3种干燥方式对糖渍加应子品质的影响

林 羡，徐玉娟，唐道邦，吴继军，陈于陇，张 岩
(广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所，广东省农产品加工公共实验室，广东 广州 510610)

摘 要：以糖渍加应子为研究对象，考察传统热风干燥、热泵干燥和太阳能干燥3种干燥方式对糖渍加应子干燥效率和品质的影响。结果表明：通过热泵干燥、热风干燥和太阳能干燥3种干燥方式使糖渍加应子降至干基湿含量为(30±1)%所需时间分别为6、7、13.5h。其中，热泵干燥的干燥效率最高。3种干燥方式对糖渍加应子色泽的影响差异不显著。热泵干燥与热风干燥所得糖渍加应子在硬度和风味品质上较为接近。太阳能干燥所得糖渍加应子的硬度最小，挥发性成分的种类和挥发性风味成分的绝对含量的增加量最大，品质最佳。

关键词：糖渍加应子；热风干燥；热泵干燥；太阳能干燥；品质

Effects of Three Drying Methods on the Quality of Candied Prunes

LIN Xian，XU Yu-juan，TANG Dao-bang，WU Ji-jun，CHEN Yu-long，ZHANG Yan
(Guangdong Open Access Laboratory of Agricultural Produce Processing, Sericulture and Farm Produce Processing Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510610, China)

Abstract：The effects of three different drying methods, conventional hot air drying (HAD), heat pump drying (HPD) and solar drying (SD) on the drying efficiency and quality of candied prunes were investigated. Results showed that the drying time for reaching the dry-base moisture content of (30 ± 1)% under HPD, HAD and SD conditions were 6, 7 h and 13.5 h, respectively. HPD was the most efficient drying method. No obvious difference in the effects of three different methods on the color of candied prunes was observed. HPD-treated and HAD-treated candied prunes had similar qualities in hardness and flavor, while the hardness of SD-treated candied prunes was the smallest and the maximum increase was observed in the number and absolute contents of volatile flavor compounds detected in SD-treated candied prunes, indicating that the quality of SD-treated candied prunes was the best.

Key words：candied prune；hot air drying；heat pump drying；solar drying；quality
中图分类号：TS255.42 文献标志码：A 文章编号：1002-6630(2013)21-0083-04
doi:10.7506/spkx1002-6630-201321017

加应子是广式凉果的一个主要品种，具有半干半湿、色黑、风味兼具芳香、甜、酸、咸等特点。该产品以李子为原料，经盐腌、脱盐、干燥、糖渍、再干燥、包装而成，在糖渍过程中还加入了丁香、八角、茴香、桂皮等香料。加应子的干燥是其加工工艺中的一个重要环节。热风干燥则是广式凉果工业化干燥的常用方法[1]。

随着我国国民经济的高速发展，能源需求也越来越大，能源瓶颈使我国的能源安全和国民经济的可持续发展面临着巨大的挑战[2]，为此我国提出了“节能减排”的重大决策。食品的干燥是食品加工业中的主要耗能环节之一，而目前我国在食品加工业的干燥环节仍有较大的节能减排潜力有待挖掘。其中，热泵干燥是通过特制干燥系统从低温热源吸取热量，在较高温度下作为有用热能进行干燥的一种干燥方法。它能够有效的利用环境热源，具有“高效节能、环境友好、安全稳定”等优点，是近年来干燥节能研究的热点[3-5]。太阳能，作为一种清洁、廉价的可再生能源，利用其进行干燥物料可以节约的大量常规能源，因此太阳能干燥也是一种节能减排的干燥方法。

本实验比较了热风干燥、热泵干燥和太阳能干燥对糖渍加应子的干燥效率和品质的影响，为优化建立糖渍加应子新型干燥技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

糖渍后沥干的带核加应子，由广东省某食品企业提供，干基含水率为(51.82±0.17)%，选取大小均等、个体饱满的加应子。

收稿日期：2012-07-31
基金项目：广东省农业科技计划项目(LNSG2010-14)；广东省科技计划项目(2011A080803011；2011A060903007)
作者简介：林羡(1984—)，女，研究实习员，硕士，研究方向为果蔬深加工。E-mail：sannylam@126.com

1.2 仪器与设备

GHRH-20型热泵干燥系统、SL41型太阳能干燥房 广东省农业机械研究所制造；DHG-9240A电热恒温鼓风干燥箱 上海齐欣科学仪器有限公司；TA-XTPLUS质构仪 英国Stable Micro System公司；UltraScan VIS CIE标准可见光范围色差仪 美国Hunter Lab公司；SPME手动进样手柄及DVB/CAR/PDMS萃取头(纤维头) 美国Supelco公司；6890N气相色谱-5975B质谱联用仪 美国安捷伦公司。

1.3 方法

1.3.1 热泵干燥实验

设定干燥温度60℃、风速1.0m/s。干燥前，机器预热30min，达到稳定温度后，将原料按5.0kg/m^{3}均匀地平铺于筛网上，干燥至干基湿含量为(30±1)%。

1.3.2 热风干燥实验

设定干燥温度60℃，启动鼓风机。达到稳定温度后，将原料按5.0kg/m^{3}均匀地平铺于筛网上，干燥至干基湿含量为(30±1)%。

1.3.3 太阳能干燥实验

启动排湿装置，将原料按5.0kg/m^{3}均匀地平铺于筛网上，干燥至干基湿含量为(30±1)%。每天的干燥时间段为9:30—17:30。

1.3.4 水分含量的测定

水分含量测定参照GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》中的直接干燥法。

1.3.5 色度的测定

在分光光度计中采用色度软件进行扫描，获得CIEL^*、a^*、b^*和CIEL^*、C^*、h等指标。并基于CIE L^*、a^*、b^*，计算出总色差E^*，公式见式(1)。

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

1.3.6 硬度的测定

采用质构仪测定样品硬度。测定条件为，探头型号：A/WEG；测前速率：1mm/s；测试速率：2mm/s；测后速率：5mm/s；下压距离：5mm；触发力大小：5g。以最大剪切力(g)表示样品硬度。

1.3.7 挥发性风味物质的测定

采用顶空固相微萃取结合气质联用的方法(HS-SPME-GC-MS)。

1.3.7.1 SPME条件

准确样品4g，置于15mL装有磁力搅拌器的顶空瓶中，50℃条件下吸附30min，然后在气相色谱仪250℃条件下解吸5min，用于GC-MS分析检测。

1.3.7.2 色谱条件

色谱柱：HP-5MS毛细管柱(30m×0.25mm，25μm)；升温程序：40℃保持2min，以3℃/min升至55℃保持1min，以2℃/min升至120℃，保持1min，以15℃/min升至230℃，保持5min。

1.3.7.3 质谱条件

EI电离源，电子能量70eV，灯丝发热电流为0.25mA，离子源温度为200℃，接口温度250℃，检测器电压350V。

1.3.8 水分含量的计算

以干基湿含量(M_d)表示水分含量，按式(2)计算。

$$M_d/\% = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

式中：m_w为物料中水分质量/g；m_d为物料中干物质量/g。

1.3.9 挥发性物质的定性与定量

分别采用NIST谱库和保留指数来进行二维定性，选择匹配度＞80(最大值为100)的结果，予以确认鉴定。采用面积归一化法计算化合物的相对含量[6]和通过峰面积积分来比较化合物的绝对含量。以干燥前的样品为对照组。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式对糖渍加应子干燥时间的影响

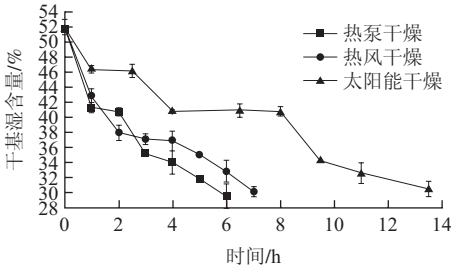


图1 不同干燥方式下糖渍加应子的干燥曲线

Fig.1 Drying curves of candied prunes by different drying methods

由图1可知，3种干燥方式下，随着干燥时间的延长，糖渍加应子干基湿含量均逐渐下降。热风干燥与热泵干燥的干燥曲线下降较快。其中，热泵干燥下糖渍加应子下降至目标含水量所需时间最快，为6h。可见，热泵干燥的效率最高。在太阳能干燥方式下，糖渍加应子干燥曲线在干燥起始阶段快速下降，随后变得平缓，然后快速下降，再变得平缓，最后缓慢下降至目标含水量。食品湿物料在干燥中所除去的水分主要是自由水和部分结合水。在干燥过程中，首先除去的是自由水，然后是部分结合力较弱的结合水[7]。太阳能干燥曲线中的平缓部分，可能为样品中结合水转化为自由水，也可能为样品内部水分向外扩散的阶段。每一次的转化阶段都为下一阶段干燥曲线的快速下降提供了条件[8-9]。由于太阳能干燥受环境条件的限制，包括干燥时间和设备能量供应的限制，因此，干燥时间更长，为热泵干燥所需时间

表1 不同干燥方式对糖渍加应子色泽的影响

Table 1 Effects of different drying methods on the color of candied prunes

时间/h	△E*			L*			C*			h		
	热泵干燥	热风干燥	太阳能干燥	热泵干燥	热风干燥	太阳能干燥	热泵干燥	热风干燥	太阳能干燥	热泵干燥	热风干燥	太阳能干燥
0	0	0	0	30.66±0.82	30.66±0.82	30.66±0.82	16.96±0.70	16.96±0.70	16.96±0.46	64.32±1.14	64.32±1.14	64.32±0.63
1	4.55±0.65	3.25±0.57	2.03±0.28	28.92±0.49	29.87±0.30	30.82±0.10	13.03±0.56	14.36±0.95	17.29±0.75	62.16±2.63	62.39±2.64	61.13±0.75
2	6.47±0.93	3.79±0.49	—	27.90±0.37	29.36±0.41	—	11.23±0.78	13.70±0.61	—	65.83±2.50	61.96±0.99	—
2.5	—	—	3.69±0.85	—	—	28.79±0.80	—	—	14.16±0.70	—	—	66.36±1.14
3	6.24±0.99	4.18±1.28	—	27.82±0.77	29.34±0.44	—	11.67±0.57	13.30±1.49	—	58.78±1.29	64.27±1.28	—
4	8.58±0.50	4.56±0.46	3.97±0.41	27.32±0.17	28.76±0.45	28.49±0.71	9.11±0.52	13.11±0.50	14.05±0.44	63.87±2.54	60.83±0.96	62.71±1.14
5	8.43±0.67	5.42±1.10		27.20±0.19	28.53±0.30	28.90±0.80	9.39±0.71	12.11±1.02	14.00±0.58	60.16±2.64	62.56±2.03	61.49±2.07
6	8.73±0.41	6.95±0.76	4.14±1.09	27.16±0.07	27.98±0.25	—	9.16±0.43	10.68±0.84	—	58.77±3.76	60.55±2.38	—
6.5		—	5.03±1.03	—	—	28.50±0.71	—	—	12.88±0.15	—	55.16±1.61	60.89±3.05
7	—	7.20±0.03	—	—	27.84±0.15	—	—	10.75±0.14	—	—	—	—
8	—	—	5.45±0.18	—	—	28.83±0.25	—	—	11.92±0.46	—	—	61.63±3.25
9	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
9.5	—	—	6.26±0.71	—	—	28.51±0.81	—	—	11.14±0.76	—	—	63.53±2.72
10	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	7.23±0.24	—	—	28.27±0.50	—	—	10.26±0.34	—	—	62.60±1.74
13.5	—	—	7.45±0.40	—	—	27.75±0.24	—	—	10.53±0.53	—	—	56.14±1.48

注：—. 无被测样品。

的2.25倍。然而，采用太阳能干燥设备只需为系统的通风排湿提供能量，因此整个过程所需的耗能要远低于热风干燥和热泵干燥系统的耗能，是一种节能的干燥方法。通过热泵干燥、热风干燥和太阳能干燥3种干燥方式使糖渍加应子降至干基湿含量为(30±1)%所需时间分别为6、7、13.5h。

2.2 不同干燥方式对糖渍加应子品质的影响

2.2.1 不同干燥方式对糖渍加应子色泽的影响

产品的色泽是影响其质量和市场价值的一个重要指标。糖渍加应子在干燥过程中会干燥温度、干燥时间等因素的影响而发生褐变[10]。由表1可知，干燥过程中，不同干燥方式下的其△E*都随着干燥时间的增加而增加。其中热泵干燥条件下，△E*增加最快，在干燥4h后，色泽变化量已达到8.58。太阳能干燥条件下，△E*则增加最慢。这可能与干燥效率的大小有关。食品在加工过程中色泽变化程度随着其水分含量的增加而降低。干燥效率越高，则样品含水量降低越快，故颜色发生褐变越快[11]。3种干燥方式相比，热泵干燥的糖渍加应子含水量降低较快，故颜色变化也较快。当逐渐达到目标含水量时，3种干燥方式下的糖渍加应子含水量逐渐趋于一致，三者的△E*也逐渐趋于一致。L*值表示样品的亮度。L*值的减小，表明样品色泽的变深。随着时间的增加，3种干燥方式下的糖渍加应子的L*值均逐渐减小。在热泵干燥下，尽管样品在干燥前期L*值下降较快，但达到目标含水量后，3种干燥方式获得的样品的L*值差异并不显著。C*值表示样品颜色的鲜艳度，该值越大，表明样品颜色的鲜艳度越高。干燥过程中，C*值均随着时间的增加而逐渐减小，表明样品颜色的鲜艳度下降。其中热泵干燥条件下加应子的鲜艳度变化较快。h值表示样品的色相，不同干燥方式获得的加应子的h值随时间的变化上下波动[12]。

2.2.2 不同干燥方式对糖渍加应子硬度的影响

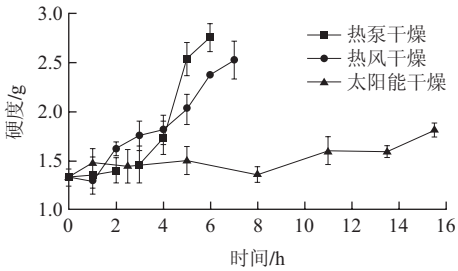


图2 不同干燥方式对糖渍加应子硬度的影响

Fig.2 Effects of different drying methods on the hardness of candied prunes

由图2可知，太阳能干燥的糖渍加应子的硬度随干燥时间的增加而缓慢增加，达到目标含水量时，糖渍加应子的硬度显著低于热泵干燥和热风干燥的加应子。热泵干燥与热风干燥的的糖渍加应子相比，其硬度随时间的变化相近，其中热泵干燥的糖渍加应子硬度增加较快，达到目标含水量时，其硬度也较高。太阳能干燥方式，由于干燥强度较低，使原料内部的水分在其梯度差的作用下有充分的时间向外扩散，使水分分布趋于均匀，从而降低因不均匀收缩引起的结构硬化，更好地保持了糖渍加应子原有的质构[13]。这与申晓曦等[14]的研究结果一致。与太阳能干燥相比，热风干燥与热泵干燥方式下，糖渍加应子干燥速率更快，其表面水分蒸发速率则较快，从而一定程度上导致加应子内部水分扩散率低于表面水分蒸发速率，阻碍了内部水分的扩散，从而加剧了糖渍加应子的硬化[15]。

2.2.3 不同干燥方式对糖渍加应子挥发性风味成分的影响

表 2 不同干燥方式对糖渍加应子挥发性风味成分种类的影响

Table 2 Effects of different drying methods on volatile flavor compounds of candied prunes

化合物种类	对照	热泵干燥	热风干燥	太阳能干燥
醇	6	7	7	7
醛	0	1	0	1
酸	1	2	2	2
酯	1	1	1	2
烯烃	6	6	6	6
烷烃	2	3	2	4
其他	3	3	3	4
总计	19	23	21	26

表 3 不同干燥方式对糖渍加应子挥发性风味成分绝对含量和相对含量的影响

Table 3 Effects of different drying methods on absolute contents and relative contents of volatile compounds in candied prunes

化合物种类	对照		热泵干燥		热风干燥		太阳能干燥	
	峰面积($\times10^8$)	相对含量/%	峰面积($\times10^8$)	相对含量/%	峰面积($\times10^8$)	相对含量/%	峰面积($\times10^8$)	相对含量/%
醇	5.27	18.72	4.40	20.23	4.72	23.89	5.20	18.17
醛	0.00	0.00	0.33	1.69	0.00	0.00	0.20	0.68
酸	0.24	17.65	1.16	2.45	0.60	1.97	3.31	9.28
酯	3.05	13.53	2.02	10.24	2.01	10.11	3.32	11.46
烯烃	7.60	9.52	6.57	22.91	6.14	20.92	7.84	17.90
烷烃	0.40	1.82	0.16	0.79	0.18	0.89	0.71	2.99
其他	5.64	4.92	5.52	28.09	6.71	33.81	7.67	26.62
总计	22.2	66.15	20.16	86.40	20.36	91.58	28.25	87.11

挥发性成分之间的组成比例、挥发性成分的阈值及挥发性成分之间的协同作用，是影响食品挥发性风味的重要因素[16-17]。由表2可知，与对照(原样)相比，经过干燥后，糖渍加应子的挥发性风味成分的种类数目都有所增加，其中通过太阳能干燥方式获得的糖渍加应子的挥发性成分的种类数目增加最多，其次是热泵干燥。对各类化合物而言，经过干燥后，糖渍加应子的醇类物质种类均有所增加，太阳能干燥的糖渍加应子的醛类、酸类、烷烃类等物质均比对照组多。由表3可知，经过太阳能干燥后，糖渍加应子的挥发性风味成分的绝对含量有所增加，尤其是酸类物质和其他类物质的增加。而经过热泵干燥和热风干燥的糖渍加应子的挥发性风味成分各类物质的绝对含量较为相近，与对照相比都降低了，其中对风味贡献较大的物质包括醇类、酯类、烯烃类和烷烃类的下降均较为显著。同时，经过干燥后，糖渍加应子挥发性风味成分中的酯物质的相对含量显著下降，烯烃类物质和其他类的物质的相对含量显著上升。酸类物质的相对含量显著下降，其中热风干燥和热泵干燥加应子中该类物质的下降幅度显著太阳能热泵干燥糖渍加应子的。干燥后，热泵干燥和热风干燥加应子的挥发性风味成分的各类物质相对含量组成较为相近。

3 结 论

热泵干燥的干燥效率最高，降至目标干基含水量所需时间约为6h。干燥过程中，糖渍加应子的色泽逐渐变深，颜色鲜艳度逐渐减小，硬度逐渐增加。达到目标含水量后，3种干燥方式所得的糖渍加应子的色泽差异不显著，太阳能干燥的加应子硬度显著低于热泵干燥和热风干燥的加应子。干燥后，通过太阳能干燥获得的糖渍加应子的挥发性成分的种类数目增加最多，挥发性风味成分的绝对含量有所增加。而经过热泵干燥和热风干燥的糖渍加应子的挥发性风味成分各类物质的绝对含量和相对含量组成均较为相近。

可见，热泵干燥在糖渍加应子的干燥品质与热风干燥相比差异不显著，但综合成本等考虑因素，热泵干燥技术作为一种新型节能干燥技术，比热风干燥技术更满足于干燥产业上的发展需求。而太阳能干燥所得的产品，无论在品质和成本上都优于热泵干燥和热风干燥技术，也具有很高的应用前景。

参考文献：

[1] 李汴生, 刘伟涛, 李丹丹, 等. 糖渍加应子的热风干燥特性及其表达模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(11): 330-335.

[2] 李杰. 我国粮食干燥节能减排技术发展现状与展望[J]. 粮食储藏, 2010, 40(4): 13-16.

[3] 杨韦杰. 荔枝热泵干燥及果干霉变控制技术研究[M]. 南昌: 江西农业大学, 2012.

[4] HII C L, LAW C L, SUZANNAH S, et al. Drying kinetics of the individual layer of cocoa beans during heat pump drying[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108: 76-282.

[5] AKTAS M, CEYLAN I, YILMAZ S. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer[J]. Desalination, 2009, 239: 266-275.

[6] 孟翔宇, 杨福胜, 邓建强, 等. 新型太阳能热泵干燥系统的设计与理论研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(5): 568-574.

[7] 崔璐, 王香英, 窦志浩, 等. 国内外太阳能干燥农副产品的研究现状与展望[J]. 农业工程技术: 农产品加工业, 2010(5): 37-39.

[8] 李汴生, 申晓曦, 刘伟涛. 太阳能干燥设备的干燥实验及数学建模[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2011, 39(4): 115-120.

[9] 赵晋府. 食品技术原理[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2002: 161-209.

[10] 胡庆国, 张憨, 杜卫华, 等. 不同干燥方式对颗粒状果蔬品质变化的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 25(2): 28-32.

[11] 石启龙, 薛长湖, 赵亚, 等. 热泵变温干燥对竹荚鱼干燥特性及色泽的影响[J]. 农业机械学报, 2008, 39(4): 83-85.

[12] RIVAS A, RODRIGO D, MARTINEZ A, et al. Effect of PEF and heat pasteurization on the physical-chemical characteristic of blended orange and carrot juice[J]. LWT - Food Science and Technology, 2006, 39(10): 1163-1170.

[13] NATHAKARANAKULE A, JAIBOON P, SOPONRONNARIT S. Far-infrared radiation assisted drying of longan fruit[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 100: 662-668.

[14] 申晓曦, 李汴生, 刘伟涛. 不同干燥方法对干湿梅理化性质的影响研究[J]. 现代食品科技, 2010, 26(12): 1305-1313.

[15] 刘伟涛, 李汴生, 俞裕明, 等. 广式凉果加应子缓苏干燥特性研究[C]//"科技创新与食品产业可持续发展//7学术研讨会暨2008年广东省食品学会年会论文集. 广州, 2008: 19-25.

[16] 张晓鸣. 食品风味化学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2009: 1-15.

[17] NISPEROSCARRIEDO M, SHAW P. Comparison of volatile flavor components in fresh and processed orange juices[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38: 1048-1052.