

低温鼓风干燥过程中皱皮木瓜的褐变 及其活性成分变化研究

Study on dynamic changes of browning and active components in *Chaenomeles spiciosa* (Sweet) Nakai during low temperature air drying

崔莉^{1,2} 宋双双^{1,2,3} 杜利平^{1,2,3}
CUI Li^{1,2} SONG Shuang-shuang^{1,2,3} DU Li-ping^{1,2,3}
王岱杰^{1,2} 耿岩玲^{1,2} 王晓^{1,2}
WANG Dai-jie^{1,2} GENG Yan-ling^{1,2} WANG Xiao^{1,2}

(1. 山东省分析测试中心, 山东 济南 250014; 2. 山东省中药质量控制技术重点实验室, 山东 济南 250014;
3. 山东农业大学食品科学与工程学院, 山东 泰安 271018)

(1. Shandong Analysis and Test Center, Jinan, Shandong 250014, China; 2. Key Laboratory of TCM Quality Control Technology, Jinan, Shandong 250014, China; 3. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

摘要:为研究干燥过程中皱皮木瓜发生的颜色及活性成分等变化,采用低温热风干燥方式,检测干燥过程中木瓜片的色差、褐变相关酶及多种成分含量的变化规律。结果表明:干燥过程中失水速率与细胞膜受损伤程度的大小呈线性正相关,相关系数达 0.989,过氧化物酶活性与细胞膜受损伤程度的大小呈线性负相关,相关系数为 0.956,即细胞膜受损伤程度越大,干燥失水速度越快,过氧化物酶活性越小。5~9 h 是其颜色发生急剧变化的主要时间段,前期逐渐变红,9 h 后迅速变黄,在干燥前期以酶促褐变为主,后期以非酶褐变为主。活性成分总酚和总黄酮含量的变化趋势相同,均呈现先降低后增加,再降低再增加的波动性变化规律,主要功效成分中熊果酸的含量未见显著性变化,齐墩果酸含量变化很大,呈现先降低,后又迅速升高,再缓慢降低的波动变化趋势,干燥过程中各成分的代谢机理有待进一步研究。

关键词:皱皮木瓜;低温鼓风干燥;褐变;活性成分

Abstract: In order to evaluate the effects of drying method on the color and active components from *Chaenomeles spiciosa* (Sweet) Nakai, which was dried under low temperature hot air, then the change law of the chro-

maticity value, browning enzymes and the contents of some components were determined. The results showed that during the process of drying, there was a close positive relationship between the rate of water loss and the severity of the injured cell membrane, with the correlativity coefficient 0.989, while, there was negative correlation between the peroxidase activity and the severity of the injured cell membrane, with the correlativity coefficient 0.956. That is, the bigger severity of the injured cell membrane was, the water lose speed was higher, and the peroxidase activity was lower. The chromaticity value changed rapidly during 5~9 h, red-den gradually in the start 5 h, and then turned yellow after 9 h, and at the primary stage of drying, the enzymatic browning was the main reason for color changes, and nonenzymatic browning was the main reason at the late drying. The contents of total phenolics and total flavonoids decreased firstly and then increased, and then decreased and then increased. The contents of ursolic acid were no significant difference during the whole drying, while the content of oleanolic acid decreased firstly, then increased slightly and then decreased gradually. The metabolic mechanism of various compositions during the process of drying should be further studied.

Keywords: *Chaenomeles spiciosa* (Sweet) Nakai; low temperature air drying; browning; active components

基金项目:山东省科学院青年基金(编号:青基合字 2014 第 5 号);山东省分析测试中心科技发展基金(编号:山分基合字 2013 第 1 号)

作者简介:崔莉(1983—),女,山东省分析测试中心助理研究员,博士。E-mail:cuili0617@163.com

通讯作者:王晓

收稿日期:2015-07-28

皱皮木瓜(*Chaenomeles spiciosa* (Sweet.) Nakai)又名贴梗海棠,属蔷薇科木瓜属,其成熟果实为传统中药^[1]。皱皮木瓜富含氨基酸、维生素、三萜类化合物、有机酸、黄酮类化合物等,是药食两用的重要植物资源^[2],三萜类成分主要

包括五环三萜类同分异构体齐墩果酸和熊果酸,现代研究^[3]显示这两种成分具有护肝降酶、抗炎、促进肝细胞再生、抗肿瘤等多种生理活性,是木瓜中的主要药效成分。利用木瓜果实加工成果酒、果汁、果脯等食品具有较好的市场潜力,特别是山东临沂产的皱皮木瓜果实大,肉厚,肉质细腻,营养丰富,适宜加工食用^[2]。

皱皮木瓜采收后,其鲜果生命活动仍很旺盛,且水分含量高,不易贮藏,亟需干燥加工。热风干燥成本较低、操作简单,且对环境和场地等要求较低,是目前干制加工生产中广泛应用的干燥方法^[4-5],但生产中常用的热风温度较高,会造成热敏性活性物质的损失,过快失水会造成产品色泽等感官品质下降^[6],低温鼓风干燥(0~50℃)因其较低的温度而具有对各种活性成分破坏较小、干制产品感官品质较好的特点,适宜干燥富含功效成分的果蔬切片等原料^[7]。目前,皱皮木瓜的研究主要集中在化学成分^[8]、功能活性成分^[9-11]及药理作用等方面^[12-13],对其采后加工的基础研究报道较少,特别是低温干燥过程中皱皮木瓜品质变化等研究未见报道。因而本试验拟研究低温鼓风干燥过程中皱皮木瓜发生的色泽、活性成分等的变化规律,以期更好地为干燥加工生产提供理论依据和技术支持,促进皱皮木瓜资源的综合利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

皱皮木瓜:于 2014 年 10 月份采自山东临沂(成熟度为 80%~90%,完整无机械伤,无病虫害);

熊果酸、齐墩果酸对照品:纯度>99%,山东省分析测试中心;

芦丁、没食子酸、愈创木酚:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

甲醇:色谱纯,国药集团化学试剂有限公司;
PVP:分析纯,美国 Sigma 公司;

Tris、TritonX-100、L-dopa:分析纯,上海源叶生物有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent 1120 型,美国安捷伦公司;
万分之一天平:BAS124S 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

紫外可见分光光度计:GENESYS 10S UV-VIS 型,美国 Thermo 公司;

离心机:Multifuge X1R 型,美国 Thermo 公司;
数显鼓风干燥箱:GZX-9140 型,上海博讯实业有限公司;

电导率仪:DDS-11A 型,上海雷瓷创益仪器仪表有限公司;

色差计:WF30 型,深圳威福光电科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 将新鲜皱皮木瓜切成薄片,每片约 0.5 cm,放入烘箱 30℃下低温干燥处理,分别隔 3,2,2,2,10 h 取样(前期预试验表明,0.5 cm 的木瓜薄片在 30℃的条

件下 24 h 内即可完成干燥),测定水分、电导率、总黄酮含量、总酚含量、齐墩果酸含量、熊果酸含量等指标,直至样品烘至恒重。

1.2.2 失水率测定 取 1.2.1 干燥过程中的皱皮木瓜 3 份,定时称重(该试验中为进一步确认是否恒重,于 35 h 时增加一个取样点,进行测定),根据式(1)计算不同时间(t)的失水率, t_0 为初始时间。样品初始含水率为 $(87.48\pm0.55)\%$ 。

$$D=\frac{M_0-M_t}{M_0}\times100\% \tag{1}$$

式中:
 D ——失水率,%;
 M_0 ——初始时重量,g;
 M_t ——不同时间 t 时重量,g。

1.2.3 细胞膜相对透性的测定 电导率显示细胞膜透性,其大小可以直观地表示细胞膜受损伤程度的大小,电导率越大,表示细胞受损伤的程度越大。采用电导法^[14]测定皱皮木瓜细胞膜的相对透性,具体修改如下:定时取 1.2.1 干燥过程中的皱皮木瓜各 3 份,用蒸馏水冲洗 3 次,用滤纸吸干表面水分,将木瓜片剪成 0.5 cm 长的小段,分别置于装有 50 mL 去离子水的带塞三角瓶中,室温下浸泡 12 h,测定浸提液电导值 R_1 ,之后沸水浴 30 min,冷却至室温,摇匀后采用电导率仪检测得电导值 R_2 ,根据式(2)计算相对电导率。

$$R=\frac{R_1}{R_2}\times100\% \tag{2}$$

式中:
 R ——相对电导率,%;
 R_1 ——室温浸泡后的电导值,mS/cm;
 R_2 ——沸水浴后的电导值,mS/cm。

1.2.4 总黄酮含量测定 定时取 1.2.1 干燥过程中的皱皮木瓜各 3 份,分别加 50%乙醇 10 mL 研磨后超声提取 30 min,10 000 r/min 离心 10 min,定量滤纸过滤后定容至 10 mL 容量瓶中即为待测液。按照田春莲等^[15]的方法,以试剂为空白,于 510 nm 处测定吸光度值 A ,取平均值。以芦丁标样进行总黄酮含量的测定,分别移取 150 $\mu\text{g/mL}$ 芦丁标准溶液 0.50,1.00,1.50,2.00,2.50,3.00,3.50,4.00 mL 芦丁标准溶液,按文献^[15]的方法测定芦丁标样的标准曲线见图 1。

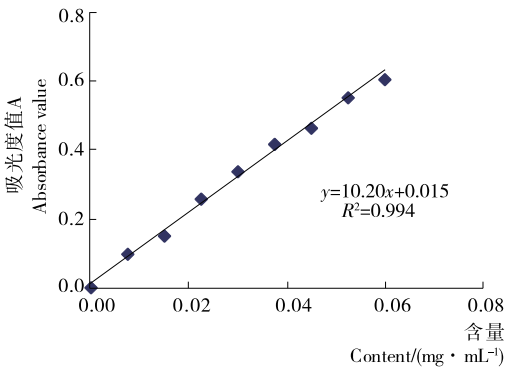


图 1 芦丁的标准曲线
Figure 1 The standard curve of rutin

1.2.5 总酚含量测定 按 1.2.4 制备待测液。按郭兴峰等^[16]的方法在 760 nm 测定吸光度值。以没食子酸为标准样品建立标准曲线:分别移取 100 μg/mL 的没食子酸标准溶液 0.10,0.20,0.30,0.40,0.50,0.60,0.70 mL,按文献^[16]的方法测定,得标准曲线见图 2。

1.2.6 齐墩果酸、熊果酸含量测定 按设定的时间间隔取干燥过程中的皱皮木瓜各 3 份,加入 100%乙醇 5 mL,研磨后超声提取 1 h,10 000 r/min 离心 10 min,过滤后定容至 5 mL 容量瓶。按照王岱杰等^[17]的高效液相色谱法检测,色谱条件:色谱柱为 YMC-Pack ODS-A(250 mm×4.6 mm, 5 μm);流动相:甲醇—1% 乙酸水溶液(85:15);流速 0.6 mL/min;进样量 10 μL;柱温 25 ℃;检测波长 210 nm。标准曲线的建立:用 100%乙醇准确配制齐墩果酸和熊果酸浓度分别为 0.60,1.55 mg/mL 的混合标准溶液,分别取 1,

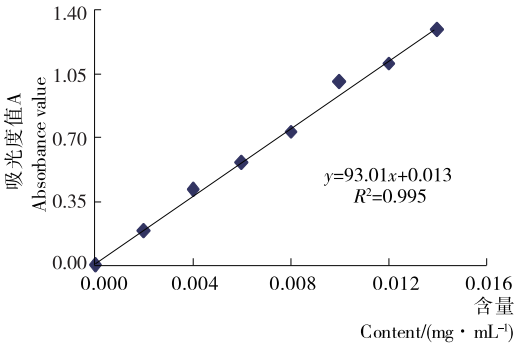


图 2 没食子酸的标准曲线
Figure 2 The standard curve of gallic acid

2,5,10,20 μL 进样测定峰面积,峰面积与齐墩果酸含量和熊果酸含量的回归方程分别见图 3。

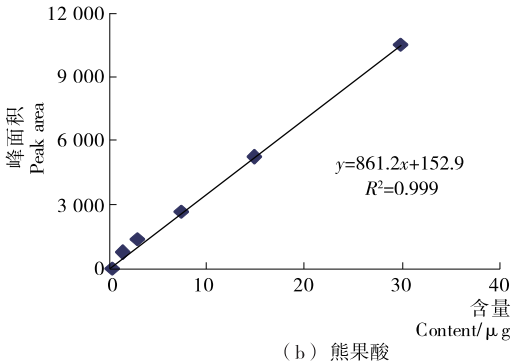
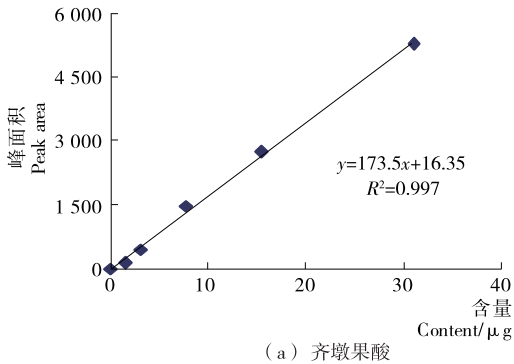


图 3 齐墩果酸和熊果酸的标准曲线
Figure 3 The standard curve of oleanolic acid and ursolic acid

1.2.7 PPO 活性测定 按设定的时间间隔取干燥过程中的皱皮木瓜各 3 份,分别冰浴研磨,每份用 5 mL Tris—HCl 缓冲液(含 3% (m/V) TritonX-100,1% (m/V) PVP,pH 7.5)在 4 ℃ 条件下提取,4 ℃ 条件下 10 000 r/min 离心 20 min,取上清液待测。以 L-dopa 为底物,按照 Liu Na-na 等^[18]的方法于 475 nm 下进行吸光值的测定,以吸光值每分钟变化 0.01 为 1 个酶活性单位。试验重复 3 次。

1.2.8 POD 活性测定 按 1.2.7 制备上清液待测。以愈创木酚为底物,按照 Liu Na-na 等^[18]的方法,在 470 nm 下测吸光值,以吸光值每分钟变化 0.01 为 1 个酶活性单位。试验重复 3 次。

1.2.9 色泽的测定 采用 WF30 色差计测量,将各干燥条件下得到的木瓜样品随机取出 3 份平行,立即测定样品的底色亮度值 L 和色泽 a、b 值,每个样品在不同位置测试 5 次,取 5 次读数的平均值,观察干燥过程中的颜色变化。

2 结果与分析

2.1 干燥过程中水分及电导率的变化

由图 4 可知,皱皮木瓜薄片在前 5 h 内失水迅速,超过 5 h 后,失水速率变缓,直到 19 h 左右,失水率基本达到平衡,为进一步确认是否恒重,于 35 h 时进行测定,重量保持恒定,至恒重时,皱皮木瓜的失水率为 87.37%。为探讨该变化规律产生的原因,进行细胞膜透性研究。

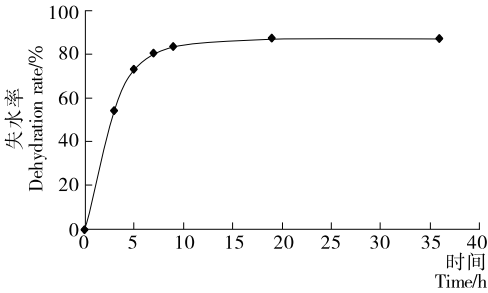


图 4 皱皮木瓜干燥过程的失水率变化
Figure 4 The dehydration rate of *Chaenomeles* during the drying process

由图 5 可知,整个干燥过程中的电导率都呈现持续增长的趋势,在前 5 h 内比较明显,5 h 后增长的速率减慢,该变化趋势与失水率的变化趋势一致,对两者进行相关性分析,得到线性方程: $y = 0.002x + 0.763$,相关系数 $R^2 = 0.989$,可见失水率与电导率呈现很高的线性正相关性,即木瓜干燥过程中失水的快慢与细胞膜受损伤程度的大小直接相关,细胞膜受损伤程度越大,干燥失水速度越快,推测在该试验条件下,皱皮木瓜薄片受热风作用,在前 5 h 内细胞膜发生较严重的损伤,因此在前 5 h 内木瓜细胞中的水分大量流失,之后细胞膜的损伤程度不再变化,水分流失速度减缓,至恒重。

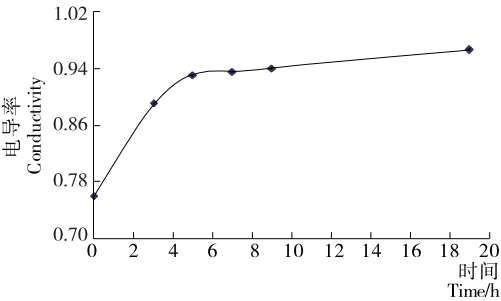


图 5 皱皮木瓜干燥过程的电导率变化
Figure 5 The conductivity of *Chaenomeles* during the drying process

2.2 干燥过程中色差值的变化

干燥过程中不同时间点取样,检测色差值的变化,底色亮度值 L 和色泽 a 、 b 值见图 6。

L 值表示样品光泽的明亮度, L 值越大,表示样品的亮度越高^[19]。由图 6(a)可知,在皱皮木瓜片的低温干燥过程中, L 值呈上升趋势,表明皱皮木瓜薄片的亮度持续增大,在 5~9 h 时增加的速率最快。色泽 a 值表示红色与青绿色相比的程度, a 值越大,表明样品越红,如果为负值则表示样品

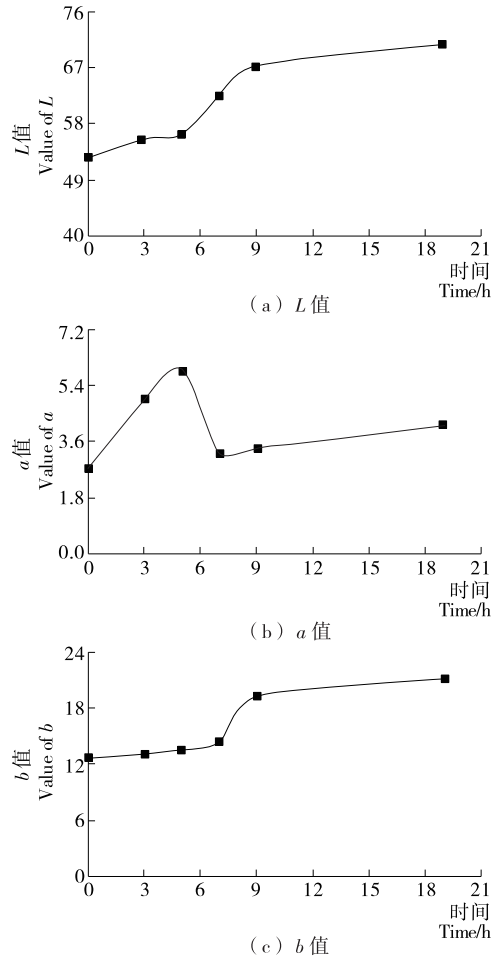


图 6 皱皮木瓜干燥过程中的底色亮度值 L 和色泽 a 、 b 值的变化
Figure 6 Effect of the drying on the change of 'L' and the color of 'a', 'b' of *Chaenomeles*

偏青色^[20]。由图 6(b)可知,皱皮木瓜片的低温干燥过程中 a 值先增加,至 5 h 时开始下降,7 h 后又缓慢增加,说明皱皮木瓜片在低温干燥过程前期颜色会变红,5 h 时随着 L 和 b 值的迅速增加,其色泽偏红的程度开始下降。 b 值表示黄色与蓝色相比的程度, b 值越大表明样品越黄^[20]。由图 6(c)可知,在低温干燥过程中,皱皮木瓜片的 b 值呈增加趋势,说明其色泽偏黄的程度越来越大,在 7 h 前变化轻微,至 9 h 时迅速变黄,之后又变化缓慢。综合 L 、 a 、 b 值,在本研究中的干燥条件下,5~9 h 是其颜色发生急剧变化的主要时间段,结合失水率的结果分析,在细胞膜受到损伤水分大量流失之后颜色迅速发生变化,推测细胞受损后,随着水分的大量流失,细胞液中的成分之间可能发生了酶促褐变等复杂的生理生化反应,具体原因有待进一步研究。

2.3 褐变相关酶活性变化

引起果实发生褐变的酶类主要有多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD),若这两种酶活性较高,则该组织极易发生酶促褐变。本研究中以 L-dopa 为底物,测定皱皮木瓜中的 PPO 活性,但多次反复测定,均未检测到 PPO 活性,认为本研究中选用的皱皮木瓜在采后 PPO 酶活性很小或者含量极低。以愈创木酚为底物检测 POD 的活性,皱皮木瓜低温干燥过程中的 POD 的活性变化见图 7。

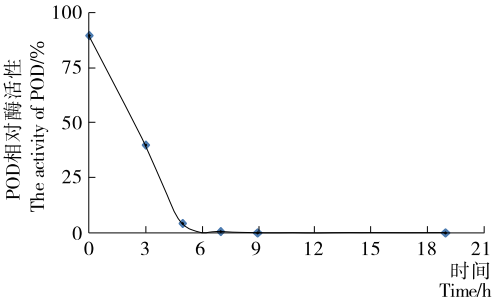


图 7 皱皮木瓜干燥过程中 POD 活性变化
Figure 7 The activity of POD during the drying process of *Chaenomeles*

由图 7 可知,从干燥开始,POD 酶活性急剧下降,至 5 h 时基本完全失活。结合色差值的变化分析,在干燥前期,即前 5 h 以酶促褐变为主,木瓜皮颜色逐渐变红,之后 POD 酶失活,颜色迅速变黄,推测可能是发生了非酶褐变。对 POD 酶活性和电导率的变化趋势进行相关性分析,得到线性方程: $y = -480.8x + 457.0$, $R^2 = 0.956$,可见 POD 酶活性与电导率呈现很高的线性负相关性,即木瓜干燥过程中 POD 酶失活的程度与细胞膜受损伤程度的大小直接相关,细胞膜受损伤程度越大,POD 酶活性越小。

2.4 化学成分的变化

2.4.1 总酚和总黄酮含量的变化 酚类化合物是指芳香烃苯环上氢原子被羟基取代所生成的化合物^[21],其中黄酮类化合物是以 $C_6-C_3-C_6$ 为基本碳架的一系列化合物^[22-23],作为次级代谢产物,其具有多种重要生理功能,也是酶促褐变的底物,因此,本试验干燥过程中测定了皱皮木瓜的总酚和总黄酮含量,分析其在干燥过程中的变化。由图 8 可知,总

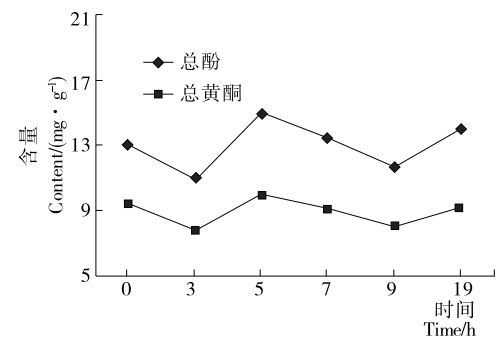
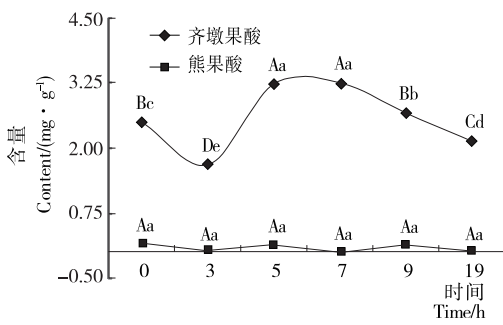


图 8 皱皮木瓜干燥过程中总酚和总黄酮的含量变化
Figure 8 The contents of phenols and flavonoids during the drying process of *Chaenomeles*

酚和总黄酮含量的变化趋势相同,在开始的 3 h 内含量降低之后升高,5 h 后又缓慢降低,9 h 后又增加,呈现不断波动的变化规律。

由于检测的总酚、总黄酮均为一类化合物的含量总值,其中的多种主要成分在干燥过程中很可能呈现不同的变化规律,且随着干燥时间的推移,细胞结构及细胞内环境均不断发生变化,酶促褐变等的反应过程也会不断发生改变,研究^[21]显示只有部分酚类化合物可以作为酶促褐变底物,且不同种类的果蔬中参与酶促褐变的酚类物质均不尽相同,推测在干燥的不同时间段里,总酚和总黄酮类成分的代谢途径受到不同程度的影响,桑叶干燥研究结果^[24]也显示,7 种主要的黄酮类成分在不同干燥温度条件下均表现出不同的变化规律,可能在本研究中不同时间点木瓜总酚和总黄酮中有些成分含量增加,另外一些成分含量减少,因而导致总含量出现增加和减少的波动变化,要探明干燥过程对总酚和总黄酮类成分的代谢途径的影响,还有待对每种成分在干燥过程中发生的变化规律进一步深入研究。

2.4.2 齐墩果酸和熊果酸含量的变化 由图 9 可知,熊果酸的含量较低,在整个低温干燥过程中未见显著性变化,而齐墩果酸含量变化很大,在开始的 3 h 内先降低,然后又迅速升高,后又缓慢降低,由于木瓜切片中细胞仍具有生命活力,推测认为在整个低温干燥过程中,由于持续加热和不断失水,细胞内会发生复杂的生理变化,其次生代谢过程也会受



不同大写字母表示在 0.01 水平上有极显著差异($P<0.01$);不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异($P<0.05$)

图 9 皱皮木瓜干燥过程中齐墩果酸和熊果酸含量变化
Figure 9 The content of oleanolic acid and ursolic acid during the drying process of *Chaenomeles*

到影响,导致齐墩果酸的合成及代谢途径出现急剧变化,呈现含量的波动变化,张伟伟等^[25]研究显示木瓜果实生长发育过程中齐墩果酸的积累也是波动变化的,有 2 个高峰期而不是持续增加,具体代谢机理尚未见报道,有待进一步研究。

3 结论

本研究中皱皮木瓜低温干燥过程中在前 5 h 内失水迅速,失水速率与细胞膜受损伤程度的大小呈线性正相关,相关系数达 0.989,褐变相关的过氧化物酶活性不断下降,至 5 h 时基本完全失活。POD 酶活性与电导率呈现很高的线性负相关性,相关系数为 0.956,细胞膜受损伤程度越大,干燥失水速度越快,POD 酶活性越小。5~9 h 是颜色发生急剧变化的主要时间段,5 h 前颜色变红,9 h 时迅速变黄;在干燥前期以酶促褐变为主,后期以非酶褐变为主。

总酚和总黄酮含量的变化趋势相同,均呈现先降低后增加,再降低再增加的波动性变化规律,主要功效成分中熊果酸的含量在整个低温干燥过程中未见显著性变化,齐墩果酸含量变化趋势为先降低,后迅速升高,后又缓慢降低,干燥过程中各成分的代谢机理有待进一步研究。

参考文献

- 王梦倩,蔡圣宝,籍保平.皱皮木瓜籽的抗氧化活性以及对 HepG2 细胞的生长抑制作用[J].食品科技,2013,38(2):207~217.
- 邓月影.木瓜药材及饮片现代质量控制方法的研究与应用[D].济南:山东大学,2012:19~20.
- Liu Jie. Pharamacology of oleanolic acid and ursolic acid[J]. Journal of Ethnopharmacolohy, 1995, 49(2): 57~68.
- 高鹤,易建勇,刘璇,等.番木瓜热风干燥特性分析[J].食品与机械,2014,30(4):38~42.
- 孟阳,刘峰娟,王玉红,等.热风干燥温度对无核白葡萄干品质的影响[J].食品与机械,2015,31(1):204~207.
- 李铭,陈冬梅,侯萍,等.木瓜热风干燥和冷冻干燥的研究现状和展望[J].食品研究与开发,2013,34(16):121~123.
- 王宁.杏低温干燥的实验研究[D].北京:中国农业机械化科学研究院,2010:5~6.
- 刘世尧,白志川,李加纳.重庆皱皮木瓜挥发性成分的 GC-MS 分析[J].中药材,2012,35(5):728~733
- 刘婕,王文,卢奎,等.皱皮木瓜多糖的提取及其抗氧化活性研究[J].河南工业大学学报(自然科学版),2011,32(1):48~52.
- 张秀秀,曹帮华,侯蕊,等.皱皮木瓜果实发育过程中主要成分变化的研究[J].陕西农业科学,2012(1):39~43.
- Kostova I, lossifova T. Chemical components of Fraxinus species[J]. Fitoterapia, 2007, 78(1): 85~106.
- 王宏贤.木瓜保肝降酶作用的实验研究[J].世界中西医结合杂志,2007,2(4):213~214.
- Wu He-zhen, Luo Jing, Yin Yan-xia, et al. Effects of chlorogenic acid, an active compound activating calcineurin purified from flos Ionicerae on macrophage[J]. Acta pharmacologica Sinica, 2004, 25(12): 1 685~1 689.
- 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].2版.广州:华南理工大学出版社,2006:64~66.

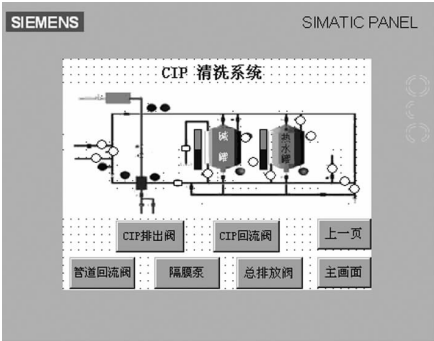


图 7 手动控制界面

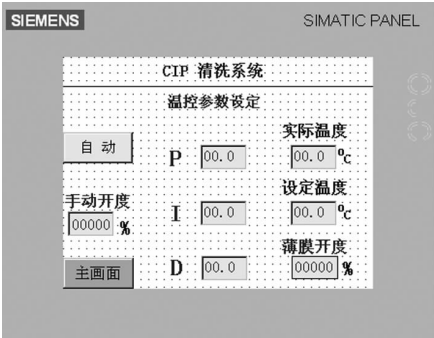
Figure 7 Manual control interface

3.5 温控及温控参数设定界面

温控及温控参数设定界面包括:切换画面(主画面)和温度设定,见图 8。控制模式:自动、手动(自动时,薄膜阀开关比例根据 PV 与 SV 及 P、I、D 参数调节;手动时,薄膜阀开关比例根据手动设定值比例调节)。

3.6 故障显示界面

故障显示界面包含:切换界面(主画面)和显示系统当前故障,见图 9。具体阀故障及泵故障在工艺流程图中反馈具体位置结束语。



P. 比例增益参数 I. 积分参数 D. 微分参数

图 8 温控及温控参数设定界面

Figure 8 Temperature control and temperature control parameters setting interface Figure

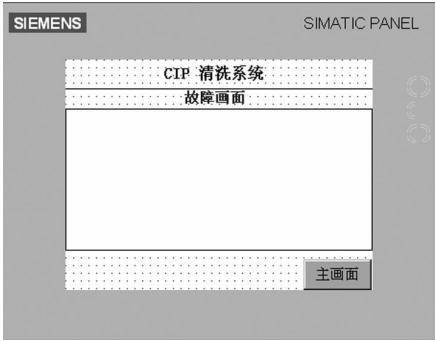


图 9 故障显示界面

Figure 9 Fault display interface

4 结论

该 CIP 系统采用基于西门子 S7 200 PLC 和触摸屏技术为核心的自动控制系统,具有多个工艺流程,设计合理,自动化程度高。为克服以往 CIP 系统单机清洗及和主机数据通讯不稳定等缺点,使用 Profibus DP 现场总线技术与原有全自动啤酒灌装 S7300 PLC 系统联网通讯,通讯稳定,数据量大,实现了啤酒生产和清洗过程联机控制。目前该系统已经投入使用,由于其自动化程度高,实现了啤酒生产清洗全过程控制,操作方便,保证了啤酒生产工艺过程中的清洗彻底和安全,大大降低了清洗成本,经济效益和社会效益明显。

参考文献

1 廖晓科,廖罗尔,文卫. 基于 PLC 改进啤酒灌装线控制系统故障诊断的研究[J]. 食品与机械,2009,25(5):82~83,119.
2 韩慧,倪荣军,孙计赞,基于 PLC 食品检测实验室自动加液装置的设计与实现[J]. 食品与机械,2014,30(1):130~132.
3 唐文军,樊石,李磊. 乳品厂 CIP 系统的自动控制改造[J]. 自动化技术与应用,2011(4):77~78,81.
4 廖常初. PLC 编程及应用[M]. 北京:机械工业出版社,2005:1~125.
5 吕守军,CIP 清洗系统的分析及优化[J]. 啤酒科技,2011(9):26~28,30.
6 刘文芳. 基于 PLC 及触摸屏技术的 CIP 清洗控制系统的设计[J]. 制造业自动化,2011(3):143~144,212.

(上接第 74 页)

15 田春莲,康炼常. 流动注射化学发光法测定茜草总黄酮清除羟自由基能力的研究[J]. 林产化学与工业,2011,31(5):100~104.
16 郭兴峰,傅茂润,杜金华,等. 不同干燥方法对荷花花瓣抗氧化活性和化学成分的影响[J]. 食品与发酵工业,2010,36(2):146~149.
17 王岱杰,王晓,耿岩玲,等. 反相高效液相色谱测定不同品种皱皮木瓜中齐墩果酸和熊果酸含量[J]. 食品科学,2008,29(10):497~499.
18 Liu Na-na, Liu Wei, Wang Dai-jie, et al. Purification and partial characterization of polyphenol oxidase from the flower buds of *Lonicera japonica* Thunb[J]. Food Chem., 2013, 138(1): 478~483.
19 李秀芳,杨拉弟,韩叶,等. 温度对采后‘红富士’苹果果皮色

泽、色素及其相关酶活性变化的影响[J]. 西北农业学报,2014,23(5):97~103.
20 王利群,戴雄泽. 色差计在辣椒果实色泽变化检测中的应用[J]. 辣椒杂志,2009(5):23~33.
21 郝英超,罗磊,刘云宏,等. 酶促褐变中酚类化合物代谢机理研究进展[J]. 农产品加工(学刊),2013(5):55~58.
22 王晓丽. 光皮木瓜黄酮类物质的提取及抗氧化性研究[D]. 泰安:山东农业大学,2014:1~2.
23 俞佳. 不同道地产区木瓜指标成分分析及川木瓜总黄酮提取纯化工艺研究[D]. 成都:成都中医药大学,2007:2~4.
24 白永亮,段金殿,宿树兰,等. 桑叶干燥过程中黄酮类和生物碱类成分动态变化分析[J]. 中药材,2014,37(7):1158~1163.
25 张伟伟. 宣木瓜果实生长发育及主要营养物质动态变化研究[D]. 合肥:安徽农业大学,2010:27~28.