

# 红外成像技术在生命科学中的应用

宋玉伟, 宋纯鹏

(河南大学 生命科学学院, 中国河南 开封 475001)

**摘要:** 红外成像技术是利用物体自身各部分对红外热辐射的差异把红外辐射图像转换为可视图像的技术。对红外成像技术历史进行了简单介绍, 对远红外成像技术在生命科学包括医学、植物、动物及农业中的应用进行了综述, 并对红外成像技术在生命科学中的应用作了展望。

**关键词:** 红外热像仪; 热图; 植物; 动物

中图分类号: Q945

文献标识码: A

文章编号: 1007-7847(2004)S0-0121-05

## Application of Infrared Imaging Techniques in Life Science

SONG Yu-wei, SONG Chun-peng

(College of Life Sciences, Henan University, Kaifeng 475001, Henan, China)

**Abstract:** Infrared Imaging Techniques can change the infrared radiation into visible images. It utilizes every part of difference of infrared radiation of objects to obtain the details of the thermal images. The history in thermal imaging technology is briefly introduced. The application in the research of life science including medical, plant, animal and agriculture are also discussed.

**Key words:** infrared thermal camera; thermal images; plant; animal

(Life Science Research, 2004, 8(2): 121 ~ 125)

红外线是一种电磁波, 又称为热线。红外线辐射是自然界存在的一种最为广泛的电磁波辐射, 它是基于任何物体在常规环境下都会产生自身的分子和原子无规则运动, 并不停地辐射出热红外能量, 分子和原子的运动愈剧烈, 辐射的能量愈大; 反之, 辐射的能量愈小。温度在绝对零度以上的物体, 都会因自身的分子运动而辐射出红外线。通过红外探测器将物体红外热辐射的功率信号转换成电信号后, 经成像装置的放大处理输出信号就可以完全一一对应地模拟扫描物体表面温

度的空间分布, 形成视频信号传至显示屏或监视器上, 得到与物体表面热分布相应的热像图。利用这一技术研制成的装置称为红外热成像装置或红外热像仪 (Infrared thermal camera)<sup>[1]</sup>。红外成像技术应用相当的广泛, 刚开始主要应用于军事, 后来随着民用事业的发展, 在工业、农业、消防、森林管理等方面都崭露头角。尤其是在生物学的研究方面, 逐渐成为研究的一种好方法和新技术。本文主要对红外成像技术在医学、植物学研究、动物学研究及农业生产中的应用作一简要的综述, 进

收稿日期: 2003-12-03; 修回日期: 2004-04-02

基金项目: 国家 973 项目资助(2003CB114305)

作者简介: 宋玉伟(1974-) 男, 河南南阳人, 硕士, 主要从事植物分子及细胞生理学研究, E-mail: nanyangyws@sohu.com; 宋纯鹏(1962-) 男, 河南民权人, 博士, 河南大学生命科学学院教授, 博士生导师, 主要从事植物抗逆分子生物学及信号转导方面研究。

而说明红外成像技术在促进生命科学的发展中扮演着日益重要的角色。

## 1 红外成像技术的历史

在 1800 年,英国物理学家 F. W. 赫胥尔从热的观点来研究各种色光时发现了红外线,从此开辟了人类应用红外技术的广阔道路。在第二次世界大战中,德国人用红外变像管作为光电转换器件,研制出了主动式夜视仪和红外通信设备,为红外技术的发展奠定了基础。二次世界大战后,美国德克萨兰仪器公司经过近年的探索,开发研制的第一代用于军事领域的红外成像装置,称之为红外寻视系统(FLIR),该系统原始的形式是一种非实时的自动温度分布记录仪,后来随着 20 世纪 50 年代光子探测器的发展,才开始出现高速扫描及实时显示目标热图像的系统。20 世纪 60 年代早期,瑞典将军公司成功研制出了具有测温的功能第二代红外成像装置。到了 20 世纪 90 年代中期,美国 FSI 公司首先研制成功由军用技术(FPA)转民用并商品化的新一红外热像仪,所用技术功能更加先进,现场测温时只需对准目标摄取图像,并将上述信息存储到机内的个人计算机卡上,即完成全部操作,各种参数的设定可回到室内用软件进行修改和分析数据,最后直接得出检测报告。红外热成像技术在西方国家发展比较早,在我国近十年来应用发展也甚快,已初具规模,某些技术已跨入世界先进行列。目前,红外成像技术已经成为工农业生产、科学研究和国防建设等许多研究领域不可缺少的尖端技术之一。

## 2 红外成像技术在生命科学中的应用

不可否认,军事的应用是红外成像技术发展的主要动力,但民用需求的不断增长也为红外成像技术的发展注入了新的活力。近些年来,红外成像技术在民用方面的重要作用日益凸显。在工业、农业、环境控制、森林管理、电力、消防、石化以及医疗等方面应用也逐步完善和成熟。随着红外探测器在技术上的不断突破,热成像仪换代时间也大为缩短,应用的领域不断拓宽,测量的精度和准确度日益提高。

### 2.1 在医学中的应用

人体是一个天然的生物发热体,正常人体的温度分布具有一定的稳定性和对称性。但由于解剖结构、组织代谢、血液循环及神经状态的不同会

造成机体各部位温度有所差异,可形成不同的热场。当人体某处存在疾患或功能发生改变时,该处血流和细胞代谢会发生变化,导致局部温度改变,表现为温度偏高或偏低。如果全身或局部的温度偏离正常,可能提示存在疾病或损伤。因此,温度是最常用的观察与衡量人体机能正常与否的指标之一,获取全身或局部温度是一种诊断手段。红外成像仪通过光学电子系统将人体辐射的远红外光波经滤波聚集、调制及光电转换,变为电信号,并转换为数字量,经多媒体图像处理技术处理,以热图形式显示人体的温度场。同时,应用专用分析软件对获取的温差进行分析,并以图像的形式表现出来。如果将机体正常状态与异常状态时的热图比较,结合临床可以帮助医生判断病灶的部位、疾病的性质、病变的程度。热成像系统在热扫描过程只接收人体热辐射,对人体无介入损伤,对环境无污染,热扫描过程灵敏快捷,无需特殊准备,可以同时进行多部位的扫描,如头、颈、胸、腹、盆腔等操作简单,临床应用范围广。在癌前期预示、肿瘤的鉴别诊断及普查、心脑血管疾病、外科、皮肤科、妇科、五官科、中医、人体健康状态的综合检查和评估以及对各类疾病的治疗和药物疗效过程及结果的观察、分析等方面都有着极其重要的应用前景。自 1957 年第一次使用热成像技术探测乳腺癌以来,其医学领域的应用已经有 40 多年的历史。在此过程中,成果斐然,如对乳腺癌的早期诊断<sup>[2,3]</sup>、伤口愈合的红外观察<sup>[4]</sup>、风湿性关节炎和发病状况的诊断<sup>[5]</sup>、牙科治疗初步研究<sup>[6]</sup>、耳鼻喉疾病的诊断<sup>[7]</sup>、胸部肿块的红红外诊断<sup>[8]</sup>等,可以说远红外成像技术在医学中的应用已经成为一种新的诊断手段。在发现表浅肿瘤如乳腺癌、甲状腺癌、皮肤癌等,对脉管炎以及其他炎症,对骨折、骨髓炎、挫伤、关节炎,对确定烧伤和冻伤边缘,对合理的选择截断部位,对植皮、脏器、移植后排异反应的观察,对妇产科临床如胎盘的定位、针灸的经络穴温度反应等,都表现出了日益强大的应用能力,必将促进医疗卫生事业的快速发展。

目前,在美、日及欧洲等发达国家,该技术已广泛应用,国外许多医学院校也开设了相关课程。医用红外热像技术正逐渐发展成为一门独立的学科,即红外影像学。当然,红外成像技术在医学中的应用还需要更为广泛的临床试验和研究,相信随着各种试探性工作的进展和医学技术、红外成

像技术、计算机多媒体等技术的发展,红外成像技术一定能够在一般的医院常规使用,其诊断的水平也会得到极大地提高。

## 2.2 在植物学研究中的作用

植物体天生的固定性决定了植物往往会通过调节自身体内的信号网络去适应不断变化的环境刺激,这在植物叶片表面的气孔行为会突出表现出来。植物体叶片上下表皮分布着很多的气孔,它的张开和闭合会调节叶片表面水分的蒸发,而水分的丧失会带走叶片表面的热量进而在温度上表现出来。运用高分辨率的红外成像仪对植物的气孔行为进行检测可使我们及早的发现植物生理反应,尤其是在逆境胁迫下的早期反应。

早在 160 年前就有人对植物株冠和叶片温度进行研究,大约在 40 年前人们对植物进行热图(thermal images)记录研究<sup>[9]</sup>,但是由于当时技术的限制仅仅是对植物进行温度上的粗略检测,所进行的研究还处于探索性阶段。自 1980 早期以来,远红外成像技术首先被大量的应用于农业和环境检测。他们主要是通过空中摄像技术来对所探测的目标进行宽范围的检测和分析。直到敏感摄像技术得到了发展,才开始了对植物进行单株(single plant)水平上的研究。其具有的多功能性,准确性和较高的分辨率(可达 0.01℃)使得对单株植物叶片和幼苗的实时观测成为了可能。也因此植物研究中的应用掀起了热潮。如在重力作用下,对植物叶片表面与周围环境之间热交换的影响的研究<sup>[10]</sup>、通过对植物如拟南芥、大麦突变体的筛选<sup>[11-13]</sup>、对植物气孔导度的研究<sup>[14]</sup>、植物在胁迫环境中的研究<sup>[15,16]</sup>、在寒冷环境中植物体内的冰核形成过程的观测研究<sup>[17,18]</sup>、谷类作物由于疾病和阵风而造成的旗叶温度的差异测量<sup>[19,20]</sup>、叶片蒸腾速率研究<sup>[21]</sup>、单细胞的研究<sup>[22]</sup>等。研究成果十分显著,研究的对象也大幅度的拓宽。

## 2.3 在动物学研究中的作用

对于鸟类和哺乳动物来说,它们和人体一样都是一个天然的发热器(除个别例外)。机体的损伤和病变往往会导致体温的改变。长期以来,人们对动物的病变的研究仅限于用肉眼评定和手工测量的方法及体内组分的分析上。这种方法很难获得适用的准确性、高效率 and 一致性。同时也不能对其所表现的后期发病症状进行早了解、早诊断。应用红外成像技术可以提高我们实验研究的效率、准确性,同时还可以及早地预测我们所要研

究的结果,节省研究的时间。如通过红外成像技术检测毒素处理后动物的皮肤温度变化进而对毒素作用效果进行研究<sup>[23]</sup>。通过红外成像技术对蝙蝠飞翔时翅温的测定发现它要比周围的温度高 1~2℃ 等<sup>[24]</sup>,还有比利时使用基于微处理器的红外监测系统识别母猪发情。该系统经种猪场现场测试,红外监测系统识别母猪正常发情的准确率达到 80% 以上,并可有效地减少了母猪非生产繁殖的天数与投入的人工费用。总之红外成像系统在动物研究中的应用还比较少,而且还处于起步阶段,需要更多的进行实验和研究。

## 2.4 在农业中的应用

红外成像技术应用于农业生产方面已有很多,刚开始用于园艺产品的分析和苹果损伤的发现<sup>[25,26]</sup>和植物健康状况的评估<sup>[27,28]</sup>。目前,已被广泛应用于农业和园艺中的贮藏室的设计和控制在蔬菜的保鲜贮藏、对一些敏感的生物产品进行质量评估和控制<sup>[29]</sup>、对农作物的生理衰变的检测<sup>[30]</sup>。在水果和蔬菜成熟时期,通过热成像对其进行热温的测定往往可以评估气候对其的胁迫。还有水果和蔬菜新鲜程度的评估、植物不同部分受虫害的影响、苹果成熟程度、糖分及种间的差异的鉴定、空气对流量的测定等<sup>[31]</sup>。

当今高科技技术已成为新的产业和投资热点,创造了亿万财富和无法预计的社会效益。以红外热成像(TIS)技术为核心的红外遥感可以对大面积农作物的生长情况、有无病虫害以及产量估算等方面提供可靠而及时的情报。各种农作物有不同的吸收、反射和辐射光谱特征。这种光谱特征不仅表现在各种农作物在同一光谱区的反射不同,而且同一种作物在不同的光谱区的反射(辐射)也有显著的差别,甚至同一种作物在不同的季节、不同的地区以及不同的太阳照射角度下,它的反射光谱也各不相同。正是这种不同的光谱特征为确定作物的长势和监督作物的病虫害提供了依据。也正是根据这些对作物不同时期的长势进行监视,从而判断各个时期生长状态以达到提前对最终的作物产量估算,从而为农产品的运输、贮藏、加工、市场调度和国际贸易等方面的工作带来便利。

人口、环境和粮食问题已成为困扰全球发展的 3 大问题。在有限的土地上要获得更高的产量必须走精耕细作的道路。美国农学家于 20 世纪 90 年代初期率先提出来的精确农业(精密农业)

或精确农作(精密耕作)。精确农业的核心是指实时地获取地块中每个小区(每平方米到每百平方米)土壤、农业作物的信息,诊断作物长势和产量在空间上差异的原因,并按每一个小区做出决策,准确地在每一个小区上进行灌溉、施肥、喷洒农药,以求达到最大限度地提高水、肥和杀虫剂的利用效率,减少环境的污染目的。精确农业要实现3个方面的精确即:定位的精确、定量的精确、定时的精确。事实上,精确农业是农业工作者长期一贯的努力目标,即以最少的物质(水、肥、杀虫剂)与能量消耗,最大地生产高质量的粮食,而给环境造成最小的污染并给予土壤肥力以良性的循环,防止土壤退化。精确农业之所以能够在20世纪90年代提出来,与高新技术的发展密不可分。红外遥感是快速、大面积测试作物各种状态的现代化手段,其优势在于无接触地逐个单元对地物“观察”,无需采样统计与后处理。遥感人的眼睛延伸。遥感比眼睛功能更强之处在于它能将地物对阳光的反射与自身的辐射光分解为各个波段分别成像,还能够对人的视觉范围以外的红外光或长波的电磁波摄影成像。将波段分解越细,越能够将看似颜色一样的地物如雪与石灰、水稻与小麦等区分开来,并可评估作物的长势和进行产量预测,对其自身的状态有所反映。

### 3 展望

毫无疑问,红外成像技术必将在生命科学领域开花结果并将硕果累累。在医学方面,新颖的红外医用热像仪将进一步用在癌症等病理检查上。另外,一种以远红外光谱为基础的光学断层成像系统将有可能成为新的成像方法。它对于近几年内发展起来的崭新学科领域——分子成像的研究必将产生强大的推动力,使疾病在基因水平上的早期诊断和监测以及更进一步地进行微观疗效评价成为可能。其用途和作用正日益增强,对SARS传染病的监控已足可以说明这一点。在植物研究方面,大量植物气孔突变体的筛选及气孔生理特性的研究必将对植物逆境生理和代谢提供更多的参考数据,推动农业的快速发展。在动物研究方面,红外成像技术应用的不断探索和研究领域的不断拓宽,将会培育出更多的性状更为优良动物品种,同时也会加快新型药品的研制,更好的为人类健康服务。在工农业生产中红外成像测温技术,无损探伤、远红外烘干技术等将在许多生产环

节领域内得到推广应用,为提高生产效率和实现生产自动化作出贡献。在农业方面,利用遥感技术进行大面积的农林监护、发现病虫害等将进一步得到应用。

红外成像技术是一门综合性技术,它的发展同光学技术、电子技术、半导体技术、激光技术、信息处理技术等的发展又互相渗透,形成彼此促进、相辅相成的密切关系。随着这些学科的发展,红外成像技术必将有着广阔的应用前景。

### 参考文献(References):

- [1] 彭焕良. 成像技术发展综述[J]. 激光与红外, 1997, 6: 131-136.
- [2] WRIGHT T, McGECHAN A. Breast cancer: new technologies for risk assessment and diagnosis[J]. Mol Diagn, 2003 7: 49-55.
- [3] PARISKY Y R, SARDI A, HAMM R, *et al.* Efficacy of computerized infrared imaging analysis to evaluate mammographically suspicious lesions[J]. AJR Am J Roentgenol, 2003, 180: 263-269.
- [4] KLIOT D A, BIRNBAUM S J. Thermographic studies of wound healing[J]. Am J Obstet Gynecol, 1965, 93: 515-521.
- [5] COSH J A. Infrared detection in the assessment of rheumatoid arthritis[J]. Proc R Soc Med, 1966, 59: 88-93.
- [6] CRANDELLI C E, HILL R P. Thermography in dentistry: a pilot study[J]. Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 1966, 21: 316-320.
- [7] LINDSTROM J. Infrared thermography in otolaryngology[J]. Acta Otolaryngol, 1966, 224: 434.
- [8] HARRIS D L, GREENING W P, AICHROTH P M. Infrared in the diagnosis of a lump in the breast[J]. Br J Cancer, 1966, 20: 710-721.
- [9] TANNER C B. Plant temperatures[J]. Agronomy Journal, 1963, 55: 210-211.
- [10] KITAYA Y, KAWAI M, TSURUYAMA J, *et al.* The effect of gravity on surface temperatures of plant leaves[J]. Plant Cell Environ, 2003, 26: 497-503.
- [11] MUSTILLI A C, MERLOT S, VAVASSEUR A, *et al.* Arabidopsis OST1 protein kinase mediates the regulation of stomatal aperture by abscisic acid and acts upstream of reactive oxygen species production[J]. Plant Cell, 2002, 14: 3089-3099.
- [12] MERLOT S, MUSTILLI A C, GENTY B, *et al.* Use of infrared thermal imaging to isolate Arabidopsis mutants defective in stomatal regulation[J]. Plant, 2002, 30: 601-609.
- [13] RASKIN I, LADYMAN J A R. Isolation and characterization of a barley mutant with abscisic acid-insensitive stomata[J]. Planta, 1988, 173: 73-78.
- [14] JONES H G. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf

- surfaces[J]. *Plant Cell Environ*, 1999, 22: 1043-1055.
- [15] CHAERLE L, Van Der STRAETEN D. Imaging techniques and the early detection of plant stress[J]. *Trends Plant Sci*, 2000, 5: 495-501
- [16] HASHIMOTO Y, INO T, KRAMER, *et al.* Dynamic analysis of water stress of sunflower leaves by means of a thermal image processing system [J]. *Plant Physiol*, 1984, 76: 266-269.
- [17] WISNIEWSKI M, LINDOW S E, ASHWORTH E N. Observations of ice nucleation and propagation in plants using infrared video thermography[J]. *Plant Physiol*, 1997, 113: 327-334.
- [18] PEARCE RS, FULLER M P. Freezing of barley studied by infrared video thermography[J]. *Plant Physiol*, 2001, 125: 227-240.
- [19] NILSSON H E. Remote sensing and image analysis in plant pathology[J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1995, 17: 154-166.
- [20] DALEY P F. Chlorophyll fluorescence analysis and imaging in plant stress and disease[J]. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 1995, 17: 167-173.
- [21] INOUE Y, KIMBALL B A, JACKLON R D, *et al.* Remote estimation of leaf transpiration rate and stomatal resistance based on infrared thermometry [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1990, 51: 21-33.
- [22] ZOHAR O, IKEDA M, SHINAGAWA H, *et al.* Thermal imaging of receptor-activated heat production in single cells [J]. *Biophysical Journal*, 1998, 74: 82-89.
- [23] VAN HOOGMOED L M, SNYDER J R. Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses[J]. *Vet J*, 2002, 164: 129-141.
- [24] WINSTON C, LANSATER, SUSAN C. *et al.* Wing temperature in flying bats measured by infrared thermography[J]. *Journal of Thermal Biology*, 1997, 22: 109-116.
- [25] MIYAZATO M, ISHIGURO E, DANNO A. Quality evaluation of agricultural products by infrared imaging method. IV. Grading of fruits and root vegetables for bruise and other surface defects[J]. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University*, 1981, 31: 149-156.
- [26] BEVERLY D, HUNG Y C, PRUSSIA S E, *et al.* Thermography as a nondestructive method to detect invisible quality damage in fruits and vegetables[J]. *Hort Science*, 1987, 22: 1056-1062.
- [27] TOLLNER E W, BRECHT J K, UPCHURCH B L. Nondestructive evaluation: Detection of external and internal attributes frequently associated with quality or damage, in "Postharvest-handling: a system-approach"[J]. *Food Science and Technology Series*, 1993, 7: 225-255.
- [28] JAMES K R, ALDOUS D E. Thermal imaging: Tool for measurement of turfgrass stress[R]. 4th ATRI Turf Research Conference, Proceedings of the 4th ATRI Research Conference, Concord West, NSW: Australian Turfgrass Research Institute Ltd, 1997. 80-83.
- [29] LINKE M, BEUCHE H, GEYER M, *et al.* Possibilities and limits of the use of thermography for the examination of horticultural products[J]. *Agrartechnische Forschung*, 2000, 6: 110-114.
- [30] INOUE Y. Remote detection of physiological depression in crop plants with infrared thermal imagery[J]. *Japan Jour Crop Sci*, 1990, 59: 762-768.
- [31] MORAN M S. Thermal infrared measurement as an indicator of plant ecosystem health[Z]. USDA-ARS Southwest Watershed Research Center, Tuscon Arizona, 2000, 21: 42-48.