

茶鲜叶介电特性的初步研究

冯呈艳 余志 陈玉琼 李琛 倪德江

华中农业大学园艺林学学院/园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070

摘要 在优化测试条件的基础上,利用 LCR 数字电桥仪分析茶树品种、新梢叶片部位、含水率以及新鲜度对鲜叶介电特性的影响。结果表明,茶树品种对电容和介电常数有显著影响($P < 0.05$),大小依次为乌牛早 \geq 福鼎大毫 \geq 福鼎大白 \geq 迎霜 \geq 黄旦。随鲜叶嫩度的下降,电容和介电常数呈增加趋势,尤其以老叶增加明显。随着鲜叶含水率的降低,电容和介电常数呈下降趋势,但当含水率在 0.7%~6.7%时,电容和介电常数变化较小。新鲜度对鲜叶电容和介电常数的影响趋势与含水率的相似。对正常鲜叶、病变鲜叶、茶梗和茶园常见杂物(植物一年蓬、樟树鲜叶)的介电特性进行比较,表明病变鲜叶、茶梗、茶园常见杂物的电容和介电常数均明显高于正常茶鲜叶($P < 0.01$)。

关键词 茶叶; 鲜叶; 介电特性; 含水率; 茶园杂物

中图分类号 S 571.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)02-0111-05

介电特性是生物分子中的束缚电荷对外加电场的响应特性^[1]。Nelson 等^[2]关于谷物介电特性的文章发表以来,农业物料介电特性的研究已引起人们的广泛关注,并取得了丰硕成果^[2-4]。国内外已经开始利用介电特性分析谷物含水量以及水果和蔬菜的成熟度、新鲜度,并开发了相应的无损检测设备^[5-7]。茶叶介于导体与绝缘体之间,在外电场下会呈现介电特性,但相关的研究还比较少,并且都集中在干茶方面。龚琦等^[8]研究了茶叶电容值与含水率及等级间的关系,结果表明通过茶叶介电特性参数的测定可以快速获得干茶含水率和等级。闫建伟等^[9]研究了不同测试条件下干茶的介电特性,得出温度、频率、含水率对介电特性的影响规律,同时为成品茶叶水分的无损检测提供了理论依据。本文以茶鲜叶为对象,在优化测试条件的基础上,初步探讨茶树品种、新梢叶片部位、含水率以及新鲜度对茶鲜叶介电特性的影响,同时还对正常茶鲜叶、病变茶鲜叶、茶梗和茶园常见杂物(植物一年蓬、樟树鲜叶)的介电特性进行比较,以期为茶鲜叶品质的无损检测提供新的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验在 2012 年 5 至 8 月进行。供试茶品种取自华中农业大学茶学实践基地,分别为福鼎大白、黄旦、乌牛早、福鼎大毫、迎霜。新梢不同部位试验品种为福鼎大白,分别为芽头、芽下第 1 叶、第 2 叶、第 3 叶、第 4 叶、第 5 叶及成熟老叶。非茶类夹杂物为随机采摘的茶园植物樟树鲜叶和常见杂草一年蓬。病变叶为随机采摘的有明显病斑的茶鲜叶。

1.2 试验方法

1)介电特性测定。测量装置包括 HPS2816A 型精密 LCR 数字电桥仪(常州海尔帕公司),标配的夹具和定制的圆形平行板电极。2 个平行电极板尺寸为 100 mm \times 100 mm \times 3 mm,通过标配的夹具与电桥仪相连接。电桥仪的频点分别为 0.5、1、10、25、50、100、200 kHz,输出电压为 0.1~2.0 V^[10]。在测定电容和介电常数时,开路清零。先测空极板的介电参数,然后将茶鲜叶置于两个电极板之间进行测定,夹持力适中,不宜过大或过小,以鲜叶夹住不掉为宜。

收稿日期: 2013-06-24

基金项目: “十二五”国家支撑计划项目(2012BAF07B05-2)

冯呈艳, 硕士研究生。研究方向: 茶叶加工。E-mail: 15827284816@139.com

通信作者: 倪德江, 博士, 教授。研究方向: 茶叶加工与功能化学。E-mail: nidj@mail.hzau.edu.cn

2) 含水率试验。随机选取 50 片, 5 片为 1 组, 取出其中 5 片, 不烘。其余的放入烘箱 (75 °C), 每隔 5 min 拿出 5 片测定其介电特性。测定完鲜叶的介电特性之后, 用万分之一天平称鲜叶质量, 放入干燥箱于 105 °C 条件下固样 0.5 h, 然后于 80 °C 恒温干燥^[11], 直至质量恒定。鲜叶含水率 = (鲜质量 - 干质量) / 鲜质量 × 100%。

3) 新鲜度试验。在实验室温度 25 °C、湿度 53% 条件下, 以不同萎凋时间 (0、1、3、4、5、7 h) 的福鼎大白第 2 叶为试验材料, 测定其介电参数值的变化。

1.3 统计分析

采用 SPSS 软件 PASW Statistics 18.0 对数据进行分析, 单向方差分析法 (one-way analysis of variance) 用于单因素方差分析, 处理间的多重比较采用 Duncan 法 ($P < 0.05$, 处理间有显著性差异; $P < 0.01$, 处理间有极显著差异)。制图采用 Origin 8 和 Excel 2010。

2 结果与分析

2.1 试验条件和因素确定

1) 环境条件的选择。以空电极板为测试对象, 分析不同温度下电容值的变化。当测定频率、电压一定时, 随着温度的升高, 电容呈直线上升趋势 (图 1)。为了确保试验的精度, 本试验测定温度选择在 25 °C 下进行。

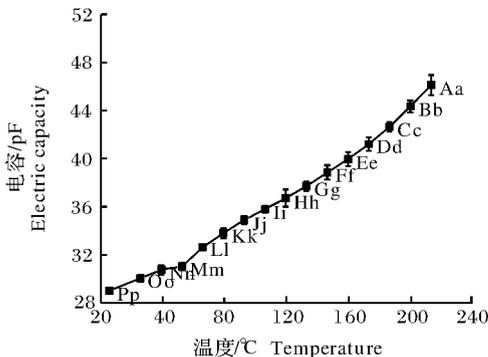


图 1 测试温度对电容的影响

Fig. 1 Effect of different temperature on electric capacity

2) 测定频率的选择。以 1.0 V 为测试电压, 分析在 0.5、1、10、25、50、100、200 kHz 频率下鲜叶电容值的变化。鲜叶电容值随测试频率的增大而趋于减小; 随着测试频率的增加, 拟合曲线趋于平缓 (图 2)。测试频率为 50 kHz 时的拟合检验值 R^2 最大, 此时各叶位的介电参数可得到很好的区分 (表 1)。

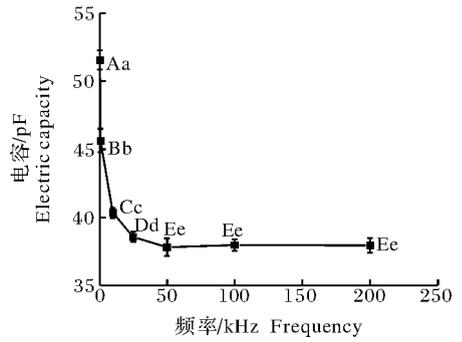


图 2 测试频率对电容的影响

Fig. 2 Effect of different frequency on electric capacity

表 1 不同频率对电容影响的拟合方程及拟合检验值 R^2

Table 1 Fitting equation of curves and fitting check value R^2 of different frequency

频率/kHz Frequency	拟合方程 Fitting equation	拟合检验值 R^2 Fitting check value R^2
0.5	$y = 3.7038x + 41.870$	0.836 8
1	$y = 2.8440x + 37.241$	0.916 2
10	$y = 2.2109x + 33.157$	0.935 5
25	$y = 2.1259x + 31.495$	0.920 8
50	$y = 1.9854x + 31.636$	0.963 9
100	$y = 1.8717x + 33.463$	0.911 0
200	$y = 1.8690x + 33.255$	0.901 5

因此, 本试验选择 50 kHz 为测试频率。

3) 测试电压的选择。以福鼎大白第 2 叶为试验材料, 以 50 kHz 为测试频率, 分析茶鲜叶在不同测试电压下电容值的变化。在 0.1~2.0 V 时, 随着测试电压的增加, 电容值变化较小, 当测试电压为 1.0 V 时, 拟合检验值 R^2 最大 (图 3)。因此, 选择 1.0 V 作为测定电压较为适宜。

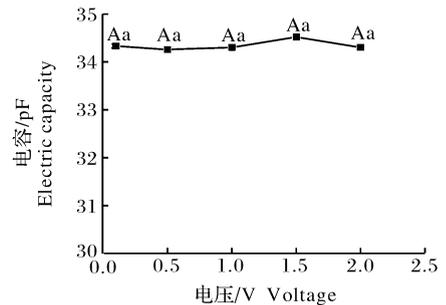
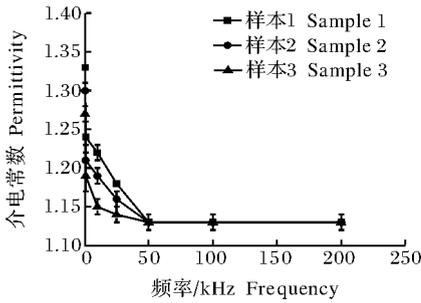


图 3 测试电压对鲜叶电容的影响

Fig. 3 Effect of different voltage on electric capacity

4) 鲜叶尺寸对介电特性的影响。以福鼎大白新梢第 2 叶为试验材料, 考察鲜叶的外形大小对介电常数的影响。叶片尺寸越小, 介电常数越大; 在低频段 (0.5~50 kHz), 介电常数由大变小, 差别较大 (图 4)。这是由于电极间距不变时, 鲜叶尺寸直接



样本 1, 2, 3 的鲜叶平均长度分别为 3.99、4.77、4.95 cm, 平均宽度分别为 1.43、1.90、2.36 cm, 平均叶面积分别为 3.99、6.35、9.85 cm², 平均质量分别为 0.10、0.16、0.26 g。The average length of sample 1, 2, 3 was 3.99, 4.77, 4.95 cm, average width of sample 1, 2, 3 was 1.43, 1.90, 2.36 cm, average leaf area of sample 1, 2, 3 was 3.99, 6.35, 9.85 cm², and average weight of sample 1, 2, 3 was 0.10, 0.16, 0.26 g, respectively.

图 4 鲜叶大小对鲜叶介电常数的影响
Fig. 4 Effect of different size on permittivity

影响两电极板间的介质充填量^[12]。在高频段(>50 kHz), 介电常数无明显变化, 表明在本试验条件下, 鲜叶外形大小对介电常数无明显影响。

2.2 不同品种电容和介电常数变化

选取 5 个茶树品种(福鼎大白、黄旦、乌牛早、福鼎大毫、迎霜)新梢的第 2 叶为试验材料, 在 50 kHz、1.0 V 条件下测定茶鲜叶不同品种介电特性参数的变化规律。由表 2 可知, 不同品种间电容和介电常数的变化趋势一致, 大小依次为乌牛早 ≥ 福鼎大毫 ≥ 福鼎大白 ≥ 迎霜 ≥ 黄旦。统计分析表明, 品种间差异显著。

2.3 新梢鲜叶不同部位电容和介电常数的变化

一般而言, 新梢鲜叶嫩度随芽、第 1 叶、第 2 叶、第 3 叶、第 4 叶、第 5 叶、成熟老叶而降低。以福鼎大白品种为试验材料, 进一步分析新梢不同部位鲜叶介电特性参数的变化规律。从新梢顶部芽、第 1

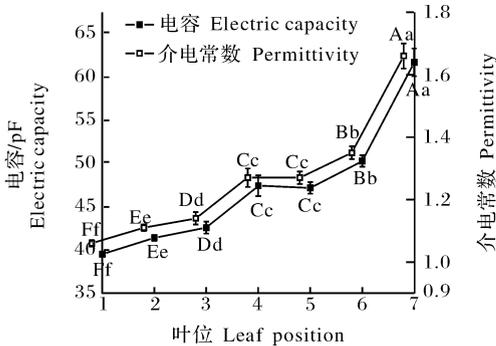
表 2 不同品种对鲜叶电容和介电常数的影响¹⁾

Table 2 Effect of different variety on electric capacity and permittivity

项目 Items	乌牛早 Wuniuzao	福鼎大毫 Fudingdahao	福鼎大白 Fuding white	迎霜 Yingshuang	黄旦 Huangdan
电容/pF Electric capacity	45.67±0.07 a	42.62±0.08 b	42.48±0.04 c	42.06±0.02 d	41.28±0.08 e
介电常数 Permittivity	1.24±0.01 a	1.15±0.01 b	1.14±0.00 c	1.13±0.00 d	1.12±0.02 e

1) 同行不同字母表示差异显著(P<0.05), 下同。The different letters represent significant difference (P<0.05) according to t-test analysis after one-way ANOVA. The same as below.

叶、第 2 叶, 到成熟老叶, 鲜叶的电容值和介电常数均呈增加的趋势, 尤其是老叶增加明显, 表明电容和介电常数随鲜叶嫩度的下降而增加(图 5)。



1. 芽头 Bud; 2. 第 1 叶 First leaf; 3. 第 2 叶 Second leaf; 4. 第 3 叶 Third leaf; 5. 第 4 叶 Fourth leaf; 6. 第 5 叶 Fifth leaf; 7. 成熟老叶 Mature leaf.

图 5 不同部位对电容和介电常数的影响
Fig. 5 Effect of different leaf position on electric capacity and permittivity

分析病变叶及茶类夹杂物(茶梗)和非茶类夹杂物(茶园植物樟树鲜叶和常见杂草一年蓬)电容和介电常数的变化。电容和介电常数值大小依次为茶梗 > 一年蓬 > 樟树叶 > 病变叶 > 正常叶, 且差异显著(表 3)。鲜叶病变或受损后, 细胞膜会有一定程度的破损, 离子通透性会增加, 阻抗减小, 细胞内的胶体结合水变成自由水, 而自由水的相对介电常数远远大于结合水的相对介电常数^[13-14]。

2.5 含水率和鲜叶新鲜度对介电特性的影响

以福鼎大白新梢第 2 叶为试验材料, 分析含水率对介电特性的影响。当含水率 > 6.7% 时, 随着含水率的降低, 电容和介电参数呈明显的下降趋势, 当失水到一定程度后(含水率 0.7% ~ 6.7%) 变化很小(图 6)。统计分析表明, 含水率在一定范围内 (>6.7%) 对电容和介电常数的影响均显著。随着堆放时间的延长, 鲜叶新鲜度降低, 电容和相对介电常数也随之下降, 在 0~3 h 减小明显, 3 h 后变化较小(图 7)。

2.4 正常茶鲜叶与其他杂质间介电特性的比较
以福鼎大白茶品种新梢第 2 叶为正常叶对照,

表 3 正常叶与杂质的介电特性参数值

Table 3 Comparison on dielectric parameters between healthy leaves and impurities

项目 Items	茶梗 Tea stalk	一年蓬 Annual fleabane herb	樟树叶 Camphor leaf	病变叶 Pathological leaf	正常叶 Normal leaf
电容/pF Electric capacity	112.60±0.54 a	68.24±0.15 b	51.32±0.03 c	45.47±0.71 d	38.45±0.20 e
介电常数 Permittivity	2.35±0.01 a	1.42±0.02 b	1.07±0.00 c	0.95±0.01 d	0.80±0.01 e

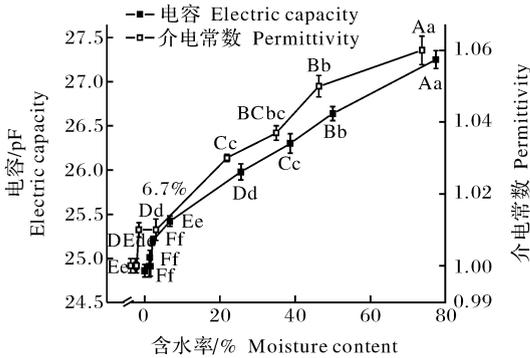


图 6 含水量对电容和介电常数的影响

Fig. 6 Effect of different moisture content on electric capacity and permittivity

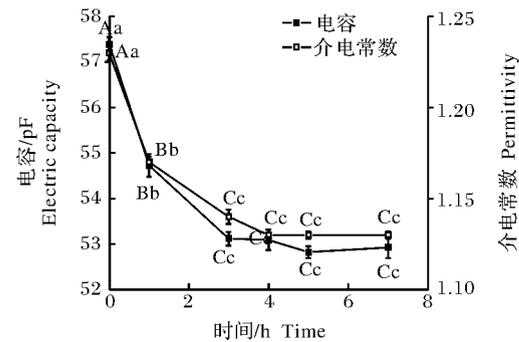


图 7 鲜叶新鲜度对电容和介电常数的影响

Fig. 7 Effect of different freshness on electric capacity and permittivity

3 讨论

新鲜度是茶鲜叶质量的重要指标,既影响干茶的外形色泽,也影响内质香气、滋味和汤色品质^[15]。采收后的鲜叶仍然是有生命活动的有机体,在杀青前的摊放过程中,一方面大分子化合物如淀粉、多糖和蛋白质等发生水解反应,形成小分子化合物,另一方面水分由于蒸发作用逐渐减少^[16]。这些物质的变化导致鲜叶组织内各类化学物质所带电荷量以及电荷的空间分布发生变化,生物电场的分布和强度在宏观上影响鲜叶的介电特性^[17]。因此,从理论上来说,鲜叶的品质好坏可以通过介电特性的无损检测加以判别。在水果和蔬菜方面,通过试验发现,在 100 Hz~100 kHz 频段内,随着苹果新鲜度的降低

其果肉阻抗趋于增加,相对介电常数和介质损耗因数下降^[18]。张立彬等^[19]采用平板电极,用破坏性方法研究了金帅苹果切片组织的介电特性与新鲜度的关系,表明在 10~100 kHz 的频率范围内,苹果的介电特性与新鲜度具有明显的相关性。应用 BP 神经网络技术于新鲜等级的识别,平均识别率达到 79%^[20]。本试验结果表明,随新鲜度的下降,鲜叶含水率下降,而含水率与介电参数值间存在显著的线性关系。此外,与新鲜原料相比,受损伤的鲜叶电容值和相对介电常数也显著增加。因此,通过检测茶鲜叶介电特性,可以快速无损检测其含水率,同时能正确判别其新鲜度。

鲜叶的匀净度影响加工工艺和茶叶品质。茶树品种、生态环境、栽培条件以及采摘技术均影响鲜叶的匀度,而匀度的差异直接表现为鲜叶的大小与老嫩^[15]。郭红利^[21]基于介电特性的分析,结合应用神经网络技术,建立了猕猴桃种类的识别器,对猕猴桃的识别率达到 90%。郭文川等^[22]根据电压临界值的不同,提出了基于介电特性的果品种类识别方法,采用损耗角正切作为果品种类判别指标,对苹果、梨和猕猴桃的识别率分别为 100%、90% 和 93%,并且能分辨果实大小。本试验结果表明,不同茶叶品种间、不同部位芽叶的电容和介电常数差异显著,这为通过介电参数的测定对鲜叶进行分级提供了可能。茶树老叶、茶梗是常见的茶类夹杂物,而茶园杂草、间作树木叶片是常见的非茶类夹杂物。本试验分析结果表明,这些茶类夹杂物和非茶类夹杂物与茶树鲜叶相比,电容和介电常数的差异极显著,完全可以利用介电特性设计相关设备,以达到茶叶除杂的效果。

参 考 文 献

- [1] 应义斌,韩东海,王俊,等. 农产品无损检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [2] NELSON S O, SODERHOLM L H, YUNG F D. Determining the dielectric properties of grain [J]. *Agricultural Engineering*, 1953, 34(9): 608-610.
- [3] SAMIR T, NELSON S O. Temperature-dependent behavior of dielectric properties of bound water in grain at microwave fre-

- quencies[J]. Measurement Science and Technology, 2006, 17(8): 2289-2293.
- [4] 李修渠. 食品物料的电特性及其应用研究[D]. 北京: 中国农业大学图书馆, 1999.
- [5] 尹丽妍, 吴文福, 张亚秋. 介电特性在粮食水分检测中的应用[J]. 中国粮油学报, 2010, 25(11): 119-123.
- [6] TRAN V N, STUCHLY S S, KRASZEWSKI A. Dielectric properties of selected vegetables and fruits 0.1-10.0 GHz[J]. Journal of Microwave Power, 1984, 19(4): 251-258.
- [7] HEREDIA A, BARRERA C, ANDRES A. Drying of cherry tomato by a combination of different dehydration techniques[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 80(1): 111-118.
- [8] 龚琦, 钱惠萍. LRC 数字电桥检测茶叶品质的研究[J]. 农业工程学报, 1997, 13(2): 216-219.
- [9] 闫建伟, 牛素贞, 尹杰, 等. 茶叶介电特性的研究[J]. 浙江农业学报, 2012, 24(3): 514-516.
- [10] 魏永胜, 李得孝, 牟长灵. 小麦叶片电特性与外加电压和频率的关系研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 166-169.
- [11] 钟萝. 茶叶品质理化分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989.
- [12] 胥芳, 计时鸣, 张立彬, 等. 水果电特性的无损检测在水果分选中的应用[J]. 农业机械学报, 2002, 33(2): 53-56.
- [13] 郭文川. 果蔬介电特性研究综述[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 284-289.
- [14] 栾中奇. 水分胁迫下冬小麦的电容特性与水分状况相关性研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学图书馆, 2007.
- [15] 施兆鹏. 茶叶加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [16] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [17] 沈江洁, 黄森, 张院民. 基于果品介电特性的无损检测技术研究进展[J]. 农机化研究, 2011(5): 16-19.
- [18] 加藤宏郎, 高周波. インビヘダンスによる农产物の非破坏鲜度判定[J]. 农业机械学会, 1988, 50(6): 99-107.
- [19] 张立彬, 胥芳, 周国君, 等. 苹果的介电特性与新鲜度的关系研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(3): 186-190.
- [20] 郭文川, 朱新华, 郭康权. 采后苹果电特性与生理特性的关系及其应用[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 136-139.
- [21] 郭红利. 猕猴桃的电学特性与无损检测技术的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学图书馆, 2004.
- [22] 郭文川, 朱新华, 王转卫, 等. 基于介电特性的果品种类识别试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 158-160.

Researches on the dielectric property of fresh tea leaves

FENG Cheng-yan YU Zhi CHEN Yu-qiong LI Chen NI De-jiang

College of Horticulture and Forestry Sciences/Key Laboratory of Horticultural Plant Biology,
Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract Based on the optimization for the test conditions, the influence of variety of tea plant, position of leaf, freshness and moisture content of fresh leaves on the dielectric properties were analyzed by LCR-bridge(HPS2816A). The results showed that the variety of tea plant had a significant impact on the capacitance and permittivity ($P < 0.05$). With the decline in tenderness, the capacitance and permittivity increased significantly. The capacitance and permittivity showed a decreasing trend with the decline in the moisture content of fresh leaf, but with little change in the range of 0.7%-6.7%. Meanwhile, freshness had the similar influence on the capacitance and permittivity to the moisture content. In addition, the comparison on dielectric characteristic parameters among fresh leaves, pathological leaves, stalk and sundries (grass and leaf of camphor) was also conducted. The result revealed that the capacitance and permittivity of pathological leaf, stalk and sundries in tea garden were significantly higher than those of fresh leaves ($P < 0.01$).

Key words tea; fresh leaves; dielectric properties; moisture content; sundries

(责任编辑: 陆文昌)