

预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响

Effects of different pretreatment methods on the quality of freeze-dried apple slices

王海鸥 扶庆权 陈守江 张伟 王蓉蓉

WANG Hai-ou FU Qing-quan CHEN Shou-jiang ZHANG Wei WANG Rong-rong

(南京晓庄学院食品科学学院, 江苏 南京 211171)

(School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing, Jiangsu 211171, China)

摘要:比较分析热烫、护色液、超声波 3 种预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响。结果显示:热烫预处理组冻干样品细胞壁孔室形态破坏较为明显,呈软塌、皱缩现象, V_C 含量最低,复水比(4.97 g/g)最高,复水后可溶性固形物含量最高($P < 0.05$);护色液预处理组冻干样品细胞壁网络骨架紧固,孔室形态饱满、完整,硬度(7.17 N)最高,综合色差指标 ΔE 最高,冻干苹果片颜色更加亮白($P < 0.05$);超声波预处理组冻干样品网络结构中细胞壁薄而疏松多孔,结构松散,冻干耗时(10 h)最短, V_C 含量最高,复水后可溶性固形物含量最低($P < 0.05$)。

关键词:苹果;真空冷冻干燥;热烫;护色液;超声波

Abstract: The effects of different pretreatment methods (including blanching, color protecting liquid and ultrasonic) on the quality of vacuum freeze-dried apple slices were analyzed. The results showed that the FD apple slice in the blanching pretreatment group presented obvious collapse and shrinkage in the cell wall morphology, and obtained the lowest content of vitamin C, the highest rehydration ratio 4.97 and the highest content of soluble solids after rehydration ($P < 0.05$). In the color protection pretreatment group, FD apple slices obtained firmer network skeleton with full and complete shape of the cell walls, the highest hardness value 7.17 N, the highest color difference index ΔE , brighter and whiter appearance ($P < 0.05$). In the ultrasonic pretreatment group, FD apple slices obtained thinner, looser and more porous network organization of cell walls, the shortest FD time 10 hours, the highest content of vitamin C and the lowest content of soluble solids after rehydration ($P < 0.05$).

Keywords: apple; vacuum freeze-drying; blanching; color protection

基金项目:国家自然科学基金资助(编号:31872901);国家自然科学基金资助(编号:31301592);常州市科技支撑计划项目(编号:CE20152017)

作者简介:王海鸥(1978—),男,南京晓庄学院副教授,博士。

E-mail: who1978@163.com

收稿日期:2018-08-06

liquid; ultrasonic

苹果是一种营养丰富、酸甜可口的大众化水果。中国是世界上最大的苹果生产国、消费国和出口国^[1-2]。但中国苹果以鲜食为主,上市集中且贮藏和加工能力不足,产业效益低下^[3]。近年来,品类丰富、形式多样的果蔬脆片已在国际休闲食品市场悄然兴起,深受消费者喜爱,应用干燥技术或膨化技术制造果蔬脆片已是当前果蔬深加工利用研究的热点问题^[4-6]。真空冷冻干燥是在低温低压下的传热传质过程,水分以固体状态直接升华,不仅可以保持物料基本形态不变,而且可以最大程度地保留新鲜物料中的各种营养成分,是目前生产高品质干燥制品的最佳方法^[7-8]。为了推进食品冷冻干燥技术广泛应用,在兼顾干燥产品品质的同时,如何更大程度地缩短冷冻干燥工艺耗时、简化工艺过程、降低生产成本是当前该技术有待解决的问题^[9]。

烫漂、护色等预处理是多数果蔬制品加工工艺中的必要工序,冻干果蔬也不例外。近年来果蔬干燥预处理技术倍受干燥领域研究人员关注,国内外很多学者在此方面做了很多探索研究并取得较多创新成果。Garcia-Noguera 等^[10]、Schössler 等^[11]、严小辉等^[12]和周頔等^[13]研究了超声波预处理对草莓、甜椒、荔枝、苹果等果蔬干燥时间和品质的影响,试验证实其对加速果蔬干燥速度、缩短干燥时间有帮助;王海鸥等^[14]探讨了热烫、冻融预处理对苹果真空冻结失水率等特性的影响;郭婷等^[15]探讨了冻融处理对甘薯膨化产品品质的影响机理;吴亚丽等^[16]探讨了高压脉冲电场预处理对马铃薯冻干特性的影响。但对苹果物料的冷冻干燥而言,目前主要研究某一种预处理方法对其冻干品质的影响,多采取单因素试验、正交试验等方法对该预处理参数进行优化,以获得最佳预处理参数,受研究方法限制,所考察冻干品质指标相对有限。而综合采用各种常用预处理方法对比分析冻干苹果更多品质指标差异,更为全面地了解预处理方式对苹果冻干品质影响更具有现实意义,但相关研究较少。本研

究以苹果片为试验对象,通过测定苹果冻干耗时、产品复水比、硬度、色泽、 V_c 、可溶性固形物、微观组织等多种指标,对比分析热烫、护色液、超声波3种预处理方式对冷冻干燥苹果制品品质的影响差异,以期对实际苹果冷冻干燥加工生产实践有一定的指导作用。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

- 苹果:水晶红富士,产地山东烟台,购于南京苏果超市;
- L -半胱氨酸、抗坏血酸、草酸、NaCl、2,6-二氯酚:国产分析纯;
- 超声波扫频清洗机:SB-500DTY型,宁波新芝生物科技股份有限公司;
- 冷冻干燥机:SCIENTZ-50F型,宁波新芝生物科技股份有限公司;
- 电热恒温水浴锅:HHS型,上海博讯实业有限公司;
- 高品质电脑色差仪:3nh型,深圳市三恩时科技有限公司;
- 数字阿贝折射仪:WAY-2S型,上海申光仪器仪表有限公司;
- 物性测试仪:TA.XT.Plus型,英国 Stable Micro System 公司;
- 扫描电子显微镜:EVO-LS10型,德国 ZEISS 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 苹果预处理方式 挑选颜色大小一致、均匀相近、无损伤的鲜果,将苹果洗净后进行人工削皮、去核,切成厚度为5 mm的30 mm×30 mm正方形苹果片,分别进行如下3组预处理。

(1) 热烫处理:将切好的苹果片迅速置于热水中进行水浴热烫处理,水浴恒温95℃,热烫时间1 min,热烫后用流动的自来水冷却样品,快速冷却至室温后待用^[17-18]。

(2) 护色液处理:按照0.5% L -半胱氨酸、0.5% 抗坏血酸、0.2% 草酸、0.3% NaCl 配置复合护色液,将切好苹果片放入浸泡10 min后待用^[19]。

(3) 超声波处理:迅速将切好的苹果片置于超声波清洗槽内进行超声处理,超声处理条件为:超声波频率40 Hz,超声波功率400 W,水浴温度35℃,处理时间10 min,每间隔2 min 翻片1次,处理后沥干待用^[13]。

1.2.2 真空冷冻干燥 提前开启冷冻干燥机制冷机组,将冻干仓隔板温度设定为-40℃,将经过上述3组预处理的苹果片样品在冻干机料盘上平铺一层,置于隔板上预冻3 h,当物料冻结到-30℃以下后开启真空机组,维持冻干仓压强20 Pa左右,启动“温度-时间”隔板升温程序对物料进行原位冷冻干燥:-20℃ 1 h,-10℃ 1 h,0℃ 1 h,10℃ 1 h,20℃ 1 h,30℃ 1 h,40℃ 1 h,50℃至干燥结束^[20],收集冻干苹果片进行指标测定。

1.3 指标测定

1.3.1 冻干耗时 通过前期试验摸索采用物料干燥终温法判定冻干终点,将冻干机温度传感器插入苹果片中心位置,

监测苹果片中心温度变化,当平均温度达到(40±0.5)℃时,实测冻干苹果片含水率约为5%,此时结束干燥,记录隔板升温程序所维持的时间为冻干耗时。

1.3.2 复水比 用30℃蒸馏水水浴恒温浸泡冻干苹果片30 min,充分吸水后捞出沥干表面的水分,按式(1)计算复水比^[21],每组样品重复测定3次,取其平均值。

$$R_c = \frac{m_2}{m_1}, \quad (1)$$

式中:

R_c ——冻干苹果片复水比,g/g;

m_1 ——复水前苹果片质量,g;

m_2 ——复水后苹果片质量,g。

1.3.3 硬度和色差 参照文献^[20]。

1.3.4 V_c 含量 按GB 5009.86—2016的2,6-二氯酚滴定法执行,结果以每100 g冻干苹果片中含 V_c 质量(mg)表示,每组样品重复测定3次。

1.3.5 可溶性固形物 按NY/T 2637—2014的折射仪法执行。

1.3.6 微观结构 冻干苹果片样品用液氮速冻处理后立即掰断,将自然形成横断面作为观察样本,利用离子溅射仪对样本横断面喷金处理,然后置于扫描电子显微镜下观察微观组织,选取代表性结构进行拍照。

1.4 数据处理

所有试验进行3次重复,所得数据采用SPSS 12.0 统计分析软件进行描述性统计、显著性分析及方差分析等,显著性水平为0.05,多重比较方法为Duncan's法。

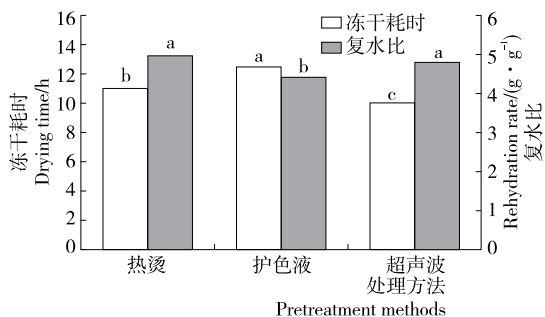
2 结果与分析

2.1 对苹果片冻干耗时与复水比的影响

冻干耗时是衡量冻干食品加工经济性的主要指标之一。3种预处理组冻干苹果片冻干耗时如图1所示,3组之间均有显著差异($P < 0.05$),由高到低分别是护色液处理组12.5 h、热烫预处理组11 h、超声波预处理组10 h,超声波预处理组和热烫预处理组可分别比护色液预处理组缩短冻干耗时20%,12%。复水比反映了干燥产品恢复到新鲜状态的程度,复水比越高冻干品质就越好。热烫、超声波、护色液预处理组冻干样品复水比分别为4.97,4.79,4.40 g/g,其中热烫、超声波预处理组未见显著差异,而两组复水比均显著高于护色液预处理组($P < 0.05$)。

冷冻干燥过程中干燥速度及复水性能与物料预冻、冻干工艺参数及细胞结构形态和细胞通透性等密切相关,而3种预处理组均采用相同的预冻和冻干工艺条件,因此不同预处理会对物料组织结构及水分状态产生不同影响,进而导致冻干耗时、复水比的不同。复水是水分重新进入并保留在物料组织中的过程,通常认为是干燥的部分可逆过程,图1试验结果表明,冻干耗时越短(干燥速度越快)复水比越高。

已有研究^[22-23]认为,超声波预处理对果蔬物料的作用以物理作用为主,其通过超声波在水介质传播产生空化作用、机械效应、热效应等使物料表面活化、内部组织更加疏松



字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)

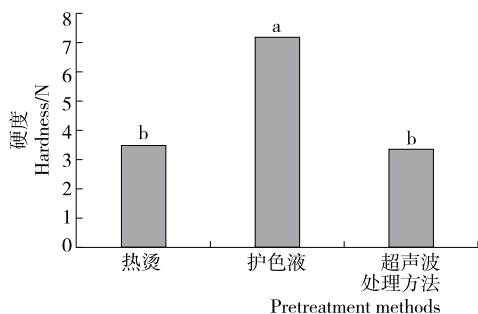
图 1 预处理对苹果片冻干耗时和复水比的影响

Figure 1 Effects of different pretreatments on drying time and rehydration ratio of apple slices

而形成微孔道,增强细胞膜的渗透性,降低水分转移阻力,有利于升华干燥、解吸干燥过程中所产生水蒸气从物料细胞组织网络结构中快速逸出。本试验中,苹果片经过适当时间的超声波处理后,其冷冻干燥速度最快,冻干耗时最短,可能也与上述超声波物理作用对被干燥物料微观组织的影响密切相关。而干制品复水时,水分更容易进入组织内部,复水性能显著提高。热烫处理是一种时间相对较短的高温作用,使苹果片细胞变形、分离,增大了细胞膜通透性,细胞膜破裂,细胞壁收缩,组织软化,降低水分转移阻力,有利于缩短干燥时间;也有利于提高冻干后的复水性能。其他学者^[22-24]在香菇、马铃薯等物料干燥方面也获得了超声波、热烫处理可以显著提高果蔬干燥速率及干制品复水比的类似试验研究结果。

2.2 对冻干苹果片硬度的影响

硬度是描述果蔬干制品质地品质的典型参数,反映了果蔬脆片食用口感,3组冻干苹果片硬度测试结果如图2所示。护色液预处理组冻干苹果片硬度最高(7.17 N),显著高于超



字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)

图 2 预处理对冻干苹果片硬度的影响

Figure 2 Effects of different pretreatments on hardness of vacuum freeze-dried apple slices

声波预处理组(3.35 N)和热烫预处理组(3.50 N),而热烫、超声波预处理组冻干苹果片硬度差异不显著($P < 0.05$)。

冻干制品硬度与样品微观组织结构和微观力学特性有密切关系。根据本试验中冻干苹果片的硬度测试结果,在超声波预处理组中,推测认为超声波强烈的物理作用可能使得苹果片细胞组织原有结构发生改变,呈松散微孔形态,避免表面硬化,细胞壁强度下降,降低了冻干苹果片的宏观硬度,针对荔枝、苹果等物料类似研究结论已有相关报道^[12-13];在热烫预处理组中,推测认为苹果片经过强烈的热烫作用后产品内部组织软化、通透性增强,细胞壁及细胞间的胶质大分子在热烫过程中遭到不同程度的破坏,使细胞间的结合力降低,并且冻干脱水后疏松多孔,从而降低干燥产品硬度,针对马铃薯、西兰花等物料类似研究结论已有相关报道^[24-25];在护色液预处理组中,结合已有相关研究报道^[19],推测可能是护色液渗透进入细胞组织内部,对组织结构改变相对较小,且L-半胱氨酸护色剂、抗坏血酸、草酸、NaCl护色剂组分进入细胞后与细胞组织中糖、蛋白等大分子物质结合,在冻干过程中被固化而形成了支撑物料内部结构的骨架,冻干后形态饱满,冻干样品更加坚固,表现出相对较高的硬度。

2.3 对冻干苹果片色泽的影响

3组预处理冻干苹果片色泽测定结果如表1所示。在明暗度指数 L^* 值方面,3组冻干苹果片之间具有显著差异,超声波预处理组与新鲜物料差异不显著,而热烫预处理和护色液预处理组均显著高于新鲜物料,表明该两组苹果片预处理冻干后颜色更为亮白($P < 0.05$)。3组冻干苹果片红绿度指数 a^* 值未见显著差异,但均显著低于新鲜物料($P < 0.05$)。在蓝黄度指数 b^* 值方面,护色液预处理冻干苹果片与新鲜物料差异不显著,且两者均显著高于热烫预处理组和超声波预处理组($P < 0.05$)。在综合指标 ΔE 方面,3组冻干苹果片之间呈现出显著差异($P < 0.05$), ΔE 值由大到小分别是护色液预处理组、热烫预处理组、超声波预处理组, ΔE 差异性主要是由 L^* 值贡献,因此与 L^* 值差异性一致,实际观察也发现护色液预处理和热烫预处理两组冻干苹果片颜色更亮白。

2.4 对冻干苹果片 V_C 含量的影响

V_C 是加工过程中极易损失的水溶性维生素。经热烫、护色液、超声波预处理的冻干苹果片 V_C 含量如图3所示,超声波预处理组最高,热烫预处理组最小,3组间均有显著性差异($P < 0.05$)。超声波预处理冻干苹果片具有相对较高的 V_C 含量,比热烫预处理冻干苹果片提高了45.30%,原因可能是超声波处理为一种物理作用,未经过热烫处理的高温热

表 1 预处理对冻干苹果片色泽的影响[†]

Table 1 Effects of different pretreatments on color parameters of freeze-dried apple slices

组别	L^*	a^*	b^*	ΔE
新鲜物料	74.56 ± 0.92 ^c	6.72 ± 1.26 ^a	21.24 ± 3.19 ^a	—
热烫预处理组	84.07 ± 2.40 ^b	0.87 ± 1.58 ^b	19.69 ± 1.19 ^b	11.27 ± 2.51 ^b
护色液预处理组	89.82 ± 1.21 ^a	-0.35 ± 0.78 ^b	20.47 ± 1.11 ^a	16.84 ± 2.15 ^a
超声波预处理组	74.24 ± 1.70 ^c	-1.69 ± 0.81 ^b	18.82 ± 0.83 ^b	8.76 ± 2.53 ^c

[†] 同列字母不同表示有显著性差异($P < 0.05$)。

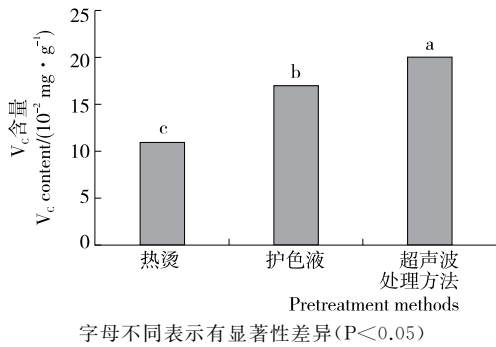


图3 预处理对冻干苹果片V_c含量的影响

Figure 3 Effects of different pretreatments on Vitamin C content of freeze-dried apple slices

效应,在预处理阶段对V_c破坏少,同时其又能改善干燥速度、缩短冻干耗时,冻干样品受到更短的“温时”作用,有利于减少V_c的流失。

2.5 对冻干苹果片可溶性固形物含量的影响

3组冻干苹果片复水后可溶性固形物含量如图4所示,3组之间均存在显著性差异(P<0.05),由高到低分别是热烫预处理、护色液预处理、超声波预处理,其中热烫预处理组比护色液、超声波预处理组分别提高了17.24%和27.60%。

结合已有类似研究^[24-27]结果,推测认为具有强烈热力作用的热烫处理可使细胞膜破裂、细胞壁分离,细胞膜更为通透,细胞间的结合力降低,组织质地软化,因此冻干苹果片复水后组织内部可溶性物质更容易透过细胞膜和细胞壁,获得相对较高的可溶性固形物含量。另一方面,热烫处理仅作用1 min,时间相对较短,可溶性固形物流失较少,而护色液和超声波处理在水中浸泡作用时间均为10 min,该两组在预处理阶段可能流失了更多的可溶性固形物成分,导致了冻干苹果片可溶性固形物含量的差异。

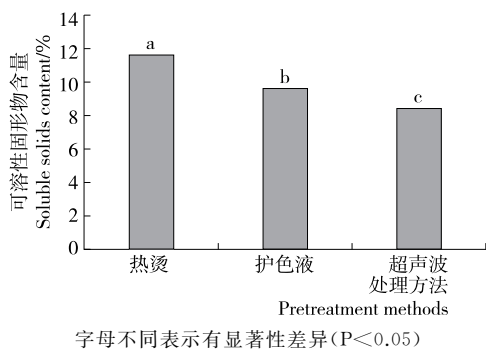


图4 预处理对冻干苹果片可溶性固形物含量的影响

Figure 4 Effects of different pretreatments on the content of soluble solids of vacuum freeze-dried apple slices

2.6 对冻干苹果片微观结构的影响

3组预处理冻干苹果片微观结构如图5所示。热烫冻干苹果片构成孔室的细胞壁结构呈现出一定的软塌、皱缩现象,细胞形态破坏较为明显,这可能有助于加快冷冻干燥速度、降低冻干耗时,导致冻干苹果片获得较低的硬度、较高的复水比;超声波处理冻干苹果片细胞组织壁薄而疏松多孔,

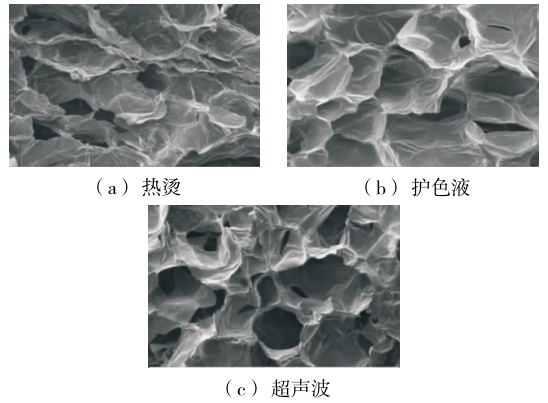


图5 不同预处理冻干苹果片微观结构扫描电镜照片(×100倍)

Figure 5 Scanning electron microscopy photos of the microstructure of freeze-dried apple slices with different pretreatments (×100 times)

结构松散,有利于水分的逸出,使得其冻干速度最快、冻干耗时最短,有助于冻干苹果片获得较佳的复水性,获得较高的复水比;护色液处理冻干苹果片细胞壁网络骨架坚固,细胞壁孔室形态饱满、完整,不利于冷冻干燥过程中水分迁移,冻干时间最长,其冻干苹果片硬度最高、复水比最低。3组冻干片组织微观结构与前述冷冻干燥速度、复水比、硬度等测试数据分析基本吻合。

3 结论

本研究以冻干耗时、产品复水比、硬度、色泽、V_c、可溶性固形物、微观组织等为考察指标,全面分析了热烫、护色液、超声波3组预处理对苹果冷冻干燥品质影响,结论如下:①热烫预处理组冻干样品多孔网络结构中的细胞壁形态破坏较为明显,呈现出一定的软塌、皱缩现象,V_c含量最低,复水比最高,复水后可溶性固形物含量最高,冻干苹果片颜色较为亮白(P<0.05);②护色液预处理组冻干苹果片细胞壁网络骨架坚固,细胞壁孔室形态饱满、完整,硬度最高,护色液预处理冻干苹果片综合色差指标ΔE最高,颜色更为亮白(P<0.05);③超声波预处理组冻干样品网络结构中细胞壁薄而疏松多孔,结构松散,有利于水分的逸出,其冻干耗时10 h最低,冻干样品V_c含量最高,复水后可溶性固形物含量最低(P<0.05)。

综合而言,在冷冻干燥前对苹果片样品进行3种不同预处理措施,会对物料组织产生不同程度的物理或化学综合作用,引起组织细胞微观结构、组分等不同变化,进而造成了冻干苹果片品质影响的差异。而超声波处理在缩短冻干耗时方面优势显著,节能降耗效果明显,更有利于推广应用。超声波、热烫预处理对马铃薯、胡萝卜等其他果蔬干燥品质影响机理已有较多研究,尽管本试验中所用预处理对冻干苹果片复水比、硬度等指标影响也具有与其他物料类似的试验现象,但就苹果物料而言其作用机理还有待进一步深入探索。

参考文献

[1] 陈学森, 韩明玉, 苏桂林, 等. 当今世界苹果产业发展趋势及我

- 国苹果产业优质高效发展意见[J]. 果树学报, 2010, 27(4): 598-604.
- [2] 王田利. 我国苹果产业发展形势与去产能的必然性[J]. 北方果树, 2018(1): 42-43.
- [3] 王洪煜, 张复宏, 宋晓丽. 我国苹果生产现状与经济效益分析[J]. 对外经贸, 2017(10): 93-96.
- [4] 王沛, 毕金峰, 方芳, 等. 苹果脆片品质评价技术现状及展望[J]. 食品与发酵工业, 2010(9): 138-142.
- [5] 孔欣欣, 游新侠, 程璐瑶. 再造型复合果蔬脆片配方及干燥工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2018(3): 103-109.
- [6] 陈秀惠. 微波膨化处理对苹果脆片品质及营养素的影响研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2017: 4-8.
- [7] RATTI C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(4): 311-319.
- [8] DUAN Xu, ZHANG Min, MUJUMDAR A S, et al. Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*)[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 96(4): 491-497.
- [9] 任广跃, 李晖, 段续, 等. 常压冷冻干燥技术在食品中的应用研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(18): 119-122.
- [10] GARCIA-NOGUERA J, OLIVEIRA F I P, WELLER C L, et al. Effect of ultrasonic and osmotic dehydration pre-treatments on the colour of freeze dried strawberries[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(9): 2 222-2 227.
- [11] SCHÖSSLER K, JÄGER H, KNORR D. Novel contact ultrasound system for the accelerated freeze-drying of vegetables[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 16(2): 113-120.
- [12] 严小辉, 余小林, 胡卓炎, 等. 超声预处理对半干型荔枝干干燥时间的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 351-356.
- [13] 周颀, 孙艳辉, 蔡华珍, 等. 超声波预处理对苹果片真空冷冻干燥过程的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 282-286.
- [14] 王海鸥, 陈守江, 扶庆权, 等. 热烫冻融组合处理对苹果片真空冻结特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(6): 180-186.
- [15] 郭婷, 何新益, 邓放明, 等. 利用 LF-NMR 探讨冻融处理影响甘薯膨化产品品质的机理[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 279-285.
- [16] 吴亚丽, 郭玉明. 高压脉冲电场预处理对土豆真空冷冻干燥的影响[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2010, 30(5): 464-467.
- [17] 汪凤祖. 速冻蔬菜热烫原理及其影响因素[J]. 冷饮与速冻食品工业, 2000, 30(1): 29-33.
- [18] WANG Hai-ou, FU Qing-quan, CHEN Shou-jiang, et al. Effect of hot-water blanching pretreatment on drying characteristics and product qualities for the novel integrated freeze-drying of apple slices[J]. Journal of Food Quality, 2018, DOI: 10.1155/2018/1347513.
- [19] 卢影, 郑建仙. 复合护色液对鲜切苹果的防褐变研究[J]. 现代食品科技, 2009, 25(9): 1 024-1 028.
- [20] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 不同护色预处理对牛蒡片真空冷冻干燥特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(1): 86-91.
- [21] WANG Yu-chuan, ZHANG Min, MUJUMDAR A S, et al. Effect of blanching on microwave freeze drying of stem lettuce cubes in a circular conduit drying chamber[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 113(2): 177-185.
- [22] 周颀, 王海鸥, 孙艳辉, 等. 不同前处理和冻结方式对苹果片真空冷冻干燥效率及干制品品质的影响[J]. 现代食品科技, 2016(12): 218-224.
- [23] 段续, 任广跃, 朱文学, 等. 超声波处理对香菇冷冻干燥过程的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(1): 41-43.
- [24] MATE J I, ZWIETERING M, KVANT R. The effect of blanching on the mechanical and rehydration properties of dried potato slices [J]. European Food Research & Technology, 1999, 209(5): 343-347.
- [25] SANJUÁN N, CLEMENTE G, BON J, et al. The effect of blanching on the quality of dehydrated broccoli florets[J]. European Food Research & Technology, 2001, 213(6): 474-479.
- [26] 胡洋, 陈艳, 陈金日, 等. 热烫对微波干燥紫薯片品质的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(12): 25-28.
- [27] TABTIANG S, PRACHAYAWARAKON S, SOPONRON-NARIT S. Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and texture properties of banana slices[J]. Drying Technology, 2012, 30(30): 20-28.

(上接第 114 页)

- [5] 郭会军, 张建丰, 王志林, 等. 基于 LabVIEW 和 ARM 处理器的大型称重式蒸渗仪测控系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(16): 134-141.
- [6] 许顺, 佟金, 李默. 基于 LabVIEW 的蔬菜切碎机性能测试及工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 250-256.
- [7] 刘立果, 张学军, 刘超山, 等. 基于 LabVIEW 的红枣干燥机控制系统的的设计[J]. 农机化研究, 2017(5): 264-268.
- [8] 介战, 罗四倍, 周学建. 基于 LabVIEW 的联合收割机水稻喂入量遥测试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(S2): 87-91.
- [9] 崔阳, 张维华, 白云峰. 一种基于 Arduino 的智能家居控制系统[J]. 计算机技术与应用, 2014, 40(4): 123-125.
- [10] 肖乾坤, 刘泽蒙, 曹逊, 等. 基于 Arduino 的发酵尾气检测系统设计[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(3): 452-454.
- [11] 宾俊, 艾芳芳, 刘念, 等. 基于 Arduino 和 Python 搭建的实时在线 pH 测量平台[J]. 计算机与应用科学, 2013, 30(1): 49-52.
- [12] 邬娟, 宣传忠, 武佩, 等. 基于 Arduino 和 LabVIEW 的羊只反刍行为无线采集系统设计[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(21): 10-13.
- [13] 玄兆燕, 唐佳明, 陈学斌, 等. 农田环境信息采集系统设计与实现[J]. 自动化仪表, 2014, 35(11): 41-43.
- [14] 杨培刚. 大功率液压负载模拟试验台的研制[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 117-120.
- [15] 徐旻晟, 谢晶晶, 王金锋. 基于虚拟仪器技术的渔船超低温冷库制冷监控系统研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 122-127.