987
- 4 Ryynanen S. The electromagnetic properties of food materials: a review of the basic principles [J]. Journal of Food Engineer, 1995, 26: 409~429
- 5 Sipahioglu Q, Barringer S A. Dielectric properties of vegetables and fruits as a function of temperature, ash and moisture content[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(1): 1 248~1 253
- 6 Sadao T, Yoshio H. Measurement of change in moisture content during drying process using the dielectric property of foods[J]. Food Science Technology Res, 2002, 8(3): 257~260
- 7 李里特主编. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002
- 8 胥芳, 张立彬. 基于介电特性的水果品质无损检测方法研究[J]. 浙江工业大学学报, 2001, 29(3): 230~234
- 9 Paul Singh R. Introduction to Food Engineering [M]. California: Academic Press Inc, 1986. 243~245

A Study of Using Food Electric Properties as a Non Destructive and Continuous Measurement in a Drying Process

Qin Wen¹ Chen Zongdao² Yoshio hugura³ Kanichi Suzuki³

1(Food Science Department, South-west Agriculture University, Chongqing, 400716, China)

2 (Food Science Department, Sichuan Agriculture University, Yaan, 625014, China)

3 (Facult of Applied Biological Science, Hiroshima University, Higashi-hiroshima, 739-8528, Japan)

ABSTRACT A relationship between moisture and capacitance of foods drying process is proposed. Pure sucrose solution, carrot, mushroom, lettuces and welsh onion were used as samples. The results showed significant correlation between the capacitance of each sample and moisture content. The moisture content and capacitance decrease with increase in drying time for every sample at 60℃ during drying process. The capacitance won't change until the moisture content arrived at a certain content. This technique will enable us to control drying conditions automatically without sampling the material during the drying process.

Key words dielectric property, dry process, non-destructive, control

中国酒类产品质量等级国家认证即将开展

日前,中国酿酒工业协会受国家认证认可监督管理委员会的委托,已向全国部分酒类企业介绍了《食品质量认证实施规则——酒类(征求意见稿)》认证实施内容,并且得到广泛的认可。

据了解,国家认监委在组织《食品质量认证实施规则——酒类(征求意见稿)》起草过程中,对本规则做了以下明确的要求:

(1)认证范围,主要是对认证受理、产品检验、检查和评定程序及管理等方面做出了规定。围绕酒类生产企业建立良好生产规范(GMP)、良好卫生规范(GHP)、危害分析与关键控制点(HACCP),并与产品的卫生、理化、感官等要求相结合,力求通过一次认证活动,对酒类生产质量保证能力及产品安全卫生质量水平做出全面评价。

(2)认证规则,分为产品质量和企业质量保证能力要求2部分。产品质量标准,以现行的国家标准为依据,明确各种酒的理化、卫生、感官等级要求;企业质量保证能力要求,参照了相关国家标准、GFSI——全球食品行动计划基准性标准有关内容,结合我国酒类企业实际情况而制定,其内容包括了对生产企业良好生产规范(GMP)、良好卫生规范(GHP)、危害分析与关键控制点(HACCP)应用的要求。

(3)增加了感官品评。感官品评,主要是对酒的色、香、味、风格要求等进行品评,是国际通行的酒类质量评价方法,也是国家标准中酒类分级的主要依据。本规则参照国际酒类品评惯例,将品酒师的感官品评作为产品质量检验的组成部分,品酒师出具的品评报告作为认证产品检测结果的依据之一。

(4)认证规则名称。认证规则命名为《食品质量认证实施规则——酒类》。是基于这样考虑的:一是便于形成食品质量认证规则系列;二是为其他食品认证规则的出台留有接口。

(5)认证标志。①酒类标志分3种图形,分别为“优级产品标志”、“一级产品标志”、“二级产品标志”,与国家标准中规定的“优级”、“一级”、“二级”产品相对应;②酒类标志图形力求与国家质检总局已发布的有机产品标志保持基本一致,以体现国家食品和农产品认证标志的整体一致性,便于提高食品和农产品认证标志的社会认知程度;③酒类标志图形中加注了“GMP”、“GMP&HACCP”字符,考虑到,一是中国酿酒工业协会多次就认证标志式样征求国内主要酒类企业意见,企业普遍赞成在认证标志中加注“GMP”、“HACCP”;二是参照美国SQF1000/2000认证(SQF标准是GFSI承认的标准之一)、泰国HACCP认证及我国台湾食品GMP认证的做法。

以上,认证规则的标准要求确定了其具有国家权威性、国际性、专业性的特点。进行酒类产品质量等级国家认证是国家认监委落实国务院《关于加快食品安全信用体系建设的若干指导意见的通知》的重要举措,认证规则的实施可以促进我国从根本上提高酒类产品的安全水平,有利于形成统一开放、公平竞争、规范有序的酒类产品流通市场,创建中国酒类名牌产品和企业,维护消费者权益、引导消费,国家政府出面规范酒类认证工作。