

混浊液态食品介质中脂肪的近红外光学特性研究

常 敏¹, 张学典¹, 徐可欣², 庄松林¹

(1. 上海理工大学光学与电子信息工程学院, 上海 200093; 2. 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要:脂肪是多数食品中含有的典型且重要的营养成分,同时从光学测量的角度分析,也是决定食品光学特性的重要组成成分。本文对混浊液态食品介质中脂肪在近红外波段的光学特性进行研究。采用牛奶作为基体通过添加稀奶油得到的样品作为复杂液态食品介质的模拟物,应用双积分球技术在 $10000 \sim 6000 \text{ cm}^{-1}$ 的近红外波段范围测量脂肪含量变化引起的光学特性变化。结果表明,脂肪含量的变化会使吸收系数和散射系数都发生改变,而且散射系数的变化更大。本文的工作为应用近红外光谱技术进行混浊液态食品介质的测量提供了光学上的理论指导。

关键词:脂肪;近红外;吸收特性;散射特性

中图分类号: O657.3

文献标识码: A

Study on Near-infrared Optical Properties of Fat in Turbid Liquid Food Materials

CHANG Min¹, ZHANG Xue-dian¹, XU Ke-xin², ZHUANG Song-lin¹

(1. College of Optics and Electronic Information Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093;

2. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Fat are typical and important nutrients of many food systems. From a view of optical measurement, the component plays a vital role in the determination of food optical properties. The optical properties of fat in turbid liquid food systems have been studied in the near-infrared region. A biological fluid of raw milk was firstly selected as a matrix and then a simulation sample for complex liquid food systems was created by adding butter oil to the raw milk matrix. The changes of optical properties with the contents of fat were measured by using the double integrating sphere technology in the wavenumber range from 10000 cm^{-1} to 6000 cm^{-1} . The results indicated that the absorbance and scattering coefficients changed with the contents of fat. Moreover, bigger changes of the scattering coefficient were induced by the contents of fat, which showed that the scattering effect cannot be ignored. This study provides valuable theory reference for the measurements of turbid liquid food materials by near-infrared spectroscopy.

Key words: fat; near-infrared; absorbance coefficient; scattering coefficient

1 引 言

现代食品工业要求在生产过程中采用快速、高效和非破坏性的技术测量食品的组成以确保食品质量和食品安全。光学技术,特别是近红外光谱技术能够满足上述要求。许多研究都报道了采用近红外光谱技术用于食品和农产品,例如水果^[1]、蔬菜^[2]、

粮食^[3]等食物的组成分析。目前已有采用近红外

基金项目:上海市重点学科建设项目(No. T0501);上海市优秀青年教师专项基金(No. slg-07008)资助。

作者简介:常 敏(1978-),女,讲师,博士,主要从事光电检测方面的研究工作。E-mail: changmin@yahoo.cn; changmin@usst.edu.cn

收稿日期: 2008-05-31

光谱测量水果中总糖和葡萄糖、果糖和蔗糖等单糖的含量的报道^[4]。近红外光谱技术在非均质牛奶的脂肪、总蛋白质和乳糖含量的检测中也有研究报道^[5]。

近红外光谱用于定量分析的理论基础是朗伯-比尔定律,但是由于大多数食品在近红外波段都呈现出混浊和不透明的特点,因此仅用朗伯-比尔定律不能充分描述光在混浊介质中的衰减。而传统的近红外光谱技术往往把结构复杂、成分多样、光学性质混浊的食品介质当作简单、均匀的对象来处理,仅把光的衰减归结为分子对光的吸收作用,而忽略了混浊介质对光的散射作用,因此给定量检测带来了一定的误差。为了进一步提高混浊介质所含成分的检测精度,有必要将吸收作用和散射作用分开来研究。

光在混浊介质中的传播主要包括吸收和散射两个过程,可以分别用吸收系数 μ_a 和散射系数 μ_s 来描述。在利用近红外光谱对复杂物质的组成进行测量的过程中,测定这两个参数对于理解光与混浊介质的相互作用是非常重要的。在生物医学领域,已有许多有关测量生物组织光学特性的研究报道^[6]。但在食品检测领域,仅有少数这方面的报道。

Yaroslavsky 等人结合辐射传输理论和蒙特卡洛模拟的方法在 700 ~ 1100nm 的近红外波段从积分球和准直透射的测量结果中推导了未稀释的牛奶样品的吸收和散射光谱^[7]。Wabnitz 等人用激光时间分辨成像技术在 680nm 测量了稀释后的多种浓度的牛奶样品的吸收和约化散射系数^[8]。Crofcheck 等人利用光纤采集的后向散射光测量了非均质奶油中脂肪的含量^[9]。Cubeddu 等人采用时间分辨光谱测量了苹果的光学特性^[10]。

本文将对混浊液态食品介质在近红外波段的光学特性进行研究。尽管水是液态食品介质中的主要成分,但是考虑到水在近红外波段属于强吸收介质,而且有关水在近红外波段的吸收特性已有很多研究报道,因此,水的光学特性将不作为本文的研究对象。由于脂肪是多数食品中含有的典型且重要的营养成分,同时从光学性质上分析,也是决定食品光学特性的重要组成成分,因此本文将对混浊液态食品介质中脂肪在近红外波段的光学特性进行研究。

2 材料与方法

2.1 仪器设备与参数设置

实验采用的双积分球系统如图 1 所示^[11]。系统中所用的光谱仪为美国 Perkin - Elmer 公司生产的 Spectrum - GX 型傅里叶红外光谱仪,光源借助了光谱仪的分光作用。图 1 中反射镜组的作用是为了将光谱仪发出的光线引入到积分球系统中。双积分球为 Labsphere 公司生产的型号为 IS - 060 - IG 的积分球,检测器使用日本滨松 (Hamamatsu) 公司生产的型号为 G5851 - 21 的红外检测器,检测的光谱范围为 10000 ~ 6000 cm^{-1} 。数据采集采用光谱仪自带的采集系统,同时有驱动光谱仪工作的作用。利用此测量系统,测量样品的漫反射率 R_d 、漫透射率 T_d 和准直透射率 T_c ,然后利用逆倍增 (IAD) 方法计算得到被测样品的光学特性参数。

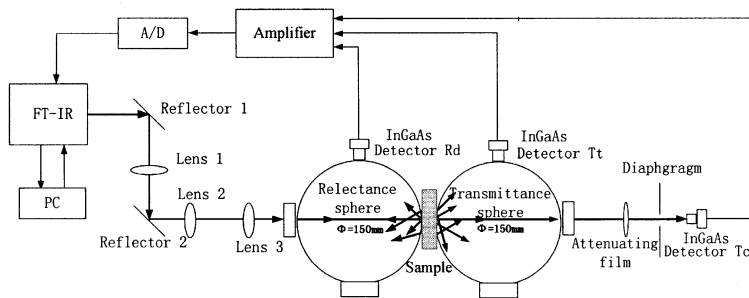


图1 测量光学特性的双积分球系统

2.2 样本描述

牛奶在光学上是一种混浊介质,而且又是一种含有脂肪、蛋白质、乳糖和盐类等组成极其复杂的食品,因此我们选用牛奶作为基体来模拟含有脂肪的典型混浊液态食品介质。由于不同的牛奶样品之间脂肪含量的差异较小,为了扩大研究的范围,采取了向牛奶中添加稀奶油的方式来扩大脂肪含量的变化范围,在添加的过程中对样品进行了均质操作以保证样品的均匀和稳定。实际中共得到 10 个样品,脂肪含量在 1.79 ~ 4.63g/dl 范围内变化,变化梯度为 0.284g/dl。其中脂肪的浓度采用经典化学方法标定。

2.3 数据处理与分析

逆倍增法 (IAD) 是计算混浊介质光学特性参数的主要技术之一,其基本原理是:对薄层生物组织,在入射光角度确定的情况下,假设组织的反射和透射是已知的,那么对于厚度为已知生物组织 2 倍、光学特性相同的片状生物组织,可以把它视为相同的两片,则每片组织的反射和透射为它本身的反射和

透射再加上另一层生物组织的反射和透射分量。这样,对任意厚度的片状生物组织,就可以如此成倍增加直至得到所期望的组织厚度为止。

本文采用逆倍增法求得吸收系数和散射系数。

3 实验结果与分析

3.1 脂肪含量变化对吸收特性的影响

图2(a)为脂肪含量变化引起的吸收系数的变化情况。除了在波数为 6900cm^{-1} 水的吸收位置附近吸收系数变化明显外,其他位置的变化相对较小,数据几乎重叠在一起,难以看清。为了清晰地观察脂肪含量变化对吸收系数的影响,将不同脂肪含量的牛奶样品的吸收系数扣除脂肪含量最小的样品的吸收系数,求得相对变化,得到的结果如图2(b)所示。可以看出,在实验测量的整个近红外波段($10000 \sim 6000\text{cm}^{-1}$),吸收系数随着脂肪含量的增加而增大,而且在 $8500 \sim 6000\text{cm}^{-1}$ 的范围内,由脂肪浓度变化引起的吸收系数变化幅度较大。

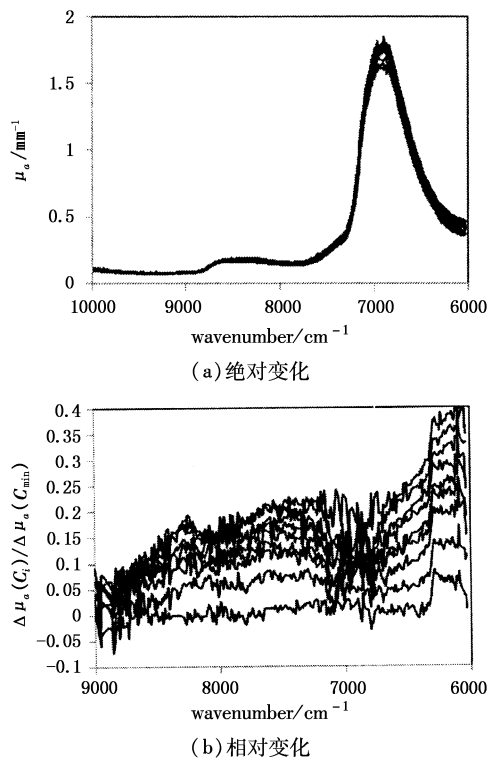


图2 脂肪浓度变化引起的吸收系数变化

3.2 脂肪含量变化对散射特性的影响

图3(a)为脂肪含量变化引起的散射系数的变化情况,与吸收特性的变化(图2(a))相比,脂肪含量变化引起的散射系数的变化要明显的多,而且散射系数随脂肪含量增加而具有明显增大的趋势。图3(b)为不同脂肪含量的牛奶样品的散射系数扣除脂肪含量最小的样品的散射系数求得的相对变化。可以看出在 $10000 \sim 7000\text{cm}^{-1}$ 的范围内,由脂肪含

量变化引起的散射系数的变化幅度较大。

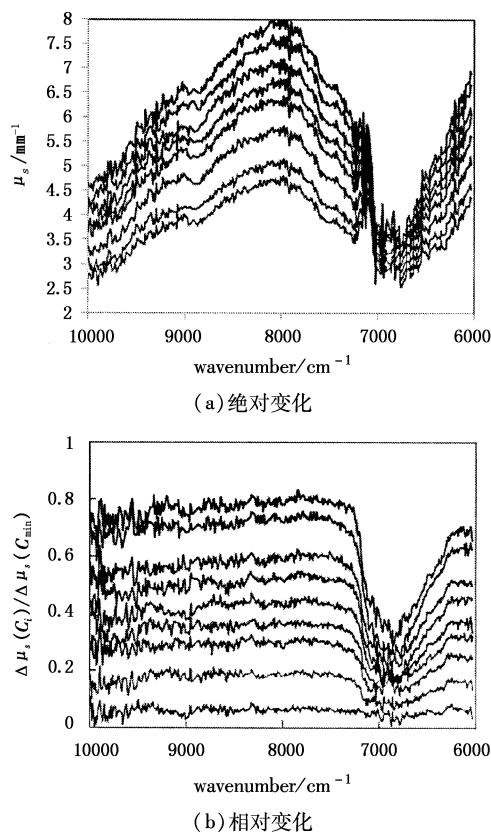


图3 脂肪浓度变化引起的散射系数变化

4 结论

本文以牛奶基体添加稀奶油的方式模拟复杂的液态食品介质的组成,通过实验分析了脂肪含量变化引起的吸收系数和散射系数的变化,得出如下结论:脂肪含量的变化引起了吸收系数和散射系数同时发生变化,而且脂肪含量的增加使得吸收系数随之增大;与吸收系数的变化相比,脂肪含量变化引起的散射系数的变化更加明显。这说明,采用近红外光谱技术对复杂的混浊液态食品介质中脂肪含量进行测量时,物质对光的散射作用是不可忽略的。本文的工作为研究光与混浊食品介质之间的吸收和散射作用以及光在其中的传输提供了基础,后续的研究工作将在本文的基础上展开,扩大研究范围,针对不同类别食品的光学测量开展研究。

参考文献:

- [1] Leon L, Kelly J D, Downey G. Detection of apple juice adulteration using near-infrared transreflectance spectroscopy [J]. Appl. Spectrosc., 2005, 59(5): 593-599.
- [2] 谢丽娟, 应义斌, 于海燕, 等. 近红外光谱分析技术在蔬菜品质无损检测中的应用研究进展 [J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(6): 1131-1135.
- [3] 郑咏梅, 陈星旦, 李荣福, 等. 小麦近红外特征波长提取及蛋白质含量测定 [J]. 激光与红外, 2003, 33(2):

- 125 - 127.
- [4] Chang W H, Chen S, Tsai C C. Development of a universal algorithm for use of NIR in estimation of soluble solids in fruit juices [J]. Transactions of the ASAE, 1998, 41(6): 1739 - 1745.
- [5] Woo Y A, Terazawa Y, Chen J Y, et al. Development of a new measurement unit (MilkSpec - 1) for rapid determination of fat, lactose, and protein in raw milk using near-infrared transmittance spectroscopy [J]. Appl. Spectrosc., 2002, 56(5): 599 - 604.
- [6] 张琳, 张连顺, 许棠, 等. 生物组织光学参数的离体和体无损测量 [J]. 光子学报, 2004, 33(11): 98 - 102.
- [7] Yaroslavsky I V, Yaroslavsky A N, Goldbach T, et al. Inverse hybrid technique for determining the optical properties of turbid media from integrating-sphere measurements [J]. Appl. Opt., 1996, 35(34): 6797 - 6809.
- [8] Wabnitz H, Rinneberg H. Imaging in turbid media by photon density waves: spatial resolution and scaling relations [J]. Appl. Opt., 1997, 36(1): 64 - 74.
- [9] Crofcheck C L, Payne F A, Hicks C L, et al. Fiber optic sensor response to high levels of fat in cream [J]. Transactions of the ASAE, 2002, 45(1): 171 - 178.
- [10] Cubeddu R, D'Andrea C, Pifferi A, et al. Time-resolved reflectance spectroscopy applied to the non-destructive monitoring of the internal optical properties in apples [J]. Appl. Spectrosc., 2001, 55(10): 1368 - 1374.
- [11] 常敏, 彭丹, 徐可欣. 温度对生物组织模拟液光学特性影响的研究 [J]. 光学学报, 2007, 27(6): 1080 - 1083.

中国国际光电周纪要

第三届中国国际光电周于2008年11月25日—27日在北京举行。光电周系列活动包括:第十三届中国国际激光·光电子及光电显示产品展览会(ILOPE2008);中国光电产业发展论坛;第五届北京激光高峰论坛等活动。

第十三届中国国际激光·光电子及光电显示产品展览会(ILOPE2008)开幕式在北京中国国际展览中心隆重举行,参加开幕式的有中国工程院院士陈良惠先生、周立伟先生、沈德忠先生、中国光学光电子行业协会理事长韩建忠先生、中国光学光电子行业协会副理事长杨定江先生、中展集团总裁孟文慧女士、清华大学教授章毓晋先生、中国图像图形学学会秘书长刘凯龙先生等。开幕式由中国光学光电子行业协会副秘书长所洪涛主持。简短的开幕式上,中国光学光电子行业协会理事长韩建忠先生发表致辞,指出光电产业目前处在蓬勃发展的状况,我们今天的产业发展局面是历史上最好的时期之一。此届展览会汇集了中外300多家激光、光学元器件、红外、光电显示、光伏材料等方面的光电企业参与,是一次光电新品展示、产品采购、光电技术和市场交流的盛会。

25-27日为期3天的展览会参观人数超过3万人。相干、顶尖、镭宝、先锋、光谱物理、大恒光电等光学元器件、激光器件厂商展示了光学、激光方面的新产品和新技术。除了老牌的光学、激光器件、红外等方面的企业外,以峨眉山半导体、保定三晶等为代表的一批单晶硅/多晶硅企业成为展会的新星。以山东华光、北京四通智能、南京洛普等为代表的LED中下游厂商展示了LED产业的新产品。

本届ILOPE2008展会的特色是红外应用厂商的集中展示,几乎包括了国内市场知名的红外厂商,以中国电子科技集团公司第十一研究所、昆明物理所为代表的国有大型科研院所,以武汉高德、广州飒特、浙江大立等为代表的优秀红外民营企业,以FLIR、HGH、加创电子等为代表的国外知名红外应用企业等集中展示了红外在成像、探测、检测、安防等方面的应用。值得一提的是美国FLIR公司专门从美国空运来一辆安装先进红外夜视系统的宝马740i,展示红外辅助驾驶方面的先进技术,吸引了大量观众。

2008年11月25日下午在综合楼210会议室举行的中国光电产业发展论坛,囊括了光电产业的以下几个方面的产业概述及进展:深紫外全固态激光(DUV—DPL)技术,Ⅲ—V族化合物半导体光电探测器,焦平面探测器,有限差分及时域方法在纳米光学中的应用,以及液晶产业、LED显示产业、红外透射材料等。论坛会场座无虚席,精彩的报告吸引了300多名听众。

第五届激光高峰论坛于2008年11月26日上午在综合楼210会议室举行,该论坛主要就超快激光器、光纤激光器、飞秒激光器、大功率皮秒激光器等前沿技术进行了报告和交流。听众人数超过了200人。

一年一度的光电周系列活动是中国光学光电子行业协会主办的重要的活动,每年的光电周都能吸引300多家光电企业,3万多名光电从业者、学者、专家、学生来交流互动,是光电行业的盛会。明年的光电周将有更多精彩,期望更多光电企业、同仁的参加!

(中国光协供稿)