

文章编号:1009-038X(2004)06-0027-06

真空冷冻与热风联合干燥毛竹笋

徐艳阳¹, 张 懿¹, 屠定玉¹, 孙金才², Arun S. Mujumdar³

(1. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214036; 2. 海通食品集团有限公司, 浙江 慈溪 315300; 3. 新加坡国立大学 机械工程学院, 新加坡 117576)

摘 要: 对毛竹笋进行真空冷冻与热风联合干燥研究, 将得到的产品, 分别与热风干燥和真空冷冻干燥的产品比较总的能量消耗和物化特性, 确定了真空冷冻与热风联合干燥为最佳的联合干燥方式。最佳转换点为: 真空冷冻干燥 10.5 h 后, 转为热风干燥 4 h, 转换水分质量分数 20%。真空冷冻与热风联合干燥的产品在感官、营养、复水比和细胞结构方面明显优于热风干燥的脱水笋片, 较接近真空冷冻干燥的产品; 同时, 真空冷冻与热风联合干燥比真空冷冻干燥节省能耗约 21%。

关键词: 联合干燥; 热风干燥; 真空冷冻干燥; 毛竹笋

中图分类号: TS 255.3

文献标识码: A

Experimental Studies on Moso Bamboo Shoot Treatment by a Combination Drying of Hot-Airflow and Vacuum Freeze

XU Yan-yang¹, ZHANG Min¹, TU Ding-yu¹, SUN Jin-cai², Arun S. Mujumdar³

(1. School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Wuxi 214036, China; 2. Haitong Food Group Ltd. Co, Zhejiang, Cixi 315300, China; 3. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 9 Engineering Drive 1, Singapore 117576)

Abstract: Moso bamboo shoots were treated by a combination drying of hot-air and vacuum freeze in this work. Energy consumption and physicochemical properties of combination dried products were compared with those of 100% hot-air drying and 100% vacuum freeze drying processes, respectively. It showed that the favorite combined drying method was to use vacuum freeze drying first and then shift to hot-air, drying at the point when 20% moisture content was reached. The combination dried products of vacuum freeze and hot-air were superior to hot-air dried products on appearance, nutrition, rehydration ratio and cell structure aspects and closed to that treated by vacuum freeze dried method. Furthermore, the combined drying process saved 21% energy consumption compared with the energy cost using 100% vacuum freeze drying process.

Key words: combination drying; hot-air drying; vacuum freeze drying; moso bamboo shoot

真空冷冻与热风联合干燥技术是指根据物料 的特性, 将真空冷冻干燥和热风两种方式优势互

收稿日期: 2003-08-29; 修回日期: 2004-09-13.

基金项目: 浙江省慈溪市科技攻关项目(CN2003020)资助课题.

作者简介: 徐艳阳(1972-), 女, 吉林公主岭人, 食品科学与工程博士研究生.

补,分阶段进行的一种复合干燥技术,其目的是缩短干燥时间、降低能耗、提高产品质量。热风干燥具有能耗低(与其它干燥方法相对而言)、生产方法相对简单、产量高等优点,但是也存在许多不足。例如,产品的皱缩度较大、色泽褐变严重、复水性差、营养成分破坏严重等。真空冷冻干燥可以改变上述缺陷,最大限度地保持食品的色、香、味、形,提高产品的复水性,但是能耗高、操作技术相对复杂、连续化生产能力低,加工成本较高,严重地制约了该行业在我国的发展^[1,2]。因此,如何使两种干燥方式有机地结合起来,寻找合适的转换点,使能耗成本降低,而品质最接近于冻干产品,这对企业乃至整个行业的发展,都具有很重要的现实意义。

毛竹(*Phyllostachys pubescens*)春笋是斑竹或百家竹春季生长的嫩笋,富含多种氨基酸、维生素、矿物质和大量的膳食纤维,味美质脆,具有清肠减肥、降血脂、预防肠癌等功效,由于受环境污染少,是现代人所追求的绿色食品。但毛竹春笋的出笋期只有30~40 d,采收期短而集中,特别容易老化,长期贮藏比较困难。干燥精制的脱水笋片,能最大限度地保持其营养及色香味,延长货架期,满足人们对快节奏、方便食品的需求^[3~5]。因此,对毛竹笋进行了真空冷冻与热风联合干燥的研究,试图寻求较佳的联合干燥工艺,降低能耗,并使产品品质接近真空冷冻产品,提高脱水笋片的档次和产品附加值。

1 材料与方 法

1.1 原 料

毛竹笋购于浙江省慈溪市浒山菜市场。

1.2 仪器与设备

UFREEZE DRYING-03 型冻干实验机:厦门联友冷冻设备有限公司生产;STJ-1 型蔬菜烘干机:浙江三雄机械制造有限公司生产;DQ180A 型多功能切菜机,LP115 型 pH 计:梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司生产;DQB-3600W 多功能气调包装机:上海青浦包装机械厂生产;Kanguang[®] SC-80C 型全自动色差计,DJ-04 型中药粉碎机:上海淀久中药机械制造有限公司生产;GJ-30C 蒸汽夹层锅,FA1104 上皿电子天平:上海精密科学仪器有限公司生产;S. HH. W1 型电热恒温水浴箱:上海浦东荣丰科学仪器有限公司生产;XSP-8CA 生物显微镜:上海光学仪器六厂生产。

1.3 方 法

工艺流程:原料选择→预处理→联合干燥→挑

选→除杂→包装→贮藏

1) 原料选择:选尖叶发黄、根部扁平、嫩度适中的毛竹笋。

2) 预处理:去皮,清洗,切除根部和尖部,切成 40 mm×30 mm×4.5 mm 的片状。

3) 干燥方式:(1)将预处理好的竹笋进行热风 and 真空冷冻两种干燥方式的联合干燥,选定不同水分含量作为两种干燥方式的转换点,其中,热风与真空冷冻联合干燥(AFD)是指把整个干燥过程分为两个阶段:将预处理好的物料先进行热风干燥,达到一定水分含量时,真空冷冻干燥到最终成品;真空冷冻与热风联合干燥(FAD)是指将整个干燥过程分为两个阶段:将预处理好的物料先装盘,真空冷冻干燥到一定水分含量,然后热风干燥到最终成品;(2)将预处理好的竹笋直接进行真空冷冻干燥,作为对照试验;(3)将预处理好的竹笋直接进行热风干燥,作为对照试验。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 能耗计算

1) 真空冷冻干燥(FD)能耗计算:

$$W_1 = P_1 \times t_1$$

其中, W_1 为消耗电功,kW/h; P_1 为电功率,kW; t_1 为消耗时间,h。

2) 热风干燥(AD)能耗计算:

$$W_2 = K \times P_2 \times t_2$$

其中, W_2 为消耗电功,kW/h; $K=0.1$; P_2 为电功率,kW; t_2 为消耗时间,h。

1.4.2 检测项目 水分含量测定:按 GB 5009.3^[6];氨基酸测定:日立 835-50 型氨基酸自动分析仪定量测定氨基酸;粗纤维测定:按 GB 5009.10^[6];颜色测定:用 kangguangSC-80C 全自动测色色差计定量测定颜色;有效酸度测定:按 GB 6920^[7],用 LP115 型 pH 计测定;微生物检测:微生物检测项目和方法见表 1。

表 1 微生物检测项目和方法

Tab. 1 Microorganism detection items and methods

检测项目	检测依据 ^[8]
菌落总数	GB/T 4789.2—1994
大肠菌群	GB/T 4789.3—1994
沙门氏菌	GB/T 4789.4—1994
金黄色葡萄球菌	GB/T 4789.10—1994

感官鉴定标准的制定参考浙江省地方标准 DB 33/T 364—2002:出口笋干检验规程。本试验采用 9 分制,9 人组进行鉴定。感官鉴定标准见表 2。

表 2 感官鉴定标准

Tab. 2 Standard of sensory evaluation

项目	感官质量	评分标准/分
色泽	淡黄色	7~9
	淡黄色,轻微褐色	4~6
	褐色	1~3
质地	很疏松,海绵状气孔均匀	7~9
	较疏松,海绵状气孔不均	4~6
	紧密,无海绵状气孔	1~3
口感	硬度大	7~9
	硬度一般	4~6
	硬度小	1~3
风味	笋香浓郁,无异味	7~9
	笋香清淡,无异味	4~6
	基本无笋香,有异味(焦)	1~3

2 结果与分析

2.1 热风与真空冷冻联合干燥

试验先选定 $(70 \pm 5)\%$, $(60 \pm 5)\%$, $(50 \pm 5)\%$, $(20 \pm 5)\%$ 4 个水分点作为 AFD 转换点,分别在热风干燥过程中对应取样做 4 组试验,将所取样品送到急冻间冻结,完全冻结后进行 FD 至最终产品,其工艺条件见表 3。对最终成品进行色差分析和感官综合评定,结果分别见表 4、5。

表 3 AFD 联合干燥工艺条件

Tab. 3 Technological parameters of AFD combination drying

试验 标号	AD 温度/ ℃	AD 后水分 质量/ 分数/%	FD 温度/ ℃	最终水分 质量/ 分数/%	总耗 时间/ h
(1)	70	75.3	95	8.66	11.42
(2)	70	65.6	60	8.08	11.67
(3)	70	50.0	60	8.77	12.08
(4)	70	20.1	60	8.56	12.50

色差分析采用食品工业中常用的 CIEL*, a^* , b^* 均匀色空间表色系统。 L^* 代表亮度(白-黑),其值越小表明越暗, L^* 值与果蔬的褐变有关^[9]; a^* 代表红-绿程度,其值越小表明越绿; b^* 代表黄-蓝程度,其值越小表明越蓝; ΔE^* 代表总的色差值。色差比较结果见表 4。

由表 4 可知,与 FD 产品的 L^* 值相比,4 组试验所得产品的 L^* 值均较小,说明褐变度较大,其值接近 AD 产品的 L^* 值,即褐变度与 AD 产品相近;由总色差 ΔE^* 值可知,4 组试验产品的总色差值均较大,说明都与 FD 产品颜色相差较大。因此,从色泽的定量分析可以看出,4 组试验产品与 AD 产品颜色接近。

表 4 AFD 试验的色差分析结果

Tab. 4 Color differences detection results of AFD combination dried products

样品	色 值						
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*
FD	84.81	-0.30	12.24				
AD	80.66	2.54	19.60	8.91	-4.15	2.84	7.36
(1)	82.03	1.87	17.84	6.62	-2.78	2.17	5.60
(2)	81.81	1.96	18.05	6.96	-3.00	2.26	5.81
(3)	81.42	2.18	18.49	8.03	-4.39	2.48	6.25
(4)	80.70	2.24	19.32	8.50	-4.11	2.27	7.08

由表 5 可知,与 FD 产品相比,AFD 产品感官鉴定综合得分较低,能耗减少约 25%~31%。AFD 笋片的四周似 AD 产品,中间似 FD 产品,外观很差。分析认为,由于先进行 AD,脱掉部分水分时,物料已经发生卷曲,颜色变为黄褐色,很似 AD 产品;剩余水分停留在物料中心,后续进行 FD,而 FD 具有最大限度地保持物料原有形状和色泽等特点,所以后续用 FD 除去停留在物料中心的水分时,产品的中心就能保持 FD 进料时的形状和颜色,中部类似 FD 产品,从而使得 AFD 产品兼具 AD 成品和 FD 成品的双重特点,总体感官质量较差。

表 5 AFD 联合干燥产品质量检测结果

Tab. 5 Detection results of AFD combination dried products

项目	感官鉴定 综合得分	能耗/ kW
FD	9.0	76.00
AD	3.2	28.85
(1)	4.1	49.96
(2)	2.6	44.55
(3)	2.8	45.35
(4)	3.8	51.50

综合以上分析认为,AFD 联合干燥的产品质量不如 FD 产品,也不如 AD 产品,所以不再进行深入研究。

2.2 真空冷冻与热风联合干燥

FAD 联合干燥采用先真空冷冻干燥 FD 至一定水分,然后取样,直接进行热风干燥,得到最终产品。各组试验工艺条件见表 6。对 FAD 联合干燥的产品进行色差、感官评定、能耗、理化指标及微生物等检测,结果见表 7~10。

FAD 样品色差分析测定结果见表 7。由表 7 可

知,与 FD 产品相比,各组试验产品的总色差值随着真空冷冻干燥时间的延长而变小,尤其是从第(9)组开始,ΔE* 值变得很小,说明基本接近 FD 产品.由表 7,8 比较得出,质量相对较好,即接近 FD 且能耗相对较低的 4 个点为试验(7),(8),(9),(10).

表 6 FAD 联合干燥各组试验工艺条件

Tab. 6 Technological parameters of FAD combination drying

试验 标号	FD 温度/ ±2℃	FD 时间/ h	FD后 水分 质量 分数/%	AD 温度/ ±2℃	AD 时间/ h	最终 水分 质量 分数/%	总干 燥时 间/ h
(1)	95	15.0	6.42	0	0	6.42	15.0
(2)	0	0	0	70	11.2	6.09	11.2
(3)	95	7.0	61.48	70	6	6.56	13.0
(4)	95	8.0	52.55	70	6	6.77	14.0
(5)	95	8.5	46.52	70	6	6.02	14.5
(6)	95	9.0	36.18	70	9	7.00	18.0
(7)	95	9.5	26.64	60	7	6.55	16.5
(8)	95	10.0	24.72	60	6	6.89	16.0
(9)	95	10.5	19.63	60	6	6.00	16.5
(10)	95	11.0	16.59	60	6	6.55	17.0
(11)	95	12.0	10.25	60	5	6.00	17.0
(12)	95	13.0	8.56	60	4	6.42	17.0
(13)	95	14.0	6.90	60	2	6.15	16.0

表 7 FAD 产品的色差分析结果

Tab. 7 Color differences detection of FAD combination dried products

样 品	色 值						
	L*	a*	b*	ΔE*	ΔL*	Δa*	Δb*
(1)	83.48	-0.35	11.99				
(2)	81.96	2.53	20.60	9.20	-1.51	2.88	8.61
(3)	81.99	2.50	19.83	7.65	-1.49	2.85	6.94
(4)	82.06	2.38	18.55	7.12	-1.42	2.73	6.56
(5)	82.11	2.14	17.86	6.52	-1.37	2.49	5.87
(6)	82.24	1.16	17.61	5.95	-1.24	1.51	5.62
(7)	82.79	0.08	16.23	4.32	-0.69	0.43	4.24
(8)	82.90	-0.06	14.57	2.66	-0.58	0.29	2.58
(9)	83.13	-0.19	12.86	0.95	-0.35	0.16	0.87
(10)	83.25	-0.25	12.73	0.78	-0.23	0.10	0.74
(11)	83.37	-0.29	12.55	0.57	-0.11	0.06	0.56
(12)	83.40	-0.32	12.40	0.48	-0.08	0.03	0.41
(13)	83.44	-0.34	12.01	0.05	-0.04	0.01	0.02

表 8 FAD 联合干燥各产品质量检测结果

Tab. 8 Determination results of FAD combination dried products

试验 标号	感官鉴定 综合得分	耗能/ kW
(1)	9.0	76.00
(2)	3.2	28.85
(3)	4.1	45.30
(4)	4.6	51.30
(5)	5.5	53.30
(6)	6.0	56.95
(7)	6.4	57.85
(8)	7.0	59.30
(9)	8.1	61.30
(10)	8.4	63.30
(11)	8.5	66.75
(12)	8.5	70.20
(13)	9.0	73.10

由表 8 可知,在 FAD 联合干燥中,随 FD 时间的延长,能耗增大,感官质量越好,外观品质越接近 FD 产品.再对 4 个点进行理化检测,并与 AD,FD 产品进行比较,结果见表 9.

表 9 FAD 较优产品的检测结果

Tab. 9 Detection results of FAD combination dried products

试验 标号	粗纤维 质量分数/%	pH 值	复水时 间/min	复水比
(1)	6.380	6.48	3.0	4.6
(2)	6.220	6.11	15.0	2.5
(7)	7.048	6.42	5.7	3.9
(8)	7.006	6.37	5.0	4.0
(9)	7.032	6.53	5.0	4.3
(10)	6.064	6.36	4.4	4.5

由表 9 可知,各试验组和对照组的粗纤维含量、有效酸度值差别不显著,即不同干燥方式对粗纤维和产品的 pH 值影响不大.AD 的复水时间最长,达 15 min,其次为(7),(8),(9),(10),(1)为 FD 产品,复水时间最短,仅为 3 min,说明复水时间随着 FD 时间的延长而缩短;复水比:(1)为 FD 产品,复水比为 4.6,其次为(10),(9),(8),(7),AD 的复水比最小,复水最差,说明复水能力随 FD 时间的延长而变大.

微生物检测结果见表 10.由表 10 可知,微生物

检测指标均符合脱水产品卫生质量标准.

表 10 FAD 优化点微生物检测结果

Tab. 10 Microorganism detection results of FAD combination dried products

试验标号	微生物指标		致病菌
	菌落总数/(个/g)	大肠菌群/(个/g)	
(1)	4100	<3	阴性
AD	290	<3	阴性
(7)	420	<3	阴性
(8)	830	<3	阴性
(9)	1000	<3	阴性
(10)	1300	<3	阴性

由以上结果可得,试验(9),即 FD(真空冷冻干燥 10.5 h)+AD(热风干燥 6 h),该点产品品质较接近 FD,感官鉴定都接近 FD 产品,其复水性能是所有试验组中相对较好的,虽然第(10)组试验的产品品质更接近 FD、复水性能更好,但能耗上,第(9)组的能耗低于第(10)组.综合考虑认为,较佳水分转化点为试验(9).

2.3 氨基酸含量测定

分别对 FD、AD 和 FAD 较佳点的产品进行氨基酸含量的测定,结果见表 11.

表 11 不同干燥方式脱水笋片的氨基酸质量分数

Tab. 11 Amino acid content of dehydrated bamboo shoots by different drying methods

不同干燥方式的笋片	总的氨基酸质量分数/(g/g)	保存率/%
鲜笋	0.1961	
FD	0.1840	93.83
AD	0.1557	65.17
FAD	0.1278	79.40

由表 11 可知,FD 笋片的氨基酸保存率为 93.83%,FAD 笋片的氨基酸保存率为 79.40%,AD 笋片的氨基酸保存率为 65.17%,所以 FD 方式是最优的,其次是 FAD 方式,AD 方式最差.

2.4 真空冷冻与热风联合干燥特性

试验(9)为较佳的真空冷冻与热风联合干燥方式,其干燥曲线见图 1.由图 1 可以看出,在试验(9)的 FAD 联合干燥过程中,先是真空冷冻干燥 10.5 h,然后直接进行热风干燥,当热风干燥 4 h 时,笋片水分质量分数降到 6.18%,以后趋于平缓,水分质量分数变化不大,热风干燥 6 h 时,笋片水分质量分数降到 6.00%.因此,FAD 联合干燥终点为热风干燥 4 h,即 FD(真空冷冻干燥 10.5 h)+AD(热风干燥 4 h),能耗为 60.20 kW.真空冷冻干燥能耗为 76.00 kW,则计算得,联合干燥最佳转换点与真空冷冻干燥产品相比,降低能耗 20.79%,近似为 21%.

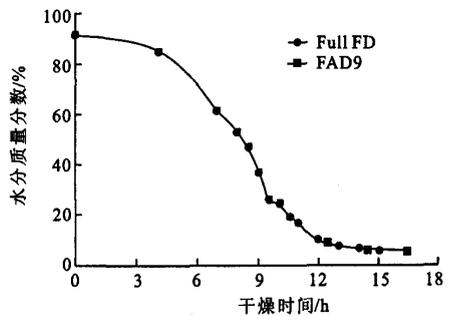
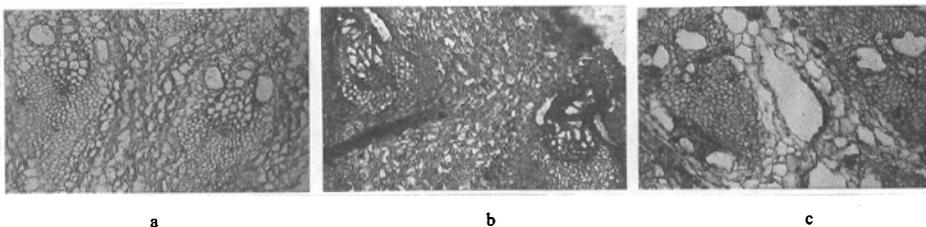


图 1 不同干燥方式的干燥曲线

Fig. 1 Drying curves of different drying methods

2.5 脱水竹笋细胞切片光镜观察

分别对真空冷冻干燥(FD)、热风干燥(AD)和真空冷冻与热风联合干燥(FAD)的笋片进行了细胞切片光镜观察,结果见图 2.



a. FD 笋片; b. AD 笋片; c. FAD 笋片

图 2 脱水笋片的横切面(×100)

Fig. 2 Cross section of dehydrated bamboo shoot slice(×100)

由图 2 可以看出,真空冷冻干燥的样品细胞充盈,细胞结构清晰完整;经过热风干燥的样品,可以

看到绝大部分细胞呈现扭曲,变形严重,无饱满充盈的状态;FAD 联合干燥的样品细胞与真空冷冻干

燥的样品细胞有相似的特征,可以看到薄壁细胞结构放大、轻微变形和较少的细胞壁裂开,其细胞结构较清晰完整.从细胞结构状态说明 FAD 联合干燥的样品接近真空冷冻干燥的样品,真空冷冻干燥具有较佳的保存生物物料结构和状态的优点.

综上所述,AFD 与 FAD 相比,FAD 方式是较佳的,既提高了脱水笋片的质量,又降低了能耗,这与 Phanindra-Kumar-HS^[6]等的观点一致.因此,确定 FAD 为较佳的联合干燥方式,即先真空冷冻干燥(FD)10.5 h 后,水分质量分数为 20%,转为热风干燥(AD)4 h.但本试验中对于总的干燥时间没有明显减少,有待于进一步探讨.

3 结 论

1) 热风与真空冷冻联合干燥(AFD)的脱水笋

片产品质量比较差,不如 AD 的产品,更不如 FD 的产品,没有深入研究的价值;真空冷冻与热风联合干燥(FAD)的脱水笋片产品质量较好,在感官、营养、复水比和细胞结构方面明显优于热风干燥的脱水笋片,接近真空冷冻干燥的脱水笋片.

2) 确定较佳的联合干燥方式为真空冷冻与热风联合干燥(FAD),并确定真空冷冻干燥(FD)10.5 h 后,转为热风干燥(AD)4 h,中间的转换水分质量分数为 20%,为联合干燥较佳转换点;真空冷冻与热风联合干燥(FAD)的能耗比真空冷冻干燥减少 21%,因此,具有进一步深入研究的价值.

3) 本研究将真空冷冻与热风联合干燥技术应用用于毛竹笋的深加工,研制开发出的 FAD 优质高档脱水笋片,提高了产品的附加值.

参考文献:

- [1] 郭书芹. 发展冻干食品大有可为[J]. 技术与市场,2002,(6):1.
- [2] 高福成,刘志胜,李修渠,等. 冻干食品[M]. 北京:中国轻工业出版社,1998.
- [3] 谢碧霞,杜红岩. 绿色食品开发利用[M]. 北京:中国中医药出版社,2003. 255-257.
- [4] 中一贝,刘慧懿. 食物营养与健康(蔬菜篇)[M]. 北京:中国物资出版社,2001. 230-234.
- [5] 林启训,沈来盛,陈团伟,等. 气调与热风干燥对毛竹笋干燥速度与干制品品质的影响[J]. 食品科技,2003,(1):23-25.
- [6] 中华人民共和国卫生部. 食品卫生检验方法——理化部分(中华人民共和国国家标准)[M],北京:中国标准出版社,2001. 17-36.
- [7] 黄伟坤. 食品检验与分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1995.
- [8] 斐山,钱中明. 中华人民共和国专业标准[M]. 北京:中国标准出版社,1990. 253-298.
- [9] Gurbuz Gunes, Chang Y Lee. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and anti-browning agents[J]. *Journal of Food Science*, 1997,62 (3):572-575.
- [10] Phanindra Kumar HS. Effect of combination drying on the physico-chemical characteristics of carrot and pumpkin[J]. *Journal-of-Food-Processing-and-Preservation*, 2001,25 (6): 447-460.

(责任编辑:杨勇)