

微波-红外测物质含水量方法的研究

刘文利^{1,2}, 石熠灿^{1,2}, 黄秋月^{1,2}, 贾贵儒¹, 何志巍^{1*}

(1. 中国农业大学理学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要 [目的] 探寻能够快速、准确、方便地测量物质含水量的方法。[方法] 以砂子为例, 基于微波加热原理与红外测温原理, 研究物质在微波加热下温度变化和含水量的关系, 绘制二者的变化规律曲线, 提出一种新型测量物质含水量的方法。[结果] 试验表明, 微波红外法在测定物质含水量时更能节省时间, 提高工作效率, 并且准确方便。[结论] 微波-红外测定物质含水量的方法可用于土壤、粮食等物质含水量的测定, 具有很好的发展前景。

关键词 微波-红外线测温; 温度变化; 含水量

中图分类号 S121; O484 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2014)19-06397-02

Study on Microwave-Infrared Measurement of the Water Content of the Material
LIU Wen-li, HE Zhi-wei et al (College of Science, China Agriculture University, Beijing 100083)

Abstract [Objective] To obtain a method for rapidly, accurately and conveniently measure water content of the material. [Method] Using the sand as an example, the relationship between the temperature change and water content was studied based on microwave heating and infrared temperature measurement principle, and drew the curve. A new method to measure the material water content was put forward. [Result] The results showed that the method is time-saving, efficient and accurate. [Conclusion] This method can be used to measure the water content of soil and grain, which has a good development prospect.

Key words Microwave-infrared thermometry method; Temperature changes; Water content

含水量对物质(粮食、土壤等)性质有重要影响, 寻找一种快速、准确测量物质含水量的方法有其现实意义。以土壤为例, 土壤含水量是农业生产中的一个重要参数。农田土壤水与作物生长关系最为密切, 它直接影响到作物生长的水、气、热、养分等的吸收状况。另外, 作物水分临界期(作物水分临界期指土壤缺水对作物生长和产量影响最严重的时期)也有所不同, 不同作物在不同成长阶段所需的水分是不同的。所以, 农田土壤水的分布状况是作物生长环境的核心, 及时了解不同时期的土壤墒情状况, 同时结合天气情况, 对农业生产提出有针对性的、科学性的灌溉建议对农业生产是十分必要的。测量土壤含水量为土壤墒情提供了科学的依据, 能够为节水灌溉起到指导作用。

目前, 测量物质含水量的方法主要有: 直接干燥法、红外干燥法、电阻法、电容法、中子法、射线法等^[1]。以上方法都能测得土壤含水量, 但要满足实际生产需求, 仍需要更快速、准确、方便的测量含水量的方法。笔者以砂子为例, 在大量试验操作的基础上, 提出了一种利用微波-红外法测物质含水量的方法。

1 试验原理

1.1 微波加热机理 一般情况下, 物质都是由极性分子和非极性分子组成。在微波电磁场的作用下, 物质中的极性分子会从原来的热运动状态转变为跟随微波电磁场的交变而取向排列状态^[2]。例如: 采用的微波频率 2 450 MHz, 就会出现每秒 24 亿 5 千万次交变, 分子间就会产生激烈的摩擦^[3]。在这一微观过程中, 微波能量转化为物质内的热量, 使物质

温度呈现为宏观上的升高。

微波加热的一个基本条件是: 物质本身要有吸收微波。微波选择性加热的特点, 是物质的相对介电常数越大, 对微波能的吸收越多。水的相对介电常数随温度变化如图 1 所示, 介电常数很大, 是吸收微波很好的介质, 所以凡是含水的物质必定会吸收微波。地球表面上大部分无水分(如干燥的土壤和岩石等)的介电常数, 一般介于 1.7 ~ 6.0, 砂子的相对介电常数为 3 ~ 5; 水的相对介电常数在 0 ~ 40 °C 范围内变化时为 88 ~ 73。岩石和土壤的介电常数与其含水量几乎呈线性关系增长, 并且与水的介电常数特性相同, 所以天然材料的电学特性的变化, 一般是由于含水量的变化所致^[4]。

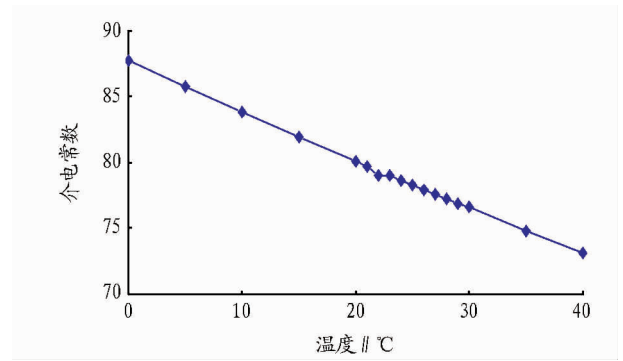


图 1 水的介电常数随温度的变化

1.2 红外测温原理 自然界一切温度高于绝对零度(−273.15 °C)的物体, 由于分子的热运动, 都在不停地向周围空间辐射包括红外波段在内的电磁波^[5], 其辐射能量密度与物体本身的温度关系符合辐射定律。红外辐射原理-辐射定律:

$$E = A\sigma\epsilon_1\epsilon_2(T_1^4 - T_2^4)$$

式中, A 为光学常数, 与仪表的具体设计结构有关; ϵ_1 为被测

基金项目 国家自然科学基金项目(51007092); 教育部培育基金项目(708014)。
作者简介 刘文利(1992-), 女, 河北石家庄人, 本科生, 专业: 电子信息工程。* 通讯作者, 副教授, 博士, 从事材料物理方面的研究。
收稿日期 2014-06-05

对象的辐射率; ε_2 为红外温度计的辐射率; T_1 为被测对象的温度(K); T_2 为红外温度计的温度(K); 它由一个内置的温度检测元件测出。

2 材料与方法

2.1 材料 供试原料砂子, 市售。主要仪器: RAYMX-2C250189-01010071 红外测温仪(精确度 0.1 °C), WP700 (MS-7089T) 微波炉(输出功率 700 W), 培养皿(规格 6.0 cm), 电子天平(精确度 0.01 g, 最大称重 600.00 g), 秒表(精确度 0.01 s), 注射器。

2.2 方法 确定砂子含水量与温升的关系, 试验步骤与条件: ①确定砂子的湿重 M , 根据含水量 $x\%$ 确定需要称量的水的质量 $m_1 = M \cdot (x\%)$ (称量质量接近 m_1 时, 用注射器缓慢滴加) 与干燥砂子的质量 $m_2 = M \cdot (x\%)$ (干燥砂子取得方法: 将砂子在微波炉中加热, 直至质量变化在 0.5 g 之内)。②将称好的砂子与水搅拌均匀。③将混合好的砂子装到规格为 6.0 cm 的培养皿中, 装时不进行刻意按压, 每个蒸发皿装砂子 35 g (误差不超过 0.3 g)。④用红外线测温仪测量蒸发皿中砂子的初始温度 t_1 (表面中间温度)。⑤将其放到输出功率为 700 W 的 WP700 (MS-7089T) 微波炉的中央高火并按照事先确定的时间进行加热。⑥加热结束 2~3 s 后, 取出蒸发皿用红外线测温仪进行测温, 测中间表面温度直至中间温度不再升高, 记录下中点最高温度 t_2 。⑦根据加热时间与温差绘制曲线。

3 结果与分析

3.1 微波作用时间与温升关系 图 2 为测含水量分别为 5%、10%、15% 时, 每个样品的平均温差与加热时间的关系曲线。加热时, 微波作用时间从第 3 秒开始, 间隔为 3 s。由图 2 可以看出, 就总体而言, 温差随加热时间的增长一直呈现增加的变化趋势。然而, 随着加热时间的变化, 曲线的斜率逐渐变小, 说明温差的增加是由快速趋于缓慢的。从 3 条曲线的变化趋势可以看出, 固定加热时间, 不同含水量所对应的温差不同, 曲线的斜率与含水量成正比。通过对图 2 的整体分析, 确定了 3 条曲线的温差随着加热时间变化规律: 每条曲线在 21 s 后温差在单位时间内变化逐渐缩小, 时间温差曲线变化趋势逐渐放缓; 随着含水量的增加, 曲线的斜率也是增加的。因此, 在确定最佳加热时间时, 舍弃了后面的数据, 只对 0~21 s 的数据进行分析。

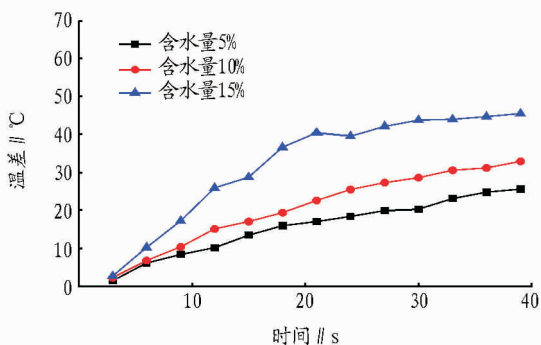


图2 加热时间与温差的关系曲线

由分析得该试验最佳加热时间为 10 s。10 s 时温度随时间升高最快, 加热时间相对较短, 有效减少了水分蒸发, 降低了试验误差。同时利用了红外测温仪时间短、精度高的特点, 使得实时测量成为可能。

通过大量数据分析, 最佳试验条件为: 输出功率 700 W 微波炉高火加热 10 s。

3.2 温升与含水量关系曲线 图 3 为微波加热 10 s 下, 含水量不同物质的温度升高值与砂子含水量的对应关系曲线。图 3 所示, 在砂水混合均匀的前提下, 含水量低于 5% 时, 低含水量使得砂子吸收微波的能力较弱, 温升比较缓慢。含水量在 5%~20% 时, 温度升高迅速并在一定范围内稳定上升并且趋于线性(由于砂子中含有杂质所以曲线在误差允许范围内与预期的直线有一定的偏离)。含水量高于 20% 时, 考虑到砂子含水能力有限, 砂子与水不能再均匀混合因此温升再次趋于缓慢。

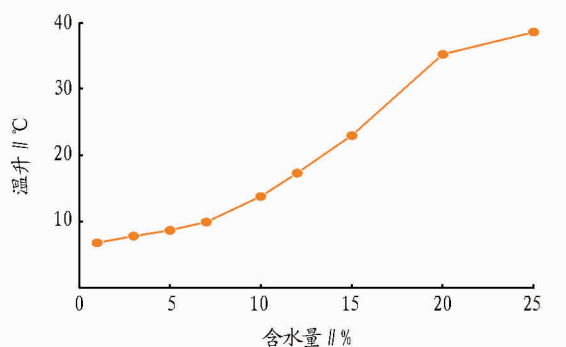


图3 温升与砂子含水量关系的标准曲线

猜想曲线其后期可能趋势: 随着砂子含水量的增多, 水的介电常数将起主导作用。如图 1 所示, 由于温度越高, 水的电容率越小, 所以相同作用时间温升较慢, 曲线可能出现饱和直线或者斜率逐渐下降的趋势。

3.3 验证试验 验证标准曲线的普适性: 配制含水量分别为 8.5%、13.5%、18.0% 的砂子进行验证, 每个含水量装 10 组, 分别加热 10 s, 取平均值后绘制验证曲线。验证标准曲线与待测物质质量的关系: 配制质量为 45 g, 含水量分别为 5%、10%、15% 的砂子, 以及质量为 35 g, 含水量分别为 8.5%、13.5%、18.0% 的砂子进行验证, 每个含水量装 10 组, 分别加热 10 s, 取平均值后绘制验证曲线, 得图 4。

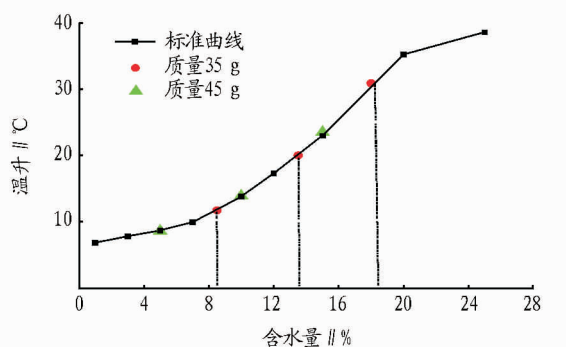


图4 验证曲线

出口创汇^[11-13]。

3.2 开发育种创新技术,注重自主知识产权保护 技术创新是推动我国花卉产业发展的不变主题和不竭动力。首先,需要充分开发我国特有的花卉资源,打破主要花卉品种依靠进口的局面。培育具有自主知识产权的商品花卉新品种是振兴我国花卉产业的必经之路,因此,研发花卉育种技术是花卉科技创新的首要内容,也是培育我国花卉产业核心竞争力的关键所在。其次,实施花卉生产技术创新工程,结合我国的气候条件、自然地理条件等实际情况,开发与花卉品种相配套的种苗工厂化生产、温度精准化调控、水肥精准化管理、容器苗标准化生产等标准化生产关键技术。打破常规的自然环境束缚。实现花卉的随时供应,满足人们各种特色花卉的随时需求,提升我国花卉产业的现代化水平^[14]。

3.3 建立成熟的花卉市场,完善花卉流通体系 首先,规范我国花卉市场秩序,利用如今快速发展的互联网,建设并完善花卉信息网络,构建花卉产业电商平台,为花卉的生产、销售、配送提供准确及时的市场信息,实现订单式生产,规模化经营。鼓励花卉经营商创立自主品牌,在提高优质花卉的基础上以服务制胜,形成符合我国花卉发展的自由市场。定期开展大型花卉售卖活动,实现我国花卉销售的特色经营,建立成熟的花卉市场。其次,完善花卉的研发、生产、流通、销售等各环节需求的配套设施和现代服务业。建立高效快速的专业花卉物流企业,在产品包装、冷藏、运输、配送等环节依据专业技术标准、使用专业化的器材、实现密闭冷藏体系,节约花卉的运输成本、降低运输损耗、增加商品价值,实现花卉的快速流通^[15]。

3.4 制度创新,规范管理 首先,围绕花卉流通的各个环节,建立全方位的质量监控体系,建立检验质量标准 and 评价体系。其次是制度革新,建立健全完善的知识产权保护制度和花卉成果利用体系;规范种质资源出口,规范国外引种程序和建立引种生态风险评价机制(防止外来物种入侵),建立优良品种评估、鉴定及准入机制;建立研发后的费用补助制度,实施高新技术企业的税收优惠待遇,鼓励企业自主研发、自主创新;完善花卉市场经营和交易规范建设,营建公平、公正、公开的发展环境,倡导有序竞争、合法竞争;建立健全花

卉企业信用制度,等等。最后,成立专门的花卉管理机构,加强检查和执行力度,加大对违规、违法行为的处罚力度。

4 结语

我国花卉产业面对的“瓶颈”问题,必须用发展的眼光来对待,并用发展的措施来解决。首先,要结合我国的先天优势,合理开发和有效利用我国的花卉种质、自然气候、劳动力等资源。其次,积极培养我国的花卉人才,开发育种的先进技术。建立完善的花卉市场和有效率的市场运行机制,积极地与世界花卉发达国家合作,吸取他国的先进经验,弥补自身的不足。同时,我国也要为花卉事业注入更多的资金与力量,真正地把我国的花卉产业发展成为一个强势产业。最后,实施这个战略,任务很重,需要政府部门(林业、科技等部门)、行业协会、花卉企业等通力合作。只有这样,我国的花卉林产品产业才能更好地发展。

参考文献

- [1] 农业部种植业管理司. 2012 年全国花卉业统计数据[J]. 中国花卉园艺, 2013(15): 31.
- [2] 朱世威. 福建省漳平市花卉产业化发展研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009.
- [3] 国家林业局发展规划与资金管理司. 2013 年前入月林产品贸易简报[EB/OL]. (2013-10) <http://www.forestry.gov.cn/portal/gghz/s/2121/content-638201.html>.
- [4] 迟诚, 罗信坚, 李茗. 2012 年我国林产品进出口贸易解读[N]. 中国绿色时报, 2013-03-06.
- [5] 国务院办公厅. 全国现代农作物种业发展规划(2012-2020 年)[EB/OL]. (2013-11-15) http://www.moa.gov.cn/zwlw/zcfg/flfg/201301/t20130111_3189143.htm.
- [6] 旷野. 哥伦比亚国际花展汇聚花卉专业人才[J]. 中国花卉园艺, 2013(23): 57-58.
- [7] 王晓红. 荷兰盆栽非洲菊欲征服美国市场[J]. 中国花卉园艺, 2014(2): 58-59.
- [8] 辜松, 杨艳丽, 张跃峰, 等. 荷兰蔬菜种苗生产装备系统发展现状及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2013(14): 185-194.
- [9] 程堂仁, 王佳, 张启翔. 发展我国创新型花卉产业的战略思考[J]. 风景园林植物, 2013(2): 73-78.
- [10] 程堂仁, 王佳, 王晓娇, 等. “美丽中国”背景下花卉产业的机遇与创新[J]. 林业经济问题, 2013(6): 526-539.
- [11] 程士国, 杨建琼, 李莘. 进一步提高中国花卉产业国际竞争力对策研究[J]. 林业经济, 2012(7): 59-63.
- [12] 马春雷. 新时期我国林产品对外贸易环境研究[J]. 安徽农业科学, 2013(4): 1773-1798.
- [13] 耿利敏, 沈文星. 全球商品链视角下的中国林产品贸易[J]. 林业经济, 2014(3): 58-63.
- [14] 包颖彦. 中国林产品贸易的困境与优化对策探讨[J]. 经贸论坛, 2014(4): 143.
- [15] 薛选登. 我国林产品对外贸易发展的困境及对策[J]. 经济纵横, 2013(2): 109-112.

(上接第 6398 页)

由图 4 可以看出, 以上 2 组验证曲线与标准曲线基本吻合。说明该曲线与所称量的待测物质的质量无关, 具有一定的普适性。分析认为, 试验中砂水混合均匀, 在微波炉转动加热条件下避免了局部加热。又由于水是吸收微波的主要物质, 在含水量相同的前提下, 温度升高与砂水混合物的质量无关。

4 结论

经过多次重复试验, 利用试验得到的多组数据, 确定了此方法测物质含水量准确有效。利用此方法可以测出其他物质(土壤、小麦、玉米、水泥、陶瓷的原材料, 甚至木材等)的温升与含水量关系的标准曲线, 利用微波加热原理与红外测

温原理制成加热兼测温的仪器, 通过仪器中的程序, 由标准曲线和升高的温度确定该物质的含水量。该方法具有一定的实际意义, 可应用于工农业生产。将水分测量技术与电子技术, 特别是计算机技术结合起来, 可实现生产线上连续、自动测量与控制^[6]。

参考文献

- [1] LI Y, LIU S B, LIAO Z H, et al. Comparison of two methods for estimation of soil water content from measure reflectance[J]. Canadian Journal of Soil Science, 2012, 92(6): 845-857.
- [2] 王绍林. 微波加热原理及其应用[J]. 物理, 1997, 24(4): 42-47.
- [3] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 420-421.
- [4] 邵芸, 吕远, 董庆, 等. 含水含盐土壤的微波介电特性分析研究[J]. 遥感学报, 2002(6): 416-423.
- [5] 杨湘, 金庆波. 红外测温技术的应用[J]. 天津冶金, 1999(1): 29-33.
- [6] 刘文芝. 固体含水量测量综述[J]. 气象水文海洋仪器, 1994(2): 23-27.