

doi:10.12301/j.issn.2095-6002.2021.02.016

文章编号:2095-6002(2021)02-0126-08

引用格式:吴炜俊,程丽娜,肖更生,等.不同组合渗透与冷冻前处理对蓝莓干燥品质的影响[J].食品科学技术学报,2021,39(2):126-133.



WU Weijun, CHENG Lina, XIAO Gengsheng, et al. Effects of different combination of osmosis and freezing pretreatment on drying characteristics of blueberry[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021,39(2):126-133.

不同组合渗透与冷冻前处理对蓝莓干燥品质的影响

吴炜俊^{1,2}, 程丽娜^{2,*}, 肖更生^{2,3,*}, 徐玉娟², 余元善², 刘伟俊¹,
郑晓涛¹, 邹颖², 邹波², 李俊²

(1. 华南农业大学食品学院, 广东 广州 510640; 2. 广东省农业科学院 蚕业与农产品加工研究所/
农业农村部功能食品重点实验室/广东省农产品加工重点实验室, 广东 广州 510610;
3. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510225)

摘要:为研究渗透、冷冻前处理对食品干燥品质的影响,同时为改善产品品质提供理论支撑和技术指导,以蓝莓为研究对象,在对样品进行相同干燥处理(热风,30 h,60 ℃)前,进行不同组合模式的渗透(海藻糖、氯化钙、蔗糖)和冷冻-解冻(液氮-80 ℃,室温)前处理,以干果的脱水速率、含水量、色泽、质构、总糖、抗氧化活性物质等作为评价指标进行分析。研究显示:不同组合渗透、冷冻-解冻前处理对蓝莓物化品质影响显著,冷冻-解冻-渗透-干燥组为最优,较单一渗透处理组、单一冷冻-解冻处理组、未前处理组脱水速率分别提高5.55%、6.39%、36.91%;硬度分别提高8.59%、39.80%、909.00%;总糖含量保持率分别提高1.10、1.44、2.70倍,抗氧化活性(总酚、花色苷、ORAC)提高了16%以上。结果表明:冷冻-解冻处理可以促进渗透效果,渗透与冷冻-解冻前处理模式结合对干燥速率的加快和干燥品质的提升具有显著协同作用。

关键词: 蓝莓; 渗透; 冷冻; 干燥品质; 脱水速率
中图分类号: TS255.3 **文献标志码:** A

蓝莓,亦为越橘,杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(Vaccinium)野生莓种,因富含营养成分,具有抗衰老等功效,被誉为“水果皇后”和“浆果之王”^[1]。蓝莓是所有果蔬中生物活性物质最丰富的水果之一,也被联合国粮农组织(FAO)列作人类五大健康食品之一^[2-3]。蓝莓以鲜销为主,而国产蓝莓成熟期一般集中在高温多湿季节,采后易受微生物感染或其他机械性损伤导致品质劣变,因而不耐贮藏,采后损失严重,在0℃和90%~95%相对湿度环境下,

货架期不足两周^[4]。

干燥是延长食品货架期和增加食品附加值的
有效手段,果干产品也颇受消费者青睐。目前,工业上常采用的热风干燥,具备操作简易、干燥速度相对较快等优势,但同时也存在一些不足,如干燥时间长,干燥速率不易控制,干燥后质构、色泽和其他营养成分都会有所改变或劣变^[5]。在干燥过程中,水分扩散速率随温度升高而增大,当水果长时间置于高温环境中,可能会导致果实中的营养

收稿日期:2019-11-15

基金项目:广东省农业科学院院长基金项目(201806B);广东省现代农业技术体系创新团队建设专项资金项目(2019KJ117);广东省农业科技自主创新体系管理项目(0835-190Z22404211)。

第一作者:吴炜俊,男,硕士研究生,研究方向为食品加工与安全。

*通信作者:程丽娜,女,助理研究员,博士,主要从事果蔬加工新技术方面的研究;
肖更生,男,研究员,主要从事果蔬深加工方面的研究。

成分严重损失^[6]。研究发现,在干燥蓝莓过程中,蓝莓表面含有一层蜡状疏水层,会阻碍水分从蓝莓内部到表面的运输,从而限制果实内部的传热,特别是在较低温条件下^[7-9]。渗透常作为一种促进传质的干燥前处理方式^[10];冷冻是一种生鲜食品有效的贮藏方式,对促进干燥过程中的传热传质也具有一定效果^[11]。渗透和冷冻在食品干燥过程中的各自效果有限,目前关于二者联合使用效果的研究较少,其作用机制尚未十分明确。研究渗透与冷冻-解冻不同组合的作用模式对蓝莓干燥过程中的影响,对提高蓝莓商品附加值具有实际指导意义,同时也可作为蓝莓干燥技术的改进提供进一

步的理论支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

蓝莓(辽宁丹东,粉蓝品种),采购于广州市农贸市场。分类筛选大小形状均一、无机械性损伤、无虫害霉变的蓝莓,每25颗蓝莓用小密封袋(13 cm × 18 cm)分装后置于4℃冷库预冷24 h,待用。蔗糖(食品级),南宁糖业股份有限公司;海藻糖(食品级),河南万邦实业有限公司。新鲜蓝莓基本理化指标见表1。

表1 新鲜蓝莓浆果基本理化指标

Tab. 1 Main physical and chemical indexes of fresh blueberry

w (水分)/%	硬度/N	w (总酚)/(mg·g ⁻¹)	w (花色苷)/(mg·g ⁻¹)	ORAC/(μmol·L ⁻¹)	w (总糖)/(mg·g ⁻¹)
89.35 ± 0.01	3.37 ± 0.99	12.08 ± 0.21	1.14 ± 0.32	411.38 ± 2.40	110.27 ± 2.03

1.2 主要试剂

氯化钙、甲醇、碳酸钠、福林酚试剂、苯酚、浓硫酸、浓盐酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠、水溶性维生素E(Trolox)、荧光素钠、2,2-偶氮二(2-甲基丙基咪)二盐酸盐,均采购于福晨(天津)化学试剂有限公司,以上试剂均为分析纯。

1.3 主要仪器

DJL-QF型液氮速冻机,深圳市德捷力冷冻科技有限公司;CR22GⅢ型高速冷冻离心机,日本日立公司;TA Xplus型质构仪,英国Stable Micro System公司;DHG 101-3A型电热恒温烘箱,上海喆钛机械制造有限公司;Infinite M200PRO型酶标仪,瑞士TECAN公司;Ultra Scan VIS型全自动色差仪,美国Hunter Lab公司;UV1800型紫外可见分光光度计,日本岛津公司;L3.5TB1型热泵干燥机,广东威尔信实业有限公司。

1.4 蓝莓干燥前处理方法

以蓝莓为研究对象,在对样品进行相同干燥处理(热风,30 h,60℃)前,进行不同组合模式的渗透[质量分数为15%海藻糖、15%氯化钙、15%蔗糖,固液比1:10(质量比),室温静置3 h]和冷冻-解冻(液氮-80℃冷冻,室温解冻)前处理,前处理方式见表2。

1.5 各理化指标的测定

1.5.1 水分测定

采用GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》中

的方法,测定处理样品的含水量,以干基质量计算。

表2 不同组合渗透、冷冻前处理方式

Tab. 2 Different combination of osmosis and freezing pretreatment methods

组别	前处理方式
方法Ⅰ	渗透——热风干燥
方法Ⅱ	冷冻——解冻——热风干燥
方法Ⅲ	渗透——冷冻——解冻——热风干燥
方法Ⅳ	冷冻——解冻——渗透——热风干燥
方法Ⅴ	热风干燥

1.5.2 质构测定

参考文献[12]的方法略有修改。采用质构仪对样品进行测定,使用直径为5 cm的圆柱形平底探头,测前速度1.60 mm/s,测中速度0.8 mm/s,测后速度2.00 mm/s,触发力为5.0 g,压缩变性程度30.0%,时间为10 s。以两次压缩的最大峰值平均值作为硬度指标,每组样品随机取样平行测定15次。

1.5.3 色差分析

采用全自动色差仪的反射模式测定处理后样品的色泽变化,以新鲜组作为色差测定的参比样,色差结果主要以 L^* (亮度), a^* (红绿), b^* (黄蓝), ΔE^* (变化值)表示^[13], ΔE^* 值计算如式(1)。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (1)$$

1.5.4 总糖测定

参考文献[14]的方法对样品进行测定,最终结果以葡萄糖当量表示。

1.5.5 总酚含量测定

样品提取方法参考文献[15],总酚测定参考文献[16]中的方法,最终结果以每克样品所含毫克当量没食子酸计算。

1.5.6 总花色苷含量测定

花色苷含量测定采用 pH 示差法,参考文献[17]中的方法。最终结果用单位质量(g)样品所含矢车菊素-3-葡萄糖苷质量(mg)表示,花色苷含量计算方法如式(2)、(3)。

$$A = (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}_{1.0}} - (A_{510} - A_{700})_{\text{pH}_{4.5}}; \quad (2)$$

$$C = (A \times M \times f \times 1000) \times V / (\varepsilon \times 1 \times m)。 \quad (3)$$

式(3)中,C为花色苷质量分数,mg/100g;M为矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔质量449.2g/mol;f为稀释因子; ε 为主要花色苷的摩尔吸收率,26900L/(mol·cm)。

1.5.7 氧化自由基吸收能力测定

使用常见的ORAC(oxygen radical absorbance capacity)测定方法,具体参考文献[18]的方法。荧光测定条件:激发波长485nm,发射波长520nm,循环35次,每个循环2.5min。以Trolox为标准品,样品的ORAC值以Trolox当量表示($\mu\text{mol/L}$)。

1.6 数据处理

采用Origin制图,SPSS 24.0软件进行统计分析。采用单因素方差分析检验方法,在95%置信水平下, $P < 0.05$ 时认为具有显著性差异, $P > 0.05$ 时认为差异性不显著。所有测定指标均作3~6次平行实验,所得结果均以 $\bar{X} \pm s$ 表示。

2 结果与讨论

2.1 不同组合渗透与冷冻前处理对蓝莓干燥过程中物理品质的影响

2.1.1 对水分的影响

图1、图2分别是不同组合渗透、冷冻前处理对蓝莓预干燥(30h)脱水速率和干燥后含水量变化实验结果。不同组合前处理模式对蓝莓脱水速率和含水量变化均有显著差异($P < 0.05$)。图1结果显示,含水量随干燥时间推移呈降低趋势,不同组合前处理对其含水量影响较大。由图2结果得到各组每小时平均脱水速率分别为2.076%、2.057%、

2.080%、2.090%、1.610%,其中方法Ⅳ的脱水速率最快,干燥结束后含水量最低(较方法Ⅰ、方法Ⅱ和方法Ⅴ的脱水速率分别提高了5.55%、6.39%、36.91%);方法Ⅲ次之;单一模式组间无显著性差异($P > 0.05$);未处理组效果最差。

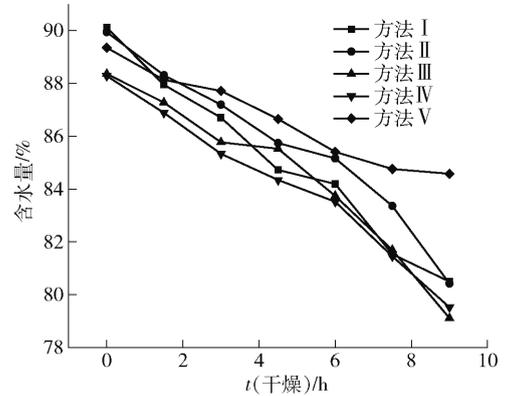
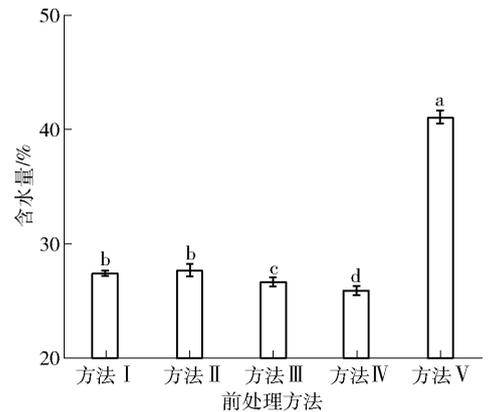


图1 不同组合前处理方法的蓝莓预干燥脱水速率变化
Fig. 1 Effect of pretreatment with different combinations on dehydration rate of blueberry during drying



不同小写字母表示具有显著差异($P < 0.05$)。
图2 不同组合前处理方法的蓝莓干燥过程中含水量变化

Fig. 2 Effect of pretreatment with different combinations on water content of blueberry during drying

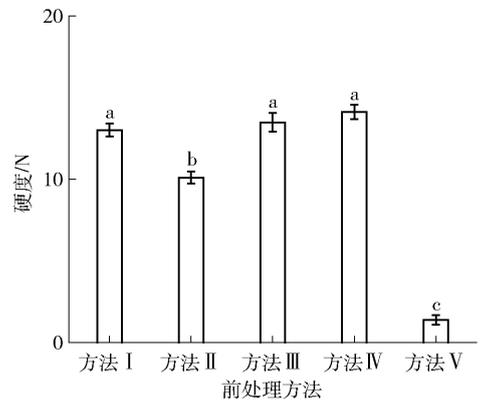
由此可见,渗透与冷冻前处理模式结合对蓝莓干燥具有协同作用,较优于单一作用模式,均显著优于未处理组。这可能是渗透和冷冻都可作为促进传质的一种干燥前处理方式,对促进干燥过程中的传热传质也具有一定效果,但二者单独作用还不能使产品达到稳定的品质状态,各自效果具有局限性;经冻融处理后的蓝莓表面机械强度降低而增加其表面渗透性,此时对其做进一步的渗透处理,高渗透压溶液可能改变浆果的流变特性和玻璃化温度^[19],果实

内部脱水过程得到进一步实现,从而促进干燥过程中热量和水分的传递。

2.1.2 对硬度的影响

考察蓝莓果干的硬度变化对表征其品质是至关重要的,不同组合渗透、冷冻前处理对蓝莓干燥的硬度影响如图3。由图3可见,各组别间的硬度具有显著性差异($P < 0.05$)。与未处理组对比,不同前处理模式的样品(方法I、II、III、IV)硬度分别提高了8.29、6.22、8.64、9.09倍,而渗透液处理过的3个组别无显著性差异($P > 0.05$)。“冷冻-解冻-渗透-干燥”组(方法IV)硬度最大(较方法I和II的硬度分别提高8.59%、39.80%),未处理组干燥失水后硬度最小且呈软瘪状态。这可能是蓝莓在干燥过程中水分不断减少,内部结构被破坏,细胞壁形成不均匀形状,胞壁内容物出现皱缩现象,从而表面出现波形皱褶形态,宏观上可见到原本饱满的果实显得皱缩而软瘪^[20]。蓝莓表面含有蜡状疏水层,阻碍水分从内部运输到表面,从而限制了对内部的传热,但在低温条件下,能够降低表面阻力影响和促进干燥过程中高水分转移^[7-9],有效提高干燥速率,降低含水量而提高果干硬度。另一方面,渗透液与果实间存在渗透差,渗透液与蓝莓内部水分子之间互相渗透,而导致内容物比例发生变化。渗透液中含有CaCl₂、蔗糖和海藻糖,蓝莓经低温冷冻处理后,一部分CaCl₂分子更加容易进入组织内部,与果肉内的果胶类物质发生反应从而增加了蓝莓果干的硬度^[21];糖分也大量渗入细胞内部,与细胞内水分子发生交互作用^[22],导致细胞内部孔隙度降低,干燥

后的果干质地结构变硬。此外,实验中发现,渗透处理组比未经渗透处理组更能延缓果干的皱缩现象,可能是因为海藻糖具有稳定蛋白质和生物细胞结构,能够对多种有害刺激产生对抗性,有效提高果实的持水力与保水效果,增大凝胶冻融稳定性等作用^[23-24]。蓝莓水分的流失会导致细胞结构的变化,渗透液中的溶质及外部条件会维持细胞组织构架,冻融对促进干燥过程中的传热传质也具有一定效果。因此,渗透与冷冻前处理联用模式具有协调作用,能够使硬度显著提高。



不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图3 不同组合前处理方法对蓝莓干燥后硬度的影响

Fig. 3 Effect of pretreatment with different combinations on hardness of dried blueberry

2.1.3 对色泽的影响

产品的色泽是影响消费者选择的最直观指标之一,不同组合渗透、冷冻前处理方法的蓝莓干燥后色泽变化结果如表3。

表3 不同前处理方式对蓝莓干燥后色泽的影响

Tab. 3 Effect of different pretreatment methods on color of dried blueberry

组别	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
新鲜	35.79 ± 1.59 ^a	0.34 ± 0.28 ^c	-3.64 ± 1.17 ^b	/
方法 I	35.48 ± 0.53 ^{ab}	0.41 ± 0.11 ^c	-0.95 ± 0.14 ^a	2.76 ± 0.15 ^c
方法 II	35.07 ± 0.40 ^{bc}	0.87 ± 0.28 ^{ab}	-0.94 ± 0.10 ^a	2.88 ± 0.15 ^b
方法 III	35.10 ± 0.29 ^{bc}	0.78 ± 0.29 ^b	-1.00 ± 0.12 ^a	2.79 ± 0.16 ^{bc}
方法 IV	35.76 ± 0.27 ^a	0.36 ± 0.08 ^c	-1.11 ± 0.15 ^a	2.54 ± 0.16 ^d
方法 V	34.63 ± 0.33 ^c	0.97 ± 0.42 ^a	-0.86 ± 0.14 ^a	3.12 ± 0.25 ^a

同列不同小写字母表示具有显著差异($P < 0.05$)。

表3显示,相比新鲜组,不同组合模式对蓝莓干燥的 L^* 值显著降低($P < 0.05$),蓝莓本身的深蓝色泽出现降低现象。相比未处理组,其他处理组与新鲜蓝莓 L^* 值比较接近,说明不同组合前处理模式能有效保持果实亮度。渗透后直接进行干燥的组别

(如方法I、IV)表现亮度更高,可能因为渗透后直接干燥的蓝莓经过干燥一段时间,表面析出更多的糖分^[25],从而显示出更好的光泽。

表3显示,不同组合模式对蓝莓干燥的 a^* 值具有显著性差异($P < 0.05$),而方法I、IV组别与新鲜

组 a^* 值最接近且差异不显著 ($P > 0.05$)。未渗透组(如方法Ⅱ、Ⅴ)果干出现红色小泡,其他组样品并未出现,与实验测得的结果一致。这是因为蓝莓经干燥后,果实中的花色苷会发生降解与聚合^[26],导致果干色泽产生一定程度的变化;而蓝莓经渗透处理后,渗透液中溶质与蓝莓内部水分子互相渗透,并发生交替作用,在一定程度上能较好地保护其细胞结构^[27],减少干燥对细胞组织(如液泡等)的破坏,从而较好地维持原有的色泽。

表3显示,不同组合模式对蓝莓干燥后的 b^* 值与新鲜组相比具有显著性差异 ($P < 0.05$),这是因为蓝莓自身含有的蛋白质和可溶性糖(渗透液中的蔗糖包括在内),在长时间的干燥过程中分别降解为氨基酸和含羰基的单糖,两者间发生美拉德反应,导致蓝莓发生褐变,颜色由深蓝色褐变成蓝黑色^[28],但 b^* 绝对值变小;各组间无显著性差异可能是蓝莓经干燥后,颜色变成蓝黑色,形态皱缩后接近黑色,组间颜色变化极其微小,所测得数据无明显变化,因而差异不显著。

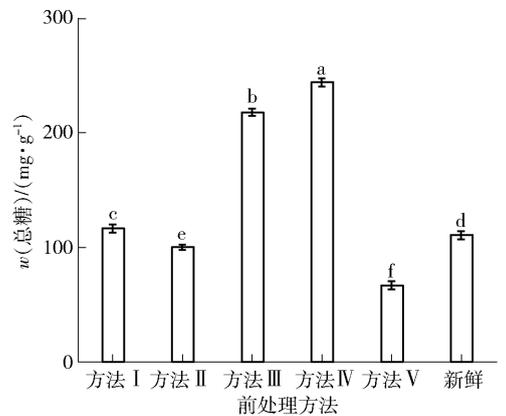
ΔE^* 值越小,表示颜色变化越小。以新鲜组作为参比,不同组合模式组间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。表3结果显示,方法Ⅳ中 ΔE^* 值最小,经干燥后颜色变化最小。相比其他组别作用模式,“冷冻-解冻-渗透-干燥”组所得到的蓝莓果干色泽质量更好。

2.2 不同组合渗透与冷冻前处理对蓝莓干燥过程中营养物质的影响

2.2.1 对总糖含量的影响

总糖含量的高低可作为蓝莓果干风味物质和营养成分保留程度的衡量指标之一。新鲜蓝莓的总糖含量为 110.2 mg/g,经不同组合前处理的蓝莓干燥后总糖变化情况见图4。由图4可知,不同组合前处理模式之间具有显著性差异 ($P < 0.05$)。相比新鲜蓝莓,未渗透处理组的总糖含量显著性降低 ($P < 0.05$);反之,其他组总糖含量显著性提高 ($P < 0.05$)。“冷冻-解冻-渗透-干燥”组(方法Ⅳ)为最优(较方法Ⅰ、Ⅱ和Ⅴ的糖含量保持率分别提高 1.10、1.44、2.70 倍),方法Ⅲ处理效果次之。

蓝莓本身含有可溶性糖,以含有羰基的葡萄糖和果糖为主。在长时间的干燥过程中,细胞内的蛋白质发生降解产生氨基酸,与羰基化合物发生美拉德反应,从而降低可溶性糖含量。此外,果实表面的疏水性蜡质层可能会降低对水的渗透性而对渗透脱



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图4 不同组合前处理方法对蓝莓干燥后总糖含量变化的影响

Fig. 4 Effect of pretreatment with different combinations on total sugar of dried blueberry

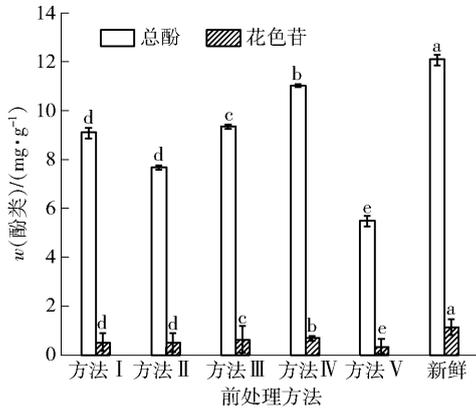
水有一定的阻碍性,但在较低的温度条件下,采用冻融的方法改变细胞膜的通透性能有效降低表面阻力的影响^[7-9];蓝莓经渗透作用后,由于冻融后细胞膜通透性改变,溶质中蔗糖分子因细胞膜内外渗透压差进入细胞内^[29],进而引起经过渗透处理组的总糖含量上升。

2.2.2 对活性物质抗氧化活性的影响

蓝莓富含酚类天然活性物质,其与蓝莓色泽、品质优劣密切相关。不同组合前处理模式对蓝莓干燥后抗氧化活性物质(酚类物质、ORAC)的影响结果如图5、图6,各组间均具有显著性差异 ($P < 0.05$),新鲜蓝莓进行不同组合前处理模式干燥后,其抗氧化活性均显著降低;与新鲜组相比,“冷冻-解冻-渗透-干燥”组(方法Ⅳ)的抗氧化活性保留效果最好,总酚和花色苷含量与 ORAC 的保留率分别为 91.01%、60.70%、62.91%,较方法Ⅰ、Ⅱ和Ⅴ,方法Ⅳ的抗氧化活性(总酚、花色苷、DRAC)提高了 16% 以上,显著优于单一作用模式,而未前处理组的保留效果最差。

总酚与花色苷均属酚类物质,也是天然的抗氧化活性物质,稳定性较差,易受 O_2 和温度等因素影响而造成损失^[30]。酚类物质与抗氧化活性呈正相关,在长时间的干燥过程中,蓝莓由于受到较高温度的影响,同时在干燥过程中与氧气充分接触,两者均是导致酚类物质发生氧化、降解和聚合等一系列反应的因素^[31],从而引起这类抗氧化活性物质的降低。蓝莓经冻融处理后,其内部的细胞组织结构受到破

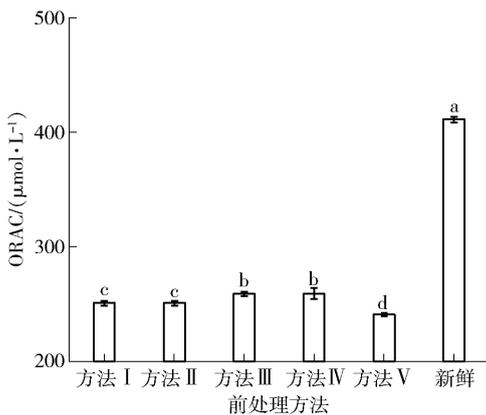
坏,导致细胞膜通透性发生改变,但有利于酚类物质的溶出与提取^[32];渗透液中含有氯化钙、蔗糖和海藻糖成分,这可能是添加氯化钙对果干抗氧化物质具有较好的保护作用的原因^[11]。Nikkhah等^[33]发现,蔗糖可能会提高抗氧化物质的稳定性。因此,在相同干燥处理前,进行不同组合模式的渗透和冻融作用模式的前处理,二者联用具有协同作用,对抗氧化活性物质的保留效果显著增强。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图5 不同组合前处理方式对蓝莓干燥后酚类物质变化的影响

Fig. 5 Effects of pretreatment with different combinations on phenols of dried blueberry



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图6 不同组合前处理方式对蓝莓干燥后ORAC变化的影响

Fig. 6 Effect of pretreatment with different combinations on ORAC of dried blueberry

3 结论

本实验研究不同组合渗透与冷冻前处理对蓝莓干燥特性的影响,以干果的脱水速率、含水量、色泽、

质地、总糖、抗氧化活性物质等作为评价指标进行分析。结果表明,不同组合渗透、冷冻-解冻前处理对蓝莓物化品质影响具有显著性差异 ($P < 0.05$),渗透和冷冻-解冻前处理模式联用具有明显的协同作用,显著优于单一作用模式,未处理组效果最差,而渗透处理模式较冷冻处理效果更好。“冷冻-解冻-渗透-干燥”组处理模式最为适宜,通过冷冻改善渗透效果,二者结合显著提高了传热传质速率,从而显著提高了果干品质和较好地维持蓝莓的营养品质,具有一定的现实生产意义。本研究对蓝莓果干的品质与营养物质进行了初步研究,后续可对处理后的蓝莓果干的风味物质、水分迁移和微观结构等指标做进一步的探究。

参考文献:

- [1] JI Y, HU W, JIANG A, et al. Effect of ethanol treatment on the quality and volatiles production of blueberries after harvest [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(14): 6296 - 6306.
- [2] SHI J, PAN Z, MCHUGH T, et al. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 41(10): 1962 - 1972.
- [3] LI C Y, FENG J, HUANG W Y, et al. Composition of polyphenols and antioxidant activity of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) in Nanjing [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(3): 523 - 531.
- [4] ZIELINSKA M, SADOWSKI P, BLASZCZAK W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 62(1): 555 - 563.
- [5] AGNIESZKA N, ADAM F, ALICJA Z, et al. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods [J]. *Journal of Food Engineering*, 2009, 94(1): 14 - 20.
- [6] CHIEN H C, CHUNG L L, ADAM F, et al. Color, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods [J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 3889 - 3896.
- [7] ADILETTA G, RUSSO P, SENADEERA W, et al. Drying characteristics and quality of grape under physical pretreatment [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 172: 9 - 18.
- [8] CIURZYNSKA A, KOWALSKA H, CZAJKOWSKA K, et al. Osmotic dehydration in production of sustainable

- and healthy food [J]. Trends in Food Science and Technology, 2016, 50(4): 186 – 192.
- [9] DERMESONLOUGLOU E, CHALKIA A, TAOUKIS P. Application of osmotic dehydration to improve the quality of dried goji berry [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 232: 36 – 43.
- [10] MAY B K, PERRE P. The importance of considering exchange surface area reduction to exhibit a constant drying flux period in foodstuffs [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54 (4): 271 – 282.
- [11] 曹雪慧, 赵东宇, 朱丹实, 等. 渗透预处理对蓝莓冻结特性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(7): 192 – 197.
- CAO X H, ZHAO D Y, ZHU D S, et al. Effect of osmotic pretreatment on freezing characteristics of blueberry [J]. Food Science, 2019, 40(7): 192 – 197.
- [12] FERNANDEZ-LEON M F, FERNANDEZ-LEON A M, LOZANO M, et al. Altered commercial controlled atmosphere storage conditions for ‘Parhenon’ broccoli plants (*Rassica oleracea* L. var. *italica*): influence on the outer quality parameters and on the health-promoting compounds [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 50 (2): 665 – 672.
- [13] HOLCROFT D M, KADER A A. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 1999, 17 (36): 19 – 32.
- [14] YANG B, NAGENDRA K, JIANG Y M. Structure identification of a polysaccharide purified from litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) pulp [J]. Carbohydrate Polymers, 2016, 137: 570 – 575.
- [15] ALOTHMAN M, RAJEEV B, KARIM A A. Antioxidant capacity and phenolic content of selected tropical fruits from Malaysia, extracted with different solvents [J]. Food Chemistry, 2008, 115 (3): 785 – 788.
- [16] YU Y, XU Y, WU J, et al. Effect of ultra-high pressure homogenisation processing on phenolic compounds, antioxidant capacity and anti-glucosidase of mulberry juice [J]. Food Chemistry, 2014, 153: 114 – 120.
- [17] JIANG X, LIN H, SHI J, et al. Effects of a novel chitosan formulation treatment on quality attributes and storage behavior of harvested litchi fruit [J]. Food Chemistry, 2018, 252: 134 – 141.
- [18] STEED L E, TRUONG V D. Anthocyanin content, antioxidant activity, and selected physical properties of flowable purple-fleshed sweet potato purees [J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): S215 – 221.
- [19] FENG H, TANG J, MATTINSON D S, et al. Microwave and spouted bed drying of frozen blueberries: the effects of drying and pretreatment methods on physical properties and retention of flavor volatiles [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 1993, 23(6): 463 – 479.
- [20] ADRIAN V, NATALIA H, MAGDALENA W, et al. The impact of freeze drying on microstructure and rehydration properties of carrot [J]. Food Research International, 2012, 49(2): 687 – 693.
- [21] GRAS M L, VIDAL D, BETORET N, et al. Calcium fortification of vegetables by vacuum impregnation [J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56(2): 279 – 284.
- [22] 张鹏飞. 桃片渗透脱水及联合干燥技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2016.
- ZHANG P F. Study on osmotic dehydration and combined drying technology of peach slices [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [23] BO P, LI Y, DING S, et al. Characterization of textural, rheological, thermal, microstructural, and water mobility in wheat flour dough and bread affected by teahouse [J]. Food Chemistry, 2017, 233: 369.
- [24] LI M, WU Y, GUAN Z. Effect of physical osmosis methods on quality of tilapia fillets processed by heat pump drying [J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 67(2): 145 – 150.
- [25] 郑海鹰. 莴笋在蔗糖体系下的渗透脱水研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2012.
- ZHENG H Y. Study on osmotic dehydration of lettuce in sucrose system [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology and Industry, 2012.
- [26] ANETA W, ADAM F, KRZYSZTOF L, et al. Effect of convective and vacuume microwave drying on the bioactive compounds, color and antioxidant capacity of sour cherries [J]. Food and Bioprocess Technology, 2014, 7 (3): 829 – 841.
- [27] RASTOGI N K, RAGHAVARAO K S M S, NIRANJAN K, et al. Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer [J]. Trends in Food Science and Technology, 2002, 13 (2): 48 – 59.
- [28] STOJANOVIC J, SILVA J L. Influence of osmotic concentration, continuous high frequency ultrasound and dehydration on antioxidants, color and chemical properties of rabbiteye blueberries [J]. Food Chemistry, 2007, 101(3): 898 – 906.
- [29] SIDONIA M, NOELIA P, JAVIER C, et al. Effect of blanching methods and frozen storage on some quality

- parameters of turnip greens (“grelos”) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 51(1):383–392.
- [30] 李晓英, 薛梅, 樊汶樵, 等. 不同干燥方式对蓝莓叶中酚类物质及其抗氧化活性的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(13):2570–2578.
- LI X Y, XUE M, FAN W Q, et al. Effects of different drying methods on phenolic substances and their antioxidant activities in blueberry leaves [J]. *China Agricultural Science*, 2018, 51(13): 2570–2578.
- [31] 王强, 邓朝芳, 任彦荣, 等. 无核紫葡萄干燥特性及其总酚含量变化研究[J]. *食品科学*, 2016, 37(5): 62–66.
- WANG Q, DENG C F, REN Y R, et al. Study on the drying characteristics of seedless purple grape and the change of its total phenol content [J]. *Food Science*, 2016, 37(5): 62–66.
- [32] 安可婧. 生姜不同前处理联合热风间歇微波耦合干燥的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- AN K J. Study on the combination of different pretreatment and hot air intermittent microwave coupling drying of ginger [D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.
- [33] NIKKHAH E, KHAYAMY M, HEIDARI R, et al. Effect of sugar treatment on stability of anthocyanin pigments in berries [J]. *Journal of Biological Sciences*, 2007, 7(8):1412.

Effects of Different Combination of Osmosis and Freezing Pretreatment on Drying Characteristics of Blueberry

WU Weijun^{1,2}, CHENG Lina^{2,*}, XIAO Gengsheng^{2,3,*}, XU Yujuan², YU Yuanshan²,
LIU Weijun¹, ZHENG Xiaotao¹, ZOU Ying², ZOU Bo², LI Jun²

(1. *College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China;*

2. *Sericulture and Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Food, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China;*

3. *Zhongkai College of Agricultural Engineering, Guangzhou 510225, China)*

Abstract: In order to provide theoretical support and technical guidance for improving the quality of dried food, the effects of osmosis and freezing pretreatment on the drying characteristics of blueberry were investigated. In this study, blueberries were treated with different combination modes of osmosis (trehalose, calcium chloride, sucrose) and freeze-thaw (liquid nitrogen –80 °C, room temperature) before the same drying treatment (hot air, 30 h, 60 °C), and the dehydration rate, water content, color, texture, total sugar content and antioxidant active substances were determined and compared. The results showed that different combination of osmosis and freeze-thaw pretreatment had a significant effect on the physical and chemical quality of blueberry. The freezing-thawing-osmotic-drying group was the best, and compared with the single osmotic group, the single freezing-thawing group, and the untreated group, the dehydration rate was increased by 5.55%, 6.39% and 36.91%, the hardness was enhanced by 8.59%, 39.80%, 909.00%, the retention rate of total sugar content was elevated by 1.10, 1.44, 2.70 times, and the antioxidant activity (total phenol, anthocyanin, oxygen radical absorbance capacity) was increased by more than 16%, respectively. In conclusion, freezing-thawing treatment could improve the osmotic influence on drying characteristics of blueberry, the combination of them had significant synergy on the enhancement of drying rate and drying quality.

Keywords: blueberry; osmosis; freezing; drying characteristics; dehydration rate