热风风速和相对湿度对扇贝柱干燥特性及品质的影响

王雅娇，郭洁，姚思远，王颉

（河北农业大学食品科技学院，国家果蔬加工技术研发专业分中心，河北保定 071000）

摘要：本试验以海湾扇贝柱为原材料，进行薄层干燥试验，研究恒定风温下不同热风风速、相对湿度对产品干燥特性和品质的影响。测定干燥过程中水分含量和水分活度（A_w）的变化，并对所得产品的收缩率、复水率、色泽、质构等品质特性进行了比较分析。结果表明，整个干燥过程均处于降速干燥阶段，起始阶段干燥速率下降最快，随着干燥时间的延长，干燥速率逐渐平缓。提高风速、降低热风相对湿度都可以显著缩短干燥时间，水分活度（A_w）下降速也越快。不同热风风速和相对湿度对干贝的质构特性、收缩率和复水率也有显著影响，但是对干贝色泽影响并不显著。综合考量干燥速率和干制品品质，选择热风风速为 0.8~1.2 m/s、热风相对湿度在 8%左右为较适宜的海湾扇贝柱热风干燥条件。

关键词：扇贝柱；热风干燥；风速；相对湿度；干燥特性

文章篇号：1673-9078(2013)12-2915-2920

Effects of Different Hot-air Drying Parameters on Drying Characteristics and Quality of Scallops

WANG Ya-jiao, GUO Jie, YAO Si-yuan, WANG Jie

(College of Food Science and Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract: In order to observe the thin layer hot-air drying character of *scallops*, the influences of the different air flow velocities and different relative humidities on the drying process of thin layer hot-air drying of the *scallops* under constant temperature condition were studied. The results showed that the whole drying procedure of scallops was slowly. Increasing the air flow velocity or decreasing the relative humidity resulted in a significant decrease of drying time and water activity (*Aw*). Different air flow velocities and different relative humidities had obvious influence on the textural properties, shrinkage ratio and rehydration rate, but had no significant effect on the scallops color. The optimal parameters were air flow velocity 0.8~1.2 m/s and relative humidity 8%.

Key words: scallop; hot-air drying; air flow velocity; relative humidity; physicochemical properties

扇贝的闭壳肌（贝柱）蛋白质含量高、营养丰富、滋味鲜美，是一种深受人们喜爱的海产品。但是扇贝收获具有明显的季节性和地域性，且其体表黏附着多种细菌，肌肉组织水分含量高，体内酶类在常温下活性强，腐败变质速度很快，贮藏期极短[1]。干贝制品以其营养丰富、风味独特、耐贮存、携带方便等特点受到广大消费者的欢迎。同时，干贝不需冷藏，从生产到消费的过程中不需冷链贮藏，并且水分含量相对较低，使运输、储藏和食用更为简便、成本低。此外，还可避免低温链过长引起的污染和品质降低[2]。因此，将新鲜扇贝柱制成干贝是目前主要的加工方法之一。

海产品传统的干燥方式多为开放式的日光晾晒干燥，因其成本低廉、无需特殊设备而一直沿用至今，但由于自然晾晒干燥过程难以控制、劳动力消耗大、需要较大的干燥场地、产品品质不高等，已严重制约了我国海产品干制行业的发展。近些年来，热风干燥由于干燥设备简单、操作方便、产品质量明显高于传统自然晾晒干燥而受到广泛关注[3~4]。目前，已有关于水产品热风干燥特性的研究，贾敏等[5]研究了鲍鱼热风干燥的动力学模型，E Marquez-Rios[6]等研究了预处理时添加柠檬酸对扇贝干制过程的影响，而针对热风干燥工艺参数中尤其是风速以及相对湿度对扇贝干燥特性和干制品品质的研究并不多见。

一般水产品热风干燥的风温在 50~60 ℃范围[7]，经过预试验得出 55 ℃为海湾扇贝柱较适宜的热风干燥温度，通过研究热风风速和相对湿度对扇贝柱热风干燥特性，以及扇贝干制品的质构、色泽、收缩率和复水率的影响，旨在为扇贝资源的精深加工利用提供理论参考和技术指导。

收稿日期：2013-09-08

基金项目：国家海洋公益性行业科研专项项目（201205031）；国家海洋公益性行业科研专项（200805046）

作者简介：王雅娇（1988-），女，硕士研究生

通讯作者：王颉（1959-），男，博士，教授，博士生导师

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

海湾扇贝柱：购自秦皇岛科技市场，系渤海湾黄骅附近海域养殖品种；食盐：市售。

1.1.2 试验试剂

氧化钙：分析纯。

1.1.3 主要试验仪器

GZX-9140MBE 电热鼓风恒温干燥箱；DFY-80 低噪音离心风机；TMS-Pro 型食品物性分析仪；AquLab S-3 水分活度测定仪；CR-400 色彩色差计；EDK-1A 手持风速仪；AR847+分体式温湿度计；玻璃干燥器、坩埚（购于当地仪器公司）。

1.2 试验方法

1.2.1 电热鼓风恒温干燥箱改造示意图

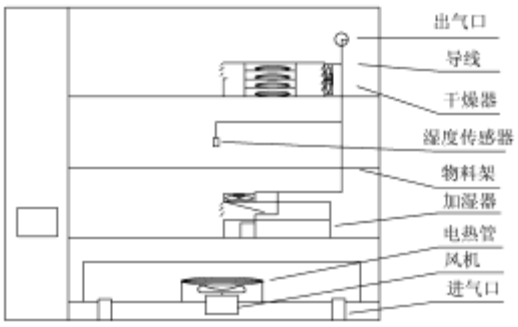


图 1 电热鼓风恒温干燥箱内部示意图

Fig.1 The diagrammatic sketch of the electrothermal drying box

为了满足实验需求，对实验室现有的 GZX-9140 MBE 型电热鼓风恒温干燥箱进行了改造，如图 1 所示。此烘箱有两个进气口、一个出气口，风机为 DFY-80 型低噪音离心风机，风速可调。将风速传感器固定在箱内出风口正上方，烘箱一层放置加湿器，三层放置除湿器，第二层为物料干燥层，导线从出风口接出至电源及控制器。加湿部分由箱体、风机、铝挡板、超声波雾化器、风口组成。除湿部分由箱体、风机、铁丝架、风口组成，进气口和出气口均设置风口，以防止风机关闭时潮湿气体进入控制器内。

1.2.2 预处理方法

将购于市场上的新鲜扇贝柱去除裙边和其他杂质，用清水冲洗干净后分装到真空包装袋中封口备用。

干燥前进行预煮处理，蒸煮液为 6%的盐水，预煮时间为 1 min，煮后捞出、沥干，待干燥，测得扇贝柱的初始含水量为 71~75%。

扇贝柱经过预煮后其肌肉蛋白质凝固脱水，此时由于肌肉组织收缩使其结构变得疏松，更有利于干燥过程中水分的扩散。另外，高温可以杀死扇贝柱体表和体内的细菌，钝化体内组织中的酶类，从而延长产品的贮藏期。预煮时加入适量的食盐也有加速脱水的作用[8]。

1.2.3 干燥试验

风速试验：为了研究热风风速对扇贝柱干燥速率和水分活度(A_w)的影响，取预煮后的扇贝柱于 55 ℃风温，8%相对湿度，风速分别为 0.4、0.8、1.2、1.6 和 2.0 m/s 的电热鼓风恒温干燥箱内进行干燥试验。每隔一小时测定样品水分含量（干基）、A_w，至样品含水量为 19（±1）%时即为干燥终点。

湿度试验：为了研究热风相对湿度对扇贝柱干燥速率和 A_w 的影响，取预煮后的扇贝柱于 55 ℃恒定风温，1.2 m/s 风速，相对湿度分别为 5、8、10、13 和 15%的电热鼓风恒温干燥箱内进行干燥试验。每隔一小时测定样品水分含量（干基）、A_w，至样品含水量为 19（±1）%时即为干燥终点。

1.2.4 热风干燥参数对扇贝柱质构和色泽的影响

为了研究热风风速、相对湿度对扇贝柱干燥后产品质构和色泽的影响，取不同风速、热风相对湿度条件下的干燥开始前和结束后的样品，测定其硬度、弹性、咀嚼性和色泽，比较不同干燥条件下样品各项指标的变化。

1.2.5 热风干燥参数对扇贝柱收缩率、复水率及复水后品质的影响

为了研究热风风速、相对湿度对扇贝柱收缩率和复水率的影响，取不同风速、热风相对湿度条件下的干燥结束后的样品，测量其收缩率、复水率，比较各项指标的变化。

1.2.6 测定方法

1.2.6.1 干基含水量

采用 GB 5009.3-2010 直接法进行测定，重复 3 次。

1.2.6.2 水分活度[9]

使用法国 GBX 公司 AquLab S-3 型水分活度仪测定水分活度，称取研碎的扇贝柱平铺于水分活度盒中（试样体积约占 3/4）进行测定，待测定值稳定后度数，重复 3 次。

1.2.6.3 色泽测定[10]

使用柯尼卡美能达公司 CR-400 型色差计测定干燥后样品的 L*值、a*值和 b*值。其中 L*值表示明度，值越大表示亮度越大；Hunter 标度中的 a 轴值，正数

代表红色，负数代表绿色；b 轴值，正数代表黄色，负数代表蓝色。色泽测定选在相同自然灯光下进行，重复 3 次。随机选择 3 颗表面平整的干贝，在其表面附一层保鲜膜进行测定。

1.2.6.4 质构[11]

使用美国 Food Technology Corporation 公司食品物性仪对干燥、前后样品进行测定。选取表面平整的扇贝柱竖直立于检测台上进行测定，重复 3 次。测定条件的选择见表 1。

表 1 质构测试相关参数

Table 1 Parameters of TPA

测试前速度	测试速度	测试后速度	压缩率	压缩间隔时间	探头
2 mm/s	3 mm/s	3 mm/s	distance50%	0 sec.	1 cm 圆柱探头

为了对样品进行更好的评价，最终选取的评价指标包括：硬度、弹性和咀嚼性。其中，硬度即为第一次挤时的最大力，模拟人咀嚼食物时牙齿的挤压力；弹性是第二次循环前样品回升的高度；咀嚼度是模拟表示咀嚼固体食品所需的能量。

1.2.6.5 收缩率[12]

收缩率的计算公式为 $r=(V-V_0)/V\times 100\%$，

注：r 为收速率，V 为干燥前扇贝柱的体积（cm^3），V_0 为干燥终止后扇贝柱的体积（cm^3），体积测定均采用置换法测定，重复 3 次。

1.2.6.6 复水率[12]

复水率用复原率表征。复原率计算公式为：

$R_f=m_f/m_g\times 100\%$

注：R_f 为复原率，m_f 为干贝在 100 ℃的沸水中复水 5 min 后沥干测得的样品重（g）；m_g 为扇贝柱干预煮，冷却沥干水分后测得的样品重（g），重复 3 次。

1.3 数据统计分析

采用方差分析（ANOVA）进行数据分析，用 OriginPro 8.0进行统计分析并制图，差异性显著性（$P<0.05$）。所有试验均重复3次。

2 结果与分析

2.1 热风干燥参数对扇贝柱干燥速度的影响

物料的干燥是一个复杂的传热与传质同时发生的过程，控制物料干燥中的水分是热风干燥过程十分重要的环节。在对扇贝柱制过程中，影响干燥速率的因素主要有热风温度、风速、湿度、载物量等。不同热风风速、湿度条件下，扇贝柱的干燥曲线如图 2、图 3 所示。

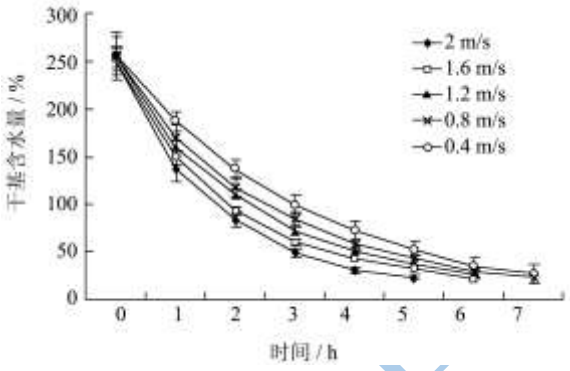


图 2 热风风速对扇贝含水量的影响

Fig.2 The effects of moisture content on different air flow velocities

由图 2 可见，在热风温度、湿度恒定的情况下，随着热风风速的提高，干制过程中水分含量降低速度加快，干制所需时间缩短，说明风速对干燥速率有显著影响。这是由于提高风速可以使干燥室内水分更快的逸出，从而使干燥室内相对湿度降低，使其与物料间的湿度差增大，干燥速率加快。最大风速和最小风速干制时间相差 3 h。对干燥过程中对虾表面变化的观察表明，风速在 1.6 m/s 和 2.0 m/s 时，扇贝发生皱缩时间早，皱缩程度大。风速愈大，愈易产生较大皱缩。因此，为了得到品质较好的干贝，热风风速不宜过大。

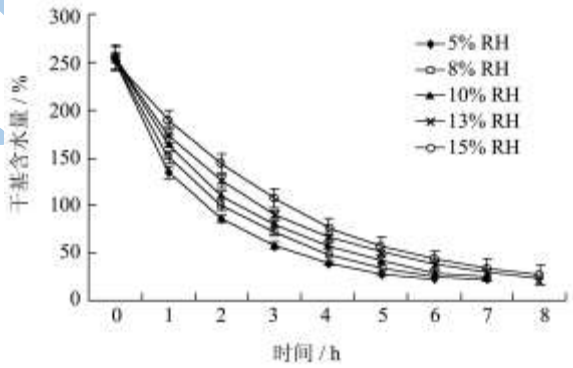


图 3 热风相对湿度对扇贝含水量的影响

Fig.3 The effects of moisture content on different relative humidities

由图 3 可见，在热风温度、风速恒定的情况下，随着相对湿度的降低，干制过程中水分含量降低速度加快，干制所需时间缩短，说明风速对干燥速率有显著影响。这是由于降低干燥室内相对湿度使物料和干燥介质间湿度差增大，干燥速率加快。最大相对湿度和最相对湿度干制时间相差 3 h。对干燥过程中对虾表面变化的观察表明，相对湿度为 5%时，扇贝表面发生开裂时间早，开裂程度大。相对湿度愈小，愈易产生较大开裂。因此，为了得到品质较好的干贝，热风风速不宜过大。

此外，从图 2、3 可见，不同条件下，整个干燥过

程均处于降速干燥阶段，且起始阶段干燥速率下降最快，随着干燥时间的延长，干燥速率逐渐平缓，这与白鲢鱼鱼片[13]、海参[14]等的干燥特性相似。扇贝柱干燥由表面水分蒸发和内部水分扩散两部分组成，降速干燥阶段其内部水分扩散速率小于表面气化速率，即内部水分扩散速率起主导作用。干燥初期由于扇贝柱表面含水率高，表面气化速度很快，表现为干燥速率较快；随着干燥时间的延长，扇贝柱含水量逐渐降低，水分内部扩散阻力不断加大，干燥速率随之降低，干燥后期干燥强度的提高对干燥速率影响不大，而提高物料内部的湿分扩散速度是解决问题的关键。因此，为了得到品质较好的干贝，热风风速不宜过大，热风内相对湿度不宜过小。

2.2 热风干燥参数对水分活度 A_w 的影响

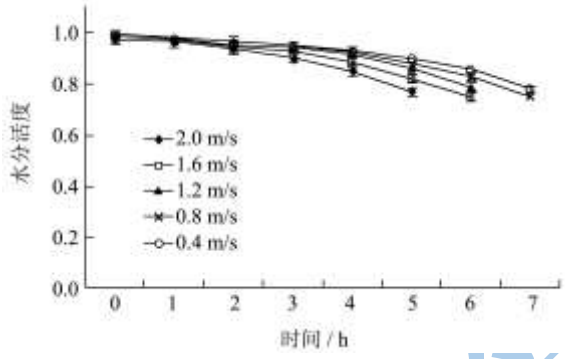


图 4 热风风速对扇贝 *Aw* 的影响

Fig.4 The effects of *Aw* on different air flow velocities

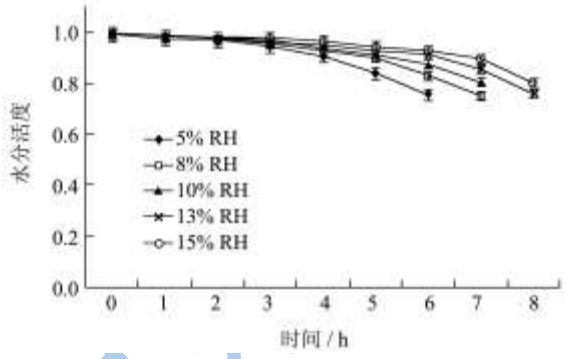


图 5 热风相对湿度对扇贝 *Aw* 的影响

Fig.5 The effects of Aw on different relative humidities

水分活度的概念由澳大利亚科学家 W J Scott 首次提出，它由食品中存在的水分含量与可用性物质的含量两个因素决定。微生物是引起食品贮藏期间腐败变质的的主要原因。有文献表明，大多数新鲜水产品的 A_w 均在 0.99 以上，十分适合微生物生长繁殖，干制品一般要求 A_w 低于 0.69，此时长期贮藏更为安全[15]。但由于扇贝柱自身特性，当其干制到 A_w 小于 0.7 时，得到的产品水分含量低于 15%，且干硬严重，几乎无法食用。根据农业行业标准规定，干制水产品含水量低于 22%，此时测得扇贝柱 A_w<0.80，干贝在外观、口感以及微生物指标等方面均有良好体现。不同热风风速、湿度条件下，扇贝柱干燥过程中 A_w 变化如图 4、图 5 所示。

由图 4、5 可见,不同热风风速、相对湿度条件下，干燥前 3 h A_w 变化不明显，从第 4 h 开始风速为 2 m/s 与其他各组 A_w 差异性显著；从第 4 h 开始相对湿度为 5%与其他各组 A_w 差异性显著，干燥结束时各组 A_w 均低于 0.8，且差异不显著。这是由于干燥前期蒸发的水分大部分为游离水，此阶段对 A_w 影响不大，干燥后期由于大部分游离水的丧失是扇贝柱内部的结合水不断向外扩散并蒸发，A_w 出现加速下降的趋势。

2.3 热风干燥参数对扇贝柱质构的影响

测得不同热风风速下干贝的质构特性见表 2。测得不同相对湿度下干贝的质构特性见表 3。

表 2 风速对扇贝柱质构的影响

Table 2 The effects of TPA parameters on different air flow velocities

热风风速	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ
干燥前	5.47±0.21^{a}	6.09±0.23^{a}	5.30±0.37^{a}
0.4 m/s	20.76±2.30b^{b}	2.80±0.59^{b}	18.44±2.45^{b}
0.8 m/s	22.53±2.47^{b}	2.50±0.28^{b}	18.53±1.53^{b}
1.2 m/s	27.95±2.00^{c}	1.69±0.27^{c}	20.30±2.71^{c}
1.6 m/s	30.93±2.26^{d}	1.56±1.04^{c}	21.34±2.67^{c}
2.0 m/s	31.10±1.78^{d}	1.61±0.46^{c}	21.28±1.81^{c}

注：表中同一列数据不同上标字母代表显著性差异（P<0.05）；每个参数测 3 次取平均值，X±S，下同。

表 3 热风湿度对扇贝柱质构参数的影响

Table 3 The effect of TPA parameters on different relative humidities

热风相对湿度	硬度/N	弹性/mm	咀嚼性/mJ
干燥前	5.83±0.12^{a}	6.59±0.18^{a}	6.17±0.47^{a}
5% RH	25.3±0.85^{b}	1.80±0.62^{b}	18.38±2.53^{b}
8% RH	25.47±0.76^{b}	1.37±0.16^{b}	19.03±2.06^{b}
10% RH	23.97±1.21^{c}	1.46±0.50^{b}	17.97±0.78^{b}
13% RH	21.63±0.35^{d}	1.92±0.66^{b}	16.27±0.82^{c}
15% RH	21.37±0.64^{d}	1.97±0.75^{b}	15.01±1.43^{c}

由表 2、3 可知，不同条件下干燥后各质构参数均与干燥前差异性显著，干燥后样品的硬度、咀嚼性较干燥前明显增大，而弹性稍有降低。风速为 0.4 m/s、0.8 m/s 时其硬度、弹性、咀嚼性与其它几组差异均显著。热风相对湿度为 13%、15%时其硬度、咀嚼性均较小，且与其它几组差异显著。

分析质构变化的主要原因是蛋白质的变性，即蛋白质的热变性和因盐析作用而变性。干燥过程一直是在高温下进行的,在高强度干燥条件下水分剧烈蒸发，促使更多的酪蛋白形成网络结构，从而表现为硬度增强。同时，由于内部肌纤维的收缩作用，发生不可逆的形变，不均匀干缩，造成样品弹性减小[16]。咀嚼性是咀嚼固体时所需能量的指标，值越大表明越坚韧。所以，在干燥过程中，加大风速、降低热风相对湿度都可以缩短干燥时间，但对产品品质、口感会造成一定不利的影响。

2.4 热风干燥参数对扇贝柱色泽的影响

测得不同热风风速下干燥前和干燥结束后扇贝柱的色泽见表 4。测得不同热风相对湿度下干燥前和干燥结束后扇贝柱的色泽见表5。

表 4 风速对扇贝柱色泽的影响

Table 4 Effect of the color parameters on different air flow velocities

热风风速	色泽		
	L^*	a^*	b^*
干燥前	71.50±1.84^a	-0.45±0.55^a	12.66±1.48^a
0.4 m/s	62.39±1.36^b	3.39±1.11^b	17.43±1.72^b
0.8 m/s	62.96±1.60^b	3.26±1.57^b	17.74±1.78^b
1.2 m/s	61.61±1.72^b	3.37±1.09^b	19.03±1.94^b
1.6 m/s	59.57±2.24^b	2.93±1.68^b	18.08±1.56^b
2.0 m/s	59.60±1.67^b	3.35±0.99^b	18.73±1.40^b

表 5 热风湿度对扇贝柱色泽的影响

Table 5 Effect of the color parameters on different relative humidities

热风相对湿度	色泽		
	L^*	a^*	b^*
干燥前	75.37±1.55^a	-0.40±0.63^a	12.85±1.98^a
5%	62.47±1.56^b	1.92±0.49^b	19.77±2.53^b
8%	59.57±2.67^b	1.62±1.27^b	18.48±2.31^b
10%	61.32±2.67^b	1.93±0.38^b	18.20±2.52^b
13%	57.09±2.73^b	2.80±1.74^b	17.82±2.68^b
15%	59.30±1.64^b	2.00±1.58^b	16.87±2.64^b

由表 4、5 可知，各干燥条件下所得干贝的色泽参数 L*、a*、b*与干燥前的扇贝柱均有显著性差异，呈现暗黄色。随着热风风速的升高、相对湿度的降低，样品的亮度（L*）降低，绿度（a*）和黄度（b*）都略有上升，这可能是由于较高温度下扇贝柱结缔组织中的还原糖和肌肉蛋白的氨基易于发生美拉德反应引起的非酶褐变，导致较多棕色产物的生成，表现为亮度降低。

2.5 主要干燥参数对干贝收缩特性和复水特性的影响

不同风速对扇贝柱收速率、复水率影响如图 6 所示。不同湿度对扇贝柱收缩率、复水率影响如图 7 所示。

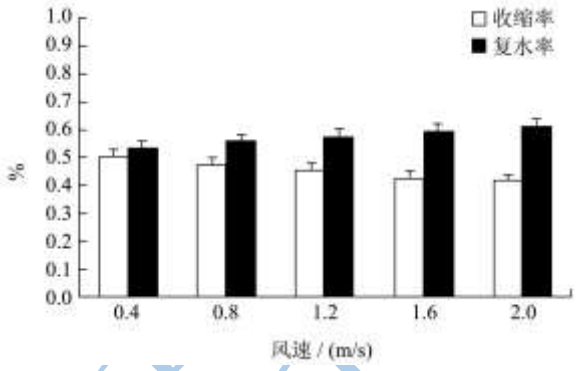


图 6 风速对收缩率和复水率的影响

Fig.6 The shrinkage and rehydration at different air flow velocities

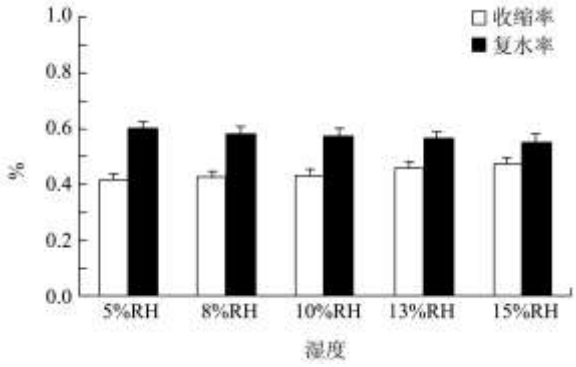


图 7 风速对收缩率和复水率的影响

Fig.7 The shrinkage and rehydration at different relative humidities

由图 6、7 可知，提高热风风速、降低热风相对湿度都会使干贝的收缩率减小。当风速从 0.4 m/s 提高到 2.0 m/s，干贝的收缩率由 50.40%降低到 40.16%；相对湿度由 15%降低到 5%，干贝收缩率由 47.27%降低到 41.58%。提高风速、降低湿度也会使复水率增大。不同风速、相对湿度下干贝的收缩率复水率差异均显著。

上述现象的产生可能与扇贝柱的肌肉组织结构有关。肌肉组织由横纹肌组成[17]，提高热风风速或降低相对湿度都是提高干燥强度。在高温快速干燥过程中，扇贝柱表面远在中心干制前已干硬，之后表面肌纤维束与内层纤维束之间形成的水分梯度加大，产生较大的内部应力，而出现内裂、空隙和蜂窝状结构,此时，表面与内层肌纤维束相连不够紧密，不能一起收缩，

最终表现为收缩率减小。此时产品的坚实度降低，复原性良好，但是由于其多孔性使产品易碎、易被氧化，在包装、运输和贮藏方面有一定局限性。由于干燥过程蛋白质发生了很大的变化，其酶活性、抽提性和持水性等的丧失，使干制品肉质致密而坚硬，但复水后往往只能吸收干燥时失去的一半水分[18]。

3 结论

3.1 影响扇贝柱热风干燥速率的因素有热风风速和热风相对湿度。提高热风风速或降低热风相对湿度都能明显提高扇贝柱热风干燥速率，缩短干燥时间。

3.2 热风风速和相对湿度对产品质构有一定影响。提高风速或降低热风湿度都会使干贝收缩率降低，复水率提高，但硬度、咀嚼性变大，致密程度和坚实度明显降低,产品品质下降；但是对产品色泽影响不大。因此，使用热风干燥扇贝柱时，干燥强度不宜过大，即热风风速不宜过大，热风相对湿度不宜过小。

3.3 为了得到品质较好且干燥时间较短的扇贝干制品，热风风速应控制在 0.8~1.2 m/s；热风相对湿度在 8% RH 左右时较为适宜。

参考文献

[1] Bala B K, Mondol M R A. Experimental investigation on solar drying of fish using solar tunnel dryer [J]. Drying Technology, 2009, 2: 427-436

[2] Stringham J C, Southard J H, Hegge J, et al. Limitations of heart preservation by cold storage [J]. Transplantation, 1992, 53(2): 287-293

[3] K J Chua, S K Chou. Low-cost drying methods for developing countries [J]. Trends in Food Science & Technology, 2003, 14: 519-528.

[4] Luo H, Xia W, Xu Y, et al. Diffusive Model with Variable Effective Diffusivity Considering Shrinkage for Hot-Air Drying of Lightly Salted Grass Carp Fillets [J]. Drying Technology, 2013, 31 (7): 752-758

[5] 贾敏,从海花,薛长湖,等.鲍鱼热风干燥动力学及干燥过程数学模拟[J].食品工业科技,2012,33(3):72-80
JIA Min, CONG Hai-hua, XUE Chang-hu, et al. Drying kinetics and mathematical modeling of abalone during the hot-air drying process [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(3): 72-80

[6] E Marquez-Rios, V M Ocaño-Higuera, A N Maeda-Martínez. Citric acid as pretreatment in drying of Pacific Lion's Paw Scallop (Nodipecten subnodosus) meats [J]. Food Chemistry, 2009, 112 (2): 599-603

[7] 刘红英.水产品加工与贮藏[M].北京:化学工业出版社,2006
LIU Hong-ying. Processing and storage of aquatic products [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006

[8] Cruz Romero M, Kelly A L, Kerry J P. Effects of high-pressure and heat treatments on physical and biochemical characteristics of oysters (Crassostrea gigas) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8: 30-38

[9] Benjamin Caballero. Water Activity Principles and Measurement [M] Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition), 2003

[10] Aysun Maskan, Sevim Kaya, Medeni Maskan. Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil) [J]. Journal of Food Engineering, 2002, 54(8): 75-80

[11] A M Herrero, J A Ordóñez, Romero de Avila. Breaking strength of dry fermented sausages and their correlation with texture profile analysis (TPA) and physico-chemical characteristics [J]. Meat Science, 2007, 77(11): 331-338

[12] Zhen-hua Duan, Li-na Jiang, Ju-lan Wang. Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating [J]. Food and Bioproducts Processing, 2011, 89(10): 472-476

[13] 曾令彬,赵思明,熊善柏,等.风干白鲢的热风干燥模型及内部水分扩散特性[J].农业工程学报,2008,24(7):280-283
ZENG Ling-bin, ZHAO Si-ming, XIONG Shan-bai, et al. Modeling and moisture diffusion properties of salted silver carp during hot-air drying [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(7): 280-283

[14] 丛海花,薛长湖,孙妍,等.热泵-热风组合干燥方式对干制海参品质的改善[J].农业工程学报,2010,26(5):342-346
CONG Hai-hua, XUE Chang-hu, SUN Yan, et al. Quality improvement of dried sea cucumber by combined heat pump and hot air method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(5): 342-346

[15] J Ruiz Ramírez, X Serra, J Arnau, et al. Profiles of water content, water activity and texture in crusted dry-cured loin and in non-crusted dry-cured loin [J]. Meat Science, 2005, 69 (3): 519-525

[16] 刘珊,刘晓艳.热变性对蛋白质理化性质的影响[J].中国食品添加剂,2006(6):108-112
LIU Shan, LIU Xiao-yan. The thermal denaturation of protein [J]. China Food Additives, 2006, 6: 108-112

[17] Lisbeth Dahl, Marianne Molin, Heidi Amlund. Stability of arsenic compounds in seafood samples during processing and

storage by freezing [J]. Food Chemistry, 2010, 123(3): 720-727

[18] Cruz Romero M, Kelly A L, Kerry J P. Effects of high-pressure and heat treatments on physical and biochemical characteristics of oysters (Crassostrea gigas) [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2007, 8: 30-38

现代食品科技