

# 基于介电特性的灵武长枣新鲜度预测

## Prediction on freshness degree of *Lingwu* long jujube on dielectric properties

沈静波 张海红 马雪莲 王慧倩 李子文 周世平

SHEN Jing-bo ZHANG Hai-hong MA Xue-lian WANG Hui-qian LI Zi-wen ZHOU Shi-ping

(宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021)

(College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China)

**摘要:**为了研究灵武长枣新鲜度与介电特性参数的关系,利用 LCR 测试仪在 1.995 kHz 下测试长枣的介电特性参数,并对其介电特性参数和品质参数进行相关性分析。结果表明:长枣的介电损耗因子  $\epsilon''$  与可溶性固形物含量、硬度、失重率、可滴定酸含量和丙二醛含量呈极显著相关 ( $P < 0.01$ ), 相对介电常数  $\epsilon'$  仅与呼吸强度显著相关 ( $P < 0.01$ )。根据可溶性固形物含量、硬度和失重率的变化规律,将长枣分为 3 个新鲜度等级。以介电损耗因子  $\epsilon''$  为 BP 神经网络的输入特征参数,利用 BP 神经网络结构建立长枣的新鲜度预测模型,新鲜度等级平均识别率达到 81.67%, 可用于预测灵武长枣的新鲜度。

**关键词:** 枣; 介电特性; 新鲜度; BP 神经网络

**Abstract:** In order to study the relationship between freshness degree and dielectric properties of *Lingwu* long jujube, the dielectric properties parameters of long jujube were measured using (LCR) on 1.995 kHz, and the correlation analysis between dielectric properties parameters and quality parameters was conducted. The results indicated that correlations between long jujube's dielectric loss factor  $\epsilon''$  and soluble solids content, hardness, weight loss, titratable acids content & MDA content were very significant ( $P < 0.01$ ), and the correlation between relative dielectric constant  $\epsilon'$  and respiration intensity was very significant ( $P < 0.01$ ). The long jujube were divided into three freshness grades according to the change rules of soluble solids content, hardness and weight loss rate. Using dielectric loss factor  $\epsilon''$  as the input characteristic parameters, the prediction model of long jujube freshness was established by BP neural network structure. The average distinguishing rate of freshness grades was

81.67%. The results indicated that the freshness degree of long jujube could be predicted by dielectric properties parameters.

**Keywords:** jujube; dielectric properties; freshness degree; BP neural network

灵武长枣是宁夏回族自治区特有品种,个大色艳、果肉酥脆、酸甜适口,富含丰富的糖类、酸、维生素、矿物质、蛋白质及脂肪等,具有较高的营养价值和药用价值,备受消费者青睐<sup>[1-2]</sup>。但鲜长枣在贮运和销售过程中,易衰老变质,其商品价值也随之下降。因此根据长枣新鲜度进行分级分选,进而实现长枣的优质优价化销售已显得尤为迫切。

传统果品的新鲜度检测以感官及质构测试为主。感官检测由于会受到人们的嗜好性、情绪等主观因素的影响,而质构检测属于破坏性测试,且费时、费力。无损检测 (nondestructive determination, NDT) 是以不破坏被检测对象的性质和使用效果为前提,运用各种物理学的方法如图像视觉技术、光、电等手段对物品进行检测分析的一种方法和技术<sup>[3]</sup>。其中最为常用的有计算机图像视觉技术、近红外光谱技术和介电谱检测技术。计算机图像视觉检测技术虽可以按照果品的外观品质指标对其进行分级,但无法实现果品内部品质的检测;近红外光谱检测技术抗干扰性差、灵敏度低、设备投资高且适应性差;而介电谱检测技术电信号较易获取、设备相对简单、投资较低<sup>[4]</sup>,因此受到了国内外研究者的广泛关注,目前已被应用于苹果<sup>[5-6]</sup>、胡萝卜<sup>[7]</sup>、番茄<sup>[8]</sup>、葡萄<sup>[9]</sup>等果蔬的无损检测。尽管前人已做了大量的果品介电特性与其品质及新鲜度的研究,并且已经取得了一定的研究成果,但均以宏观电学参数(复阻抗  $Z$ 、并联等效电感  $L_p$ 、电抗  $X$ 、损耗系数  $D$ )为主。随着长枣新鲜度的下降,细胞结构会遭到破坏,当细胞膜通透性增大,电解质外流时,在外电场的作用下,长枣内部会发生极化现象,使电子由非极化状态到极化状态,由此产生的极化运动会产生滞后现象,介电损耗反应了极化运动产

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(编号:31160346)

**作者简介:** 沈静波(1993-),女,宁夏大学在读硕士研究生。

E-mail: shen1993s@163.com

**通讯作者:** 张海红

**收稿日期:** 2015-06-23

生的热损耗,相对介电常数是衡量极化程度的尺度<sup>[10]</sup>。因此,本试验以表征微观介电特性参数预测长枣的新鲜度,能更准确地反映长枣生物体内电子随新鲜度降低的极化运动,而基于表征微观介电特性的枣果新鲜度的预测鲜有报道。

本试验拟以灵武长枣为研究对象,研究其在新鲜度下降的过程中品质参数和介电参数的变化规律,筛选长枣新鲜度判别的品质指标,并以此进行长枣新鲜度的等级分级,以期利用长枣的表征微观介电特性参数预测其新鲜度,为长枣的无损检测提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

灵武长枣:宁夏回族自治区灵武市大泉林场红枣生产基地,常温(20±3)℃条件下贮藏、备用。筛选外形完好、颜色均一、长短径一致、八成熟、无病害、无损伤的灵武长枣进行试验。选取长径为(41±2)mm,短径为(27±2)mm,质量(13±1)g的样本备用。

### 1.2 仪器设备

LCR 测试仪:HIOKI-3532-50 型,日本日置电机株式会社;

物性仪:TA-XT2i 型,Stable Micro System;

分析天平:2257 型,上海民桥精密科学仪器有限公司;

手持折光仪:WYT-32 型,上海易测仪器设备有限公司;

二氧化碳气体分析器:GXH-3052L 型,北京均方理化科技研究所。

### 1.3 试验设计

选取 140 个长枣样本放于常温下备用,将长枣随机分为 7 组,每组 20 个,每天测定 1 组,每组长枣编号后先进行介电参数测定,然后依次测定其品质参数。前期研究<sup>[11]</sup>表明,1.995 kHz 为较佳的测试频率,因此在该频率下,测定长枣的品质参数(硬度、可溶性固性含量、失重率、可滴定酸含量、丙二醛含量、呼吸强度)及介电参数(相对介电常数  $\epsilon'$ 、介电损耗因子  $\epsilon''$ )并分析二者之间的相关性,筛选长枣新鲜度等级的判别指标。最后从 140 个样本中随机选取 90 个不同新鲜等级的长枣为训练样本,剩下的 50 个为测试样本,在 1~20~3 的 BP 神经网络结构下预测长枣的新鲜度。

### 1.4 介电参数测定

根据王慧倩等<sup>[12]</sup>的测试方法,在 1.0~4 466.836 kHz 频率范围下测定长枣的并联等效电容  $C_p$ 、损耗系数  $D$ ,参照 M. Soltani 等<sup>[13]</sup>和周世平<sup>[14]</sup>的研究方法,以等效电容法进行长枣相对介电常数  $\epsilon'$  和介电损耗因子  $\epsilon''$  的推算。

### 1.5 品质参数测定

对同一批试验果品,先测定介电参数,然后对其破坏进行品质参数的测定。

1.5.1 硬度测定 参照文献<sup>[15]</sup>。

1.5.2 可溶性固形物含量测定 采用 WYT-32 型手持折光仪。

1.5.3 可滴定酸含量测定 参照文献<sup>[16]</sup>。

1.5.4 失重率测定 采用称重法。失重率按式(1)计算:

$$\text{失重率} = \frac{\text{原始质量} - \text{贮藏后质量}}{\text{原始质量}} \times 100\% \quad (1)$$

1.5.5 丙二醛含量测定 参照文献<sup>[17]</sup>。

1.5.6 呼吸强度测定 参照文献<sup>[18]</sup>。

## 1.6 数据处理

试验数据采用 Excel 和 SAS 统计软件进行数据分析,用直线相关分析法进行相关系数分析。利用 MATLAB 软件,以 BP 神经网络建立长枣新鲜度的预测模型。

## 2 结果分析

### 2.1 采后灵武长枣的品质参数与介电特性参数的变化规律

2.1.1 介电损耗因子  $\epsilon''$  与硬度的变化规律 由图 1 可知,表征长枣微观介电特性的参数介电损耗因子  $\epsilon''$  随着贮藏时间的延长,总体呈上升趋势。其原因是:随着长枣贮藏时间的延长,新鲜度降低,外观品质变差时,内在则表现为细胞失水,细胞膜的通透性增大,细胞功能遭到破坏,从而使细胞内的电解质外渗,使长枣细胞内部导电性增强,电阻降低,电容增大,最终表现为微观参数介电损耗因子  $\epsilon''$  的增大,但在贮藏后期,因为长枣严重失水,细胞内的水分含量也大大降低,细胞液粘稠,带电离子的运动受阻,导电性减弱,所以在后期(第 6 天)介电损耗因子  $\epsilon''$  会出现下降的趋势。

随着长枣采后储藏时间的延长,其硬度呈现下降的趋势,采后第 1 天,硬度从 266.37 g 下降到 254.96 g,趋势较平缓,从第 2 天开始,硬度下降较快,直到采后第 5 天硬度值下降为 175.68 g。分析原因,是由于长枣的表皮保护组织较薄弱,水分散失使细胞脱水,细胞液浓度增高,失水严重时会破坏原生质的胶体结构,进而使枣皮细胞组织发生萎蔫、变软和皱缩,口感变差。硬度的逐渐下降,反映出长枣的新鲜度在不断降低。

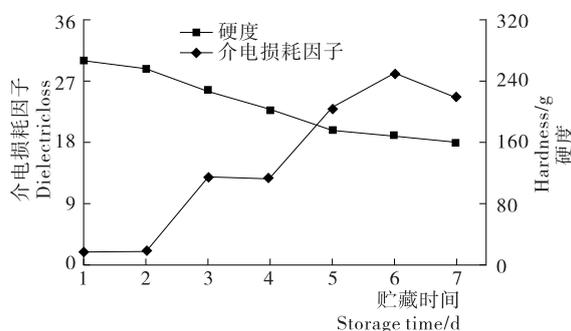


图 1 采后长枣介电损耗因子与硬度的变化

Figuer 1 Changes of dielectric loss factor and hardness of postharvest long jujube

2.1.2 可滴定酸的变化规律 由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,长枣新鲜度在下降,可滴定酸含量也逐渐呈下降趋势。分析原因,是由于长枣在贮藏时,呼吸作用消耗了体内的可滴定酸,最终表现为长枣的可滴定酸含量随贮藏时间的延长逐渐下降。

2.1.3 可溶性固形物的变化规律 由图 3 可知,随着储藏时

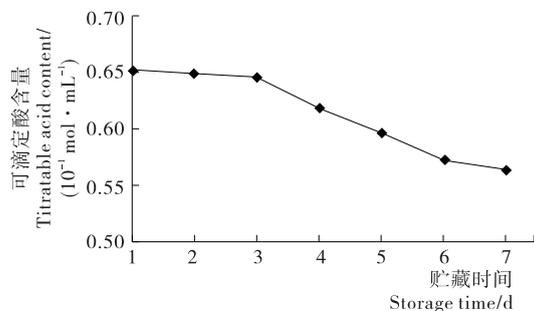


图 2 可滴定酸含量随贮藏时间的变化

Figuer 2 The change of titratable acid content along with storage time

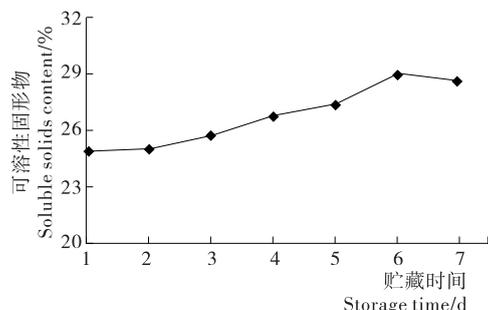


图 3 可溶性固形物含量随贮藏时间的变化

Figuer 3 The change of soluble solids content along with storage time

间的延长,长枣中可溶性固形物的含量呈逐渐上升趋势,但第 7 天稍有下降,造成这一变化的原因可能是,在长枣成熟过程中,随着贮藏物质的水解并转化为糖类物质,使可溶性固形物含量升高,在贮藏后期,果实内部呼吸作用消耗了大量底物而导致可溶性固形物含量略有下降。

2.1.4 丙二醛的变化规律 由图 4 可知,随贮藏时间的延长,长枣的新鲜度下降,丙二醛含量逐渐升高,但贮藏后期稍有下降,可能是因为在贮藏后期,长枣的含糖量较高,使测试结果受到了可溶性糖等其它物质成分的干扰。

2.1.5 失重率的变化规律 由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,失重率呈平稳上升的趋势,反映出长枣的新鲜度在不断降低。

2.1.6 相对介电常数  $\epsilon'$  与呼吸强度的变化规律 由图 6 可知,贮藏 3 d 时,长枣呼吸达到最强,随之逐渐下降,说明灵武

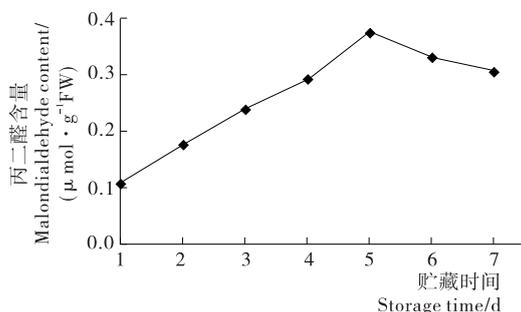


图 4 丙二醛含量随贮藏时间的变化

Figuer 4 The change of MDA along with storage time

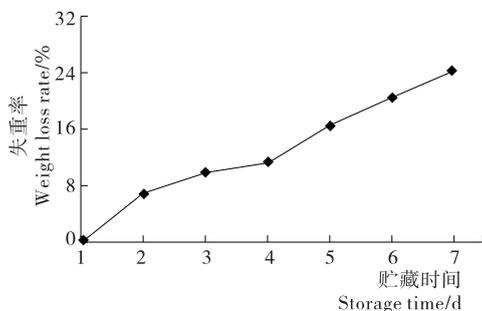


图 5 失重率随贮藏时间的变化

Figuer 5 The change of weight loss rate along with storage time

长枣属于典型的呼吸跃变型果实,此结果与颜敏华等<sup>[19]</sup>的研究结果一致。

相对介电常数  $\epsilon'$  属于表征微观电特性的参数,在贮藏初期,相对介电常数  $\epsilon'$  逐渐增大,在采后第 3 天达到高峰,随后呈下降趋势,与呼吸强度的变化规律一致。造成相对介电常数  $\epsilon'$  变化的原因是:采后长枣呼吸作用和蒸腾作用同时进行,随着贮藏时间的延长,蒸腾作用会导致细胞内的自由水含量降低,呼吸作用减弱,破坏细胞的原生质膜,使细胞死亡,最终导致相对介电常数  $\epsilon'$  下降。

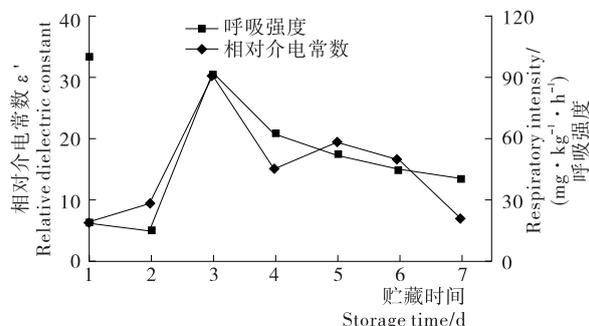


图 6 采后长枣相对介电常数与呼吸强度的变化

Figuer 6 Changes of dielectric constant and respiratory intensity of postharvest long jujube

## 2.2 采后长枣的品质参数与介电特性参数的相关性分析

由表 1 可知,介电损耗因子  $\epsilon''$  与硬度、可滴定酸含量呈极显著负相关,与可溶性固形物含量、丙二醛含量和失重率呈极显著正相关。相对介电常数  $\epsilon'$  只与呼吸强度关系极显著,与其他品质参数关系较弱。

## 2.3 采后灵武长枣新鲜度等级划分

新鲜度是决定果品商品价值的主要因素。前期研究<sup>[20]</sup>表明,随着贮藏时间的延长,新鲜度的降低,长枣的可溶性固形物含量和失重率呈上升趋势,而硬度逐渐下降;果品品质参数的变化与介电损耗因子  $\epsilon''$  关系密切。由表 1 可知,介电损耗因子  $\epsilon''$  和硬度、可溶性固形物含量呈极显著相关,相关系数  $R$  分别达到了 0.968 和 0.949,明显高于可滴定酸和丙二醛含量。失重是长枣新鲜度下降的直观表现,失重率与介电损耗因子  $\epsilon''$  的相关系数为 0.874,因此本试验以硬度、可溶性固形物含量和失重率作为长枣新鲜度的判别指标,同时根

表1 长枣在特征频率下品质参数与介电参数的相关系数<sup>†</sup>

Table 1 Correlation coefficient between quality parameters and dielectric characteristic parameters of long jujube at the characteristic frequency

指标	硬度/g	可滴定酸含量/%	可溶性固形物含量/%	丙二醛含量/ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$ )	失重率/%	呼吸强度/ ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )
介电损耗因子 $\epsilon''$	-0.968**	-0.926**	0.949**	0.902**	0.874**	0.279
相对介电常数 $\epsilon'$	-0.220	0.026	0.070	0.413	-0.038	0.921**

<sup>†</sup> \*\* 极显著相关( $P < 0.01$ )。

据采后长枣的贮藏时间将长枣分为3个新鲜度等级,这为利用介电参数预测长枣的新鲜度提供了可能。

以采后长枣的硬度、可溶性固形物含量和失重率为其新鲜度的评价指标,将长枣分为3个新鲜度等级。采后前2 d,长枣硬度大、失重少、水分含量高,硬度从266.36 g减小到254.96 g,可溶性固形物含量从24.80%增加到25.10%,失重率从0变到6.93%,划分为一级;在采后的3~5 d内长枣的硬度从254.95 g变到175.68 g,可溶性固形物含量从25.20%增到27.50%,失重率从6.94%增到16.36%,划分为二级;而在贮藏后期(6~7 d)长枣失水,质地变软,硬度急剧下降为159.01 g,可溶性固形物含量增加到了29.10%,失重率则增到了24.07%,依此将长枣划分为三级。长枣的新鲜度等级划分及在各个等级中硬度、可溶性固形物含量和失重率的变化值见表2。

表2 长枣新鲜度等级划分

Table 2 Divided freshness degree of long jujube

等级	硬度/g	可溶性固形物含量/%	失重率/%
一	266.36~254.96	24.80~25.10	0.00~6.93
二	254.95~175.68	25.20~27.50	6.94~16.36
三	175.67~159.01	27.60~29.10	16.37~24.07

2.4 基于BP神经网络的采后长枣新鲜度预测

表3为1~20~3的BP神经网络结构对训练样本数为90个的不同新鲜等级灵武长枣的识别率,以及对测试样本数为50的不同新鲜等级长枣的识别率。应用BP神经网络技术对采后长枣新鲜度等级进行识别,其中长枣新鲜度等级识别的特征参数为介电损耗因子 $\epsilon''$ ,BP神经网络由3层组成,输入层采用1个神经元即介电损耗因子 $\epsilon''$ ,隐含层使用双曲正切激活函数,神经元根据仿真结果确定,输出层采用线性激活函数,神经元为3,即新鲜等级数为3个。结果表

表3 长枣不同新鲜等级下的训练和识别效果

Table 3 Training and identification effects under different freshness grades of long jujube

等级	识别率	
	训练样本	测试样本
一	100	82
二	100	85
三	100	78

明,该网络结构对测试样本的平均识别率为81.67%,识别效果良好。

3 结论

本试验探究了灵武长枣在贮藏过程中品质参数和介电参数的变化规律,并在1.995 kHz较佳测试频率下测定了微观介电参数(介电损耗因子 $\epsilon''$ 、相对介电常数 $\epsilon'$ )与品质参数(硬度、可滴定酸含量、可溶性固形物含量、丙二醛含量、失重率和呼吸强度)之间的相关性。结果表明,介电损耗因子 $\epsilon''$ 与硬度、可溶性固形物含量、可滴定酸、丙二醛含量和失重率等品质参数关系极显著( $P < 0.01$ ),相对介电常数 $\epsilon'$ 与呼吸强度关系极显著( $P < 0.01$ )。根据硬度、可溶性固形物含量和失重率3种品质指标将长枣划分为3个新鲜度等级,以介电损耗因子 $\epsilon''$ 为输入值,利用1~20~3的BP神经网络对长枣的新鲜度等级进行了识别,结果显示,其预测准确率达到了81.67%。基于微观介电特性的长枣新鲜度的预测是可行的。介电检测技术作为一种快捷、方便、精确的无损检测技术为长枣的产业化发展,果品采后的分级分选提供了理论依据和技术支持。

虽然本试验在介电特性参数选择方面进行了完善,但因灵武长枣的贮藏期很短,品质指标的传统测定方法耗时较长,因此本试验的样本量受到限制,若在今后的试验中增加样本量后再进行下一步的研究,可能预测精度将会更高,从而为果品新鲜度的预测提供新的思路和方法。

参考文献

[1] 周禹含, 毕金峰, 陈芹芹, 等. 中国红枣加工及产业发展现状[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 214-217.  
 [2] 徐爽, 何建国, 易东, 等. 基于高光谱图像技术的长枣糖度无损检测[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 168-170.  
 [3] Liu Yan-de, Ying Yi-bin. Optical nondestructive inspective inspection of chicken-egg freshness[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(5): 152-155.  
 [4] 刘文超, 廖宇兰, 崔万春, 等. 基于介电特性的水果无损检测技术的应用分析[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(6): 90-93.  
 [5] 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.  
 [6] 柯大观, 张立彬, 胥芳. 基于介电特性的水果无损检测系统研究[J]. 浙江工业大学学报, 2002, 30(5): 446-450.  
 [7] 秦文, 羽仓义雄, 铃木宽一, 等. 胡萝卜贮藏过程中电容与新鲜度的关系研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(9): 160-162.

(下转第212页)

- [29] Patwardhan A W, Joshi J B. Hydrodynamics of a stirred vessel equipped with a gas-inducing impeller[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 1997, 36(9): 3 904-3 914.
- [30] Saravanan K, Joshi J B. Fractional gas hold-up in gas inducing type of mechanically agitated contactors[J]. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 1996, 74(1): 16-30.
- [31] 郭建维, 崔英德. 生化反应器的传质性能[J]. *食品与机械*, 2001(4): 33-34.
- [32] Kasundra R B, Kulkarni A V, Joshi J B. Hydrodynamic and mass transfer characteristics of single and multiple impeller hollow self-inducing reactors[J]. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2008, 47(8): 2 829-2 841.
- [33] Poncina S, Nguyena C, Midouxa N, et al. Hydrodynamics and volumetric gas-liquid mass transfer coefficient of a stirred vessel equipped with a gas-inducing impeller[J]. *Chemical Engineering Science*, 2002(57): 3 299-3 306.
- [34] Yu He-sheng, Tan Zhong-chao. New correlations of volumetric liquid-phase mass transfer coefficients in gas-inducing agitated tank reactors[J]. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 2012, 10(1): 1-20.
- [35] Ryma A, Sonia B H, Hatem D, et al. Volumetric mass transfer coefficient and hydrodynamic study of a new self-inducing turbine[J]. *Energy Conversion and Management*, 2013, 71(7): 69-75.
- [36] Ye Qin, Li Zhi-min, Wu Hui. Principle and performance of gas self-inducing reactors and applications to biotechnology[J]. *Advances In Biochemical Engineering/Biotechnology*, 2015, 152: 1-33.
- [37] Mikkel N, Marie V, Alvin W, et al. Mixing by rotary jet heads: Indications of the benefits of head rotation under turbulent and transitional flow conditions[J]. *Chemical Engineering Research and Design*, 2008, 86(12): 1 454-1 461.
- [38] Scargiali F, Russo R, Grisafi F, et al. Mass transfer and hydrodynamic characteristics of a high aspect ratio self-ingesting reactor for gas-liquid operations[J]. *Chemical Engineering Science: Journal Internat*, 2007, 62(5): 1 376-1 387.
- [39] 张志强. 自吸式反应器的流体力学特性数值分析及放大[D]. 南京: 南京工业大学, 2015: 75-80.
- [40] 张超. 种分槽高性能 HSG/HQG 搅拌装置的研发[J]. *轻金属*, 2014(5): 20-24.

(上接第 120 页)

- [8] 马涛, 李海峰, 张海红. 樱桃番茄采后品质变化的介电特性研究[J]. *食品研究与开发*, 2013, 34(21): 107-111.
- [9] Nelson S O, Forbea W R, Lawrence K C. Peanittivities of fresh fruits and vegetables firm 0.2 to 20 GHz[J]. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 1994, 29(2): 81-83.
- [10] 李里特. 食品物性学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 286-288.
- [11] 马雪莲. 采后灵武长枣电学特性和生理特性关系的研究[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2015: 10-14.
- [12] 王慧倩, 张海红, 周世平, 等. 基于介电特性的枣果品种识别研究[J]. *食品科技*, 2014, 39(7): 304-308.
- [13] Soltani M, Alimardani R, Omid M. Evaluating banana ripening status from measuring dielectric properties[J]. *Journal of Food Engineering*, 2011, 105: 625-631.
- [14] 周世平. 灵武长枣贮藏过程中介电特性与品质变化的相关性研究[D]. 宁夏: 宁夏大学, 2014: 9-14.
- [15] 许铭强, 陈恺, 张艳艳, 等. 干制温度对枣果实质构性能的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(5): 59-70.
- [16] 谭谊谈, 曾凯芳. 鲜切果蔬酶促褐变关键酶研究进展[J]. *食品科学*, 2011(17): 376-379.
- [17] 任雪梅, 王文特, 田洪芸, 等. 比色法测定鸭油中的丙二醛[J]. *山东农业科学*, 2014, 46(1): 117-119.
- [18] 赵梅霞, 闫师杰, 肖丽霞, 等. 红外 CO<sub>2</sub> 分析器测定果实呼吸强度参数初探[J]. *现代仪器*, 2005(2): 30-32.
- [19] 颜敏华, 吴小华, 李国峰, 等. 灵武长枣呼吸特性研究[J]. *保鲜与加工*, 2008(3): 28-30.
- [20] 郭晓丹, 张海红, 周世平, 等. “灵武长枣”的介电特性和内在品质的关系[J]. *北方园艺*, 2014(11): 1-6.

(上接第 182 页)

- [14] 祝银银, 张慧, 徐聚, 等. 热烫对真空油炸豌豆品质的影响[J]. *食品与生物技术学报*, 2013(4): 375-380.
- [15] 夏文水. 食品工艺学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 30-31.
- [16] 张慧君, 宋春丽, 李文娟, 等. 微波钝化马齿苋过氧化物酶活力的研究[J]. *食品与机械*, 2012, 28(3): 199-202.
- [17] 彭丹, 邓洁红, 谭兴和, 等. 速冻花椰菜漂烫工艺的研究[J]. *现代食品科技*, 2010, 26(4): 377-379, 341.
- [18] 郭楠. 漂烫、预油炸对速冻马铃薯薯条品质影响的研究[D]. 北京: 中国农业机械化科学研究院, 2014: 33-34.
- [19] 汪兰, 邓乾春, 张芸, 等. 银杏淀粉颗粒结构及物化特性的研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 22(4): 66-69.
- [20] 魏显华, 党斌. 马铃薯淀粉糊化工艺研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(12): 6 512-6 514.
- [21] 饶先军, 汪立成, 刘春梅, 等. 预糊化替代复合磷酸盐在油炸蚕豆中的应用[J]. *食品工业科技*, 2012(21): 242-245.
- [22] Shyu S L, Hau L B, Hwang L S. Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips[J]. *Journal of The Science of Food and Agriculture*, 2005, 85(11): 1 903-1 908.
- [23] Bunge A, Moyano P, Rioseco V. NaCl soaking treatment for improving the quality of french-fried potatoes[J]. *Food Research Internat*, 2003, 36(2): 161-166.
- [24] Graham-Acquaah S, Ayernor G S, Bediako-Amoa B, et al. Effect of blanching and frying on textural profile and appearance of yam (*Dioscorea rotundata*) french fries[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(1): 19-29.
- [25] Agblor A, Scanlon M G. Processing conditions influencing the physical properties of French fried potatoes[J]. *Potato Research*, 2000, 43(2): 163-177.