

低盐处理对扇贝柱热风干燥品质的影响

郭 洁,白凤岐,李笑颜,王 颖*

(河北农业大学食品科技学院,河北保定 071000)

摘 要:以海湾扇贝柱为原料,分析研究在扇贝柱热风干燥过程中不同热风干燥温度、食盐浓度对扇贝柱干燥品质的影响,选取扇贝柱质构、色泽、收缩率与复水率为指标,确定了扇贝柱热风干燥的最优工艺条件。同时测定了扇贝柱干燥过程中水分含量和水分活度的变化,结果表明不同热风干燥温度以及食盐浓度对扇贝柱的干基含水率的影响差异性显著,干燥温度为55℃最优,干燥完成水分含量为20.0%±1.6%。不同食盐浓度对扇贝柱热风干燥质构参数、色泽参数、复水率影响差异性显著,食盐浓度为3%时的质构参数、色泽参数明显优于其他浓度处理的扇贝柱,对扇贝柱收缩率影响差异性不显著。综合热风干燥温度和食盐浓度对扇贝柱干燥特性的影响,确定扇贝柱热风干燥最优工艺条件为:热风干燥温度为55℃,预煮食盐浓度为3%,干燥时间为8h。

关键词:食盐浓度,热风干燥,扇贝柱,干燥品质

Effect of low salt on scallop quality in hot air drying

GUO Jie, BAI Feng-qi, LI Xiao-yan, WANG Jie*

(College of Food Science & Technology, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000 China)

Abstract: The bay scallop columns were chosen as raw materials, the quality of scallop under different hot air temperature and salt content were analyzed. The textural properties, color, shrinkage and rehydration were selected as indicators to determine the optimization of the hot air processing on bay scallop, also, the changes of water content and water activity during the drying process were studied. Results showed there were significant differences on water content and water activity among different hot air temperature and salt content, and the quality of bay scallop was the best under the hot air temperature of 55℃ with the water content of 20.0%±1.6% in the end. There were significant differences among textural properties, color dates and rehydration except for shrinkage. Meanwhile, the textural properties, color dates with 3% salt content were better than other salt concentration. Taking the hot air drying temperature and salt content on the quality of bay scallop during hot drying into consideration, the optimal hot air drying condition was obtained, with hot air drying of 55℃, salt content of 3% and the hot air drying time of 8h.

Key words: salt concentration; hot air drying; scallops column; quality of drying

中图分类号: TS254.4

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)14-0303-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.14.053

扇贝 (scallop) 属于双壳软体动物, 扇贝科。扇贝不仅是世界海洋生态系统的重要资源, 而且是一种具有全球商业价值的水产品^[1]。扇贝营养丰富, 肉质鲜美, 具有很高的食用价值和药用价值。扇贝柱含有丰富的蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素和微量元素等营养物质^[2], 并且还含有多种人体必需的氨基酸、不饱和脂肪酸^[3]、多糖^[4]、多肽^[5]、牛磺酸、胆碱等多种生物活性物质, 具有抗氧化、抗肿瘤、抗衰老和抗辐射等多种生物功能^[6-8], 是值得开发利用的优良贝类。

然而, 鲜活扇贝水分含量高, 具有易腐败变质的特性, 极不易长期储藏^[9]。目前, 国内扇贝加工主要有

干制、冷冻和真空包装等方法^[10]。干制是一种最传统的适合食品长期保存的方法^[11], 食品在干制过程中能大大降低食品中的水分活度, 抑制微生物的生长, 延长保质期, 保证产品的品质^[12-13]。目前, 扇贝干制主要采用传统的日光晾晒方法, 但目前此方法不易控制, 容易受到天气和周围环境如虫害、灰尘的影响, 导致产品质量下降^[14], 严重制约了扇贝干制产业的发展。目前热风干燥广泛应用于扇贝干制, 且一般水产品热风干燥温度为50~60℃^[15], 张国琛等研究了热风干燥参数对扇贝柱干燥速度及品质的影响, 结果表明, 热风干燥最适温度为55~70℃, 而且热风温度超过70℃, 会严重影响扇贝柱干燥品质, 风速为0.7~

收稿日期: 2014-09-01

作者简介: 郭洁 (1988-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全。

* 通讯作者: 王颖 (1959-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 枣酒酿造及水产品加工。

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项项目 (201205031)。

1.2m/s,相对湿度为8%^[10]。扇贝柱的低盐处理能提高原料失水速率,降低水分活度,抑制微生物的生长,改善产品的风味,延长贮藏时间。

本文初步研究了不同食盐浓度处理对扇贝柱热风干燥品质的影响,通过测定干燥过程中干燥特性指标的变化,得到扇贝柱热风干燥预处理的最优工艺条件,为扇贝柱的热风干燥提供数据与理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

海湾扇贝柱 购于河北省秦皇岛昌黎县,规格60~80粒/500g,每粒直径为1~2cm,将新鲜扇贝剥壳去除裙边和内脏,清洗干净后真空包装,放置在-18℃冰箱中冷冻备用;食盐 市售。

DHG-9070A电热鼓风恒温干燥箱 河南予华仪器有限公司;WA.130-MB35水分含量仪 北京卓川电子科技有限公司;FA-stlab水分活度测定仪 法国GBX公司;CR-400色彩色差计 柯尼卡美能达公司;TMS-Pro物性分析仪 美国Food Technology Corporation公司;AR826手持风速仪 香港希玛仪器仪表有限公司。

1.2 实验方法

扇贝柱经过不同浓度(0%、2%、3%、4%)的食盐溶液预煮,预煮时间为3min,煮后在室温下沥干5min,待干燥;将经过不同浓度预煮后的扇贝柱放入温度分别为45、55、65℃的电热鼓风恒温干燥箱内进行干燥,热风风速为1.1~1.5m/s。在干燥过程中每隔1h测定扇贝柱干基含水量和水分活度,干燥结束后样品的干基含水量为20%±1.6%。

1.3 测定方法

1.3.1 干基含水量及水分活度的测定 按照GB 5009.3-2010直接干燥法进行测定,实验重复3次;称取3.0g干燥的扇贝柱碾碎后放入法国GBX公司水分活度测定盒内测定Aw,样品约占测定盒的3/4,实验重复三次。

1.3.2 扇贝柱物性测定 使用美国FTC公司物性仪TPA(Texture Profile Analysis),即质构剖面分析测定程序,主要是模拟人体口腔的二次咀嚼过程,测定了扇贝柱干燥过程中的硬度、弹性、内聚性和咀嚼性。本实验采用力量感应元为1000N、直径为10mm的圆柱型挤压探头,质构测定参数为测前速度1mm/s,测试速度180mm/min,压缩率50%,压缩时间间隔0s,实验重复三次。

使用TPA测定程序进行测定时,硬度代表牙齿挤压样品的力量,弹性代表形变样品在去掉挤压力时恢复原状的比率,内聚力代表样品内部的收缩力,胶粘性代表克服食品表面同其他物质表面接触之间的吸引力所需要的能量,其计算值等于硬度值与内聚力的乘积,咀嚼力代表咀嚼固体样品时需要的能量,其计算值等于弹性值与胶粘性的乘积。

1.3.3 扇贝柱色泽测定 使用柯尼卡美能达公司CR-400型色差计测定干燥过程中样品的L*值、a*值和b*值。L*值代表明度,反映色泽的亮度,取值为0~100,L*=0表示黑色,L*=100表示白色,a*值代表

Hunter标度中的a轴值,正数代表红色,负数代表绿色,b*值代表Hunter标度中的b轴值,正数代表黄色,负数代表蓝色,颜色测定于自然光下进行,实验重复3次。

1.3.4 扇贝柱收缩率及复水率的测定

$$r(\%) = \frac{v-v_0}{v} \times 100 \quad \text{式(1)}$$

式中,r为收缩率,v为热风干燥前扇贝柱的体积(cm³),v₀为干燥终止后扇贝柱的体积(cm³),体积测定均采用体积置换法,置换介质为小米,实验重复3次。

$$R_f(\%) = \frac{m_f}{m_g} \times 100 \quad \text{式(2)}$$

式中,R_f为复水率,m_f为样品复水后沥干重(g),即在100℃的恒温沸水中复水3min,测得样品复水后沥干重;m_g为扇贝干燥前样品重量,即经预处理后冷却沥干水分的重量(g),实验重复3次。

1.3.5 感官评价 评定小组由10名评委(男5名,女5名)组成,对热风干燥后的扇贝柱外观、色泽、风味和口感进行评分,感官评分表见表1。

表1 感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	评分标准
外观 (满分3分)	颗粒饱满,不皱缩,不开裂,3分 颗粒较饱满,稍有开裂皱缩,2分 颗粒不整齐,开裂皱缩,1分
色泽 (满分3分)	光泽好,半透明,亮白色,3分 光泽较好,黄色,2分 光泽不好,暗黄色,1分
风味、口感 (满分4分)	味鲜美,有浓厚香味,咀嚼性好,4分 味较鲜美,有特有香味,咀嚼性较好,3分 味稍有鲜味,产品稍硬或稍软,咀嚼性不好,2分

1.4 数据统计方法

使用SPSS 17.0软件进行方差分析(ANOVA),邓肯氏多重检验确定数据间的差异,显著水平为p<0.05。

2 结果与分析

2.1 不同热风干燥温度对扇贝柱干基含水率影响

热风干燥温度是扇贝柱干燥的一个重要因素,直接影响扇贝柱的质量与感官品质。不同热风干燥

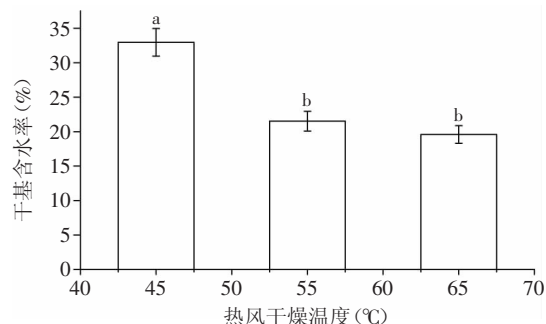


图1 不同热风温度对扇贝柱干基含水率的影响

Fig.1 Effect of different temperatures on moisture content

注:不同字母表示差异显著,p<0.05;图4同。

温度对扇贝柱干基含水率的影响,结果如图1所示。

由图1可见,不同的干燥温度对扇贝柱干基含水率影响差异性显著,食盐水浓度为3%,干燥温度为45℃,干燥时间为7h时,干燥完成后扇贝柱干基含水率显著高于55℃与65℃;干燥温度为55℃与65℃,扇贝柱干基含水率差异性不显著,扇贝柱的干基含水率达到20%左右,达到干贝贮藏的条件。刘征等^[17]研究了不同热风温度对扇贝柱干燥品质的影响,采用45、55、65℃热风温度对扇贝柱进行干燥,结果表明温度越高干燥速度越快,但温度过高易使扇贝柱产生开裂和褐变。因此,从节约能源与环保方面考虑,扇贝柱热风干燥温度选择55℃,为适宜的热风干燥温度。

2.2 不同食盐浓度对扇贝柱热风干燥干基含水率影响

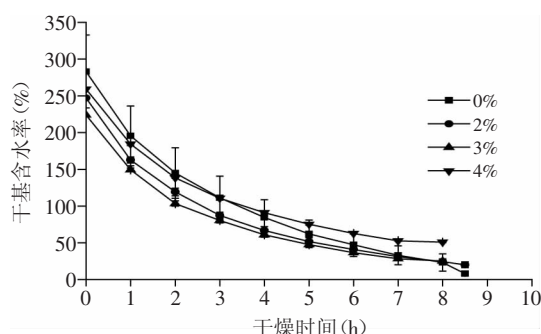


图2 不同食盐浓度对扇贝柱干基含水率的影响

Fig.2 The effects of different salt concentrations on moisture content

食盐浓度是扇贝柱干燥预处理的一个重要指标,直接决定扇贝柱的感官品质与质构特性。不同食盐浓度对热风干燥扇贝柱干基含水率影响结果如图2所示,由图2可见,经过预处理后的0%、2%、3%、4%食盐浓度的扇贝柱初基含水率为283.01%、246.95%、223.86%、259.20%,说明食盐浓度对扇贝柱干基含水率有显著性差异。扇贝柱在干燥过程中干基含水率随着干燥时间的增加呈下降趋势,随着食盐浓度的增加,在相同干燥时间下,干基含水率呈下降趋势, Bellagha S等^[18]研究了沙丁鱼盐渍的干燥过程,沙丁鱼中的水分随着盐分由内向外迁移,高浓度的盐加速沙丁鱼的水分迁移速率;但食盐浓度为4%处理在干燥时间为3h时,干基含水率反而增加,明显高于其他食盐浓度处理,并且通过8h干燥结束后,食盐浓度为4%时,扇贝柱的干基含水率明显高于其他组分,有可能是在干燥过程中,食盐浓度过高,会在扇贝柱表面形成结晶,阻碍了水分的蒸发,导致干燥完成后扇贝柱干基含水率较高;在干燥时间为3h时,2%食盐处理与3%食盐处理无明显差异。随着食盐浓度的增加,扇贝柱的干燥时间逐渐降低,但无明显差异。由此确定的干燥时间为8h。

2.3 不同食盐浓度对扇贝柱干燥过程中的水分活度的影响

水分活度(A_w)是食品质量安全控制的一个重

要指标,影响着食品中微生物的生长、酶促反应以及脂肪氧化反应等,是确定食品贮藏期限的重要因素。食品的腐败变质是有微生物引起的,研究表明,一般新鲜水产品的A_w均高于0.9,适合细菌、霉菌及其他微生物的生长繁殖,而干制品的水分活度低于0.69,抑制了大部分微生物的生长,但由于扇贝的干燥特性,干燥至水分活度小于0.7时,水分含量太低,几乎无法食用。根据干贝的水产的行业标准,扇贝柱干燥至水分含量为20%时,水分活度小于0.8,扇贝柱的干燥特性及感官指标、微生物指标均符合要求。

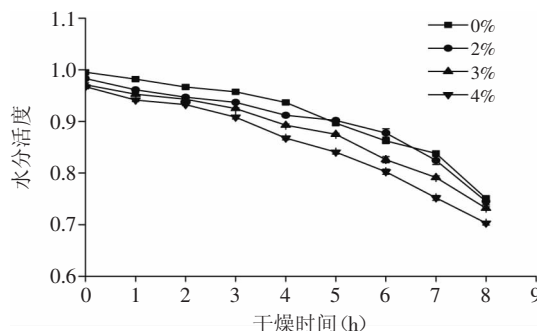


图3 不同食盐浓度对扇贝柱水分活度的影响

Fig.3 The effects of different salt concentrations on water activity

由图3所示,经过0%、2%、3%、4%食盐浓度预处理的扇贝柱水分活度为0.995、0.983、0.971、0.967,由此可见,食盐处理有助于降低扇贝柱的水分活度。不同食盐浓度对扇贝柱干燥过程中的水分活度的变化均呈下降趋势,干燥前3h变化不明显,但未经过食盐处理的扇贝柱水分活度下降缓慢,这是由于盐处理使扇贝柱的细胞产生渗透压,使扇贝柱中游离水快速向外扩散,A_w下降。干燥4h起不同食盐浓度处理的A_w结果出现显著性差异,且食盐浓度越高,水分活度下降的速率越快,表明低盐处理能显著降低扇贝柱微生物的生长繁殖,减少干燥时间。

2.4 不同食盐浓度对扇贝柱干燥后质构的影响

扇贝柱的质构参数是衡量扇贝柱可食性的一项重要特性,是表征扇贝柱硬度、可咀嚼性、弹性的重要指标,表2为不同的食盐浓度对热风干燥扇贝柱质构参数差异性结果。Marquez-Rios. E等^[19]研究了扇贝柱经过柠檬酸预处理的干燥过程,结果表明干燥后的质构特性与干燥过程中传质阻力有关,扇贝柱表面蒸发速率大于内部水分迁移速率导致表面变硬产生干裂。由表2可见,不同食盐浓度处理,对干燥后扇贝柱质构参数差异性显著。干燥结束后,扇贝柱的质构参数发生明显改变,这是因为蛋白质在受热剧烈失水时造成酪蛋白形成网格结构,肌肉组织发生较大程度的收缩,达到不可逆的形变。食盐浓度为4%时,扇贝柱的硬度、弹性均达到最大值,分别为(57.4±7.99)N, (3.19±0.33)mm,这是因为在干燥过程中,浓度大的食盐会在扇贝柱表面形成结晶,阻碍了水分的挥发,导致干燥结束后扇贝柱的硬度、弹性变大;随着食盐浓度的增大,硬度呈增加的趋势,弹性呈先下降后升高的趋势。这是由于蛋白质的盐析作用使

扇贝柱发生变性,引起肌纤维蛋白的溶解,而使硬度增大^[20]。食盐浓度为3%时,扇贝柱的内聚力与咀嚼力最大,达到 (0.37 ± 0.05) Ratio和 (34.44 ± 3.51) mJ,表明食盐浓度为3%时,扇贝柱的口感好。

表2 不同的食盐浓度对热风干燥扇贝柱质构参数的影响

Table 2 The effects of different salt concentrations on TPA parameters

食盐浓度 (%)	硬度 (N)	弹性 (mm)	内聚力 (Ratio)	咀嚼力 (mJ)
0	40.57±1.86ab	2.04±0.26a	0.24±0.05b	22.89±2.37ab
2	35.37±3.15a	1.86±0.22a	0.32±0.05c	21.08±2.96a
3	46.37±3.68b	2.04±0.20a	0.37±0.05c	34.44±3.51c
4	57.40±7.99c	3.19±0.33b	0.15±0.02a	27.10±2.17b

注:每一列不同字母表示差异显著, $p<0.05$;表3~表5同。

2.5 不同食盐浓度对扇贝柱干燥过程后色泽的影响

扇贝柱色泽是干贝的一项重要指标,直接决定扇贝柱的感官品质。对于干燥产品而言,干燥温度和干燥时间会直接影响产品的色泽^[21]。不同的食盐浓度对扇贝柱色泽参数的影响如表3所示。不同食盐浓度干扇贝柱色度值 L^* 值介于60.26~73.52之间, a^* 值介于1.87~2.98, b^* 介于20.25~32.66之间,E值最小为35.68,最大为48.10,其中, L^* 值代表明度,反映色泽的亮度, a^* 值代表红色, b^* 值代表黄色。

表3 不同食盐浓度对扇贝柱色泽参数的影响

Table 3 The effects of different salt concentrations on the color parameters

食盐浓度 (%)	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	60.26±2.57a	2.98±0.61a	32.66±1.90a	48.10±1.93a
2	66.69±3.12b	2.93±0.13a	26.86±5.55b	37.41±1.90b
3	70.59±0.22bc	1.87±0.43b	20.25±0.79c	32.18±0.16c
4	73.52±2.45c	2.46±0.40ab	22.45±0.32bc	35.68±2.28b

由表3可见,不同食盐浓度处理扇贝柱的 L^* 值差异极显著,随着食盐浓度的增大,扇贝柱亮度越大,而食盐浓度为3%与4%之间差异不显著;在干燥过程中随着干燥过程的进行,由于蛋白质发生不可逆的变性并且由于和氧气的接触,易发生美拉德反应,导致表面变成暗黄色,食盐浓度为3%时, a^* 、 b^* 、 ΔE 值最小分别为 1.87 ± 0.43 、 20.25 ± 0.79 、 32.18 ± 0.16 ,表明在食盐浓度为3%时,扇贝柱表面颜色变化最小,得到的外观品质最好。

2.6 不同食盐浓度对扇贝柱收缩率和复水率的影响

扇贝柱的收缩率与复水率是衡量干贝柱品质的一项重要指标,直接决定扇贝柱加工的品质与特性。图4为不同食盐浓度对扇贝柱收缩率与复水率影响。由图4可知,不同的食盐浓度对扇贝柱的收缩率影响差异性不显著,对复水率差异性显著,当食盐浓度为0%、2%、3%时对扇贝柱复水率影响差异性不显著,当食盐浓度达到4%时,扇贝柱的复水率为 $46.67\pm$

1.82%,显著低于食盐低浓度的扇贝柱的复水率,主要是因为预煮液中食盐浓度过高,扇贝柱中的水分迁移与肌肉收缩的程度越来越大,水分流失后形成的结构空隙变小,不利于复水。张国琛等^[22]研究了扇贝柱的干燥过程中表面肌纤维束干燥速度很快,与内层纤维束之间形成较大的水分梯度,因而会出现较大的内部应力而产生裂纹,因而收缩率较小,复水率高。

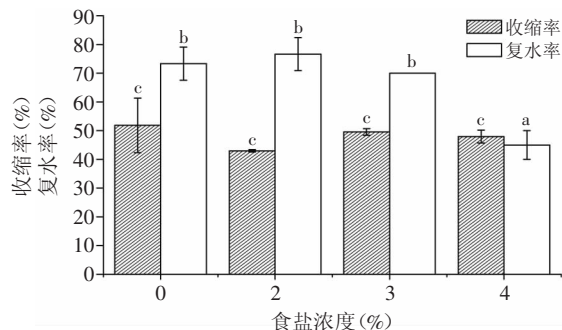


图4 不同食盐浓度对扇贝柱收缩率与复水率影响

Fig.4 The effects of different salt concentrations on shrinkage and rehydration

2.7 低盐处理扇贝柱感官评价实验结果

食品的感官分析是评价产品最直接、最外在的质量因素,最终决定着产品是否能被消费者接受的重要指标。不同食盐浓度对扇贝柱感官评价结果见表4。由表4可见,从外观色泽方面看,由感官评价结果可知,经过食盐浓度3%和4%处理的扇贝柱差异性显著,由于NaCl的作用,使扇贝柱干燥过程中失水速度加快,使扇贝柱肌肉呈现颗粒饱满、完整的状态;食盐浓度为3%与其他处理相比,扇贝柱颜色较好,易被接受。经过食盐处理的扇贝柱,随着食盐与扇贝柱内蛋白质发生美拉德反应,颜色呈现现金黄色,但食盐浓度过高,导致颜色呈现暗黄色,影响产品的品质。从风味口感看,食盐浓度过低或过高,都会影响扇贝柱干燥后的品质。综合评定结果食盐浓度为3%时,颗粒饱满、无皱缩,味道鲜美,硬度适中,咀嚼性较好。

表4 不同食盐浓度对扇贝柱感官评价结果

Table 4 The effects of different salt concentrations on the sensory evaluation

食盐浓度 (%)	外观	色泽	风味口感	总评分
0	1.96±0.23a	2.35±0.25a	2.00±0.21a	6.31±0.23a
2	2.09±0.29a	2.64±0.22a	2.17±0.27a	6.90±0.26a
3	2.61±0.41b	2.84±0.22b	3.39±0.23b	8.84±0.28b
4	2.40±0.21b	2.22±0.36a	3.02±0.14c	7.64±0.24c

2.8 低盐处理对扇贝柱营养成分分析

扇贝是一种高蛋白、低脂肪的水产品,具有较高的营养价值。不同食盐浓度对扇贝柱盐分、粗蛋白质和粗脂肪含量的影响见表5。由表5可看出,低盐处理

对于扇贝柱干燥后食盐含量具有明显差异,随着食盐浓度的增大,盐分含量呈上升趋势,当食盐浓度为3%时的盐分含量符合干贝一级产品质量标准。粗蛋白随着食盐浓度的增大呈下降趋势,食盐浓度为4%与0%、2%、3%粗蛋白含量差异性显著,这可能是由于NaCl的作用使蛋白质产生变性而影响粗蛋白的含量。

表5 不同食盐浓度对扇贝柱干燥营养成分的影响

Table 5 The effects of different salt concentrations on nutrients

食盐浓度(%)	盐分(%)	粗蛋白(g/100g)	粗脂肪(%)
0	2.31±0.14a	68.86±0.63a	3.77±0.11a
2	3.34±0.22b	67.55±0.56a	3.78±0.06a
3	4.25±0.09c	64.23±1.07ab	3.87±0.05ab
4	5.10±0.17d	58.02±1.24c	4.01±0.16b

3 结论

不同的食盐处理使扇贝柱初始干基含水率呈现较大的差异,不同热风干燥温度以及食盐浓度对扇贝柱的干基含水率的影响差异性显著,结果表明干燥温度为55℃最优,干燥时间较短,干燥完成水分含量为20%±1.6%。不同的食盐浓度对扇贝柱热风干燥的质构参数、色泽参数、复水率影响差异性显著,食盐浓度为3%时的质构参数、色泽参数明显优于其他浓度处理的扇贝柱,对扇贝柱收缩率影响差异性不显著。感官评价结果表明食盐浓度为3%时,易被消费者接受。综合考虑扇贝柱干燥特性指标,选定食盐浓度为3%作为食盐预处理浓度。综合热风干燥温度和食盐浓度对扇贝柱干燥特性的影响,确定扇贝柱热风干燥最优工艺条件为:热风干燥温度为55℃,预煮食盐浓度为3%,干燥时间为8h。

参考文献

- [1] Marín A, Fujimoto T, Arai K. Rapid species identification of fresh and processed scallops by multiplex PCR[J]. Food Control, 2013, 32(2):472-476.
- [2] 汤俊杰,段振华,杨丽娟. 扇贝的加工利用研究进展[J]. 食品工业, 2013, 32(5):191-194.
- [3] 楼乔明,王玉明,徐杰,等. 栉孔扇贝和海湾扇贝脂质及其脂肪酸组成分析[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11):198-203.
- [4] 李雪梅,苏运聪,王颖. 响应面法优化水溶性扇贝多糖的提取工艺[J]. 中国食品学报, 2014, 14(2):127-131.
- [5] 曾庆祝,许庆陵,林鲁萍,等. 扇贝边活性肽的分离及其对羟自由基的清除活性研究[J]. 中国食品学报, 2004, 4(3):13-18.

- [6] 李伟青,王颖,孙剑锋,等. 海湾扇贝营养成分分析及评价[J]. 营养学报, 2011, 33(6):630-632.
- [7] 毛文君,李翔,李八方. 扇贝裙边提取物对小鼠移植宫颈癌的抑制作用研究[J]. 营养学报, 2000, 22(2):175-178.
- [8] 顾谦群,方玉春,辛现良,等. 栉孔扇贝糖蛋白的肿瘤抑制活性和对免疫功能的影响[J]. 营养学报, 2001, 23(3):200-202.
- [9] 孙丽雯,刘倩,侯丽丽,等. 冷风干燥对扇贝柱品质及结构的影响[J]. 农产品加工·学刊, 2013, 12(24):1-4.
- [10] 李书红,王颖,宋春风,等. 不同干燥方法对即食扇贝柱理化及感官品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5):373-377.
- [11] Silva V, Figueiredo A R, Costa J J, et al. Experimental and mathematical study of the discontinuous drying kinetics of pears[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 134:30-36.
- [12] Zhu A, Shen X. The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014, 72:345-351.
- [13] M. S. Hatamipour H H K A. Drying characteristics of six varieties of sweet potatoes in different dryers[J]. Food and Bioproducts Processing, 2007, 85(3):171-177.
- [14] Akpinar E K. Mathematical modeling and experimental investigation on sun and solar drying of white mulberry [J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2008, 22(8):1544-1553.
- [15] 刘红英. 水产品加工与贮藏[M]. 北京:北京工业出版社, 2006.
- [16] 张国琛,牟晨晓,潘澜澜,等. 热风干燥参数对扇贝柱干燥速度及品质的影响[J]. 大连水产学院学报, 2004(01):35-39.
- [17] 刘征,王颖,张政. 不同热风干燥温度对扇贝柱干燥特性及品质的影响[J]. 食品工业, 2012, 33(8):37-40.
- [18] Bellagha, S., Sahli, A., Farhat, A., et al. Studies on salting and drying of sardine (*Sardinella aurita*): Experimental kinetics and modeling[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 78(3):947-952.
- [19] Marquez-Rios, E., Ocaño-Higuera, V. M., Maeda-Martínez, A. N., et al. Citric acid as pretreatment in drying of Pacific Lion's Paw Scallop (*Nodipecten subnodosus*) meats[J]. Food Chemistry, 2009, 112(3):599-603.
- [20] 何学连. 白对虾干燥工艺的研究[D]. 无锡:江南大学, 2008.
- [21] Soysal, Y., Ayhan, Z., Eştürk, O., et al. Intermittent microwave-convectivedrying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality[J]. Biosystems Engineering, 2009, 103(4):455-463.
- [22] 张国琛,毛志怀,牟晨晓,等. 微波真空干燥扇贝柱的物理和感观特性研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3):141-144.

(上接第302页)

- [11] 黄国霞,刘柳,汪青. 火炭母有效成分的提取及抗氧化活性研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(12):2490-2492.
- [12] Zhao H, Chen W, Lu J, et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers[J]. Food Chemistry, 2010, 119:1150-1158.
- [13] Enayat S, Banerjee S. Comparative antioxidant activity of

- extracts from leaves, bark and catkins of *alix aegyptiaca* sp[J]. Food Chemistry, 2009, 116:23-28.
- [14] 彭常安,李媛媛. 葛花总黄酮的抗氧化作用研究[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版, 2012, 35(2):163-166.
- [15] 王建英,任引哲,王迎新. 氧自由基与人体健康[J]. 化学世界, 2006, 47(1):61-63.