

预处理方式对干制莲藕品质特性的影响

李旭好¹ 韩 蒙¹ 李 芳¹ 刘云宏^{1,2}

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471000; 2. 食品绿色加工与质量安全控制河南省国际联合实验室, 河南 洛阳 471000)

摘要: [目的] 探究莲藕热泵干燥后适宜的预处理方式。[方法] 将护色 (CP)、渗透脱水 (OD)、超声护色 (USCP)、超声渗透脱水 (USOD)、护色 + 超声渗透脱水 (CP+USOD) 及超声渗透脱水同步护色 (USOD-CP) 预处理应用于莲藕热泵干燥前, 探究其对干制莲藕外观色泽、微观结构、营养成分和抗氧化活性的影响。[结果] 在 CP 和 OD 过程中施加超声可以扩大莲藕的微观孔道; USCP 预处理的莲藕多酚和烟酸含量最高, 分别为 15.64, 21.08 mg/100 g, 且色差值最低, 为 5.02; USOD-CP 组莲藕的黄酮和总游离氨基酸含量最高, 分别为 207.05, 149.04 mg/100 g; USCP 和 USOD-CP 预处理的莲藕清除羟自由基能力较强, 清除率分别为 45.96%, 45.94%; 多酚与羟自由基清除率的正相关性最强。[结论] 在莲藕热泵干燥前进行 USCP 和 USOD-CP 预处理可以进一步提升莲藕的干燥品质。

关键词: 莲藕; 超声; 护色; 渗透脱水; 热泵干燥

Effects of different pretreatment methods on the quality characteristics of dried lotus root

LI Xuhao¹ HAN Meng¹ LI Fang¹ LIU Yunhong^{1,2}

(1. Henan University of Science and Technology, School of Food and Bioengineering, Luoyang, Henan 471000, China;
2. Food Microbiology Engineering and Technology Research Center of Henan Province, Luoyang, Henan 471000, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to explore the appropriate pretreatment method of lotus root heat pump after drying. [Methods] Color protection (CP), osmotic dehydration (OD), ultrasonic color protection (USCP), ultrasonic osmotic dehydration (USOD), color protection + ultrasonic osmotic dehydration (CP+USOD) and ultrasonic osmotic dehydration synchronous color protection (USOD-CP) pretreatments were applied to the pretreatment of lotus root heat pump before drying. Their effects on the appearance color, microstructure, nutrient composition and antioxidant activity of dried lotus root were explored. [Results] Applying ultrasound during CP and OD can enlarge the microscopic pores of lotus roots. With levels of 15.64 and 21.08 mg/100 g, respectively, lotus root polyphenols and niacin processed by USCP were the greatest, while the color difference value was the lowest at 5.02. The contents of flavonoids and total free amino acids in lotus root in the USOD-CP group were the highest, which were 207.05 and 149.04 mg/100 g, respectively. The scavenging rates of USCP and USOD-CP pretreated lotus root were 45.96% and 45.94%, respectively. Polyphenols have the strongest correlation with hydroxyl radical scavenging. [Conclusion] USCP and USOD-CP pretreatment before the lotus root heat pump drying can further improve the drying quality of the lotus root.

Keywords: lotus root; ultrasonic; color protection; osmotic dehydration; heat pump drying

果蔬干制是延长保存期的有效方法, 可以通过降低含水率来达到抑制微生物活动、降低运输成本和提高经济效益的目的。近年来关于莲藕干制的研究已经有相关报道, 如 Qiu 等^[1]研究了不同干燥条件下莲藕粉的抗氧化

活性, 得出 100 °C 烘干所得莲藕粉的总酚和总黄酮含量高于 60 或 80 °C 冷冻干燥的产品。李青坪等^[2]将不同热风干燥温度下的莲藕片与真空冷冻干燥产品进行品质对比, 发现 10 mm 的莲藕片在热风干燥温度 60 °C 时, 干制藕片

基金项目: 河南省科技攻关项目 (编号: 212102110080, 232102321122)

通信作者: 刘云宏 (1975—), 男, 河南科技大学教授, 博士。E-mail: beckybin@haust.edu.cn

收稿日期: 2024-03-10 改回日期: 2024-05-16

色泽较好,总黄酮、总酚含量及维生素C保留量较高,营养保留程度与真空冷冻干燥莲藕片的营养品质接近。然而,莲藕在干燥过程中较易出现色泽较差和营养损失严重的现象。预处理作为一种改善果蔬干燥特性及品质的有效方法,被广泛应用于干燥领域。目前常采用的预处理方法有烫漂、渗透脱水(osmotic dehydration, OD)^[3]、超声(ultrasound)^[4]等物理预处理及护色(color protection, CP)^[5]、化学试剂浸泡^[6]等化学预处理。相关研究^[7]表明,蒸汽和干燥联合预处理能降低莲藕的单宁含量,蒸煮或烘烤预处理可以改善莲藕的口感和风味。

研究拟以莲藕为试验材料,将渗透脱水、护色和超声进行单一处理或联合应用,以期解决莲藕常规干燥过程中褐变、外观色泽较差及品质不高的问题,并确定莲藕热泵干燥后的适宜预处理方式。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

新鲜孟津银莲莲藕:洛阳市龙祥农贸市场;

芦丁(HPLC $\geq$ 98%)、没食子酸(HPLC $\geq$ 98%)、1,1-二苯基-2-苦基肼(HPLC $\geq$ 97%)、Folin-Ciocalteu试剂:标准品,上海源叶生物科技有限公司;

游离氨基酸混标:标准品,德国曼默博尔公司。

1.1.2 主要仪器设备

热泵干燥设备:GHRH-20型,广东省农业机械研究所;

超声波清洗机:KQ3200DE型,昆山市超声仪器有限公司;

扫描电镜(SEM):TM3030Plus型,日本日立高新技术公司;

低场核磁共振分析仪(LF-NMR):NMI120-015V-1型,上海纽迈电子科技有限公司;

高效液相色谱仪(HPLC):Infinity型,美国安捷伦科技有限公司;

全自动氨基酸分析仪:A300型,德国曼默博尔公司。

1.2 方法

1.2.1 原料处理 挑选粗细均匀完整的新鲜莲藕,清洗去皮,用切片机制成(4.0 $\pm$ 0.1) mm的薄片备用。

1.2.2 处理方法

(1) 对照组(CG):将50 g莲藕片平铺在干燥盘上,设置干燥温度60 $^{\circ}$ C,风速1.5 m/s,干燥6 h。

(2) 护色(CP):取50 g莲藕片置于500 mL护色液(柠檬酸质量分数1%,植酸质量分数0.1%)中护色30 min后,将莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

(3) 渗透脱水(OD):取50 g莲藕片置于500 mL渗透液(蔗糖质量分数40%,氯化钠质量分数5%)中渗透4 h

后,将莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

(4) 超声护色(USCP):将50 g莲藕片和500 mL护色液(柠檬酸质量分数1%,植酸质量分数0.1%)置于超声清洗机中超声30 min(功率105 W,频率49 Hz)。将预处理后的莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

(5) 超声渗透脱水(USOD):将50 g莲藕片和500 mL渗透液(蔗糖质量分数40%,氯化钠质量分数5%)置于超声清洗机中超声30 min(功率105 W,频率49 Hz)。将预处理后的莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

(6) 护色+超声渗透(CP+USOD):先将50 g莲藕片置于500 mL护色液(柠檬酸质量分数1%,植酸质量分数0.1%)中护色30 min,取出莲藕片,再将其与500 mL渗透液(蔗糖质量分数40%,氯化钠质量分数5%)置于超声清洗机中超声30 min(功率105 W,频率49 Hz)。将预处理后的莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

(7) 超声渗透脱水同步护色(USOD-CP):将50 g莲藕片与500 mL复合渗透液(蔗糖质量分数40%,氯化钠质量分数5%,柠檬酸质量分数1%,植酸质量分数0.1%)置于超声清洗机中超声30 min(功率105 W,频率49 Hz)。将预处理后的莲藕片平铺在干燥盘上进行热泵干燥,干燥条件同CG组。

1.2.3 指标测定

(1) 色度值:根据文献[8]。

(2) 微观结构:用导电胶将干燥后的莲藕片固定在SEM样品台上,对其进行SEM观察,设置放大倍数为500。

(3) 黄酮和多酚含量:干制莲藕中黄酮和多酚提取根据文献[10]的方法并修改。称取1 g莲藕粉(粉碎后过100目筛)与8 mL 80%乙醇水溶液混匀后,超声提取30 min,8 000 r/min离心10 min,残渣重复提取2次,合并上清液备用。黄酮含量采用亚硝酸钠—硝酸铝比色法测定^[10];多酚含量采用福林酚比色法测定^[9]。

(4) 维生素C含量:采用2,6-二氯酚酚滴定法^[11]。

(5) 烟酸含量:在试管中按照1:10 (g/mL)的比例依次加入莲藕粉末和蒸馏水,超声提取30 min后以8 000 r/min离心10 min,取上层清液过0.22 μ m滤膜。选色谱柱为ZORBA $\times$ SB-C₁₈柱(250 mm $\times$ 4.5 mm, 5.0 μ m);流动相为甲醇(A)—0.05 mol/L磷酸二氢钾缓冲液(B);流量0.45 mL/min;柱温30 $^{\circ}$ C;线性梯度洗脱:90% A(0~10 min),90%~50% A(10~15 min)。

(6) 羟自由基清除率:根据文献[12]。

(7) 游离氨基酸含量:根据文献[13]。

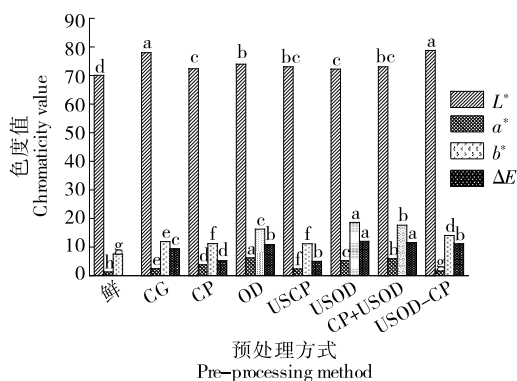
1.2.4 数据处理 采用Origin 2021统计软件进行数据分析和处理,采用SPSS 19.0软件进行方差分析(ANOVA)

和 Duncan 多重比较,显著性差异水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 对干制莲藕色泽的影响

由图 1 可知,不同预处理后所得干制莲藕的 L^* 、 a^* 、 b^* 值均有所不同,因此计算所得的色差 ΔE 值也呈现显著差异,其中 USCP 组莲藕的 ΔE 值最小,与鲜样颜色最为接近,可以较好地维持样品色泽。而 CP 组 ΔE 值与 USCP 组的不具有显著差异。OD 和 USOD 组的样品色差值较大,为 10.87 和 12.03,约为 USCP 组的两倍。这可能有两方面的原因:① 渗透过程中发生了物质交换,样品内部含糖量增加,在干燥过程中糖与样品内部物质受热发生反应,导致 b^* 值增大;② 糖由于光的折射作用,使样品明暗度 L^* 值增大,进而导致渗透样品色差值变化较大^[15]。



同一指标字母不同代表具有显著性差异 ($P < 0.05$)

图 1 不同预处理方式下干制莲藕的色泽

Figure 1 Color of dried lotus root under different pretreatment methods

2.2 对干制莲藕微观结构的影响

由图 2 可知,经不同预处理后所得干制莲藕的微观组织结构差异显著。纵向对比发现,未经过超声处理的两组样品的蜂窝状结构完全被破坏,细胞壁发生皱缩塌陷、破裂现象,且细胞排列紧密,孔径大小相差较大。而经超声处理的 4 组样品呈疏松的细胞结构,样品内部的空隙和网状结构分布致密且均匀,微细孔道的直径相对较大。说明超声处理可以改善物料内部的细胞结构和扩张微细孔道,对细胞骨架具有一定的支撑作用。而单一的渗透处理对莲藕疏松均匀的微观结构有一定的负面作用,主要是由于渗透液中蔗糖的羟基基团 ($X-OH$) 与莲藕片内部羟基基团相互作用,从而使物料组织内部结构致密。

2.3 对干制莲藕多酚和维生素 C 含量的影响

由表 1 可知,USCP 组莲藕多酚含量最高 (15.64 mg/100 g),且与 CP 组不具有显著差异,而 OD 组多酚含量最低,说明护色处理组相较于渗透处理组可以更好地保留多酚含量。研究^[14]表明,渗透过程中由于物

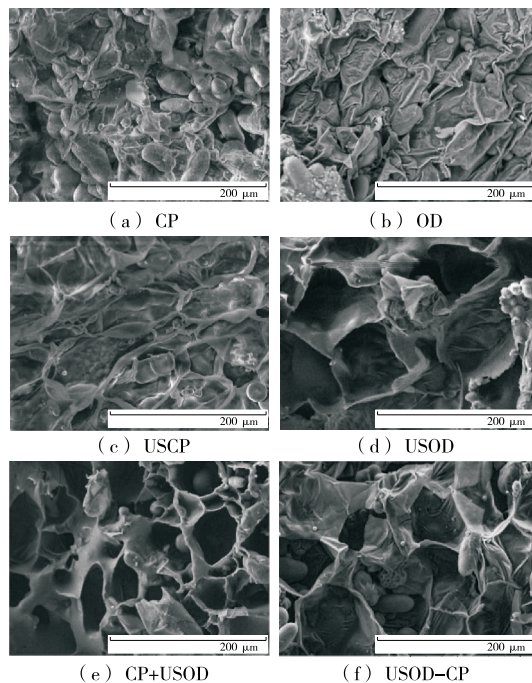


图 2 不同预处理方式下干制莲藕表面的 SEM 图

Figure 2 SEM images of the surface of dried lotus root under different pretreatment methods

质交换作用,糖类物质进入到莲藕内部,水分等小分子物质流失,从而导致莲藕组织中酚类含量降低。与对照组相比,6 种预处理方式均可提高维生素 C 含量,其中 CP+USOD 和 USOD-CP 组莲藕维生素 C 含量最高。这是超声波与护色液共同作用的结果,护色剂能够抑制维生素 C 的氧化降解,而施加超声可以进一步维持维生素 C 的稳定性。

2.4 对干制莲藕黄酮和烟酸含量的影响

由表 1 可知,不同预处理方式会导致干制莲藕中黄酮和烟酸含量不同。预处理后的样品黄酮含量均显著增加,说明在热泵干燥前对莲藕进行预处理可以减弱酮类化合物的氧化降解,有效地保护酮类物质。各处理组中,USOD-CP 组黄酮含量位居首位,CP+USOD 组位居第二,与维生素 C 含量的变化呈相反的趋势,可能是因为 CP+USOD 组莲藕在转移过程中容易与空气接触,从而导致部分黄酮的氧化损失。

烟酸又称为尼克酸和维生素 B₃,为水溶性维生素,是人类重要的微量营养素^[15]。如表 1 所示,不同联合预处理后所得莲藕干制品的烟酸含量呈显著差异性,其含量由高到低依次为 USCP>CP>CG>USOD-CP>USOD>CP+USOD>OD。USCP 预处理可以较好地保存烟酸含量,而经渗透处理的烟酸含量都明显降低,推测渗透处理可能会导致物料中部分烟酸溶入到液体中,不利于烟酸含量的保持。

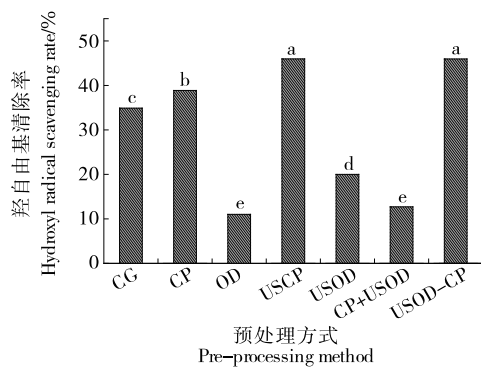
表1 预处理方式对干制莲藕品质的影响[†]

处理方式	多酚	维生素C	黄酮	烟酸
CG	13.32±0.27 ^b	12.69±0.57 ^e	158.63±5.57 ^e	16.27±0.64 ^b
CP	15.29±0.39 ^a	16.87±1.27 ^e	171.43±6.3 ^{cd}	19.62±1.53 ^a
OD	9.05±0.58 ^d	14.67±1.27 ^d	164.57±3.76 ^{de}	2.59±0.57 ^e
USCP	15.64±0.17 ^a	19.58±1.19 ^e	178.28±6.77 ^e	21.08±0.54 ^a
USOD	11.31±0.21 ^c	15.23±0.47 ^d	168.11±8.36 ^{cde}	4.45±0.21 ^{cd}
CP+USOD	9.56±0.18 ^d	24.48±0.27 ^a	190.91±6.77 ^b	2.83±0.36 ^{de}
USOD-CP	12.78±0.12 ^b	23.30±0.42 ^b	207.05±1.90 ^a	4.94±0.16 ^c

[†] 同列字母不同代表具有显著性差异($P<0.05$)。

2.5 对干制莲藕抗氧化特性的影响

由图3可知,不同预处理条件下,热泵干燥莲藕片羟自由基清除率差异显著($P<0.05$)。超声护色组的羟自由基清除率最高,与超声渗透同步护色组相比不具有显著性差异($P>0.05$)。有研究表明,在干燥前对莲藕进行护色预处理可以提高其抗氧化能力^[10],而蔗糖渗透处理及超声渗透处理均会降低果蔬抗氧化能力^[14,16]。



字母不同代表具有显著性差异($P<0.05$)

图3 不同预处理方式下干制莲藕的抗氧化能力

Figure 3 Antioxidant capacity of dried lotus root under different pretreatment methods

2.6 相关性分析

通过 Pearson 相关性分析对莲藕的化学组成成分与抗氧化能力的关系进行分析,发现莲藕具有的抗氧化能力与其化学组成相关。其热泵干燥莲藕中的化学组成与抗氧化能力之间的关系如图4所示。由图4可知,多酚、维生素C、黄酮和烟酸与羟自由基清除率的相关系数分别为0.90,0.13,0.29,0.70,均为正相关关系。从上述指标中可以看出,多酚抗氧化能力强于烟酸,与羟自由基清除率相关性最强。而且多酚和烟酸具有显著相关性,说明多酚和烟酸具有协同抗氧化能力^[17]。黄酮和维生素C也具有协同作用,相关系数高达0.93。

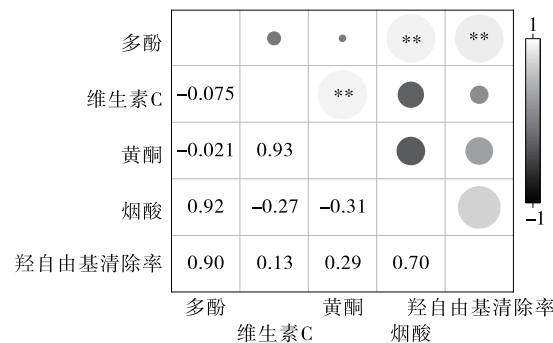


图4 干制莲藕中各种成分与羟自由基清除率的相关性分析

Figure 4 Correlation analysis of various components and hydroxyl radical scavenging rate of dried lotus root

2.7 对干制莲藕游离氨基酸含量的影响

氨基酸不仅是蛋白质的组成部分,同时也是人体重要的营养成分,具有促进蛋白质合成的作用。由表2可知,4种联合预处理所得到的游离氨基酸种类基本相同,但是不同种类游离氨基酸含量却呈现差异。USOD组莲藕总游离氨基酸含量最低(57.1 mg/100 g),可能是因为糖类分子渗入到莲藕组织内部,增加了莲藕内部含糖量,当对莲藕进行干燥时,糖与氨基酸受热发生美拉德反应,使总游离氨基酸含量减少^[18]。而USOD-CP所得的总游离氨基酸含量最高(149.04 mg/100 g),可能是护色剂中的柠檬酸和植酸发挥了作用,减缓了游离氨基酸的降解^[19],而且超声能使蛋白质分解,使部分游离氨基酸含量增加,这两方面的共同作用超过美拉德反应过程中氨基酸的损失。4种预处理方式下人体必需氨基酸含量与总游离氨基酸含量的变化趋势相同,分别占其总氨基酸含量的11.09%,9.46%,13.30%,10.11%。综上所述,在蛋白质分解和羰氨等反应的共同作用下干制莲藕片的总游离氨基酸含量和组成呈现差异性。总体来说,USOD预处理会导致游离氨基酸降解损失,而USOD-CP和USCP预处理有助于莲藕氨基酸的保留。

莲藕具有清甜鲜美的口感,与其所含的游离氨基酸

表 2 不同预处理方式下干制莲藕游离氨基酸含量[†]

Table 2 Free amino acid content of dried lotus root under different pretreatment methods						mg/100 g
氨基酸	预处理方式					
	CG	USCP	USOD	CP+USOD	USOD-CP	
Asp	3.57±0.19 ^b	2.77±0.24 ^b	1.28±0.18 ^c	6.34±0.55 ^a	3.44±0.13 ^b	
Thr	0.48±0.08 ^{bc}	1.72±0.20 ^a	0.21±0.01 ^c	0.70±0.10 ^b	1.83±0.12 ^a	
Ser	51.20±0.60 ^c	76.35±2.17 ^b	33.36±1.57 ^c	43.14±1.41 ^d	91.24±0.85 ^a	
Glu	2.68±0.25 ^b	3.53±0.22 ^a	1.78±0.36 ^c	1.96±0.15 ^{bc}	1.67±0.13 ^c	
Gly	0.24±0.08 ^c	0.09±0.01 ^c	0.95±0.26 ^a	0.86±0.16 ^{ab}	0.46±0.02 ^{bc}	
Ala	3.85±0.22 ^a	2.23±0.28 ^b	3.84±0.09 ^b	3.68±1.26 ^b	9.33±0.09 ^b	
Val	0.67±0.03 ^c	1.76±0.09 ^c	2.20±0.37 ^{bc}	6.34±1.50 ^a	4.27±0.08 ^{ab}	
(Cys) ²	2.92±0.22 ^b	0.58±0.09 ^c	0.62±0.08 ^c	4.33±0.21 ^a	0.31±0.04 ^c	
Met	0.51±0.01 ^a	0.20±0.05 ^a	0.34±0.02 ^b	0.57±0.07 ^a	0.32±0.01 ^b	
Ile	1.29±0.08 ^b	1.45±0.14 ^d	0.53±0.04 ^b	0.91±0.11 ^c	1.87±0.13 ^a	
Leu	0.87±0.12 ^{bc}	1.04±0.06 ^b	0.57±0.03 ^c	1.01±0.26 ^{bc}	1.51±0.00 ^a	
Tyr	1.90±0.38 ^{ab}	2.48±0.53 ^a	1.07±0.18 ^{bc}	0.51±0.07 ^c	2.71±0.12 ^a	
Phe	1.37±0.45 ^a	1.54±0.37 ^a	1.38±0.07 ^a	0.24±0.01 ^b	1.20±0.00 ^a	
His	0.87±0.02 ^b	3.16±0.29 ^a	0.45±0.00 ^b	0.57±0.09 ^b	2.75±0.13 ^a	
Lys	0.27±0.03 ^c	0.14±0.00 ^d	0.36±0.01 ^a	0.28±0.02 ^{bc}	0.33±0.01 ^{ab}	
Arg	1.53±0.16 ^b	1.30±0.09 ^b	1.77±0.45 ^b	1.33±0.26 ^b	3.70±0.80 ^a	
Pro	11.59±0.68 ^c	26.61±1.44 ^a	6.40±0.16 ^d	8.21±0.58 ^d	22.04±0.02 ^b	
必需氨基酸	7.01±0.93 ^c	12.01±1.32 ^{ab}	6.33±0.41 ^c	10.77±1.23 ^b	15.07±1.03 ^a	
总氨基酸	85.81±0.05 ^c	126.94±6.02 ^b	57.10±0.94 ^d	80.99±3.44 ^c	149.04±1.40 ^a	

† 同行字母不同代表具有显著性差异(P<0.05)。

密切相关。这主要是由于氨基酸具有呈味的作用,可以使食物呈现出鲜、甜、酸、苦及涩等口感。不同预处理后干制莲藕中呈味氨基酸含量由高到低为甜味氨基酸>苦味氨基酸>鲜味氨基酸>芳香族氨基酸。由表 3 可知,CP+USOD 组在 5 组中鲜味氨基酸含量最高。5 个预处

理组中,USOD-CP 组甜味和苦味氨基酸含量最高,CG 组芳香族氨基酸含量最高,说明不同预处理方式所造成呈味氨基酸的损失不同。甜味氨基酸在 4 种呈味氨基酸中占比最大,为 81.68%,说明甜味氨基酸是莲藕中氨基酸的重要组成部分。

表 3 不同预处理方式下干制莲藕呈味氨基酸含量[†]

Table 3 The content of amino acids in dried lotus root under different pretreatment methods						mg/100 g
名称	CG	USCP	USOD	CP+USOD	USOD-CP	
鲜味	6.52±0.41 ^b	6.43±0.46 ^b	3.42±0.53 ^c	8.59±0.64 ^a	5.45±0.25 ^b	
甜味	68.22±0.28 ^c	110.16±4.40 ^b	45.22±1.90 ^c	57.16±0.56 ^d	127.04±3.99 ^a	
苦味	4.87±0.06 ^b	5.75±0.18 ^b	5.40±0.10 ^b	10.16±2.06 ^a	11.72±0.75 ^a	
芳香族	6.19±0.61 ^a	4.60±0.99 ^{abc}	3.07±0.33 ^c	5.08±0.20 ^{ab}	4.22±0.11 ^{bc}	

† 同行字母不同代表具有显著性差异(P<0.05)。

3 结论

不同预处理方式对热泵干燥莲藕的微观结构、色泽、品质和抗氧化特性影响显著。超声护色处理组多酚和烟酸含量最高,颜色值与鲜样最为接近,能较好地保护莲藕的色泽;超声渗透脱水同步护色处理可以提高莲藕的维生素 C、黄酮、总游离氨基酸含量和羟自由基清除率。超

声预处理可以扩大干制莲藕的微观孔道;渗透脱水处理降低了莲藕多酚和烟酸含量及羟自由基清除率。对比上述研究结果,超声护色处理和超声渗透脱水同步护色处理能够实现更好的产品品质,可以作为莲藕干制加工过程中的预处理方法,但在后续研究中,对于干制莲藕预处理工艺的能耗及成本等问题还需进一步研究。

参考文献

- [1] QIU Z Z, CHIN K B. Evaluation of antioxidant activities of lotus rhizome root powder prepared by different drying conditions and its application to raw and cooked pork patties[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2022, 33: 100917.
- [2] 李青坪, 李思影, 江雪玉, 等. 不同干燥方式对藕片品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(15): 297-305.
LI Q P, LI S Y, JIANG X Y, et al. Effects of different drying methods on the quality of lotus root slices[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(15): 297-305.
- [3] HOSSAIN M A, TALUKDER S, ZAMAN A U, et al. Effective drying processes for Taikor (*Garcinia pedunculata* Roxb.) fruit by ultrasound-assisted osmotic pretreatment: analysis of quality and kinetic models[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2024, 103: 106-784.
- [4] BAI J W, DAI Y, WANG Y C, et al. Potato slices drying: pretreatment affects the three-dimensional appearance and quality attributes[J]. Agriculture, 2022, 12(11): 1 841-1 849.
- [5] KRIAA K, NASSAR A F. Comparative study of pretreatment on microwave drying of gala apples (*Malus pumila*): effect of blanching, electric field and freezing[J]. LWT-Food Science and Technology, 2022, 165: 113693.
- [6] FOTIOU D, GOULA A M. Study of pretreatment methods for peach drying[J]. Food and Bioproducts Processing, 2024, 144: 75-91.
- [7] LEE S C, KIM S Y, CHOI S J, et al. Effect of soaking and heat treatment conditions on physicochemical and organoleptic quality of lotus root[J]. Korean Journal of Food Science and Technology, 2010, 42(1): 45-49.
- [8] 薛扬, 刘恩宽, 耿鸣阳, 等. 铁棍山药超声强化热泵干燥的品质特性研究[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 234-242.
XUE Y, LIU N C, GENG M Y, et al. Quality characteristics of *Dioscorea opposita* by ultrasound-enhanced heat pump drying [J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(3): 234-242.
- [9] 刘珮, 王建辉, 吴佳丽, 等. 莲藕脆片组合干燥过程中的抗氧化性变化研究[J]. 天津农学院学报, 2016, 23(3): 6-10.
LIU P, WANG J H, WU J L, et al. Changes in antioxidant activity of lotus root chips during combination drying[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2016, 23(3): 6-10.
- [10] 李志锐, 乐粉鹏, 王娟, 等. 超声微波协同萃取柚皮总黄酮及其抗氧化性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(5): 60-63.
LI Z R, LE F P, WANG J, et al. The extraction of total flavonoids from pomelo peel and antioxidant activity of ultrasonic microwave synergistic[J]. Food Research and Development, 2018, 39(5): 60-63.
- [11] 张良英, 刘林, 于立杰, 等. 软枣猕猴桃果实发育期品质指标及抗氧化能力的变化[J]. 食品与机械, 2023, 39(7): 157-164.
ZHANG L Y, LIU L, YU L J, et al. Changes of quality characteristics and antioxidant capacities during fruit development of hardy kiwifruit[J]. Food & Machinery, 2023, 39(7): 157-164.
- [12] 王玉婷, 陈奕, 李雨波. 干燥方式对香蕉片总多酚含量及其抗氧化性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(23): 113-117.
WANG Y T, CHEN Y, LI Y B, et al. Effects of different drying methods on the content and antioxidant activity of total polyphenol from banana slices[J]. Food Science, 2013, 34(23): 113-117.
- [13] 曾雅. 猕猴桃超声—远红外辐射干燥特性及生物活性成分研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2021: 38.
ZENG Y. Effects of ultrasound assisted far-infrared radiation drying on drying characteristics and bioactive components of kiwifruit slices[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2021: 38.
- [14] 彭进明, 梁贵强, 肖宇桑, 等. 超声辅助不同小分子糖渗透处理后真空冷冻干燥油柑的品质比较[J]. 现代食品科技, 2024, 40(4): 215-224.
PENG J M, LIANG G Q, XIAO Y S, et al. Quality comparison of vacuum freeze-dried phyllanthus emblica after ultrasound-assisted osmotic treatment with different small molecular sugar [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 215-224.
- [15] PATLE T K, SHRIVAS K, PATLE A, et al. Simultaneous determination of B1, B3, B6 and C vitamins in green leafy vegetables using reverse phase-high performance liquid chromatography[J]. Microchemical Journal, 2022, 176: 107249.
- [16] 罗燕, 黄晓鹏, 李声元, 等. 预处理方式对枸杞子热风 and 远红外干燥下品质的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(6): 159-169.
LUO Y, HUANG X P, LI S Y, et al. Effect of pretreatment methods on the quality of *Lycium barbarum* L. under hot-air drying and far-infrared drying[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(6): 159-169.
- [17] SUVARNAKUTA P, CHAWERUNGRAT C, DEVAHASTIN S. Effects of drying methods on assay and antioxidant activity of xanthones in mangosteen rind[J]. Food Chemistry, 2011, 125 (1): 240-247.
- [18] BERIAIN M J, LIZASO G, CHASCO J. Free amino acids and proteolysis involved in 'salchichon' processing[J]. Food Control, 2000, 11(1): 41-47.
- [19] 付勋, 聂青玉, 李喆, 等. 不同护色处理的枇杷果酒挥发性风味成分对比[J]. 中国酿造, 2023, 42(3): 194-201.
FU X, NIE Q Y, LI Z, et al. Comparison of volatile flavor components of loquat fruit wine with different color-protection treatment[J]. China Brewing, 2023, 42(3): 194-201.