

doi:10.12301/j.issn.2095-6002.2021.05.019

文章编号:2095-6002(2021)05-0165-10

引用格式:肖广健,刘园,陈飞,等. 渗透处理结合热风干燥对桃脯干燥特性的影响[J]. 食品科学技术学报,2021,39(5):165-174.



XIAO Guangjian, LIU Yuan, CHEN Fei, et al. Effect of osmotic treatment combined with hot air drying on drying characteristics of preserved peaches[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021,39(5):165-174.

渗透处理结合热风干燥对桃脯干燥特性的影响

肖广健¹, 刘园¹, 陈飞¹, 周辉¹, 丁胜华², 王蓉蓉^{1,*}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南长沙 410128;

2. 湖南省农业科学院农产品加工研究所, 湖南长沙 410125)

摘要:为提升桃脯产品的品质,采用渗透处理结合热风干燥,探究其对桃脯干燥特性的影响。结果表明:相比于直接干燥,渗透处理可在干燥前除去原料中的大部分自由水,有效缩短桃脯的干燥时间,提高了干燥效率。此外,经渗透处理的桃脯理化品质优于直接干燥,其色泽接近新鲜样品,硬度较低,维生素C含量、总酚含量及抗氧化能力均维持在较高水平,且能较好地保持桃脯的表面微观结构,尤其对于真空渗透处理组这种效果更为明显。相关性分析表明,硬度与维生素C含量和 L^* 值呈极显著负相关;维生素C含量与 L^* 值呈极显著正相关,与铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)和DPPH·清除能力呈显著正相关;总酚含量与FRAP和DPPH·清除能力呈极显著正相关;FRAP与DPPH·清除能力呈极显著正相关。通过聚类分析可将3组样品分为两类,直接干燥组和常压渗透组聚为一类,真空渗透组单独为一类;理化品质可分为3类,硬度单独为一类, L^* 值与维生素C含量聚为一类,总酚含量、FRAP和DPPH·清除能力聚为一类。因此,真空渗透处理结合热风干燥在有效缩短桃脯干燥时间的同时,能提升其产品品质,可作为桃脯加工的适宜方式。

关键词:桃脯;常压渗透;真空渗透;热风干燥;干燥特性**中图分类号:**TS255.2;O657.7⁺2**文献标志码:**A

桃(*Amygdalus persica* L.)属蔷薇科李属,含蛋白质、钙和维生素C(Vc)等营养成分,能解热生津,活血养颜,有极高的食用与医用价值^[1-2]。但桃含水量高,代谢活性强,不耐贮运,很难满足无桃季节的市场需求。因此,常将桃加工成果脯、罐头、果汁等产品,以延长货架期^[3]。桃脯因具有果香浓郁、营养丰富、携带方便等优点,深受消费者喜爱。

干燥是桃脯加工的重要环节,但传统的单一干燥方式会降低感官品质,导致营养物质流失。针对单一干燥对果脯品质造成的负面影响,已有研究集

中在干燥前的渗透处理。渗透脱水是指在一定温度下,将果蔬浸入高渗透压溶液中,利用细胞膜的半渗透性使物料水分转移到溶液中以除去部分水分的一种技术^[4]。干燥前辅以一定的渗透处理,可在不破坏果蔬完整性的前提下,缩短干燥时间,改善组织结构,保持其色泽及风味等^[5]。目前,渗透处理已在圣女果^[6]、芒果^[7]、菠萝^[8]、莴笋^[9]、辣椒^[10]等果蔬干燥中取得了较好的效果。An等^[6]发现经蔗糖溶液(50℃,50°Brix)脉冲真空(13kPa)渗透后干燥的圣女果,其体积、Vc保留率、色泽和硬度均优于直接

收稿日期:2021-03-22

基金项目:湖南省重点研发计划项目(2020NK2048);湖南省自然科学基金项目(2019JJ50256);国家自然科学基金资助项目(31601525);长沙市杰出创新青年培养计划项目(KQ1905025)。

第一作者:肖广健,男,硕士研究生,研究方向为果蔬加工及贮藏。

*通信作者:王蓉蓉,女,讲师,博士,主要从事果蔬加工及贮藏方面的研究。

干燥组,整体品质有所提高。Zou 等^[7]使用蔗糖溶液(30℃,65°Brix)对芒果片进行常压渗透后干燥,得到的干芒果片色泽鲜艳,质地脆嫩,感官品质较好。张鹏飞^[11]发现经不同糖液(40℃,50°Brix)常压或超声渗透后干燥的桃片,其综合品质优于未渗透组。但目前关于桃脯加工中结合渗透处理方面的研究仍较少。因此,研究渗透处理对桃脯干燥特性的影响,对于提升其产品品质有重要意义。

本研究以市面常见的桃品种红不软为材料,在不同渗透处理条件下研究桃脯干燥特性变化,并通过相关性分析和聚类分析进一步探究不同处理与桃脯品质间的关系,优化桃脯加工方法,以期为调控桃脯产品品质提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

新鲜桃(品种:红不软),湖南农业大学农贸市场。挑选成熟度一致、大小均一、果形相似、颜色相近,无明显病害和机械损伤的果实作为实验原料。

柠檬酸、2,6-二氯酚靛酚、蔗糖、抗坏血酸、草酸、碳酸氢钠、没食子酸、福林酚、碳酸钠、冰醋酸、氢氧化钠、氯化铁、盐酸、硫酸亚铁、DPPH、TPTZ,分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

CS-580型色差仪,浙江彩谱科技有限公司;UV-1800型紫外-可见分光光度计,岛津仪器(苏州)有限公司;CT3型质构仪,美国 Brookfield 公司;EVOLS10型扫描电子显微镜(SEM),德国蔡司公司;101-2AB型电热鼓风干燥箱,天津泰斯特仪器有限公司;2WAJ型阿贝折射仪,上海上光新光学科技有限公司;DZF型真空干燥箱,北京永光明医疗仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 原料预处理

参照王丽娟等^[12]的方法,将桃放入预热至90℃的NaOH溶液(0.4 mol/L)中浸泡1 min后,用柠檬酸(0.03 g/mL)冷却中和碱液,再用流水冲洗去皮。将去皮后的桃对半切分后去核,放进长宽均为12 mm的模具中,切分为形状一致的长条状。然后,将桃条倒入柠檬酸(0.01 g/mL)和抗坏血酸(0.005 g/mL)混合液中护色20 min,取出后吸干表面水分。再将桃条置于蒸汽中热烫处理(100℃,

80 s)后立即用冰水冷却30 s,沥干备用。

1.3.2 渗透处理

1)常压渗透。将经预处理的桃条分别浸入预热至30、40、50℃的质量分数50%的蔗糖溶液中,并将其置于恒温水浴锅中保温,用铁丝网压住以保证所有桃条都浸入溶液中。再用保鲜膜封住烧杯口进行渗透,分别于10、30、60、120、180、240 min后将桃条迅速捞出,用蒸馏水冲洗表面以去除黏质,并立刻用吸水纸吸干水分,用于计算干基含水量和固形物得率。

2)真空渗透。将经预处理的桃条分别浸入预热至30、40、50℃的质量分数50%的蔗糖溶液,并将其置于真空干燥箱中,温度分别设置为30、40、50℃。渗透时箱内的真空度为0.09 MPa,并用铁丝网压住以保证所有桃条都浸入溶液中,再用保鲜膜封住烧杯口进行渗透,分别于10、30、60、120、180、240 min后将桃条迅速捞出,用蒸馏水冲洗表面以去除黏质,并立刻用吸水纸吸干水分,用于计算干基含水量和固形物得率。

1.3.3 热风干燥处理

将预处理及渗透处理过的样品置于鼓风干燥箱内进行干燥,干燥温度为60℃,每间隔1 h测量其质量,直至其干基含水量达到0.25 g/g时停止。

1.3.4 渗透及干燥特性测定

1)干基含水量计算。分别计算经渗透处理和热风干燥处理后样品的干基含水量(X_t),见式(1)。

$$X_t = \frac{m_0 - m_t}{m_0} \quad (1)$$

式(1)中, X_t ,g/g; m_0 为样品的原始质量,g; m_t 为渗透和干燥过程中样品在 t 时刻的质量,g。

2)固形物得率(solid content,SC)计算。经渗透处理的样品采用阿贝折射仪测定固形物含量,按式(2)计算SC。

$$SC = \frac{m_t S_t - m_0 S_0}{m_0} \times 100\% \quad (2)$$

式(2)中,SC,%; S_0 、 S_t 分别为样品原始时刻和 t 时刻的固形物含量,%。

3)水分比(moisture ratio,MR)计算。经热风干燥处理的样品按式(3)计算MR。

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (3)$$

式(3)中, X_t 是样品在 t 时刻的干基含水量,g/g; X_0 是样品热风干燥前的干基含水量,g/g。

1.3.5 质构特性测定

参考李永红等^[13]的方法,用质构仪进行测定。具体参数为:TA39 型号探头,TPA 模式,预压速率 2 mm/s,下压速率 1 mm/s,反向速率 1 mm/s,触发点负荷 4.5 g,测试深度 4 mm,重复 2 次,每个样品平行测定 10 次。

1.3.6 色泽测定

参考 Firky 等^[14]的方法,用色差仪对桃脯 L^* 值(亮度)、 a^* 值(红绿色度)和 b^* 值(黄蓝色度)进行测定。待仪器校准后,将样品置于测量托盘上测定。采用总色差值 ΔE 来表示颜色变化,计算见式(4)。

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2} \quad (4)$$

式(4)中, L_0^* 、 a_0^* 、 b_0^* 分别为新鲜样品的色度值。

1.3.7 Vc 含量测定

参考 Hernández 等^[15]的方法,采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法对 Vc 含量进行测定,结果以 mg/g 表示(以干质量计)。

1.3.8 总酚含量测定

参考 Bozinou 等^[16]的方法,采用福林酚比色法于波长 765 nm 处进行测定。总酚含量以 1 g 干质量中没食子酸当量表示,mg/g。

1.3.9 抗氧化能力测定

DPPH·清除能力和铁离子还原能力(ferric reducing antioxidant power, FRAP)的测定参考 Ma 等^[17]的方法,采用分光光度计分别于 517、593 nm 处进行测定。测定结果以 1 g 干质量中 Vc 当量表

示,mg/g。

1.3.10 SEM 观察

取干燥好的样品,切成小块,用导电胶将其固定于样品柱上,进行喷金处理 120 s,然后将处理好的样品置于 SEM 样品室。在加速电压 10 kV,信号电子类型为 SE1,放大 100 倍的条件下对样品果肉形态进行观察。

1.4 数据处理

每组实验重复 3 次,结果采用平均值 \pm 标准差表示。采用 Origin 2021 软件绘图,SPSS 23 软件对数据进行显著性分析。

2 结果与讨论

2.1 渗透处理对桃干基含水量和固形物得率的影响

图 1 反映了不同渗透处理的样品在渗透过程中干基含水量和固形物得率随时间的变化。从图 1 可看出,各处理组干基含水量和固形物得率在渗透过程中的变化基本一致,即干基含水量都随渗透时间的增加而逐渐减少,而固形物得率则随渗透时间的增加而逐渐增加。相比于相同压力下其他处理组,经 50 °C 渗透处理的样品其干基含水量的降低和固形物得率的增加更为明显,尤其是 50 °C 真空渗透处理组。徐英英等^[18]用不同温度(40、50、60 °C)的蔗糖溶液对胡萝卜真空(30 kPa)渗透脱水时,也发现干基含水量随温度升高而降低;邹克坚^[19]分别使用 30 °C 的蔗糖溶液与果葡糖浆溶液对芒果渗透脱水时,发现真空(-0.1 MPa)渗透下的固形物得率要比常压渗透高。渗透过程

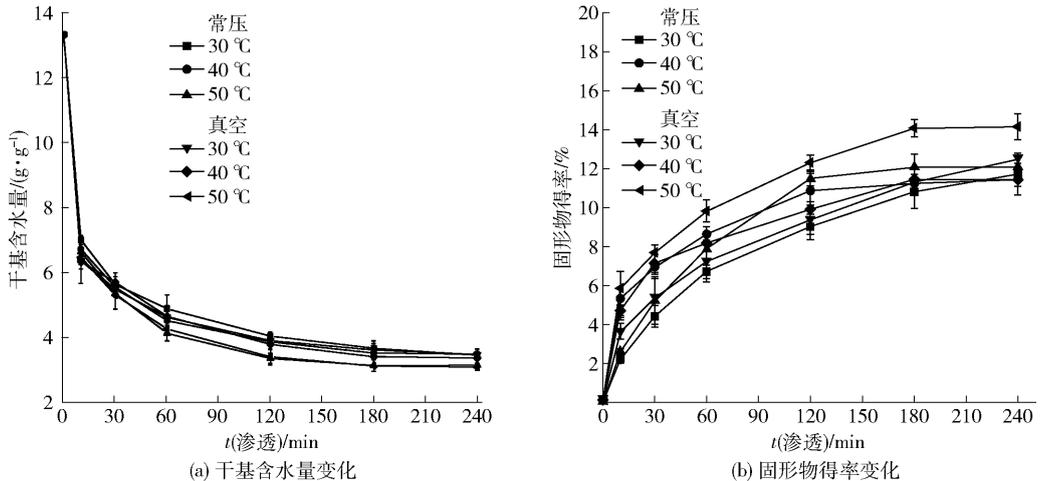


图 1 渗透过程桃干基含水量及固形物得率的变化

Fig. 1 Changes of dry base water content and solid content of peaches during osmotic process

中干基含水量与固形物得率的变化可能是温度和渗透压力造成的。一方面,随着温度的升高,细胞膜膨胀,导致渗透液中的溶质更容易向内部扩散,即蔗糖溶液的渗透作用得到增强,使得样品水分损失增多^[9,20];另一方面,真空环境下桃脯结构中的空气大量逸出,使这些间隙中充满液体,增加了细胞与渗透液的接触面积,同时毛细作用增强,大大提高了传质效率^[21]。因此,基于干基含水量和固形物得率的变化,50℃真空渗透可作为桃脯的优化渗透处理条件。

2.2 渗透处理结合热风干燥对桃脯干基含水量和水分比的影响

渗透处理结合热风干燥对桃脯干基含水量和水分比的影响如图2。从图2(a)可看出,各处理组干基含水量的变化趋势一致,都随干燥时间的增加而降低。与直接干燥组相比,经常压和真空

渗透预处理的样品初始干基含水量更低,分别为3.12、3.06 g/g。常压渗透组和真空渗透组干燥时间分别为18、10 h,较直接干燥组(19 h)分别缩短了1、9 h。这是由于样品与高浓度渗透液间存在的渗透压差,使得样品中部分水分通过半渗透性的细胞膜转移到溶液中^[22]。由图2(b)可知,不同处理组样品在干燥过程中水分比的变化趋势一致,都随干燥时间的增加而降低。水分比表示一定干燥条件下物料中未被除去水分的多少,可反映物料干燥速率的快慢。与直接干燥组相比,经渗透处理的样品水分比下降更为迅速,尤其在干燥前期。这是因为经渗透处理的样品在干燥时没有经历恒速阶段,而是由升速阶段直接进入降速阶段。因此,结合干基含水量和水分比的变化,经渗透处理尤其是真空渗透处理的样品,其干燥速率加快,干燥时间明显缩短。

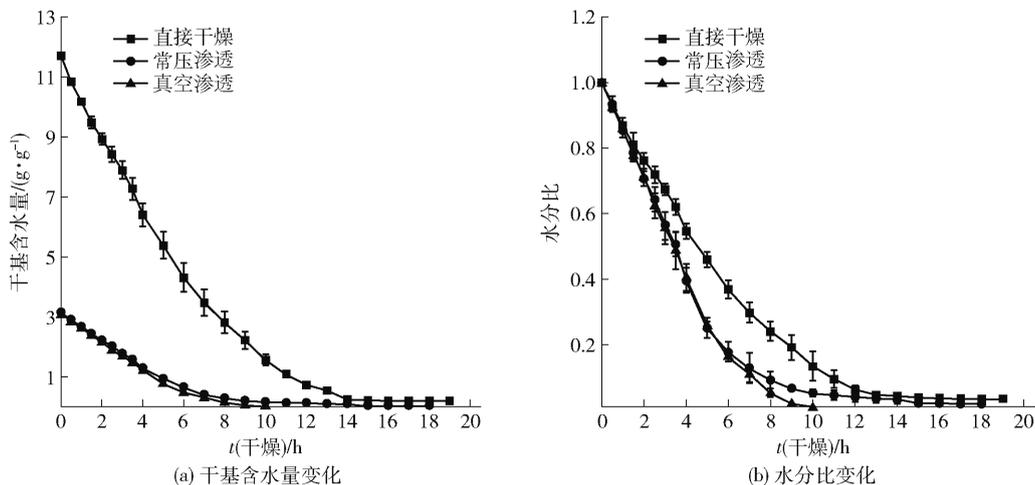


图2 渗透处理结合热风干燥后桃脯干基含水量和水分比的变化

Fig. 2 Changes of dry base water content and moisture ratio of preserved peaches during osmosis treatment combined with hot air drying process

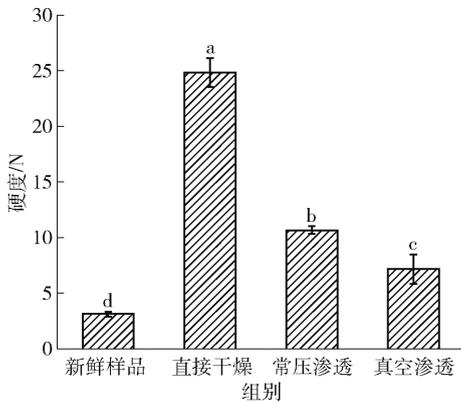
2.3 渗透处理结合热风干燥对桃脯硬度的影响

硬度与咀嚼性相关,合适的硬度能够提升产品的口感^[23],桃脯样品硬度见图3。各处理组样品的硬度分别为(24.82 ± 1.30)、(10.66 ± 0.35)、(7.16 ± 1.31)N,均显著($P < 0.05$)高于新鲜样品(3.10 ± 0.23)N。这是因为在热风干燥过程中,桃果肉细胞会因大量失水而发生皱缩,质地被破坏,结构紧密,从而引起硬度的增加^[23-24]。然而,相比于直接干燥组,经渗透处理的样品仍能维持适宜的硬度,这可能是蔗糖溶液渗透处理导致某些细胞组分流失或降解,减缓组织间的膨压,使其水分更容易往外运输迁移,使样品收缩较规则且收缩程度小。此

外,渗透处理缩短了干燥时间,其收缩硬化的时间也相应缩短,因而其硬度较低^[25]。图4也直观地反映了各处理组样品的收缩程度。李慧等^[26]发现经50℃的蔗糖溶液常压或真空(0.01 MPa)渗透后热风干燥的樱桃番茄,其硬度显著低于直接热风干燥的样品,且这种效果在真空渗透组更为明显。因此,相比于其他处理组,经真空渗透处理的桃脯硬度更低,口感更好。

2.4 渗透处理结合热风干燥对桃脯色泽的影响

渗透处理结合热风干燥对桃脯色泽的影响如表1。除真空渗透组 L^* 值与新鲜样品相比无显著($P > 0.05$)差异外,加工后的其他样品 L^* 值均显



不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图3 渗透处理结合热风干燥的桃脯硬度

Fig. 3 Hardness of preserved peaches treated by osmosis combined with hot air drying

著减小($P < 0.05$); 而各处理组 a^* 值和 b^* 值与新鲜样品相比均显著增大($P < 0.05$)。其中, 直接干燥组样品的 L^* 值最小, a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值最大, 表明其褐变严重。这主要是长时间干燥过程中酶促褐变与非酶促褐变造成的^[27]。而经渗透处理的样品较直接干燥组 L^* 值更大, a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值更小, 其色泽更接近于新鲜样品。这可能是由于糖分的渗入一定程度上减少了样品色泽的劣变^[28]。此外, 由于渗透处理缩短了样品热风干燥的时间,

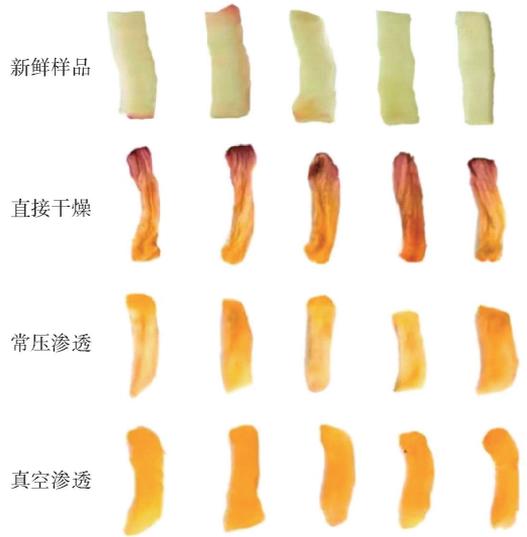


图4 不同处理的桃脯收缩程度

Fig. 4 Shrinkage level of preserved peaches under different treatments

也能有效减少褐变的发生^[29]。相比于常压渗透组, 真空渗透组的样品 L^* 值最高, ΔE 值最小。这说明真空渗透处理可有效遏制干燥过程中的褐变反应, 维持较好的产品品质。图4也直观地反映了经真空渗透处理的桃脯褐变程度最低, 色泽品质最佳。

表1 渗透处理结合热风干燥的桃脯色泽

Tab. 1 Color of preserved peaches treated by osmosis combined with hot air drying

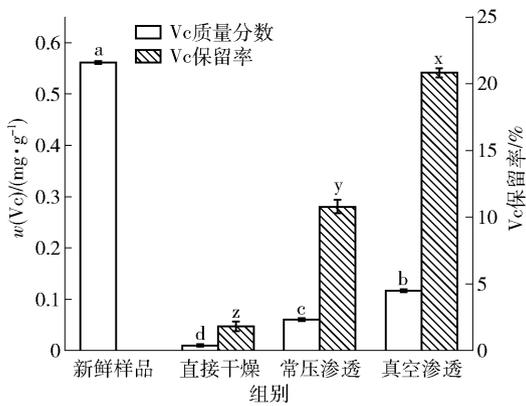
组别	L^*	a^*	b^*	ΔE
新鲜样品	77.43 ± 0.25^a	3.11 ± 0.22^d	9.76 ± 0.08^c	—
直接干燥	66.78 ± 0.23^c	8.21 ± 0.11^a	18.73 ± 0.10^a	14.84 ± 0.22^a
常压渗透	75.03 ± 0.23^b	4.09 ± 0.75^c	15.53 ± 1.10^b	6.36 ± 1.07^b
真空渗透	76.89 ± 1.13^a	5.14 ± 0.16^b	15.59 ± 0.12^b	6.23 ± 0.14^b

同列上标不同字母表示组间差异显著($P < 0.05$)。

2.5 渗透处理结合热风干燥对桃脯 Vc 含量的影响

渗透处理结合热风干燥后桃脯 Vc 变化见图5。由图5可知, 与新鲜样品相比, 各处理组样品的 Vc 含量均显著降低($P < 0.05$), 尤其是直接干燥组, 其 Vc 质量分数为 (0.0102 ± 0.0020) mg/g, Vc 保留率仅为新鲜样品的 1.82%。这主要是由于 Vc 受热易损失, 且直接干燥组干燥时间最长, 损失最多。王红利等^[30]也发现甘蓝仅用单一热风干燥方式干制, 不但耗时较长, 且 Vc 损失严重。然而, 经常压和真空渗透的样品在干燥后其 Vc 质量分数显著高于直接干燥组($P < 0.05$), 分别为 (0.0607 ± 0.0030) 、

(0.1168 ± 0.0020) mg/g, Vc 保留率分别为直接干燥组的 5.94 倍和 11.43 倍。这是由于渗透处理缩短了桃脯热风干燥的时间, 降低了温度对 Vc 的影响, 使其含量仍维持在较高水平。丁真真等^[31]发现经葡萄糖溶液常温常压渗透后热风干燥的苹果片, 不但干燥时间比未渗透组短, 其 Vc 保留率也高于未渗透组。相比于常压渗透, 经真空渗透处理的样品 Vc 含量更高, 这可能是由于真空处理在缩短干燥时间的同时, 也使得物料组织间的气体被排出, 降低了 Vc 与氧气接触的概率, 一定程度上抑制了 Vc 的损失^[32-33]。



不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

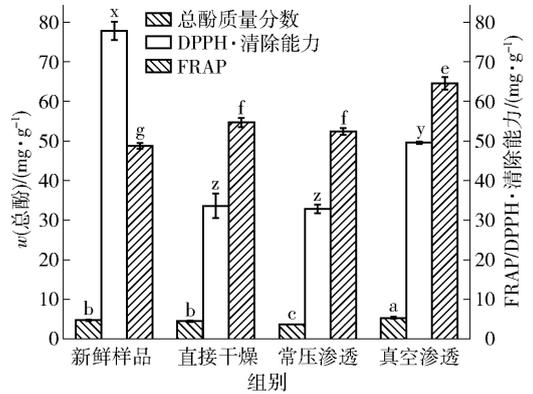
图5 渗透处理结合热风干燥的桃脯 Vc 含量

Fig. 5 Vc content of preserved peaches treated by osmosis combined with hot air drying

2.6 渗透处理结合热风干燥对桃脯总酚含量和抗氧化能力的影响

渗透处理结合热风干燥对桃脯总酚含量、FRAP 和 DPPH·清除能力的影响如图6。由图6可知,与新鲜样品相比,直接干燥组总酚含量无显著差异 ($P > 0.05$),常压渗透组含量显著降低 ($P < 0.05$),真空渗透组含量显著升高 ($P < 0.05$)。常压渗透组总酚含量降低可能是由于糖分的渗入引起了酚类物质流失,加之热风干燥时间较长(18 h),导致酚类受热分解,使总酚含量下降^[34]。然而,真空渗透组由于干燥时间大大缩短,极大程度上降低了酚类物质的损耗,使得总酚含量高于新鲜样品。此外,由于在真空渗透过程中溶液温度较高且无氧气参与,也可能一定程度上促进了某些物质向酚类物质的转变或未解离的结合酚转化为游离酚^[35]。桃脯的抗氧化能力通过 FRAP 和 DPPH·清除能力来体现。与新鲜样品相比,各处理组的 FRAP 均显著升高 ($P < 0.05$),而 DPPH·清除能力均显著下降 ($P < 0.05$),其总体抗氧化能力是降低的。其中,真空渗透组的

抗氧化能力依然能维持在较高水平,且显著高于其他处理组 ($P < 0.05$),这与总酚含量变化一致,说明酚类物质能提高桃脯的抗氧化能力,也与张利娟等^[36]研究报道相符。尚红梅等^[37]也发现干燥后菊苣根的抗氧化能力与其总酚含量呈显著正相关。



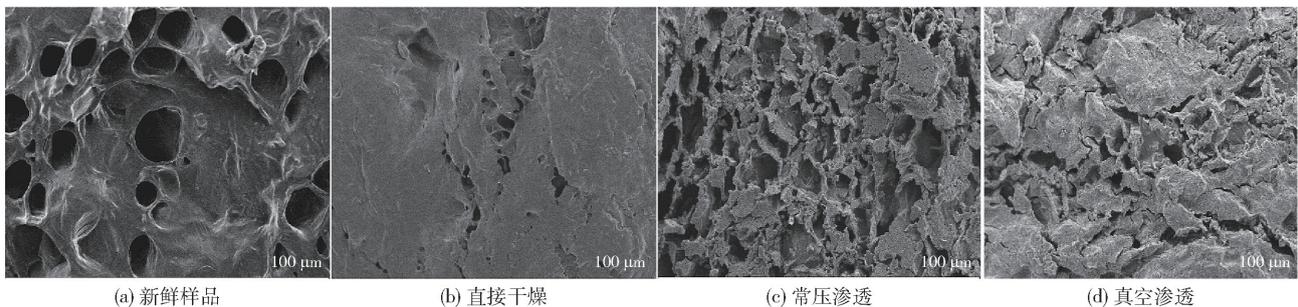
不同字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$)。

图6 渗透处理结合热风干燥的桃脯总酚含量、FRAP 和 DPPH·清除能力变化

Fig. 6 Changes of total phenol content, FRAP and DPPH·scavenging capacity of preserved peaches treated by osmosis combined with hot air drying

2.7 渗透处理结合热风干燥对桃脯表面微观结构的影响

图7反映的是渗透处理结合热风干燥对桃脯表面微观结构的影响。由图7可知,与新鲜样品相比,经渗透处理的桃脯表面细胞结构均被不同程度的破坏。其中,直接干燥的样品表面微观结构已基本塌陷,仅有少量不规则的小孔隙,这可能是细胞因水分和营养成分的大量流失,导致其过度收缩引起的。然而,经渗透处理的样品均匀孔隙较多,仍保留一定的细胞结构与空间形态,且孔隙壁相比于新鲜样品更厚,这可能是渗入的蔗糖与纤维素、果胶等细胞壁多糖成分结合导致的^[38]。肖敏等^[39]也发现经



放大倍数为 100 倍。

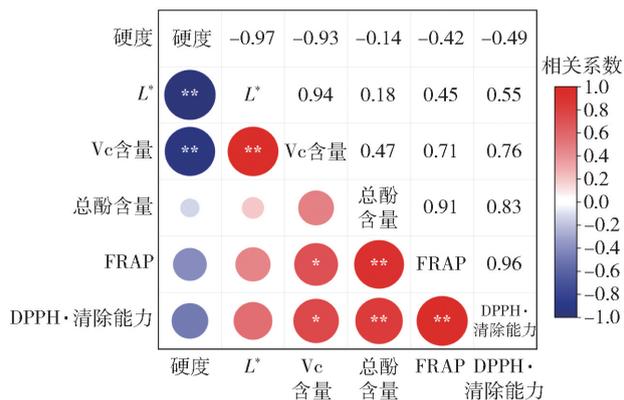
图7 渗透处理结合热风干燥的桃脯表面微观结构

Fig. 7 Microstructure of preserved peaches treated by osmosis combined with hot air drying

45 ℃的水苏糖常压渗透后的苹果脆片孔隙壁会变厚。相比于常压渗透,真空渗透处理的桃脯孔隙壁最厚,这可能与固形物得率有关。因此,经真空渗透处理的样品能较好地保持桃脯的表面微观结构,一定程度上减少其营养成分的损失。

2.8 相关性分析

对各处理组样品的品质指标进行相关性分析,结果如图8。其中,气泡的大小和颜色都与数据的相关系数一一对应,气泡越大,表示两个品质指标间的关系越强烈。若为正相关性,气泡被填充为红色,若为负相关性,气泡被填充为蓝色,并且相关性越接近1,气泡越红,越接近-1,气泡越蓝。图8中可看出,硬度与Vc含量和 L^* 呈极显著负相关($P < 0.01$);Vc含量与 L^* 呈极显著正相关($P < 0.01$),与FRAP和DPPH·清除能力呈显著正相关($P < 0.05$);总酚含量与FRAP和DPPH·清除能力呈极显著正相关($P < 0.01$);FRAP与DPPH·清除能力呈极显著正相关($P < 0.01$)。相关性结果与各指标变化结果一致,即样品的硬度越小,其 L^* 值越大;Vc和总酚含量越高,抗氧化能力越强。



* 表示差异显著($P < 0.05$), ** 表示差异极显著($P < 0.01$)。

图8 各品质指标相关系数矩阵

Fig.8 Correlation coefficient matrix diagram of quality indexes

2.9 聚类分析

采用Ward最小方差和欧式距离法对热风干燥后的样品及各品质指标进行聚类分析,如图9。纵向树状为经过不同处理的样品的聚类,横向树状为热风干燥后各品质指标的聚类,中部填充深浅颜色,体现各品质指标值的大小,且颜色越深,该指标值越小。聚为同类的表明相关程度高,且欧式距离越短其相关程度越高。从图9可看出,3组样品分为两类:第一类为真空渗透,其浅色方块最多,除硬度值

最小外,其余各指标数值最大,因此品质最佳;第二类为直接干燥和常压渗透,深色方块较多,这两组样品除硬度值较大外,其余各指标值较小,因此品质较差。从品质指标的聚类结果来看,可将其分为3类:硬度为单独一类; L^* 值与Vc含量聚为一类,两者欧式距离短,相关程度高;总酚含量、FRAP和DPPH·清除能力聚为一类,三者欧式距离短,相关程度高。这与相关性分析的结果基本一致。

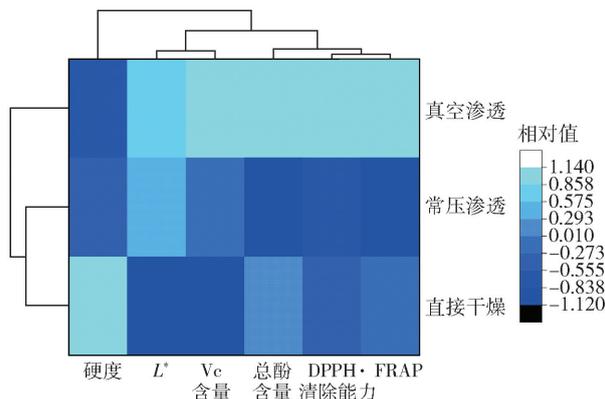


图9 不同处理桃脯聚类分析

Fig.9 Cluster analysis of different treated preserved peaches

3 结论

对经不同渗透处理的桃脯进行热风干燥,发现所有样品干燥动力学变化基本一致,即随着干燥时间的增加,干基含水量和水分比下降,而干燥速率则呈先上升后下降的趋势。与直接干燥组相比,由于渗透处理可在干燥前除去原料中的大部分自由水,因此缩短了桃脯的干燥时间,提高了干燥效率。此外,经渗透处理的桃脯理化品质优于直接干燥组,其色泽接近新鲜样品,硬度较低,Vc含量、总酚含量及抗氧化能力均维持在较高的水平,且能较好地保持桃脯的表面微观结构,这种效果在真空渗透处理组更为明显。相关性分析表明,硬度与Vc含量和 L^* 值呈极显著负相关;Vc含量与 L^* 值呈极显著正相关,与FRAP和DPPH·清除能力呈显著正相关;总酚含量与FRAP和DPPH·清除能力呈极显著正相关;FRAP与DPPH·清除能力呈极显著正相关。聚类分析表明,真空渗透组单独聚为一类,其处理的桃脯品质要优于直接干燥组和常压渗透组。因此,相比于其他处理,真空渗透结合热风干燥在有效缩短干燥时间的同时能保持桃脯的品质,是适合桃脯加工的处理方式。

参考文献:

- [1] 毕金峰, 吕健, 刘璇, 等. 国内外桃加工科技与产业现状及展望[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(5): 7-15.
BI J F, LÜ J, LIU X, et al. Research on techniques and industry situation and prospect for peach processing in domestic and abroad[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 37(5): 7-15.
- [2] 张永, 林鹭, 王凯纯, 等. 冷冻干燥法在水蜜桃加工中的应用[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(24): 91-93.
ZHANG Y, LIN L, WANG K C, et al. Vacuum freeze-drying technique and its application in juicy peach processing[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2017, 45(24): 91-93.
- [3] 胡云红, 陈合, 雷学锋. 黄桃的多样深加工[J]. 农产品加工(学刊), 2006(1): 67-68.
HU Y H, CHEN H, LEI X F. Diversity processing of yellow peach[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006(1): 67-68.
- [4] RASTOGI N K, RAGHAVARAN 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: 48-59.
- [5] SAGAR V R, KUMAR P S. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review[J]. Journal of Food Science and Technology, 2010, 47(1): 15-26.
- [6] AN K J, LI H, ZHAO D D, et al. Effect of osmotic dehydration with pulsed vacuum on hot-air drying kinetics and quality attributes of cherry tomatoes[J]. Drying Technology, 2013, 31(6): 698-706.
- [7] ZOU K J, TENG J W, HUANG L, et al. Effect of osmotic pretreatment on quality of mango chips by explosion puffing drying[J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 51(1): 253-259.
- [8] RODRIGUES S. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits[J]. Drying Technology, 2008, 26(12): 1509-1516.
- [9] 程璐. 莴笋渗透脱水及其复合干燥的试验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
CHENG L. Study on osmotic dehydration and combined drying of asparagus lettuce[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2007.
- [10] 尹晓峰. 辣椒渗透联合干燥特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
YIN X F. Characterization of osmotic dehydration based combination drying of chili pepper[D]. Chongqing: Southwest University, 2017.
- [11] 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. Research on the osmotic dehydration and combined drying technology of peach cylinders[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [12] 王丽娟, 宋思圆, 刘东红. 基于品质模型的黄桃去皮工艺优化及应用[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 158-163.
WANG L J, SONG S Y, LIU D H. Optimization and application of peeling process of yellow peaches based on quality model[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2018, 18(7): 158-163.
- [13] 李永红, 张立莎, 常瑞丰, 等. 质地多方面分析三个桃品种果实采后质地的变化[J]. 北方园艺, 2016, 355(4): 133-137.
LI Y H, ZHANG L S, CHANG R F, et al. Change of texture properties of three peach varieties during postharvest storage by texture profile analysis[J]. Northern Horticulture, 2016, 355(4): 133-137.
- [14] FIRKY M, YUSOF Y A, AI-AWAADH A M, et al. Effect of the roasting conditions on the physicochemical, quality and sensory attributes of coffee-like powder and brew from defatted palm date seeds[J]. Foods, 2019, 8(2): 61.
- [15] HERNÁNDEZ Y, LOBO M G, GONZÁLEZ M. Determination of vitamin C in tropical fruits: a comparative evaluation of methods[J]. Food Chemistry, 2006, 96(4): 654-664.
- [16] BOZINOUE E, KARAGEORGOU I, BATRA G, et al. Pulsed electric field extraction and antioxidant activity determination of moringa oleifera dry leaves: a comparative study with other extraction techniques[J]. Beverages, 2019, 5(1): 8.
- [17] MA Y L, GAO J, WEI Z J, et al. Effect of *in vitro* digestion on phenolics and antioxidant activity of red and yellow colored pea hulls[J]. Food Chemistry, 2020, 337: 1-5.
- [18] 徐英英, 袁越锦, 张艳华, 等. 胡萝卜真空渗透脱水工艺试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(s1): 350-355.
XU Y Y, YUAN Y J, ZHANG Y H, et al. Experiments on osmotic dehydration of carrot at vacuum pressure[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(s1): 350-355.
- [19] 邹克坚. 芒果渗透脱水和变温压差膨化干燥的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2012.
ZOU K J. Studies on osmotic dehydration and explosion puffing drying of mango[D]. Nanning: Guangxi University, 2012.

- sity, 2012.
- [20] RODRIGUES A C C, CUNHA R L, HUBINGER M D. Rheological properties and colour evaluation of papaya during osmotic dehydration processing [J]. *Journal of Food Engineering*, 2003, 59(2/3): 129 - 135.
- [21] 苏丽娟. 樱桃番茄渗透预脱水干燥工艺及其半干制品贮藏稳定性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- SU L J. Studies on osmotic dehydration, drying technology of cheery tomato and its semi-dried product storage stability[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [22] DEROSI A, SEVERINI C, MASTRO A D, et al. Study and optimization of osmotic dehydration of cherry tomatoes in complex solution by response surface methodology and desirability approach [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 60(2): 641 - 648.
- [23] 郭嘉, 刘春菊, 任晗慈, 等. 不同联合干燥方法对山药片质地结构及品质的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(22): 213 - 217.
- GUO J, LIU C J, REN H C, et al. Effects of different combined drying methods on texture structure and quality of yam slices [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2020, 48(22): 213 - 217.
- [24] 许晴晴, 陈杭君, 郜海燕, 等. 真空冷冻和热风干燥对蓝莓品质的影响 [J]. *食品科学*, 2014, 35(5): 64 - 68.
- XU Q Q, CHEN H J, GAO H Y, et al. Effects of vacuum freeze-drying and hot-air drying on the quality of blueberry fruits [J]. *Food Science*, 2014, 35(5): 64 - 68.
- [25] 张群, 刘伟, 李绮丽, 等. 化学渗透预处理对蓝莓热风干燥特性及品质的影响 [J]. *湖南农业科学*, 2019(4): 89 - 96.
- ZHANG Q, LIU W, LI Q L, et al. Effects of chemical osmotic pretreatment on drying characteristics and quality of blueberry under hot air drying [J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2019(4): 89 - 96.
- [26] 李慧, 胡小松, 汪政富. 樱桃番茄渗透预处理热风干燥特性研究 [J]. *食品科技*, 2012, 37(4): 74 - 79.
- LI H, HU X S, WANG Z F. Properties of cherry tomatoes in osmotic dehydration followed by hot-air drying [J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(4): 74 - 79.
- [27] WANG R, ZHANG M, MUJUMDAR A S. Effect of osmotic dehydration on microwave freeze-drying characteristics and quality of potato chips [J]. *Drying Technology*, 2010, 28(6): 798 - 806.
- [28] TABTIANG S, PRACHAYAWARAKON S, SOPONRONNARUT S. Effects of osmotic treatment and superheated steam puffing temperature on drying characteristics and texture properties of banana slices [J]. *Drying Technology*, 2012, 30(1): 20 - 28.
- [29] MASKAN M. Microwave-air and microwave finish drying of banana [J]. *Journal of Food Engineering*, 2000, 44(2): 71 - 78.
- [30] 王红利, 郁志芳. 不同干燥方式对甘蓝理化性质和抗氧化活性的影响 [J]. *食品工业科技*, 2020, 41(21): 81 - 86.
- WANG H L, YU Z F. Effects of different drying methods on physicochemical properties and antioxidant activity of dried cabbage [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(21): 81 - 86.
- [31] 丁真真, 刘飞, 张甜, 等. 糖护色对热风干燥苹果片品质的影响 [J]. *现代食品*, 2020(12): 152 - 157.
- DING Z Z, LIU F, ZHANG T, et al. Effect of sugar color on quality of hot air dried apple slices [J]. *Modern Food*, 2020(12): 152 - 157.
- [32] WANG X T, GAO Z J, XIAO H W, et al. Enhanced mass transfer of osmotic dehydration and changes in microstructure of pickled salted egg under pulsed pressure [J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(1): 141 - 150.
- [33] 吕佳宁, 李影, 韩立杰, 等. 不同干燥方法对生食香菇品质的影响 [J]. *食品科学技术学报*, 2014, 32(2): 46 - 50.
- LÜ J N, LI Y, HAN L J, et al. Effects of different drying methods on quality of uncooked *Lentinus edodes* [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 32(2): 46 - 50.
- [34] 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.
- [35] 张中义, 张攀攀, 张品峰. 高温发酵和蒸汽处理对大蒜抗氧化能力的影响 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35(13): 53 - 56.
- ZHANG Z Y, ZHANG P P, ZHANG P F. Effect of high temperature fermentation and steam treatment on the antioxidant activity of garlic [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(13): 53 - 56.
- [36] 张利娟, 师俊玲. 无核白葡萄热风干燥过程中总酚与抗氧化活性的变化 [J]. *食品科学*, 2013, 34(5): 55 - 59.
- ZHANG L J, SHI J L. Changes in total polyphenol content and antioxidant activity of thompson seedless grapes

- during hot-air drying[J]. *Food Science*, 2013, 34(5): 55–59.
- [37] 尚红梅, 郭玮, 潘丹, 等. 干燥方式对菊苣根多酚含量和抗氧化活性的影响[J]. *食品科学*, 2015, 36(1): 84–88.
- SHANG H M, GUO W, PAN D, et al. Effects of drying methods on polyphenol contents and antioxidant activities of chicory root[J]. *Food Science*, 2015, 36(1): 84–88.
- [38] PROTHON F, AHRN M, FUNEBO T, et al. Effects of combined osmotic and microwave dehydration of apple on texture microstructure and rehydration characteristics [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2001, 34(2): 95–101.
- [39] 肖敏, 易建勇, 毕金峰, 等. 水苏糖渗透对压差闪蒸联合干燥苹果片品质的影响[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(8): 138–146.
- XIAO M, YI J Y, BI J F, et al. Influence of osmotic treatment using stachyose on qualities of apple chips dried by hot air coupled with instant controlled pressure drop[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(8): 138–146.

Effect of Osmotic Treatment Combined with Hot Air Drying on Drying Characteristics of Preserved Peaches

XIAO Guangjian¹, LIU Yuan¹, CHEN Fei¹, ZHOU Hui¹, DING Shenghua², WANG Rongrong^{1,*}

(1. *College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China*;

2. *Agricultural Product Processing Institute, Hunan Academy of Agricultural Sciences, Changsha 410125, China*)

Abstract: Osmotic treatment combined with hot air drying was used in this study for improving the quality of preserved peaches, and its effect on the drying characteristics was assessed. The results showed that compared with direct drying, osmotic treatment could shorten the drying time and improve the drying efficiency by removing the most free water before drying. In addition, the physicochemical qualities of preserved peaches treated by osmosis were better than that of direct drying. Preserved peaches of osmotic treatment presented fresh color, low hardness, and the higher vitamin C content. Moreover, total phenol contents, antioxidant capacities, and microstructure of preserved peaches treated by osmosis were also better maintained. Above effects were more obvious in the vacuum osmotic treatment. The correlation analysis indicated that hardness was extremely significant negative correlated with vitamin C content and L^* value were obtained. Vitamin C content was extremely significant positive correlated with L^* value and significant positive correlated with ferric reducing antioxidant power (FRAP) and DPPH· scavenging capacity. Total phenol content was extremely significant positive correlated with FRAP and DPPH· scavenging capacity. FRAP was extremely significant positive correlated with DPPH· scavenging capacity. The clustering analysis indicated that three groups samples were divided into two categories, direct drying and atmospheric osmotic treatment as one category, and vacuum osmotic treatment as one category. The physicochemical qualities were divided into three categories, hardness as one category, L^* value and vitamin C content as one category, total phenol content, FRAP and DPPH· scavenging capacity as one category. Therefore, vacuum osmotic treatment combined with hot air drying could effectively shorten the drying time and improve the quality of preserved peaches, which was a suitable processing method for preserved peaches.

Keywords: preserved peaches; atmospheric osmosis; vacuum osmosis; hot air drying; drying characteristics

(责任编辑:张逸群)