

## 干燥方式对刺参品质的影响

### Effect of different drying methods on quality of *Stichopus japonicus*

张凡伟 张小燕 李少萍 李昕劼 韩亚芬 曹有福

ZHANG Fan-wei ZHANG Xiao-yan LI Shao-ping LI Xin-jie HAN Ya-fen CAO You-fu

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**摘要:**采用热风干燥(Air-drying, AD)、微波干燥(Microwave-drying, MD)、真空冷冻干燥(Vacuum Freeze-drying, VFD)和微波真空冷冻干燥(Microwave Vacuum Freeze-drying, MVFD)4种方式干制刺参,在干品品质、干燥速度和能耗方面对4种干燥方法进行比较分析。结果表明:AD和MD刺参酸性黏多糖含量略低于VFD和MVFD刺参;干燥方式对刺参感官品质的影响明显,其中VFD刺参感官品质最好,感官评分8.6分;VFD刺参保形率最高,能保持90%以上的长度,且复水性好,复水比在10以上,复水后弹性最好,与感官评价结果一致;MVFD刺参仅次于VFD刺参,对于MD和AD2种干燥方式,MD干制刺参感官品质更好。VFD工艺耗时长,耗能高;MD速度最快。微波与真空冷冻相结合的MVFD可以在保证刺参品质的同时提高生产效率,降低成本。通过对干燥刺参表面微观结构的观察,证明干燥方法对刺参物料品质有影响,冻干刺参表面呈均匀疏松的海绵状。

**关键词:**干燥;刺参;感官品质;酸性黏多糖;微观结构

**Abstract:** In order to find the properties of dry *stichopus japonicus* processed by different methods, this study applied Air-drying(AD), Microwave-drying(MD), Vacuum Freeze-drying(VFD) and Microwave Vacuum Freeze-drying(MVFD) for *Stichopus japonicus* drying, and the four methods were compared and analyzed in quality of dried products, drying rate and energy consumption. Result: In terms of quality of dried products, *Stichopus japonicus* processed by AD and MD contained less acid mucopolysaccharide than those processed by VFD and MVFD. Different methods had distinct influence on sensory quality of the products. The products processed by VFD got the best sensory quality and scored 8.6 points. Meanwhile, it also had the best shape-preserving rate, which reached 90 percents, good rehydration capability, which surpassed 10, and the rehydrated products had the highest elasticity according with the sensory evaluation.

**基金项目:**对发展中国家科技援助项目(编号:KY201402022)

**作者简介:**张凡伟,男,中国农业机械化科学研究院工程师,硕士。

**通信作者:**曹有福(1967—),男,中国农业机械化科学研究院研究员,博士。E-mail:724587454@qq.com

**收稿日期:**2017-06-02

The *Stichopus japonicus* processed by MVFD ranked second to VFD. And the *Stichopus japonicus* processed by MD got better sensory quality than AD. In terms of drying rate and energy consumption: VFD consumed the longest time and the most energy. MD had the highest drying rate. The MVFD which combined VFD and microwave was able to guarantee the quality of products to some degree, enhanced the drying rate with lower the cost.

**Keywords:** drying; *Stichopus japonicus*; sensory quality; acid mucopolysaccharide; microstructure

海参捕捞季节性强;且极易自溶,出海后需短时间饲养或立刻加工。据统计,全球范围90%的海参被加工成干制品<sup>[1]</sup>。应用不同的干燥方法干制海参会使海参有不同的特性,同时不同技术应用的经济性也有所差距。因此,海参干制新技术也成为了目前国内海外海参干燥研究的热点。

AD是一种传统的干燥方法,是目前应用最为广泛的干燥方法,对设备及操作技术要求不高、操作简便、成本较低,生产过程可控且易于产业化。目前,AD被广泛应用于干燥各种水产品,例如中国干鲍、干海参、烤鱼片、海米、干贝的生产<sup>[2]</sup>。MD和VFD是食品加工新技术,MD速度快,生产效率高,在农产品加工领域拥有良好的应用前景<sup>[3]</sup>。VFD对于高附加值食品保持高品质具有独特优势,目前在食品加工领域大规模应用的有水果(榴莲、蓝莓等)和蜂王浆等产品干制加工,在水产品领域应用还不广泛,但随着设备制造水平的提高,极具产业化应用价值。MVFD干燥技术,是将微波技术与VFD相结合,利用微波对水分子的作用,将微波作为VFD的加热方式<sup>[4]</sup>。本研究选择食用价值较高的刺参作为研究对象<sup>[5]</sup>,研究4种海参干制方式,对于干品品质、能耗和生产效率3个方面作出比较,分析各种技术的特点及适用性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验原料与试剂

鲜活大连刺参:购买于北京海淀区京港水产品市场;  
氢氧化钾、乙醇、丙酮、乙醚、浓硫酸等:分析纯,北京化工厂;

葡萄糖醛酸标准品:北京仪化通标科技有限公司。

1.2 主要仪器及设备

电子分析天平:TB-214型,赛多利斯科学仪器北京有限公司;

电热恒温水浴锅:DK-S24型,上海森信实验仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG9023A型,上海精宏实验设备有限公司;

紫外分光光度计:UV-2550型,日本岛津公司;

微波真空冷冻干燥机:LG-0.2型,中国农业机械化科学研究院;

扫描电子显微镜:S-3400N型,日本日立公司;

食品物性分析仪:TMS-PRO型,美国FTC公司;

三相四线电力分析仪:TES-3600型,泰仕电子工业股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料处理 在鲜活刺参腹部头尾处开口,去除内脏清水洗净,沸水煮1 h后取出。刺参沸煮后体积收缩,将沸煮后的刺参浸泡在超纯水中冷却发制,每24 h换水,3 d后待刺参体壁涨发变硬,取出刺参进行后续干燥试验。

1.3.2 干燥试验

(1) 热风干燥:热风干燥温度70℃以上时,因温度超过刺参胶原蛋白的收缩温度,刺参感官品质会明显下降,温度在40℃以下时由于干燥时间过长,刺参收缩严重<sup>[6]</sup>,所以干燥温度应选择40~70℃,考虑干燥温度越高,干燥速度越快,最终确定70℃为干燥温度。干燥参数:相对湿度55%~60%,干燥箱内部风速1.5 m/s,待烘箱温度达到70℃后,放入刺参,过程中监测样品含水率,直到原料的湿基含水率低于(12.0±0.5)%。

(2) 微波干燥:微波功率设定为500 W,过程中监测样品含水率,直到原料的湿基含水率低于(12.0±0.5)%。

(3) 真空冷冻干燥:预冻温度-35℃,预冻时间4 h,干燥真空度60 Pa,加热板温度由0℃匀速升温至80℃,设定升温时间6 h,达到80℃后保持温度,冷阱温度为-40℃,利用冻干机自带的重力传感器获取质量数据,至刺参湿基含水率低于(12.0±0.5)%时,停止。

(4) 微波真空冷冻干燥:预冻温度-35℃,预冻4 h,干燥真空度60 Pa,微波功率480 W,冷阱温度为-40℃,过程中监测样品含水率,直至含水率低于(12.0±0.5)%。

1.3.3 指标测定

(1) 酸性黏多糖测定:通过测定葡萄糖醛酸的含量,分析刺参酸性黏多糖含量,采用硫酸咔唑法测定,含量以干基计。

(2) 保形率:刺身干制后体型保形率能反映产品的复水性及冻干工艺水平,可按式(1)计算保形率。

$$K = \frac{l_2}{l_1}, \tag{1}$$

式中:

K——保形率,%;

$l_1$ ——干前体长,mm;

$l_2$ ——干后体长,mm。

(3) 复水比:将干燥海参浸于室温纯净水中,保持5 h后取出刺参原料并沥干表面水分,用电子天平称量获取结果,按式(2)计算复水比。

$$Y = \frac{m_2}{m_1}, \tag{2}$$

式中:

Y——复水比;

$m_1$ ——复水前干海参质量,g;

$m_2$ ——干海参复水沥干后的质量,g。

(4) 质构试验:选取20 mm的圆柱形探头,下降速度60 mm/min,下降位移15 mm,测定复水刺参的弹性。

(5) 感官评分:由10名经培训的感官评价员根据干品及复水品外观、风味、口感3个方面表现进行打分,求平均值,得出最终结果。感官评定方法考虑干刺参本身特点,并参考其他研究者选取感官评价指标的方法<sup>[7]</sup>及相关国家标准<sup>[8]</sup>,评分方法见表1。

表1 冻干刺参感官评价标准<sup>†</sup>

Table 1 Sensory evaluation of VFD *Stichopus japonicus*

| 项目 | 感官评价标准                              | 得分 |
|----|-------------------------------------|----|
| 外观 | 干品体型圆润饱满,海参孔隙小且均匀,复水品切口处无白茬;干品体型较饱满 | 5  |
|    | 干品体壁空隙尺寸不均匀,复水后切口有少量白茬              | 3  |
|    | 干品体型不饱满,有塌缩,体壁空隙大且少,复水口切口白茬多        | 1  |
|    | 复水品口感良好,质地软硬适宜,有弹性,味道新鲜             | 3  |
| 口感 | 复水品口感一般,偏软或偏硬,弹性不足,鲜味不充分            | 2  |
|    | 有不良口感,过硬或过软,有怪味                     | 1  |
| 风味 | 干品带有海参特有的鲜味,无异味                     | 2  |
|    | 干品海参鲜味较淡                            | 1  |
|    | 干品无海参鲜味有焦糊味或其他异味                    | 0  |

<sup>†</sup> 外观、口感、风味3个指标总得分分别为5、3、2分。

(6) 含水率测定:按式(3)计算刺参水分含量,然后在干燥过程中选取时间节点测量样品重量,设备有重力传感器的可以直接读数。湿基含水率按式(4)计算:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

H——刺参的水分含量,%;

$m_1$ ——干燥前铝制干燥盒和刺参的总质量,g;

$m_2$ ——干燥后铝制干燥盒和刺参样品的总质量,g;

$m_3$ ——铝制干燥盒的质量,g。

$$M = \frac{H \times m_0 - (m_0 - m_1)}{m_0}, \tag{4}$$

式中:

M——湿基含水量,%;

H——原料水分含量,%;

$m_0$ ——原料质量,g;

$m_1$ ——干燥过程中刺参质量, g。

(7) 能耗的测定:在刺参干燥过程中,采用平均功率与干燥时间的乘积作为干燥能耗。

(8) 表面微观结构观察:切取约 1 mm 厚的海参干品表皮,喷镀一层厚度 $<100$  nm 的铂金膜,在扫描电镜下观察样品表面微观结构。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干燥方式刺参品质的对比分析

2.1.1 酸性黏多糖含量 由图 1 可知,VFD 刺参酸性黏多糖含量最高(5.02 g/100 g),MD 刺参酸性黏多糖含量最低(4.66 g/100 g),4 种方式酸性黏多糖含量平均值为 4.88 g/100 g,可以看出含量最低的 MD 刺参酸性黏多糖含量与平均值差值仅为 0.2 g,说明 4 种干燥方式对刺参酸性黏多糖含量的影响不明显。MD 刺参酸性黏多糖含量略少于其他干燥方式,原因是微波加热速度较快有局部温度过高的现象,导致少量酸性黏多糖分子变性。

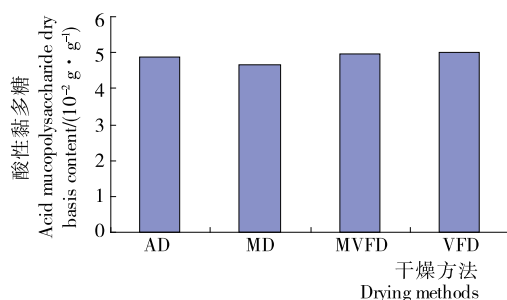


图 1 不同干燥方式酸性黏多糖的对比

Figure 1 Relation of the acid mucopolysaccharide and drying methods

2.1.2 保形率 物料在干燥过程中随着水分的丧失,会产生收缩现象。由图 2 可知,AD 和 MD 产品的收缩严重,保形率分别为 63.0%和 68.4%,而 VFD 产品能保证 90.0%以上的保形率,MVFD 刺参略差于 VFD。主要是因为 VFD 干燥时的水分处于固态,属于升华干燥,所以能较好地保形。AD 和 MD 干燥过程中水分以液体气化的方式去除,刺参不断收缩,而且 MD 干燥过程中刺参温度较高所以变形量大。

2.1.3 复水比 干刺参的复水泡发是消费者食用干刺参重要的环节,传统方式干制的刺参复水非常困难,一般需要 3 d。由图 3 可知,VFD 海参具有最高的复水比,远高于其他干燥

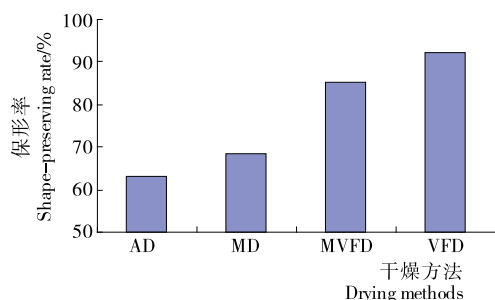


图 2 不同干燥方式保形率的对比

Figure 2 Relation of the Shape-preserving rate and drying methods

方式的产品。MVFD 产品的复水比也较高,而 AD 和 MD 产品的复水比则很低,尤其是 AD 产品复水最差。VFD 刺参复水比最高达到 10.13,而 AD 刺参复水比最低(5.58)。从感官上观察也是如此,AD 和 MD 产品皱缩严重,表面硬化结壳,因此复水非常困难。这是因为 AD 干燥时间长,温度高,水分迁移过程中,大量盐分也迁移至表面,形成了硬化层,而且 AD 刺参收缩严重,内部组织密度大,可供水分扩散的孔道很少,所以在复水时水分很难进入刺参内部。而 MD 干燥则主要是因为微波能量强,温度上升快,且温度传导方向与水分传导方向一致,干燥温度高,容易形成表面硬化层,导致产品复水性差。VFD 由于在真空状态脱水,物料能一定程度保持形态,内部组织较为疏松,复水性相对较好,脱水过程相对于 MVFD 更均匀,物料内部能形成均匀的孔洞结构。

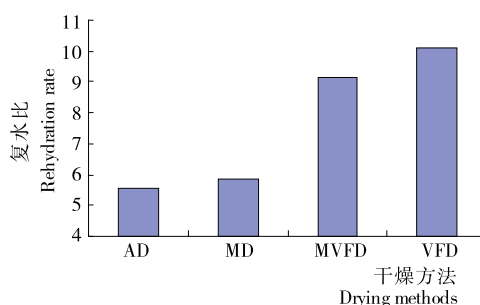


图 3 不同干燥方式复水比的对比

Figure 3 Relation of rehydration and drying methods

2.1.4 弹性 利用质构试验测定弹性主要是与感官评分互为补充,在食品的质地测量方面形成主观评价和客观结果的综合结论。全面测评比较 4 种干燥方式对刺参质地的影响(图 4)可知,VFD 复水品弹性最好,达到 90%以上,最差的是 AD 刺参,低于 70%;MVFD 略差于 VFD,弹性值低约 5%。

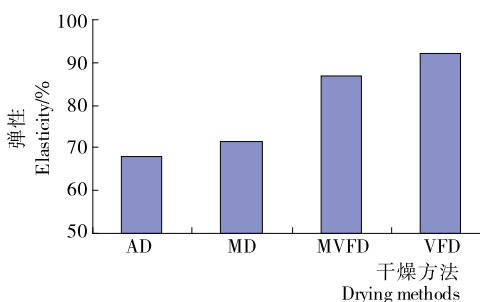


图 4 不同干燥方式弹性的对比

Figure 4 Relation of the elasticity and drying methods

2.1.5 感官品质 由表 2 可知,AD 和 MD 干制刺参外观评分很低,主要原因是刺参发生了较严重的收缩和色变,随着水分不断被除去,刺参体积逐渐缩小,颜色加深,体表刺逐渐萎缩,腹部的开口处逐渐张开。VFD 外观形态最好,整体只有较轻微的收缩,表面能清晰地看到海绵状的组织形态,且基本能保持干燥前的色泽,颜色鲜艳饱满,能看到清晰的颜色变化层次,参刺圆润直立,开口处笔直。MVFD 刺参外观形态较 VFD 刺参差,色泽较暗,缺乏光彩,体型不如 VFD 产品饱满均匀。在复水产品口感方面,VFD 口感最佳,MVFD 仅次于 VFD,复水后体壁弹性十足,有嚼劲,AD 和 MD 刺参

表 2 感官评价结果

Table 2 Sensory evaluation results

| 项目 | AD  | MD  | VFD | MVFD |
|----|-----|-----|-----|------|
| 外观 | 1.0 | 1.2 | 4.5 | 3.2  |
| 口感 | 1.0 | 2.1 | 2.5 | 2.2  |
| 风味 | 0.2 | 0.5 | 1.6 | 1.2  |
| 总分 | 2.2 | 3.8 | 8.6 | 6.6  |

复水后,口感较差,部分位置质地较硬,没嚼劲。在风味方面,VFD 刺参有浓郁的刺参鲜味,MVFD 鲜味较淡,AD 和 MD 刺参因为形成了表面硬壳,基本闻不到刺参的鲜味<sup>[11]</sup>。综上,在感官评价方面,VFD 刺参优势明显,各方面品质均较好,商品价值最高,其次为 MVFD。AD 和 MD 刺参感官较差,无商品价值。

2.2 不同干燥方式干燥时间和能耗的对比分析

2.2.1 干燥时间 由图 5 可知,MD 干燥速度最快 1.5 h 内即可完成干燥,其次为 MVFD 和 AD,VFD 需要约 16.5 h 才能使刺参湿基含水率达到 12%以下。MVFD 因为加热效率较高,相对于 VFD,将干燥过程缩短了约 8 h。

2.2.2 能耗 由表 3 可知,VFD 能耗最高,MVFD 相对于 VFD 能节能约 60%。

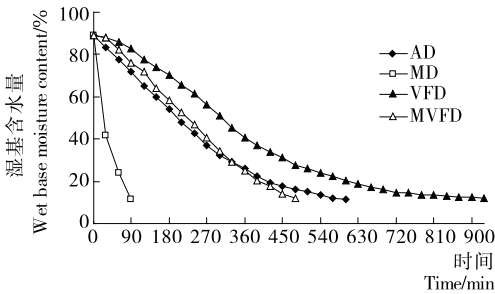


图 5 不同干燥方式的干燥曲线

Figure 5 Drying curve of different drying methods

表 3 不同干燥方法的能耗

Table 3 Relation of energy consumption and drying methods

| 方法   | 功率/kW | 能耗/(kW·h) |
|------|-------|-----------|
| AD   | 0.484 | 4.484     |
| MD   | 0.224 | 0.336     |
| VFD  | 1.812 | 29.898    |
| MVFD | 1.382 | 11.056    |

2.3 不同干燥方式表面微观结构的对比分析

由图 6 可知,VFD 产品形成了均匀多孔的海绵状结构,这是冰晶升华形成的孔洞,孔洞细密且均匀。MVFD 产品与 VFD 产品相比孔洞均匀性差,MD 和 AD 产品无较好的孔隙结构。微观结构一定程度说明 4 种干燥方式在感官和质地等方面存在差异的原因是干燥条件影响了刺参的组织结构。

3 结论

采用 AD、MD、MVFD 和 VFD 4 种方法干燥刺参,分析

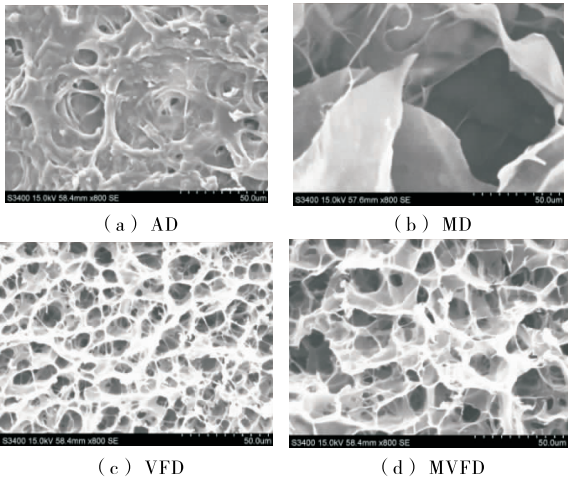


图 6 不同干燥方式产品表面微观结构图

Figure 6 Relation of surface microstructure and drying method (×800)

了干燥方法对刺参酸性黏多糖含量的影响,并对比了相应干燥产品的复水性、收缩率及感官特性,同时分析比较了不同干燥方法的干燥时间及能耗。

(1) 分析表明 VFD 刺参品质较好,MD 方法速度最快、能耗最低,MVFD 能一定程度地保证产品品质且降低能耗并缩短干燥时间。

(2) 通过对比干刺参表面微观结构,发现 VFD 刺参形成了疏松多孔的骨架,相较于其他 3 种方法干燥的刺参产品,孔洞更为均匀密集,是冻干刺参复水性好的原因之一。

(3) 研究选取的 MVFD 干燥方法工艺复杂,参数较多,后续工作中可通过工艺优化,在产品品质及工艺经济性方面作出有效改善,为干海参大规模生产加工提供参考。同时,也可选取多种海参活性物质作为研究对象,重点分析干燥方法对刺参活性物质的影响。

参考文献

[1] 朱兰兰,吴晶,周德庆,等. 海参的加工利用与品质评价研究进展[J]. 农产品加工: 上半月, 2015(12): 60-63.

[2] 张国琛,毛志怀. 水产品干燥技术的研究进展[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 297-300.

[3] 夏亚男,侯丽娟,齐晓茹,等. 食品干燥技术与设备研究进展[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(4): 204-208.

[4] 胡志超,陈有庆,谢焕雄,等. 微波真空冷冻干燥技术研究及应用现状[J]. 农机化研究, 2009, 31(9): 6-9.

[5] 张新明,王君政. 刺参营养价值研究进展[J]. 养殖与饲料, 2017 (6): 43-47.

[6] 孙妍,薛长湖,齐祥明,等. 海参最佳对流干燥温度的研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 205-209.

[7] 李丹,李焕威,赵瑞峰,等. 干燥方式对上部烟叶感官质量的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 192-195.

[8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 10220—2012 感官分析 方法学 总论[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 4-9.

[9] JAYEETA Mitra, SHANKER L Shrivastava, PAVULURI S Rao. Non-enzymatic browning and flavour kinetics of vacuum dried onion slices[J]. International Agrophysics, 2015, 29(1): 91-95.