



宋娟,康三江,张海燕,等.干燥处理对黄冠梨生化成分和风味物质的影响[J].黑龙江农业科学,2022(1):60-66.

干燥处理对黄冠梨生化成分和风味物质的影响

宋娟,康三江,张海燕,袁晶,张霁红

(甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所,甘肃兰州730070)

摘要:为促进高质量黄冠梨干制产品生产,本试验以新鲜黄冠梨为原料,采用热风、太阳能和真空冷冻3种干燥方式,研究不同干燥处理对黄冠梨的主要生化成分和风味物质的影响。结果表明:与新样相比,3种干燥处理黄冠梨的色泽、抗坏血酸含量、总酚含量和总黄酮含量均有所下降,挥发性物质的种类也明显减少。其中,真空冷冻干燥处理的样品与鲜样的色泽最为接近, L^* 最高为 84.23 ± 0.37 , ΔE 最低为 11.30 ± 0.48 ;真空冷冻干燥对黄冠梨抗坏血酸、总酚和总黄酮的保护效果最好。首次采用气相离子迁移谱(Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry,GC-IMS)共鉴定72种挥发性物质,包括酯类、醇类、醛类和萜烯类等,其中酯类物质含量最高(占67.50%),虽然真空冷冻干燥样品中酯类等物质明显减少,但是醛类、酮类和醇类等挥发性物质明显增加,风味优于热风和太阳能干燥。综合考虑,真空冷冻干燥比较适合高质量黄冠梨产品生产。

关键词:干燥处理;黄冠梨;生化成分;气相离子迁移谱;风味物质

黄冠梨(*Pyrus bretschneideri* Rehd.)属蔷薇科,具有较高的营养及食用价值,深受消费者喜爱^[1]。随着蔬菜干燥技术迅速崛起,“非油炸”干燥梨片酥脆、营养丰富、方便携带,可以延长货架期,解决易腐烂变质和不易贮存等生产难题,成为部队野营训练、海军远航、地质勘探部门、边防部队、旅游等场所的一种休闲食品。梨常见的干燥方式主要有热风干燥、中短波干燥、真空干燥和变压膨化干燥等。

目前,不同干燥处理对刺梨^[2]、库尔勒香梨^[3]、南果梨和丰水梨等原料的干燥特性、理化品质影响的研究较多。李莉峰等^[4]研究发现真空冷冻干燥南果梨干的可滴定酸度、总酚含量、硬度、咀嚼性、回复性、内聚性质均优于热风干燥,但总糖和弹性低于热风干燥。Marzec等^[5]研究发现和“Conference”梨品种相比,“Alexander Lucas”梨品种在对流干燥和微波-对流干燥过程中干燥时间短,水活度和密度较低,色泽较佳。唐璐璐等^[6]研究发现,与热风干燥和真空干燥相比,65℃条件下中短波红外干燥对丰水梨片的干燥速度最快,干燥时间最短,具有更好的色泽(L 值为62.70,

ΔE 值为7.10)、硬度(973.14 g)和脆度(4.67 mm)。Chong等^[7]研究了与热泵和热泵真空微波干燥相比,热风-冷风干燥法的梨外观呈金黄色,总颜色变化最小,果实酚含量最高,感官评价最好。Tobitsuka等^[8]通过喷雾和冷冻两种干燥方法,采用 α -环糊精、阿拉伯树胶、大豆可溶性多糖和高支化环糊精为载体,制备了8种欧洲梨香气混合物的微胶囊模型,发现含 α -环糊精和阿拉伯树胶的微胶囊的残留香气成分在热处理后表现较稳定。然而,针对多种干燥处理对黄冠梨风味物质的影响,国内外尚缺乏比较系统的分析研究。

本试验以新鲜黄冠梨为原料,采用热风干燥、太阳能干燥和真空冷冻干燥,以主要生化成分作为检测指标,基于气相离子迁移谱(Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry,GC-IMS)分析不同干燥条件下黄冠梨的风味变化规律,系统地分析3种干燥处理对黄冠梨风味的影响,探讨适合黄冠梨风味提升的干燥处理,为高质量梨的产业化发展提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

黄冠梨,产自甘肃条山,挑选无病虫害的鲜样,去皮去核,切分为3.0~4.0 cm厚的薄片,进行干燥处理,每组样本量为1 kg,每组3次平行。

D-异抗坏血酸钠(食品级,河南华悦化工产品有限公司);氯化铝、醋酸、草酸、六水氯化铁、亚硝酸钠、乙醇、丙酮、过氧化氢、硫酸亚铁、氢氧化

收稿日期:2021-09-02

基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-27)拓展研究内容;甘肃省农业农村厅科技计划项目(GNKJ-2018-9)。

第一作者:宋娟(1988—),女,硕士,助理研究员,从事农产品贮藏与加工研究。E-mail:914857748@qq.com。

通信作者:康三江(1977—),男,学士,研究员,从事果蔬加工技术研究。E-mail:kang58503@163.com。

钠、盐酸(天津市富宇精细化工有限公司);福林酚、没食子酸(>99%)、芦丁、水溶性维生素 E(Trolox)、 Fe^{3+} -三吡啶三吡嗪(TPTZ)、2,6-二氯靛酚(美国 Sigma 生物科技有限公司)。

主要仪器设备有 DHG-9145A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);太阳能干燥装置(自制);Scientz-10ND 原位普通型真空冷冻干燥机(宁波新芝生物科技有限公司);SC69-02C 型水分快速测定仪(上海精密科学仪器有限公司);CR-400 型色差计(日本柯尼卡美能达公司);UV2400 紫外可见分光光度计(上海舜宇恒平科学仪器有限公司);TGL-16LM 高速冷冻离心机(湖南星科科学仪器有限公司);BL-2200H 电子天平(日本岛津仪器公司);HH-4 型数显恒温水浴锅(上海梅香仪器有限公司);Flavour-Spec[®]风味分析仪(德国 GAS 公司)。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程 原料→清洗→切片→热烫→0.3%D-异抗坏血酸钠溶液护色 0.5 h→迅速冷却→热风/太阳能/真空冷冻干燥→样品。

1.2.2 干燥条件 (1)热风干燥:烘箱温度为 50 ℃,每 30 min 测定一次水分含量,干燥到物料干基水分含量低于 8%。

(2)太阳能干燥:在自建太阳能干燥车间进行昼夜连续干燥,温度为 20~50 ℃,风速 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,每 30 min 测定一次水分含量,干燥到物料干基水分含量低于 8%。

(3)真空冷冻干燥:用真空冷冻干燥机干燥样品,冷阱温度-61.3~-60.7 ℃,真空度 1.0 Pa;每 30 min 测定一次水分含量,干燥到物料干基水分含量低于 8%。

1.2.3 测定项目及方法 (1)色泽测定:采用 CIELAB 表色系统测定样品的 L^* 、 a^* 和 b^* 值,平行测 5 次^[9]。通过公式计算色差 ΔE 值。

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

式中: L^* 、 a^* 和 b^* 是干燥样品的色泽值, L_0 、 a_0 和 b_0 是鲜样色泽值。

(2)抗坏血酸含量的测定:称 2 g 鲜样或 1 g 干制品,在 5 mL 草酸溶液(2%)中研磨均匀,定容 25 mL,然后离心 $10\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 、4 ℃、15 min,吸上清液 20 mL 在 100 mL 锥形瓶中,最后滴用 2,6-二氯靛酚溶液 15 s 内微红色且不退色即可^[10-11]。

(3)总酚含量的测定:称 2 g 鲜样或 1 g 干制品,用 20 mL 乙醇(80%)超声处理 30 min,离心 10 min 后浓缩到 25 mL,分别提取 2 次。吸 1 mL 浓缩液,用 1 mL 福林酚显色 5 min,加 3 mL Na_2CO_3 (7.5%)溶液和 5 mL 蒸馏水混合,水浴 40 ℃ 至少 15 min,测定 765 nm 吸光值,平行测 3 次^[12-13]。

(4)总黄酮含量的测定:取上述总酚浓缩液 1 mL,加入 5%亚硝酸钠溶液 0.3 mL、蒸馏水 5 mL、10%铝盐溶液 0.3 mL、 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠溶液 2 mL,混合,定容到 10 mL,以芦丁为标样制作标准曲线,测定 510 nm 吸光值,平行测 3 次^[14-15]。

(5)挥发性物质:采用 Flavour Spec[®]气相离子迁移谱联用仪检测样品挥发性物质^[16]。

顶空进样条件:顶空进样体积为 500 μL ;孵育时间为 15 min;孵育温度为 40 ℃;进样针温度为 85 ℃;孵化转速为 $500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

GC-IMS 条件:色谱柱类型为 FS-SE-54-CB-1(15 m);ID 为 0.53 mm;分析时间为 30 min;柱温为 60 ℃;载气/漂移气为高纯氮气(纯度 $\geq 99.999\%$);IMS 探测器温度为 45 ℃;流速 E1(漂移气流速)为 $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,E2(气相载气流速)为初始 $2 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,保持 2 min 后在 8 min 内增至 $10 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$,然后 10 min 内增至 $150 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.2.4 感官评价 参考郭雪霞等^[17]的方法并改进,对不同干燥处理的黄冠梨样品,组织 30 名品评人员,从色香味形 4 个方面评定和打分(表 1,满分 100 分)。

表 1 感官评价表

项目	分数	评分标准
色泽	20	与原料的色泽相近或者接近一致
香味	15	具有黄冠梨特有的香味,香味浓厚纯正
滋味	35	具有黄冠梨的风味,味感纯正
组织形态	30	规格均匀一致,无黏结,无杂质

1.2.5 数据分析 采用 Excel 2010、SPSS 19.0 和 Origin 8.5 进行统计分析并作图。

2 结果与分析

2.1 干燥处理对黄冠梨主要生化成分的影响

2.1.1 色泽 由图 1 可知,真空冷冻干燥与热风 and 太阳能干燥的样品间色泽值存在显著差异($P < 0.05$)。其中,真空冷冻干燥的黄冠梨 L^* 最高,为 84.23 ± 0.37 , a^* 最低,为 2.082 ± 0.37 , b^* 最低,为 11.18 ± 0.49 , ΔE 最低,为 $11.30 \pm$

0.48,表明其色泽最为鲜亮,与新鲜黄冠梨的色泽最为接近;而热风干燥的黄冠梨 L^* 最低,为 76.01 ± 0.41 , a^* 第二高,为 3.32 ± 0.54 , b^* 最高,为 24.60 ± 0.50 , ΔE 最高,为 18.39 ± 0.41 ,表明其色泽偏向褐黄。这与陈思奇等^[18]的研究结果一致,可能是因为真空冷冻干燥在真空和低温条件下极大降低了氧化反应,然而其他两种干燥处理的样品和热空气接触更为充分,干燥过程时间过长,糖类物质逐渐分解,发生美拉德反应,导致黄冠梨出现焦糊现象,色泽较暗^[19]。结果表明,真空冷冻干燥对黄冠梨的色泽有一定保护效果。

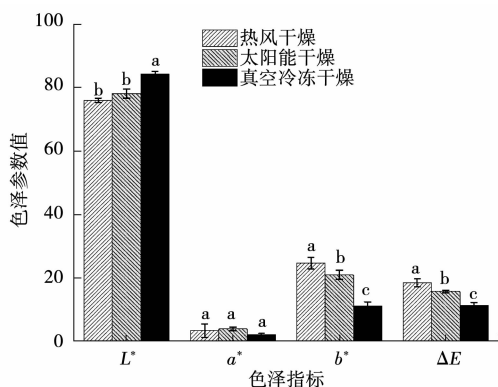


图1 干燥处理对黄冠梨色泽的影响

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

2.1.2 抗坏血酸含量 从图2可知,相对于新鲜黄冠梨,不同干燥处理均会使黄冠梨的抗坏血酸含量显著降低($P < 0.05$)。真空冷冻干燥与热风干燥和太阳能干燥样品的抗坏血酸含量均存在显著差异($P < 0.05$),而太阳能干燥与热风干燥样品的抗坏血酸含量不存在显著差异($P > 0.05$)。其中,真空冷冻干燥黄冠梨的抗坏血酸含量最高,为 $448.34 \pm 0.76 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,太阳能干燥黄冠梨的抗坏血酸含量次之,为 $431.73 \pm 0.63 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$,热风干燥的黄冠梨抗坏血酸含量最低,为 $419.01 \pm 0.68 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。这与唐璐璐等^[20]、林美等^[21]研究结果一致,可能是因为真空冷冻干燥在真空和较低温度下使得物料组织间的气体被排出,减少了抗坏血酸与氧气接触的机会,降低了抗坏血酸损失,然而抗坏血酸是一种热敏感化合物,尤其在热风干燥和太阳能干燥的高温环境中暴露的时间越长,抗坏血酸损失越大,使得抗坏血酸含量越低。结果表明,真空冷冻干燥对黄冠梨的抗坏血酸保留效果最好。

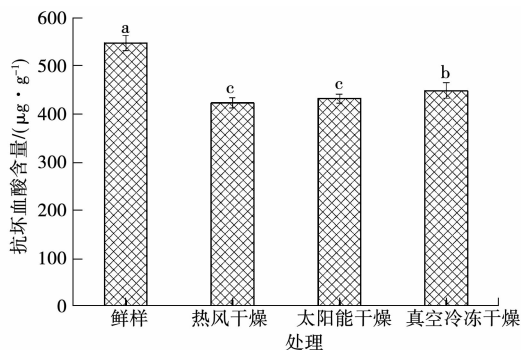


图2 不同干燥处理对黄冠梨抗坏血酸含量的影响

2.1.3 总酚含量 由图3可知,相对于新鲜黄冠梨,不同干燥处理均会使黄冠梨的总酚含量显著降低($P < 0.05$)。不同干燥处理下黄冠梨总酚含量的排序依次为真空冷冻干燥($5.48 \pm 0.69 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) > 热风干燥($4.28 \pm 0.60 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) > 太阳能干燥($2.33 \pm 0.71 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。和鲜样相比,经热风干燥、太阳能干燥和真空冷冻干燥样品的总酚含量分别损失了 60.76%、78.64%、40.65%。其中,真空冷冻干燥与热风、太阳能干燥处理的样品间总酚存在显著差异($P < 0.05$)。产生显著差异的原因一方面是干燥后酚类物质提取困难,另一方面可能是因为真空冷冻干燥是在真空和低温条件下进行,各种化学反应速率低,防止热敏性物质的分解,保护了易氧化成分,所以黄冠梨的总酚含量损失较小;而热风干燥与太阳能干燥的样品由于高温使得原料发生氧化反应,导致总酚含量较低。结果表明,和其他两种干燥处理相比,真空冷冻干燥对黄冠梨的总酚有一定的保护效果。

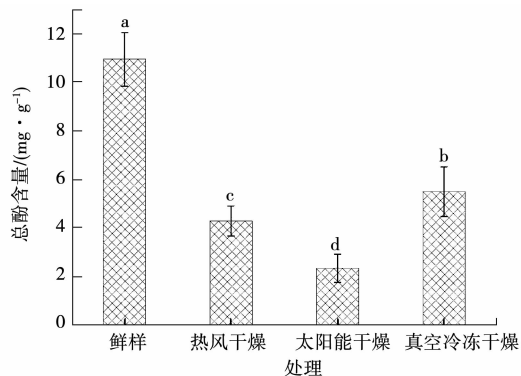


图3 不同干燥处理对黄冠梨总酚含量的影响

2.1.4 总黄酮含量 由图4可知,相对于新鲜黄冠梨,不同干燥处理均会使黄冠梨的总黄酮含量显著降低($P < 0.05$)。3种干燥处理下黄冠梨总黄酮含量排序为真空冷冻干燥($4.34 \pm 0.53 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) > 热风干燥($3.03 \pm 0.58 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$) >

太阳能干燥($2.26 \pm 0.45 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)。和鲜样相比,经热风、太阳能和真空冷冻干燥样品的总黄酮含量分别损失了 62.15%、69.23%、29.53%。其中,真空冷冻干燥与热风、太阳能干燥样品的总黄酮含量存在显著差异($P < 0.05$),然而热风干燥和太阳能干燥处理的样品间总黄酮含量不存在显著差异($P > 0.05$)。这与张明等^[22]的研究报道一致,可能是因为真空冷冻干燥是在低温和真空隔氧条件下进行,减少了黄酮与相关酶的反应,使得总黄酮含量损失较小;然而热风干燥与太阳能干燥样品在干燥过程中由于高温促使热敏性物质发生氧化反应,导致总黄酮含量较低。结果表明,真空冷冻干燥对黄冠梨的总黄酮有较好的保护作用。

2.2 不同干燥处理对黄冠梨挥发性物质的影响

2.2.1 挥发性物质对比 从图 5 可以看出,鲜样和不同干燥处理下黄冠梨挥发性物质的组分差异较大。和鲜样相比,黄冠梨经热风、太阳能和真空冷冻,干燥样品中挥发性有机物的种类和含量明显减少,而鲜样经过干燥产生了一些的新的挥发

性物质。不同干燥处理黄冠梨样品的挥发性物质组成也存在显著差异,其中真空冷冻干燥与其他两种干燥处理中黄冠梨样品的有些挥发性有机物种类和含量差异较大,然而热风干燥与太阳能干燥样品挥发性有机物种类和含量基本一致。这可能是不同干燥处理使得黄冠梨样品内部发生美拉德反应、脂质氧化等一系列反应,使得挥发性物质的种类差异显著,共同赋予黄冠梨干制品浓郁的风味。

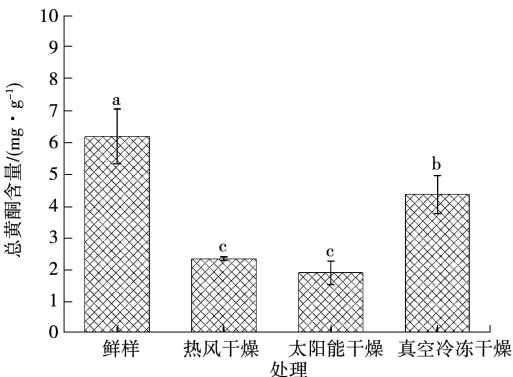
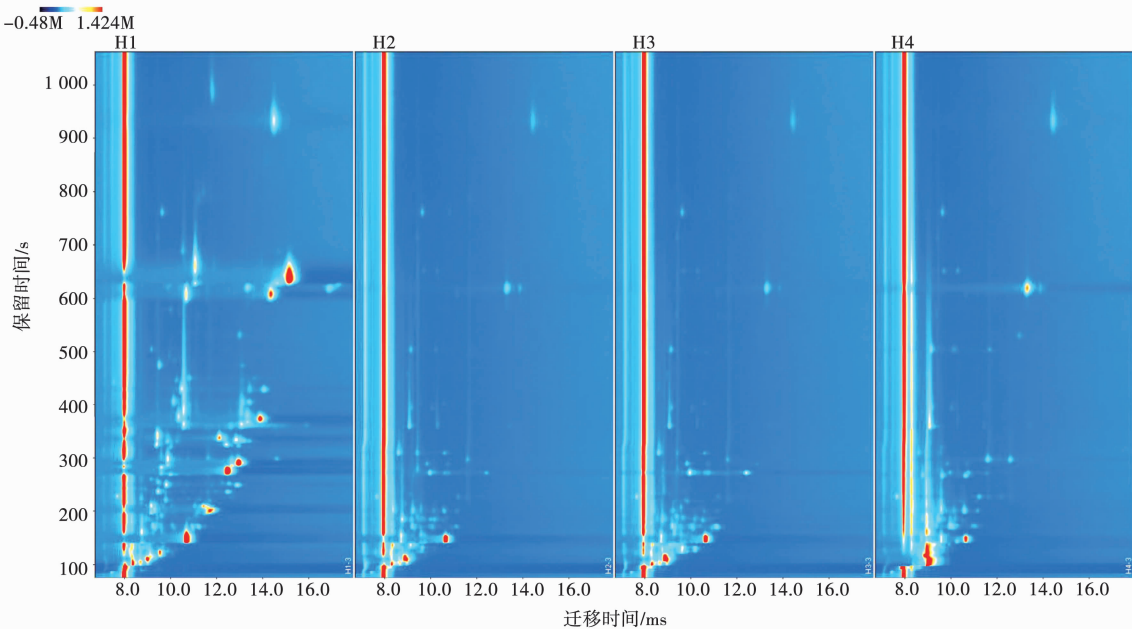


图 4 不同干燥处理对黄冠梨总黄酮含量的影响



H1. 鲜样;H2. 热风干燥;H3. 太阳能干燥;H4. 真空冷冻干燥。下同。

图 5 不同干燥处理黄冠梨的气相离子迁移谱

2.2.2 指纹图谱 通过 GC-IMS 技术从新鲜及 3 种干燥处理的黄冠梨样品中共鉴定了 72 种挥发性物质,根据已有数据库进行比对,确定了 40 种已知成分、32 种未知成分,其中酮类 1 种(占 2.50%)、醇类 5 种(占 12.50%)、醛类 5 种(占 12.50%)、萜烯类 2 种(占 5.00%)和酯

类 27 种(占 67.50%),酯类物质含量相对最高。将图 6 的指纹图谱大致划分成 4 个不同区域,1 号区域表示黄冠梨鲜样具有的特征挥发性有机物,其浓度明显高于其他两种干燥样品中的浓度,但经过不同干燥处理的样品中有些酶钝化或失活,使得酯类化合物明显减少,如异丁酸乙

酯、乙酸异丁酯、乙酸丁酯、2-甲基丁酸乙酯、乙酸异戊酯、戊酸乙酯、己酸甲酯、正己酸乙酯、辛酸乙酯、乙酸戊酯、苯甲醛、正己醇、乙酸丙酯、丙酸乙酯等。黄冠梨鲜样在热风干燥、太阳能干燥和真空冷冻干燥处理后,醇类、萜烯类、酮类物质和醛类物质显著增加,并生成了新的关键化合物;2号区域表示该区域内挥发性物质在3种干燥处理中大量共有,如乙酸乙酯、苯甲酸甲酯、乙醇、丙酮等;3号区域表示黄冠梨在热风干燥和太阳能干燥中特有或者含量较高的挥发性物质,如己醛、糠醛等;4号区域表示黄冠梨在真空冷冻干燥中特有或者含量较高的挥发性物质,如双戊烯、苜醇等。因此,热风和太阳能干燥过程中由于温度较高,黄冠梨样品发生美拉德反应,在一定程度上有利于醇类和醛类等挥发性物质的增加,真空冷冻干燥在一定程度上有利于醛类、酮类和醇类等挥发性物质的增加。原因可能是不同干燥处理可以抑制酶活性,增加果蔬内部芳香物质的产生,综合作用赋予了黄冠梨干制品浓郁的风味。

2.2.3 主成分分析 由图7可知,PC-1和PC-2的主成分累计贡献率高达92%,黄冠梨鲜样占据PCA的一端,热风干燥、太阳能干燥和真空冷冻干燥样品占据另外一端,说明黄冠梨鲜样的挥发性组分与3种干燥处理的组分差异较大。其中,热风干燥与太阳能干燥处理黄冠梨样品的距离更为接近,表明风味物质差异较小,风味有些类似,然而它们与真空冷冻干燥样品距离较远,可能是受不同干燥处理的影响,风味差异明显。因此,采用GC-IMS技术结合主成分分析及可视化分析呈现出了不同干燥处理黄冠梨风味物质的差异。

2.3 感官评价

以不同干燥处理的黄冠梨为原料,组织30名品评人员,分别从色、香、气味、形进行评定并打分(满分100分)。从表2的感官评价结果可以看出,真空冷冻干燥的黄冠梨干制品感官评价较好,因为真空冷冻干燥是采用升华方法获得的产品,黄冠梨内部结构和外形完整饱满,不皱缩、不开裂,色泽鲜亮发白,口感爽脆,具有梨特有的果香。但是热风干燥和太阳能干燥的产品表面干瘪、皱缩严重,颜色稍有焦黄,口感稍硬,有些残渣。特别在色泽和香味方面,真空冷冻干燥制备的黄冠梨更接近原果。

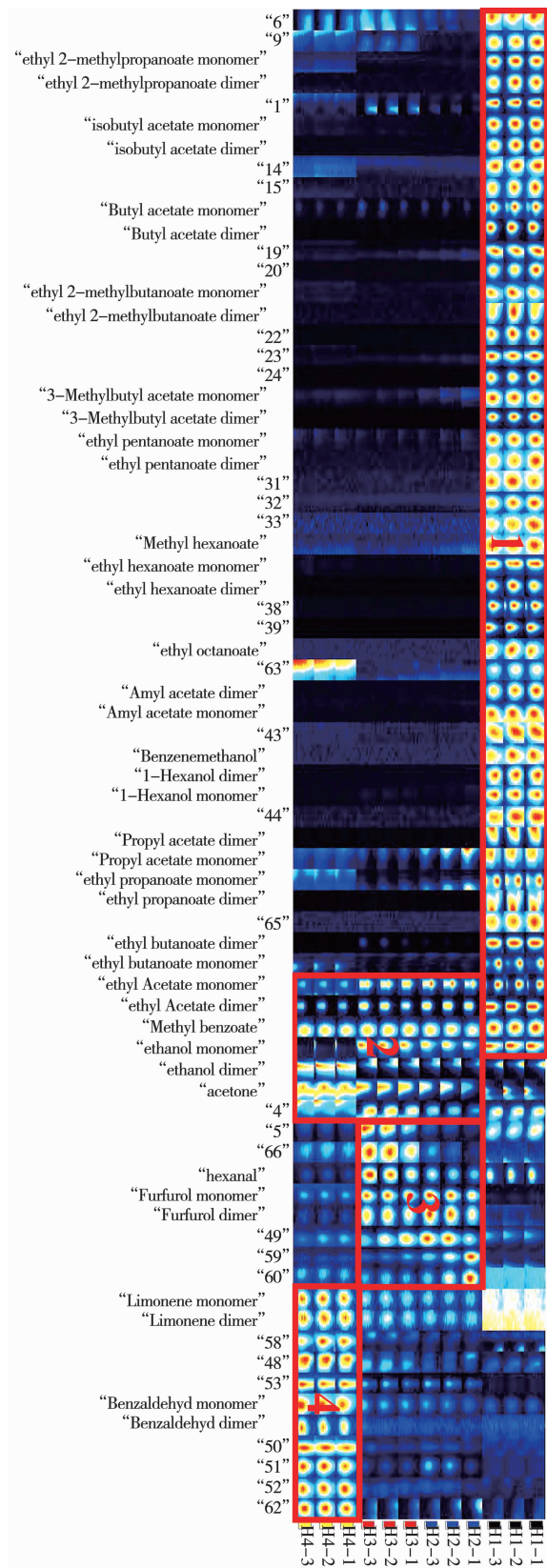


图6 不同干燥处理黄冠梨的指纹图谱

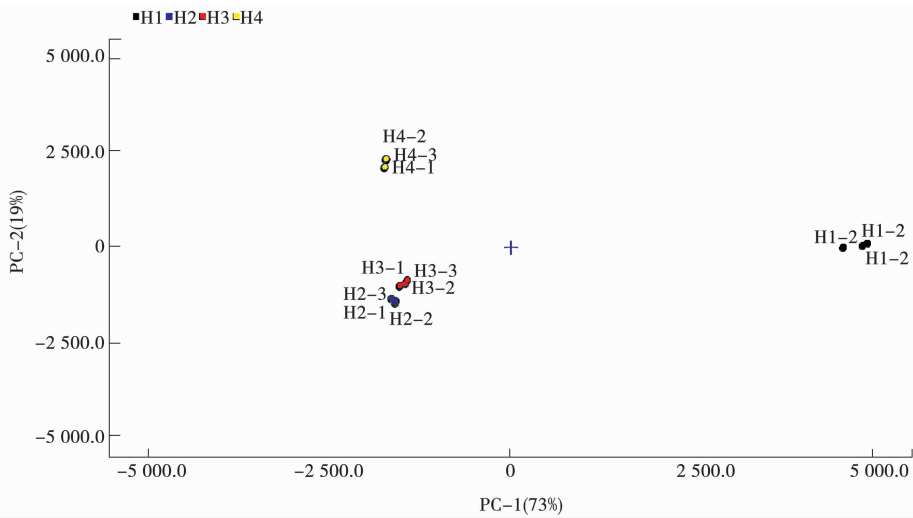


图 7 不同干燥处理黄冠梨的主成分分析(PCA)

表 2 感官评价结果

处理	总分	色泽	香味	滋味	组织形态
热风干燥	71	15	23	21	12
太阳能干燥	75	16	25	22	12
真空冷冻干燥	86	18	28	26	14

3 结论

不同干燥处理对黄冠梨的生化成分和挥发性香气物质影响较大。研究结果表明,与新鲜黄冠梨相比,经过干燥处理的黄冠梨色泽、抗坏血酸含量、总酚含量、总黄酮含量均有所下降,挥发性物质的种类也明显减少。和其他两种干燥方法相比,真空冷冻干燥处理后黄冠梨的色泽、抗坏血酸、总酚及总黄酮含量损失最小。首次通过 GC-IMS 分析发现黄冠梨样品有 72 种挥发性物质,包含酯类、醇类、醛类和萜烯类等,以酯类物质为主,虽然真空冷冻干燥样品中酯类化合物明显减少,但是醛类、酮类和醇类等挥发性风味物质的明显增加,共同赋予了黄冠梨特有的果香味,优于热风和太阳能干燥。因此,采用 GC-IMS 技术结合主成分分析,可视化呈现出了不同干燥处理黄冠梨风味物质的差异,为黄冠梨干制品不同干燥处理的区分和挥发性有机物的控制提供了参考依据。

虽然真空冷冻干燥能获得高质量黄冠梨产品,但是设备能耗高,如何处理产品的品质和成本之间的关系仍然是干燥产业的一大难题,真空冷

冻联合干燥是后续研究的关键技术,可为高质量黄冠梨的精深加工提供理论依据。

参考文献:

[1] 牟德生,王鑫,郭艳兰,等. “黄冠梨”在武威绿洲的引种表现及省力化栽培技术[J]. 北方园艺,2020(7):171-175.

[2] 周崇银,范方宇,赵国瑜,等. 无籽刺梨干燥特性及动力学模型[J]. 食品科技,2020,45(6):39-45.

[3] 过利敏,孟伊娜,杨洋,等. 库尔勒香梨脆片变温压差膨化干燥工艺初探[J]. 新疆农业科学,2016,53(4):706-715.

[4] 李莉峰,叶春苗,韩艳秋. 不同干燥处理对南果梨干理化指标及质构特性的影响[J]. 食品工业,2018,39(10):46-49.

[5] MARZEC A,KOWALSKA H,KOWALSKA J,et al. Influence of pear variety and drying methods on the quality of dried fruit[J]. Molecules,2020,25(21):5146-5163.

[6] 唐璐璐,易建勇,毕金峰,等. 预处理对压差闪蒸干燥丰水梨脆片品质及微观结构的影响[J]. 食品科学,2016,37(21):73-78.

[7] CHONG C H,LAW C L,FIGIEL A,et al. Colour,phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different methods[J]. Food Chemistry,2013,141(4):3889-3896.

[8] TOBITSUKA K,MIURA M,KOBAYASHI S. Retention of a european pear aroma model mixture using different types of saccharides[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry,2006,54(14):5069-5076.

[9] 黄娟,李新建. 基于色差仪法的库尔勒香梨果实颜色分级标准[J]. 北方园艺,2018(17):38-44.

[10] 段鹏伟,程福厚. 滴灌频率和灌水量对‘黄冠’梨生长与果实品质的影响[J]. 北方园艺,2017(20):46-53.

[11] NIZORI A,BUI L T T,JIE F,et al. Spray-drying micro-

- encapsulation of ascorbic acid; Impact of varying loading content on physicochemical properties of microencapsulated powders[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(11): 4165-4171.
- [12] GALLEGOS-INFANTE J A, ROCHA-GUZMAN N E, GONZÁLEZ-LAREDO R F, et al. Effect of air flow rate on the polyphenols content and antioxidant capacity of convective dried cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*) [J]. Food Science & Nutrition, 2009, 2: 80-87.
- [13] DRAKOU M, BIRMPA A, KOUTELIDAKIS A E, et al. Total antioxidant capacity, total phenolic content and iron and zinc dialyzability in selected Greek varieties of table olives, tomatoes and legumes from conventional and organic farming [J]. Food Science & Nutrition, 2015, 66 (2): 197-202.
- [14] OSAE R, ZHOU C, XU B, et al. Effects of ultrasound, osmotic dehydration, and osmosonication pretreatments on bioactive compounds, chemical characterization, enzyme inactivation, color, and antioxidant activity of dried ginger slices [J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43 (5): 1-14.
- [15] 聂继云, 吕德国, 李静, 等. 分光光度法测定苹果果实总黄酮含量的条件优化[J]. 果树学报, 2010, 27(3): 466-470.
- [16] MATŁOK N, LACHOWICZ S, GORZELANY J, et al. Influence of drying method on some bioactive compounds and the composition of volatile components in dried Pink Rock Rose (*Cistus creticus* L.) [J]. Molecules, 2020, 25(11): 2596-2607.
- [17] 郭雪霞, 张子赫, 刘英娜, 等. 不同干燥方式对哈密瓜品质的影响[J]. 北方园艺, 2020(19): 23-31.
- [18] 陈思奇, 王旭光, 杜勃峰, 等. 不同干燥温度下刺梨果糕的非酶褐变通径分析[J]. 食品科技, 2019, 44(3): 51-56.
- [19] 王庆惠, 李忠新, 闫圣坤, 等. 干燥工艺对杏干燥特性及色泽变化影响[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(1): 78-84.
- [20] 唐璐璐, 易建勇, 毕金峰, 等. 干燥处理对丰水梨片酚类物质含量及其抗氧化活性的影响[J]. 中国食品学报, 2017, 17(12): 129-138.
- [21] 林羨, 徐玉娟, 肖更生, 等. 干燥处理对辣木叶营养活性成分、抗氧化活性及色泽的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(12): 2465-2472.
- [22] 张明, 帅希祥, 杜丽清, 等. 干燥处理对澳洲坚果青皮酚类物质提取量及抗氧化活性的影响[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 785-790.

Effects of Drying Treatments on Biochemical Components and Flavor Compounds of Huangguan Pear

SONG Juan, KANG San-jiang, ZHANG Hai-yan, YUAN Jing, ZHANG Ji-hong

(Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to promote the production of high-quality dried Huangguan pear products, fresh Huangguan pear was used as raw material, and three drying methods of hot air, solar energy and vacuum freezing were used to study the effects of different drying treatments on the main biochemical components and flavor substances of Huangguan pear. The results showed that compared with fresh samples, the color, ascorbic acid, total phenols and total flavonoids of Huangguan pear after three drying treatments were decreased, and the types of volatile substances also were decreased significantly. The color of vacuum freeze-dried samples was the closest to that of fresh samples, with the highest L^* value of 84.23 ± 0.37 and the lowest ΔE value of 11.30 ± 0.48 . Vacuum freeze-drying had the best protective effect on ascorbic acid, total phenols and total flavonoids of Huangguan pear. A total of 72 kinds of volatile substances were identified by Gas Chromatography Ion Mobility Spectrometry (GC-IMS), mainly esters, alcohols, aldehydes and terpenes, and the content of esters was the highest (accounting for 67.50%); Although the number of esters and other compounds in the samples of vacuum freeze-drying was significantly reduced, the number of volatile flavor substances such as aldehydes, ketones and alcohols was significantly increased, which was better than that of hot air and solar drying. In sum, the vacuum freeze-drying was more suitable for industrial production of Huangguan pear with high quality.

Keywords: drying treatments; Huangguan pear; biochemical components; gas chromatography ion mobility spectrometry; the flavor substances