

预处理对红薯叶热泵干燥品质的影响

Effects of different pretreatment on the quality of sweet potato leaves with heat pump drying

杨 玉 任广跃 史亚楠 刘书林 张亚凤 马丽苹

YANG Yu REN Guang-yue SHI Ya-nan LIU Shu-lin ZHANG Ya-feng MA Li-ping

(河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023)

(School of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China)

摘要:以红薯叶为原料,研究不同预处理(盐渍、超声以及二者联合)条件下红薯叶热泵干燥过程中理化性质的变化。结果表明:当盐浓度为 4% 时,干燥后的 POD 酶活性较低,抗氧化能力较强,该条件下获得的红薯叶复水比普遍较高,且干燥时间最短,综合评分最高。

关键词:盐渍;超声;热泵干燥;叶绿素;POD 酶

Abstract: In order to explore the quality change characteristics of sweet potato leaves during salinization, ultrasonic, and their combined pretreatment, the physicochemical properties of sweet potato leaves during heat pump drying under different pretreatment processes were studied. The results showed that when the POD enzyme after drying was low in suitability and strong in antioxidant capacity, with 4% of salt concentration, Under the control of these conditions, the rehydration of sweet potato leaves was generally higher than that of others. Moreover, the drying time was the shortest and the comprehensive score was the highest.

Keywords: salinized; ultrasonic; heat pump drying; chlorophyll; POD

红薯又名地瓜,是中国的主要农作物之一。红薯叶中蛋白质、胡萝卜素、维生素和矿物质含量极高,还富含多种生物活性成分,具有药食两用的作用^[1-2]。目前已有系列红薯叶产品^[3],但中国红薯叶的开发利用还处于起步阶段,尚需研究推广。

热泵干燥技术是利用回收干燥室排除的高温高湿空气中所含的显热和潜热来加热被干燥介质,减少了热量

损失和环境污染,一定程度上控制干燥空气的温度和湿度,从而提升干燥效率和干制品品质^[4-5]。干燥前对果蔬进行渗透预处理可以显著提高其干燥效率,减少干燥过程对果蔬品质的破坏^[6-7]。渗透溶液浓度越高,果蔬失水量越大,其产品固形物得率增加,但随着浓度的继续升高,果蔬固形物得率则降低,这是由于渗透溶液浓度的升高其黏度也不断升高,增加了传质阻力,阻碍了溶质的渗入,导致干燥效率降低^[8]。低频超声(20~100 kHz)技术可用作果蔬干燥预处理,其作用机理为:超声作用下,物料不断地收缩和膨胀,促进微细通道的形成,减小物料传热表面层厚度,从而提高果蔬对流传质效率^[9-11]。

热泵干燥前,对果蔬进行超声预处理会对果蔬品质产生不同影响^[12-14]。Jambrak 等^[15]发现超声预处理明显提高了果蔬的干燥速率,且复水比(质量增重)得到了显著提升;Kadam 等^[16]发现超声预处理可以提高褐藻的颜色保留率;Dehghannya 等^[17]发现超声预处理可以提高李子热风干燥的水分有效扩散系数;Wang 等^[18]发现超声产生的空化效应使胡萝卜物料形成很多微小通道结构,从而减少了干燥时间,提高了 β -胡萝卜素含量和干燥物料复水比;Nascimento 等^[19]发现超声预处理可以显著减少百香果皮总酚损失,提高其抗氧化性。上述研究只采取单一的预处理方式,未将盐渍与超声预处理进行联合操作。试验拟对红薯叶进行盐渍、超声及联合预处理,以预处理后红薯叶的干燥速度、色泽、叶绿素含量、POD 酶活性及复水比^[20]为评价指标,优化其干燥工艺条件,为红薯叶的加工提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红薯叶:新鲜脱毒红薯叶,颜色鲜绿、表面光滑、无腐

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:182102110043);河南科技大学大学生研究训练计划 SRTP 项目(编号:2018158)

作者简介:杨玉,女,河南科技大学在读本科生。

通信作者:任广跃(1971—),男,河南科技大学教授,博士。

E-mail:guangyueyao@163.com

收稿日期:2020-02-25

烂、无虫眼,初始干基含水率为 7.28 g/g,自种;

磷酸氢二钠、磷酸二氢钠:分析纯,潍坊兴泰化工有限公司;

邻苯二酚:分析纯,郑州市达明化工原料有限公司;

愈创木酚、过氧化氢:分析纯,德州润昕实验仪器有限公司;

丙酮:分析纯,洛阳氟坤化工仪器有限公司。

1.1.2 仪器与设备

热泵干燥机:GHRH-20 型,广东省农业机械研究所;

数控超声清洗器:KQ-500DE 型,昆山市超声仪器有限公司;

台式高速离心机:TG16-WS 型,湖南湘仪试验室仪器开发有限公司;

紫外—可见分光光度计:UV2600A 型,上海尤尼柯仪器有限公司;

全自动测色色差计:TC-PIG 型,沈阳子尊科技有限公司;

吉尔森精密移液枪:P200 型,上海华运分析仪器有限公司;

电子天平:JA2003 型,上海天平仪器有限公司。

1.2 方法

1.2.1 预处理

(1) 盐渍处理:使用不同浓度(1%,2%,3%,4%,5%)的盐溶液浸泡红薯叶 24 h,于 60 cm×60 cm 的多孔物料托盘中进行热泵干燥,测定盐渍处理后红薯叶的 POD 酶活性和叶绿素含量,并测定热泵干燥后红薯叶色泽、复水比及干基含水率。

(2) 超声处理:先将红薯叶于超声功率 200 W 下分别超声处理 30,60,90,120,150 s,然后于 60 cm×60 cm 的多孔物料托盘中进行热泵干燥,测定超声预处理后红薯叶的 POD 酶活性和叶绿素含量,并测定热泵干燥后红薯叶色泽、复水比及干基含水率。

(3) 盐渍超声联合处理:红薯叶先于最适盐渍浓度下浸泡 24 h,然后于超声功率 200 W 下分别超声处理 30,60,90,120,150 s,再于 60 cm×60 cm 的多孔物料托盘中进行热泵干燥,测定预处理后红薯叶的 POD 酶活性和叶绿素含量,并测定热泵干燥后红薯叶色泽、复水比及干基含水率。

1.2.2 指标测定

(1) 过氧化物酶(POD 酶)活性:称取预处理后的红薯叶 0.50 g,加入 10 mL 磷酸缓冲液研磨成匀浆,8 000 r/min 离心 25 min,收集上层清液并稀释 10 倍,于 4 °C 冰箱保存。采用比色法测定,并按式(1)、(2)计算 POD 酶活性。

$$\Delta OD_{470 \text{ nm}} = (OD_{470 \text{ nm末}} - OD_{470 \text{ nm初}}) / (t_1 - t_2), \quad (1)$$

$$U = \Delta OD_{470 \text{ nm}} \times V / (V_s \times m), \quad (2)$$

式中:

$\Delta OD_{470 \text{ nm}}$ ——反应时间内吸光值的变化;

U ——过氧化物酶活性, U/g;

$OD_{470 \text{ nm初}}$ ——起始吸光值;

$OD_{470 \text{ nm末}}$ ——结束吸光值;

t_1 ——起始时间, min;

t_2 ——结束时间, min;

V ——粗酶液总体积, mL;

V_s ——测定过程中加入酶液体积, mL;

m ——红薯叶样品质量, g。

(2) 叶绿素含量:称取预处理后的红薯叶 0.20 g,加入石英砂,10 mL 80% 丙酮研磨,定容至 50 mL,分别测定 663,645 nm 处吸光值。按式(3)、(4)计算叶绿素含量。

$$G = 20.7 \times OD_{645 \text{ nm}} + 8.02 \times OD_{663 \text{ nm}}, \quad (3)$$

$$C = G \times V / (m \times 1\,000), \quad (4)$$

式中:

G ——叶绿素含量, g;

C ——溶液中叶绿素浓度, mg/L;

m ——红薯叶质量, g;

V ——提取液体积, mL。

(3) 复水比:称取一定量干燥后的红薯叶,水中浸泡 2 h,使其尽可能恢复到干燥前的状态,用滤纸吸去表面水分,称重。按式(5)计算复水比。

$$R_f = m_1 / m_0, \quad (5)$$

式中:

R_f ——红薯叶复水比;

m_1 ——复水后样品质量, g;

m_0 ——干燥后红薯叶质量, g。

(4) 色差:采用色差计测定红薯叶的明度指数(L 值)、彩度指数(a 值和 b 值),并按式(6)计算色差值。

$$\Delta E = \sqrt{(L - L^*)^2 + (a - a^*)^2 + (b - b^*)^2}, \quad (6)$$

式中:

L^* ——明度;

a^* 、 b^* ——色度。

(5) 干基含水率:物料测定间隔时间 1 h,按式(7)计算干基含水率。

$$M_t = \frac{m_t - m_g}{m_g}, \quad (7)$$

式中:

M_t ——干基含水率, g/g;

m_t ——干燥前样品质量, g;

m_g ——干燥后绝干物料质量, g。

(6) 加权综合评分法:令 $y_{j \max}$ 对应 100 分, $y_{j \min}$ 对应 0 分,则每个指标得分(y_{ij}')为

$$y_{ij}' = \frac{y_{ij} - y_{i\min}}{y_{i\max} - y_{i\min}} \times 100. \quad (8)$$

按式(9)计算加权综合评分。

$$y_i^* = \sum w_j y_{ij}', \quad (9)$$

式中:

w_j ——各项指标的加权系数。

复水比得分 y_{ij}' 对加权综合评分 y_i^* 的贡献越大越好, 色差值与干燥时间得分 y_{ij}' 对加权综合评分 y_i^* 的贡献越小越好, 其加权系数分别为 0.4, -0.3, -0.3。

1.3 数据处理

所有样品平行测定 2 次。采用 Excel 2010 软件处理数据和制表, 采用 Origin 2017 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 盐渍处理对红薯叶理化性质的影响

2.1.1 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比 由图 1 可知, POD 酶活性随盐浓度的增大先降低后升高, 当盐浓度为 4% 时活性最低, 当盐浓度为 1% 时活性较高, 可能是盐浓度的升高对 POD 酶活性有抑制作用。叶绿素含量随盐浓度的增加先上升后下降, 当盐浓度为 4% 时达最大值。复水比随盐浓度的增加而上升, 当盐浓度为 2% 复水比最大。

2.1.2 色差 由图 2 可知, 随着盐浓度的增大, L 值与 b 值呈下降趋势, a 值呈上升趋势, 红薯叶亮度降低, 色泽变差。

2.1.3 干基含水率 由图 3 可知, 随着干燥的进行, 红薯叶内水分不断减少, 当经 4% 盐渍预处理后, 红薯叶热泵干燥最先达到恒重, 用时 420 min, 耗能最少; 当经 1% 盐渍预处理后, 红薯叶热泵干燥最后达到恒重, 耗能最多。这可能是由于随盐浓度的升高, 红薯叶内部失水逐渐增大, 一定程度上加快了热泵干燥速度。

2.2 超声预处理对红薯叶理化性质的影响

2.2.1 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比 由图 4 可知,

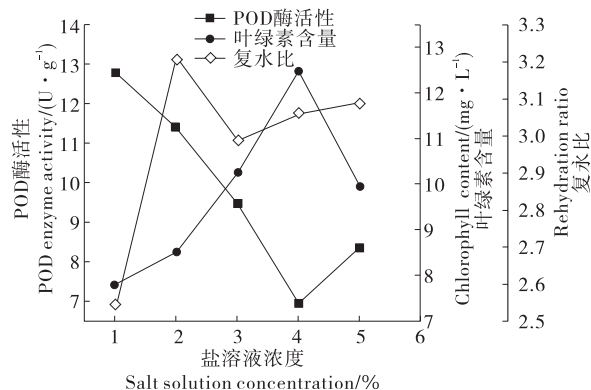


图 1 盐渍处理对红薯叶 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比的影响

Figure 1 Effects of salinized pretreatment on physicochemical properties of sweet potato leaves

POD 酶活性随超声处理时间的增加而上升, 当超声时间为 30 s 时活性最低, 当超声时间为 150 s 时活性最高。叶绿素含量随超声时间的增加先上升后下降, 当超声时间为 30 s 时含量最低, 当超声时间为 120 s 时含量最高。红薯叶复水比随超声时间的增加逐渐下降。

2.2.2 色差 由图 5 可知, 随着超声时间的延长, L 值和 b 值逐渐下降, a 值先下降后上升。当超声时间为 120 s 时, a 值最低, 说明此时红薯叶的色泽较好。

2.2.3 干基含水率 由图 6 可知, 经超声预处理 120 s 后, 红薯叶热泵干燥最先达恒重, 用时 480 min, 而其他各组达恒重时间差异不显著。这可能是超声预处理使红薯叶内部通道扩大, 加快红薯叶内部水分扩散速度, 提高热泵干燥效率, 并且一定程度地改善红薯叶品质。但随着时间的增长, 超声预处理对红薯叶内部结构造成一定破坏, 导致红薯叶品质下降。

2.3 联合预处理对红薯叶理化性质的影响

2.3.1 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比 由图 7 可知, 经 4% 盐渍预处理后, 当超声时间为 30 s 时 POD 酶活性最强, 当超声时间为 60 s 时 POD 酶活性最弱, 当超声时间为 90~150 s 时, POD 酶活性随超声时间的延长而下

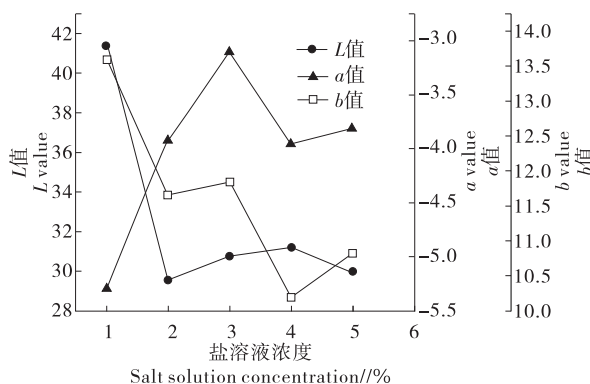


图 2 盐渍处理对红薯叶色差的影响

Figure 2 Effects of salinized pretreatment on color difference of sweet potato leaves

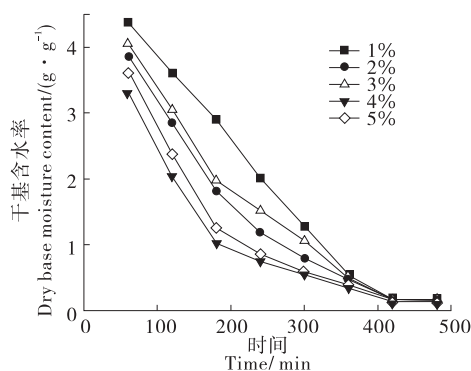


图 3 盐渍处理对红薯叶干基含水率的影响

Figure 3 Effects of salinized pretreatment on dry base moisture content in sweet potato leaves

降。随着超声时间的延长,叶绿素含量先下降后上升,复水比总体呈下降趋势,当超声时间为 30 s 时,叶绿素含量和复水比最高。

2.3.2 色差 由图 8 可知,经 4% 盐渍预处理后,当超声时间为 60 s 时红薯叶 a 值最低, b 值最高,此时红薯叶色

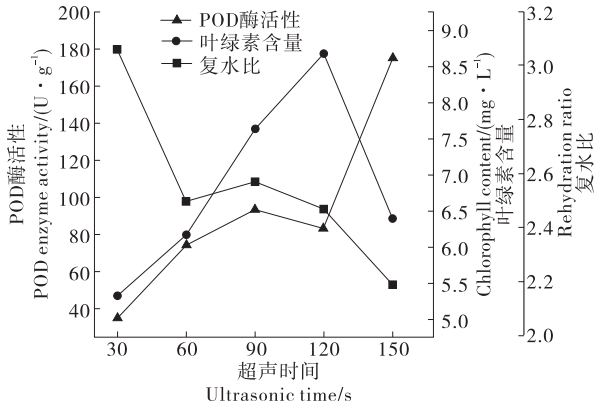


图4 超声预处理对红薯叶 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比的影响

Figure 4 Effects of ultrasonic pretreatment on physico-chemical properties of sweet potato leaves

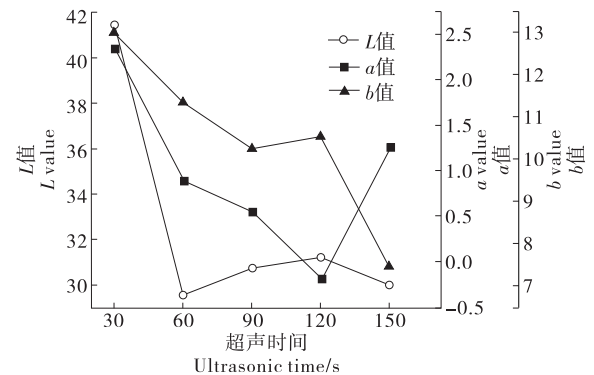


图5 超声预处理对红薯叶色差的影响

Figure 5 Effects of ultrasonic pretreatment on color difference of sweet potato leaves

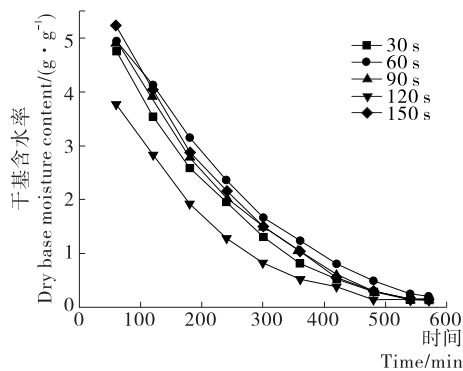


图6 超声预处理对红薯叶干基含水率的影响

Figure 6 Effects of ultrasonic pretreatment on dry base moisture content in sweet potato leaves

泽较好。

2.3.3 干基含水率 由图 9 可知,经 4% 盐渍预处理后,当超声时间为 60 s 时,红薯叶热泵干燥最先达恒重,用时 420 min,耗能最少,而其他各组达恒重时间差异不显著。这可能是经盐渍预处理后,红薯叶失水,造成内部通道部分收缩,再进行超声预处理,对红薯叶内部通道造成不同程度影响。当时间较短时,超声处理使收缩的通道扩张,

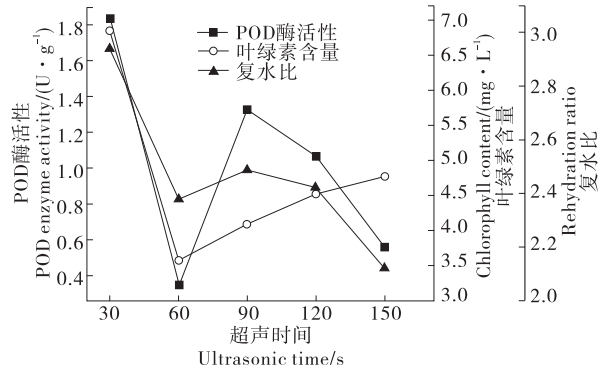


图7 联合预处理对红薯叶 POD 酶活性、叶绿素含量及复水比的影响

Figure 7 Effects of combined pretreatment on physico-chemical properties of sweet potato leaves

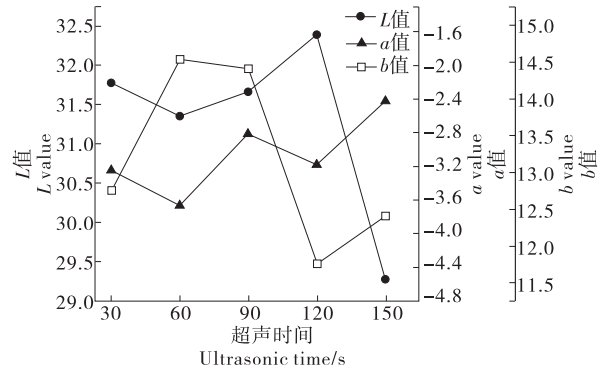


图8 联合预处理对红薯叶色差的影响

Figure 8 Effects of combined pretreatment on color difference of sweet potato leaves

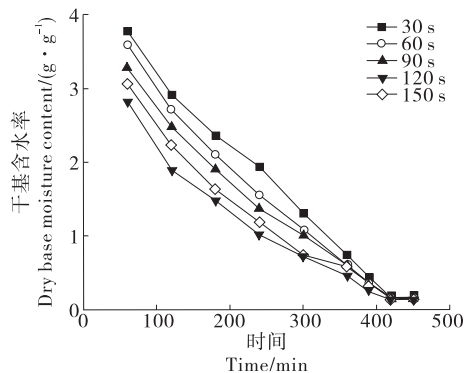


图9 联合预处理对红薯叶干基含水率的影响

Figure 9 Effects of combined pretreatment on dry base moisture content in sweet potato leaves

提高红薯叶的干燥效率,但随着超声时间的增加,红薯叶内部通道被破坏,导致红薯叶热泵干燥速率降低,品质下降。

2.4 加权综合评价

由表 1 可知,当盐渍浓度为 4%、超声预处理时间为

120 s 时,红薯叶热泵干燥品质较好。这可能是由于超声介质和样品之间的水分活度差会造成超声预处理样品初始含水量上升,从而导致水分从超声环境转移到产品中,降低干燥效率,延长干燥时间^[21]。综上,经 4%盐渍预处理后,红薯叶热泵干燥的各项理化性质优于其他条件的。

表 1 预处理对红薯叶特性的影响

Table 1 Effects of different pretreatment on the characteristics of sweet potato leaves

预处理方式	处理条件	复水比	色差值	干燥时间/min	加权综合平均分
盐渍预处理	1%	2.55	41.423	435	-60.000
	2%	3.21	29.548	425	30.000
	3%	2.99	30.762	425	13.600
	4%	3.06	31.200	420	26.736
	5%	3.09	29.995	425	21.598
超声预处理	30 s	3.35	25.510	495	5.380
	60 s	2.77	24.028	490	0.667
	90 s	2.15	31.305	490	-42.684
	120 s	2.85	33.652	480	-6.667
	150 s	2.25	24.080	495	-26.829
联合预处理	4%+30 s	2.94	31.773	430	-4.064
	4%+60 s	2.38	31.353	420	-7.327
	4%+90 s	2.49	31.663	425	-14.953
	4%+120 s	2.42	32.388	425	-25.366
	4%+150 s	2.12	29.280	435	-30.000

3 结论

以新鲜红薯叶为试验原料,考察不同预处理方式下红薯叶物化品质的变化,同时研究了新鲜红薯叶预处理方式与干燥速率之间的相关性。结果表明,经盐渍预处理的红薯叶干燥后的物化品质显著高于其他预处理的,其中 4%盐溶液预处理所得产品复水比较高、叶绿素含量最高、色泽保持较好,且热泵干燥效率较高,能耗低。超声预处理对红薯叶的组织具有破坏性,导致叶绿素含量降低。试验预处理时并未对样品进行护色处理,导致红薯叶干制品色泽与新鲜样品相差较大,建议增加护色处理工序,并探讨护色剂配比、浓度及处理时间等因素对红薯叶热泵干燥品质的影响,进而提升红薯叶干制品的商业价值。

参考文献

[1] 李文冬. 绿叶菜之王红薯叶[J]. 农产品市场周刊, 2017 (28): 55.
[2] 王秋亚, 薛航. 红薯叶有效成分的提取及开发应用研究进展[J]. 食品工业, 2018, 39(7): 260-263.
[3] 周增学. 红薯的营养价值与保健功能[J]. 食品与药品, 2006 (8): 75-76.
[4] 张鹏, 吴小华, 张振涛, 等. 热泵干燥技术及其在农特产品

中的应用展望[J]. 制冷与空调, 2019, 19(7): 65-71.
[5] 周爱梅, 王爽, 刘欣, 等. 热泵干燥工艺对佛手凉果色泽及质构的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(10): 135-139.
[6] 安可婧, 魏来, 唐道邦, 等. 果蔬干燥前处理技术的应用及研究进展[J]. 现代食品科技, 2019, 35(6): 314-321.
[7] 金峰, 方芳, 丁媛媛, 等. 预处理对哈密瓜变温压差膨化干燥产品品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(2): 15-18.
[8] YADAV A K, SINGH S V. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: A review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(9): 1 654-1 673.
[9] SIUCINSKA K, KONOPACKA D. Application of ultrasound to modify and improve dried fruit and vegetable tissue: A review[J]. Drying Technology: An International Journal, 2014, 32(11): 1 360-1 368.
[10] RODRÍGUEZ Ó, EIM V, ROSSELLÓ C, et al. Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: Effects on quality[J]. Journal of Science and Food Agriculture, 2018, 98(5): 1 660-1 673.
[11] FAN Kai, ZHANG Min, MUJUMDAR A S. Application of airborne ultrasound in the convective drying of fruits and vegetables: A review [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2017, 39: 47-57.

(下转第 215 页)

参考文献

- [1] PETRA Matt, ULI Schurr, DIANA Klein, et al. Growth of tobacco in short-day conditions leads to high starch, low sugars, altered diurnal changes in the Nia transcript and low nitrate reductase activity, and inhibition of amino acid synthesis[J]. *Planta*, 1998, 207(1): 27-41.
- [2] 姚光明. 降低烟叶中蛋白质含量的研究[J]. *烟草科技*, 2000(9): 6-8.
- [3] 王万能, 项钢燎, 翟羽晨, 等. 烤烟烟叶烘烤中蛋白质的降解动态变化规律研究[J]. *浙江农业学报*, 2017, 29(12): 2120-2127.
- [4] 蔡兵, 孙俊举, 余世科. 酶法降解白肋烟中蛋白质含量研究[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(6): 2570-2571.
- [5] 罗凯玉, 付凯睿, 田斌强. 烟叶淀粉研究进展[J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(10): 92-96.
- [6] 杨宗灿, 刘向真, 叶建斌, 等. 复合蛋白酶对烟叶中蛋白质的降解研究[J]. *河南农业大学学报*, 2016, 50(5): 683-687, 695.
- [7] 许春平, 杨琛琛, 方金辉. 低次烟叶发酵制备烟草香料的研究[J]. *郑州轻工业学院学报(自然科学版)*, 2013, 28(1): 34-37.
- [8] SHI Wen-ying, LI Hong-bin, ZENG Xian-hua, et al. The extraction of tobacco protein from discarded tobacco leaf by hollow fiber membrane integrated process[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2019, 58: 102245.
- [9] WANG Jian-an, YANG Gai-he, LI Chun-xia. Zonal distribution of neutral aroma components in flue-cured tobacco leaves[J]. *Phytochemistry Letters*, 2018, 24: 125-130.
- [10] RICHARD R Baker, STEVEN Coburn, CHUAN Liu, et al. Pyrolysis of saccharide tobacco ingredients: A TGA-FTIR investigation[J]. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2005, 74: 171-180.
- [11] NAOTO Yamaguchi, SHOICHI Suzuki, AMANE Makino. Starch degradation by alpha-amylase in tobacco leaves during the curing process[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2013, 59(6): 904-911.
- [12] ZHU W K, WANG Y, CHEN L Y, et al. Effect of two-stage dehydration on retention of characteristic flavor components of flue-cured tobacco in rotary dryer[J]. *Drying Technology*, 2016, 34(13): 1621-1629.
- [13] TENG Zi, WANG Qin. Extraction, identification and characterization of the water-insoluble proteins from tobacco biomass[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2012, 92(7): 1368-1374.
- [14] LING Jun, LI Yi-xiao, ZHOU Bo, et al. The amphoteric ion exchange membrane based on CS/CMC for tobacco-protein adsorption and separation from tobacco extract[J]. *International Journal of Polymer Science*, 2019, 2019: 1-9.
- [15] ALI H, PÄTZOLD R, BRÜCKNER H. Determination of L- and D-amino acids in smokeless tobacco products and tobacco[J]. *Food Chemistry*, 2006, 99: 803-812.
- [16] WANG Rui-qi, WANG Na-ni, ZHANG Jia-jie, et al. Response surface methodology to optimize gradient ion chromatographic separation of inorganic anions and organic acids in tobacco leaves[J]. *Chinese Chemical Letters*, 2011, 22: 1465-1468.
- [17] 张峻松, 贾春晓, 毛多斌, 等. 碘显色法测定烟草中的淀粉含量[J]. *烟草科技*, 2004, 202(5): 24-26.
- [18] 翟羽晨, 王万能, 项钢燎, 等. BCA-TCA 法快速测定烟草蛋白质的研究[J]. *河南农业科学*, 2017, 46(9): 156-160.
- [19] 陈庆林. 关于在烟叶配方中使用糖料对焦油影响的想法[J]. *烟草科技*, 1988(5): 19-21.
- [12] 刘宗博, 李大婧, 李德海, 等. 3 种预处理方式对双孢菇干制品品质的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(19): 72-76.
- [13] 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.
- [14] 任仙娥, 何仁, 黄永春, 等. 超声强化菠萝渗透脱水工艺[J]. *食品科学*, 2010, 31(22): 279-282.
- [15] JAMBRAK S R, MASON T J, PANIWNKY L, et al. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties[J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 81(1): 88-97.
- [16] KADAM S U, TIWARI B K, O'DONNELL C P. Effect of ultrasound pre-treatment on the drying kinetics of brown Seaweed *Ascophyllum nodosum*[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2015, 23(23): 302-307.
- [17] DEHGHANNYA J, RASOUL G, GHANBARZADEH B. Effect of ultrasound-assisted osmotic dehydration pretreatment on drying kinetics and effective moisture diffusivity of *Mirabelle Plum*[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015, 39(6): 2710-2717.
- [18] WANG Lin, XU Bao-guo, WEI Ben-xi, et al. Low frequency ultrasound pretreatment of carrot slices: Effect on the moisture migration and quality attributes by intermediate-wave infrared radiation drying[J]. *Ultrasonic Sonochemistry*, 2018, 40: 619-628.
- [19] NASCIMENTO E M G C, MULET A, ASCHERI J L R, et al. Effects of high-intensity ultrasound on drying kinetics and antioxidant properties of passion fruit peel[J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 170: 108-118.
- [20] NOWACKA M, WITROWA-RAJCHERT D, WIKTOR A, et al. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties[J]. *Journal of Food Engineering*, 2012, 113(3): 427-433.
- [21] RICCE C, ROJAS M L, MIANO A C, et al. Ultrasound pretreatment enhances the carrot drying and rehydration[J]. *Food Res Int*, 2016, 89(1): 701-708.

(上接第 210 页)