

不同蒸制方式下太湖蟹感官评定及营养价值比较

Comparison sensory evaluation and nutritional value of taihu crab steamed by different methods

朱 堃¹ 郑 忻² 刘梦茵² 谢云飞¹ 姚卫蓉¹

ZHU Shuang¹ ZHEN Xin² LIU Meng-yin² XIE Yun-fei¹ YAO Wei-rong¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 博西家用电器(中国)有限公司, 江苏 南京 210009)

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China;

2. BSH Home Appliances (China) Co., Ltd, Nanjing, Jiangsu 210009, China)

摘要:对比明火蒸锅与电蒸箱两种蒸制工具对太湖蟹感官评定及营养价值的影响。通过失重率、水分和感官 3 个过程指标,确定电蒸箱和明火蒸锅蒸制太湖蟹的感官最佳时间;比较了两种蒸制方式的最佳条件下,太湖蟹蟹肉和蟹黄/膏的基本营养成分、维生素、氨基酸、脂肪酸和功能性成分。结果表明:两种蒸制方式下的太湖蟹的失重率随着蒸制时间的延长而上升,可食部的水分逐渐下降;电蒸箱和明火蒸锅蒸制的最佳感官时间分别为 25、20 min,在该条件下,电蒸箱蒸制蟹的基本营养成分和维生素含量均高于明火蒸锅蒸制;氨基酸总量、必需氨基酸和呈味氨基酸含量也优于明火蒸锅蒸制;电蒸箱蒸制蟹的单不饱和脂肪酸(MUFAs)所占比例显著高于明火蒸锅,且 DHA(C_{22:6})和虾青素含量均为明火蒸锅的 2 倍以上。该研究对日常烹调和企业生产都具有一定的指导意义。

关键词:明火蒸锅;电蒸箱;太湖蟹;感官评定;氨基酸;维生素;脂肪酸

Abstract: The aim of this current study was to, under the premise of the best sensory quality, assess the effect of gas heated and electric steamers on the nutritional quality of Taihu crabs (*Eriocheir sinensis*). Based on the sensory evaluation of Taihu crabs, the optimal steaming conditions of two methods were obtained combined weight loss rates and water contents during cooking process, firstly. Under the steam condition with the best sensory quality, the nutritional quality i.e. basic nutritional components, vitamins, amino acids, fatty acids and functional components, subsequently were analyzed and assessed. The results showed that their weight loss rates increased but water contents decreased with prolonging steaming

time in the both steam methods. The optimal steam time of electric steamer and gas heated steamer was 25 and 20 min, respectively. Under the optimal steam condition, compared with the samples steamed by gas heated steamer, the samples steamed by electric steamer showed significantly better characteristics, such as basic nutritional value, vitamin contents, the contents of total, essential, delicious amino acids, and the ratio of monounsaturated fatty acids (MUFAs). Moreover, the contents of DHA (C_{22:6}) and astaxanthin steamed by electric steamer were more than 2-folds than those of gas heated steamer. The results showed good guiding significance for daily cooking and central kitchen.

Keywords: gas heated steamer; electric steamer; Taihu crab; sensory evaluation; amino acids; vitamins; fatty acid

太湖蟹是中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)的一种,出产于江苏太湖水域,隶属于甲壳纲(Crustacea),十足目(Decapoda),爬行亚目(Raptantia),方蟹科(Grapsidae),绒螯蟹属(*Eriocheir*)^[1]。有数据统计^{[2]2-3[3-4]},自 20 世纪 90 年代以来中国河蟹产量增长迅猛,2006 年全国产量达 47.50 万 t,2013 年为 78 万 t,产值近 400 亿。中华绒螯蟹营养丰富,蟹肉蛋白含量高且必需氨基酸含量高,富含矿物元素,是 n-3 系列多不饱和脂肪酸丰富的食物^[5]。不仅如此,中华绒螯蟹还含有丰富的呈味氨基酸,其鲜美的味道也倍受消费者的青睐。因此,通过合适的烹饪加工方式最大程度保留其滋味和营养价值就显得尤为重要。传统烹饪中华绒螯蟹的方法主要有蒸和煮。有研究^[6]表明蒸制蟹(中华绒螯蟹)的游离氨基酸总含量比煮制蟹高,为较理想的蟹类熟制方式;针对海蟹的研究^[7]表明,无论是蟹肉还是蟹黄中,蒸制蟹的饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量均高于煮制蟹,说明蒸制可以较好地保留蟹类的营养价值。

家庭烹饪中蒸制主要采用的工具为明火蒸锅。而电蒸箱作为一种新型的蒸制烹饪工具,因其易操作、安全、节能、

作者简介:朱堃,女,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:姚卫蓉(1970—),女,江南大学教授,博士。

E-mail: yaoweirongcn@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2016-11-29

快速方便等优点逐渐流行起来。同样是蒸制,其对营养成分的保留是否一致尚未有文献报道。另外,已有文献对蟹类的研究多为蟹类风味^[8-9]、不同地区的生蟹品质及营养价值比较^{[2]15-16 [3, 10]},且主要侧重于氨基酸^[6]和脂类分析^[11],缺少维生素及功能成分的比较研究。因此,本研究拟以太湖水域养殖的太湖蟹为对象,考察明火蒸锅和电蒸箱两种不同蒸制方式下太湖蟹的失重率、蟹肉和蟹黄/膏的水分,结合感官评分确定两种蒸制的最佳感官条件,并比较其基本营养成分、氨基酸、脂肪酸、维生素和功能性成分的差异,从而找到更佳的蒸制方式,旨在为太湖蟹的日常烹饪和产业化生产提供指导。

1 材料与方法

1.1 材料与主要试剂

雄性和雌性太湖蟹:采自无锡太湖水域,雄蟹体质量(127.31±5.09)g,雌蟹体质量(103.42±7.08)g;

蒸制用水用去离子水;

17种氨基酸混合标准品:色谱纯1mmol/L,美国Sigma试剂有限公司;

核黄素分析标准品:色谱纯≥99.5%,Solarbio生物科技有限公司;

烟酸和烟酰胺分析标准品:色谱纯≥99.5%,Solarbio生物科技有限公司;

虾青素分析标准品:色谱纯≥98%,Aladdin试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

电蒸箱:HLHB24-2型,博西家用电器(中国)有限公司;

燃气灶:JZY-Q240-AE03型,广东康宝电器股份有限公司;

明火蒸锅:SZ26B5型,浙江苏泊尔股份有限公司;

高效液相色谱仪:Agilent 1100型,美国安捷伦科技有限公司;

高效液相色谱仪:Waters e2695型,美国沃特世科技有

限公司;

超高效液相色谱串联四级杆质谱联用仪:Waters UPLC-TQD型,美国沃特世科技有限公司;

气相色谱仪:GC-2014型,日本岛津公司。

1.3 太湖蟹的蒸制

将太湖蟹刷洗干净,并用滤纸把表面水分吸干,称重记录体质量后,用棉线将蟹足和蟹钳捆扎。3只雌蟹和3只雄蟹为一组,依次进行不同条件的蒸制试验。

(1)电蒸箱蒸制:电蒸箱水箱中放入去离子水,将一组太湖蟹放入蒸屉中,置于中层。合上箱门,启动电蒸箱,进行蒸制。蒸制时间分别为15,20,25,30,35min。

(2)明火蒸锅蒸制:模拟普通家庭蒸制烹饪环境,蒸锅中放入2L去离子水,蒸屉上放一组太湖蟹,蒸锅置于燃气灶上最大火加热。蒸制时间分别为20,25,30,40min。

将两种方式不同条件下处理的太湖蟹自然冷却至室温。打开背壳,取肝胰腺和性腺部分,均质混匀,雌蟹称为蟹黄,雄蟹称为蟹膏。依次剪开步足、蟹钳、两腹刮取肌肉,均质混匀后为蟹肉样品。将处理好的蟹肉及蟹黄/膏样品置于-80℃保存。

1.4 失重率及水分的测定

1.4.1 失重率的测定 蒸制前后,分别用滤纸将太湖蟹表面的水分吸干,记录质量,蒸制后的失重占蒸制前质量的百分数为失重率。

1.4.2 蟹肉水分的测定 按GB/T 5009.3—2010常压干燥法执行。

1.4.3 蟹黄/膏水分的测定 按GB/T 5009.3—2010减压干燥法执行。

1.5 感官评价及标准

感官评定在专业的感官评定室内进行,组织12名接受过感官培训的食品专业学生进行评定。感官评定采用5分制评分法,评定人员单独评定,互不接触与交流。参照文献[12]制定感官评定标准(表1)。

表1 熟制太湖蟹的感官评价标准

Table 1 Standards for sensory evaluation of steamed Taihu Crab

分值	蟹壳色泽	蟹黄肥满度	腥香度	蟹肉鲜甜度	肉质
0分	无光泽,颜色浅,杂斑多	少无流油/蟹膏不肥甚至稍苦	无蟹味,也无大闸蟹特有的腥香气,不愉快腥味严重	口感不清甜,有异味	不细腻,无弹性,口感差
1分	有些许光泽,颜色较浅,杂斑较多	较少无流油/蟹膏不肥但也无苦味	蟹味不浓郁,无大闸蟹特有的腥香气,不愉快腥味较重	口感不清甜,稍有异味	不细腻,稍有弹性,口感较差
2分	有光泽,颜色不均匀,且有杂斑	较少有些许流油/蟹膏稍肥	蟹味不浓郁,有些许大闸蟹特有的腥香气,有些许不良腥味	口感一般清甜,稍有异味	一般细腻,稍有弹性,口感一般
3分	油亮呈褐红色,但颜色不均杂斑较多	较丰腴但流油较少/蟹膏稍有肥腻	蟹味较浓郁,有大闸蟹特有的腥香气,有些许不愉快腥味	口感一般清甜,无异味	较细腻,有些许弹性,口感一般
4分	通体油亮呈褐红色,有些许杂斑	较丰腴流油较多/蟹膏肥美但稍腻	蟹味较浓郁,有大闸蟹特有的腥香气,无不愉快腥味	口感较为清甜,无异味	较细腻,有弹性,口感较好
5分	通体油亮呈褐红色,无杂斑	丰腴流油多/蟹膏肥而不腻	蟹味浓郁,有大闸蟹特有的腥香气,无不愉快腥味	口感清甜,无异味	细腻,有弹性,口感好

1.6 营养成分的测定

1.6.1 蛋白含量的测定 按 GB 5009.5—2010 凯氏定氮法执行。

1.6.2 脂肪含量的测定 采用氯仿—甲醇法^[13]。

1.6.3 灰分含量的测定 按 GB 5009.4—2010 灼烧法执行。

1.6.4 维生素 B₂ 的测定 采用 HPLC 法^[14]。

1.6.5 维生素 B₃ 的测定 采用 HPLC—MS 法,样品前处理参照文献^[15]进行。色谱条件:色谱柱:Waters BEH T3(4.6×150) mm;流动相 A:甲醇,流动相 B:乙腈,采用梯度洗脱:0~10 min,5% A+95% B,流速:0.3 mL/min,10~12 min,100% A,流速:0.3 mL/min,12~15 min,5% A+95% B,流速:0.3 mL/min;柱温:25 ℃;检测器波长:261 nm;进样量:1 μL。质谱条件:喷雾电压:4.0 kV;锥孔电压:20 V;离子源温度:130 ℃;脱溶剂气温度:400 ℃;锥孔气流:50 L/h;脱溶剂气流:600 L/h;碰撞气流量:0.10 mL/min。

1.6.6 氨基酸和脂肪酸的测定 参照文献^[16]^[17-18]采用 HPLC 法测定氨基酸含量,采用 GC 方法测定脂肪酸组成。

1.6.7 虾青素的测定 采用 HPLC—MS 法,样品前处理参照文献^[17]进行。色谱条件:色谱柱:Waters BEH T3(4.6×150) mm;流动相 A:乙腈,流动相 B:水,采用梯度洗脱:0~7 min,95% A+5% B,流速:0.3 mL/min,7.0~9.5 min,100% A,流速:0.3 mL/min,9.5~15.0 min,95% A+5% B,流速:0.3 mL/min;柱温:30 ℃;检测器波长:471 nm;进样量:1 μL。质谱条件同维生素 B₃ 的测定。

1.6.8 磷脂的测定 按 GB/T 5537—2008 钼蓝比色法执行。

1.7 数据处理

所得数据采用“平均值±标准偏差”(n=3)的形式表示。数据采用 SPSS 17.0 进行处理,利用单因素方差分析(ANOVA)检验同一蒸制方式下不同蒸制时间之间的显著性差异(P<0.05),利用独立样本 T 检验进行两种蒸制方式的最佳感官下的营养成分的显著性差异分析(P<0.05)。

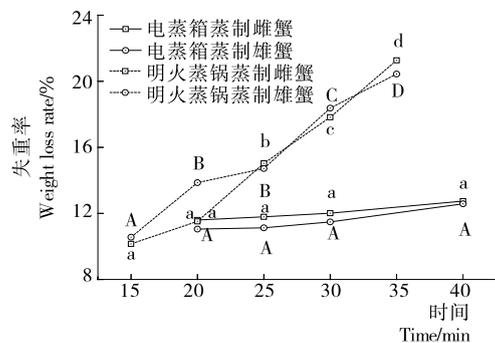
2 结果与分析

2.1 太湖蟹在不同蒸制条件下过程指标的变化

2.1.1 失重率 由图 1 可知,随着时间的延长,太湖蟹的失重率均逐渐升高,这与黄道蟹、金枪鱼的蒸锅蒸制结果一致^[7,18]。有研究^[7]认为,蒸制后重量的减少与蒸制过程中水分的浸出有关,本研究所用食材为螃蟹,而蟹黄又是流质,蒸煮时也会流失,从而造成失重。

图 1 显示,无论是雌蟹还是雄蟹,明火蒸锅蒸制后的失重率明显高于电蒸箱的。监测两种蒸制工具的内部温度发现,电蒸箱在蒸制过程中内部最高温度为 100 ℃,而明火蒸锅内部的后期温度达 130 ℃以上、不锈钢蒸屉表面和蒸锅内壁温度接近 200 ℃。可以认为,是由于明火蒸锅的锅内温度过高而造成的失重率偏高。

进一步分析图 1 中失重率变化趋势,发现电蒸箱蒸制期间,蒸制蟹的失重率上升缓慢,且 20~40 min 内并未出现显著性差异;而明火蒸锅蒸制蟹的失重率上升较为迅速,且在 15~35 min 内均出现了显著性差异。进一步的温度监测表



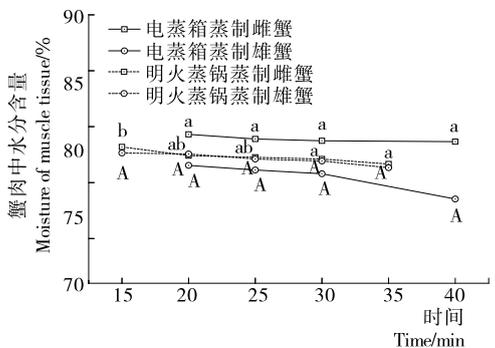
同一曲线中不同字母表示在 P<0.05 水平具有显著性

图 1 太湖蟹在蒸制过程中的失重率变化

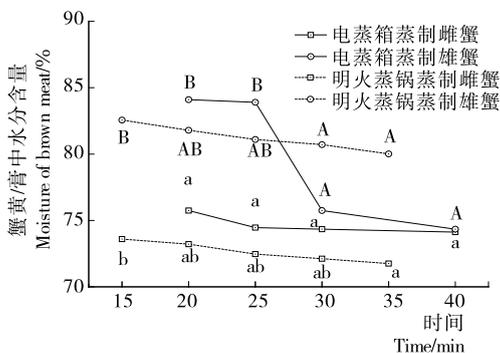
Figure 1 Weight loss rate changes of Taihu crab in the process of steaming

明,电蒸箱在蒸制过程中,箱内温度上升缓慢,18 min 到达最高温度(100 ℃)后保持稳定;而在明火蒸锅蒸制的过程中,内部温度上升较快,12 min 即达到 100 ℃,然后锅内温度继续上升。说明电蒸箱箱体内部后期温度的稳定有利于维持失重率不再进一步急剧升高。

2.1.2 水分含量 太湖水域雌雄蟹鲜肉水分含量分别为(78.83±0.50)%和(80.02±1.10)%。由图 2 可知,随着蒸煮时间的延长,无论是蟹肉还是蟹黄/蟹膏水分含量均呈现了下降趋势。对于蟹肉水分含量变化,蒸制过程对雌/雄蟹的影响并不一致,电蒸锅蒸制雌蟹的大于明火蒸锅的,而电蒸锅蒸制雄蟹的却小于明火蒸锅;电蒸箱蒸制蟹(雌/雄蟹)的



(a) 蟹肉



(b) 蟹黄/膏

同一曲线中不同字母表示在 P<0.05 水平具有显著性

图 2 不同蒸制时间下太湖蟹可食部的水分含量变化
Figure 2 Moisture changes of muscle and brown meat before and after steaming

水分含量变化随着蒸制时间的延长,没有出现显著性差异,比较稳定,而明火蒸锅蒸制雌蟹的水分含量变化随着蒸制时间的延长,呈现出显著性差异,但雄蟹的没有显著性差异($P < 0.05$),见图2(a)。

对于蟹黄/蟹膏水分含量变化,电蒸箱蒸制的明显高于明火蒸锅蒸制的;电蒸箱蒸制雌蟹的蟹黄水分含量随着时间的延长未出现显著性差异,而其他的3组数据均呈现出显著性差异($P < 0.05$),说明电蒸箱蒸制雌蟹能稳定保持蟹黄水分含量;雄蟹蟹膏的水分变化中,25 min以内电蒸箱蒸制蟹的水分含量高于明火蒸锅,30 min之后急剧下降且呈现出差异性($P < 0.05$),见图2(b)。由于蟹黄/蟹膏水分含量与口感具有密切联系,因此这一试验结果也间接说明了后续感官评定得到的最佳感官时间。

2.2 不同蒸制条件下的感官评价及最佳蒸制条件的确定

在关于评定熟制蟹类营养品质的文献报道中,研究者采用的熟制条件不一致,例如沸水蒸制松江地区中华绒螯蟹20 min^[6]、采用105℃蒸汽蒸制黄道蟹15 min^[7]、沸水煮制阳澄湖大闸蟹15 min^[16-17]、沸水煮制南方方蟹10 min^[19],都没有交代条件选取的原因。因此,本研究基于实际消费需求,首先通过感官评定得到不同蒸制工具对应的最佳感官条件,然后评价对应最佳感官时间下的营养成分,对消费者更具实际价值。

针对上述蒸制过程,对不同蒸制时间的太湖蟹进行感官评定,寻找最佳蒸煮时间。由图3可知,电蒸箱蒸制25 min时,除了色泽指标,太湖蟹的其他4个指标均为最高分。且统计分析显示,雌蟹的肥满度、腥香度、鲜甜度和肉质的评分

显著高于其它蒸制时间;雄蟹的腥香度和鲜甜度的评分显著高于其它蒸制时间($P < 0.05$)。结合失重率和水分含量的变化,选择25 min为电蒸箱蒸制太湖蟹的最佳感官时间。同样,明火蒸锅蒸制20 min时,蟹的肥满度、腥香度、鲜甜度和肉质为最高分,与其他蒸制时间相比差异不显著($P < 0.05$)。选择20 min为明火蒸锅蒸制太湖蟹的最佳感官时间。

2.3 最佳感官条件下不同蒸制方式的营养价值比较

基于感官评价,接着系统比较太湖蟹在电蒸箱(25 min)和明火蒸锅(20 min)的最佳感官蒸制条件下基本营养成分(灰分、蛋白质、脂肪)、维生素(B_2 、 B_3)、功能性成分(虾青素和磷脂)含量,氨基酸含量以及脂肪酸组成,了解最佳蒸制条件下营养成分的差异。

2.3.1 基本营养成分 文献表明,未蒸制太湖蟹肌肉的粗蛋白含量为(81.46±1.80)%,肝胰腺的脂肪含量为(71.40±0.99)%^[20],可食部(肌肉和肝胰腺)的灰分含量为4.44%^[21]。由表1可知,电蒸箱蒸制太湖蟹基本营养成分(灰分、蛋白质、脂肪)含量大部分均高于明火蒸锅的,说明同样在最佳感官条件下,电蒸箱蒸制太湖蟹的基本营养成分的损失较少。结合图1和图2,发现蒸制太湖蟹的基本营养成分与失重率和水分含量变化均有相关性,失重率较低和水分含量较高的电蒸锅蒸制样品的基本营养成分损失也较少。

表2中电蒸箱蒸制雄蟹的蟹肉蛋白、蟹黄/膏的脂肪、雌蟹蟹肉灰分以及雄蟹蟹膏灰分含量显著高于明火蒸锅的($P < 0.05$)。猜测原因是由于不同蒸制方式中蒸汽产生方式和蒸汽温度造成的差异。明火蒸锅蒸制时下层水不断被加

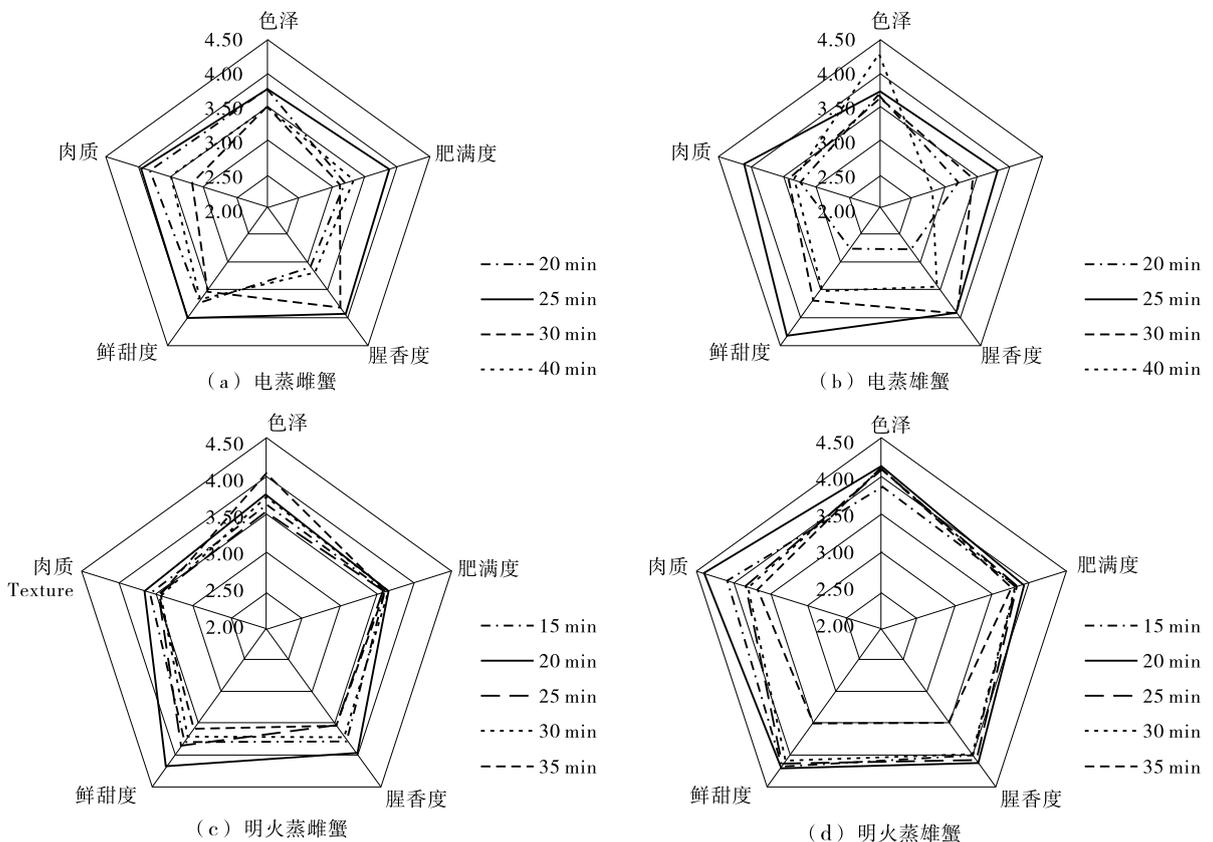


图3 不同蒸制条件下的感官评分

Figure 3 Sensory evaluations under different steaming process

表 2 不同蒸制方式最佳感官条件下的基本营养成分比较[†]

Table 2 Comparison of basic nutrient components under optimal sensory conditions of different steaming process

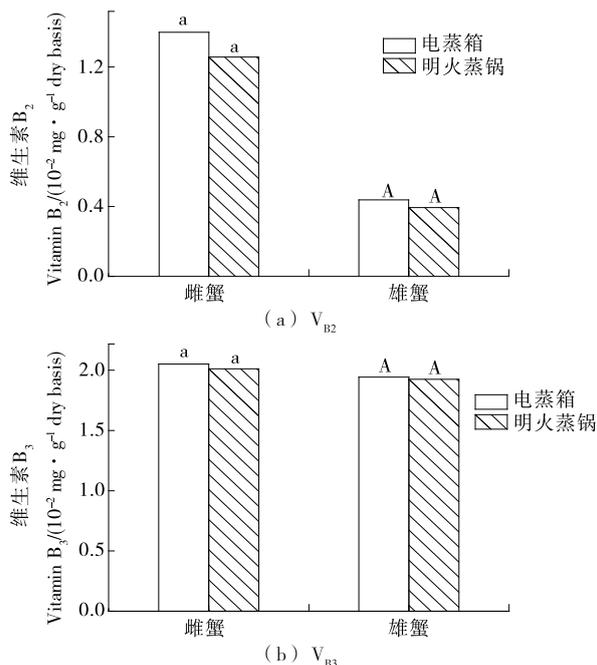
基本成分	蒸制方式	雌蟹	雄蟹
蟹肉蛋白	电蒸箱	84.42±0.58	84.36±0.71*
	明火蒸锅	77.11±3.16	76.62±1.89
蟹黄/膏脂肪	电蒸箱	38.30±1.36*	29.95±0.42*
	明火蒸锅	31.96±0.90	27.72±0.56
蟹肉灰分	电蒸箱	6.41±0.16*	4.59±0.51
	明火蒸锅	4.63±0.47	4.24±0.20
蟹黄/膏灰分	电蒸箱	2.73±0.31	4.58±0.08*
	明火蒸锅	2.48±0.75	3.90±0.01

† *表示在同一基本成分的同一种蟹的每两个数据之间具有显著性差异($P<0.05$)。

热,释放出普通蒸汽传递热量,下层水沸腾后,在密闭空间内形成饱和蒸汽,继续加热后形成过热蒸汽($>100\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[22],本研究跟踪得到的最高蒸汽温度为 $130\text{ }^{\circ}\text{C}$,蒸屉表面和锅壁温度达 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$;而电蒸箱则通过加热蒸发皿的底部释放蒸汽,表面蒸发的水由水箱从底部不断补给,保证蒸发皿内的水量恒定,因此不存在过热蒸汽。蒸汽从四周包围食材,逐渐传热,温度稳定。

此外,文献^[16]^[18]报道的煮制阳澄湖大闸蟹的雄蟹蟹肉蛋白(89.15%)、蟹膏脂肪(52.74%)及灰分含量(6.56%和4.96%)略高于本研究,可能是中华绒螯蟹的产区、捕捞时间和烹饪方法不同所导致的。

2.3.2 维生素 电蒸箱和明火蒸锅在最佳感官条件下蒸制的太湖蟹蟹黄/膏中的维生素含量比较见图 4。两种蒸制条



同一组柱状图中不同字母表示在 $P<0.05$ 水平具有显著性

图 4 不同蒸制方式最佳感官条件下的维生素含量比较

Figure 4 Comparison of vitamins components under optimal sensory conditions of different steaming process

件下,太湖蟹的 V_{B2} 和 V_{B3} 含量没有显著性差异($P<0.05$)。猜测是 V_{B2} 微溶于水, V_{B3} (包含烟酸和烟酰胺)溶于水,在蒸制过程中会随着水分的流失有部分损失;但维生素含量较少,且 V_{B2} 在中性和酸性条件下对热稳定, V_{B3} 性质稳定,在高温高压条件下均不容易被破坏^[23],这些可能是 V_{B2} 和 V_{B3} 在两种蒸制方式之间没有呈现出显著性差异($P<0.05$)的原因。

2.3.3 氨基酸 生鲜太湖蟹样品中,可食部(肌肉和肝胰腺)中含量较高的氨基酸依次为谷氨酸($2.58\pm 0.22\%$)、天冬氨酸($1.71\pm 0.15\%$)、精氨酸($1.48\pm 0.15\%$)、亮氨酸($1.39\pm 0.16\%$)、丙氨酸($1.28\pm 0.58\%$)和赖氨酸($1.20\pm 0.12\%$)^[21]。蛋白质在蒸煮过程中随着热量的传递,中心温度的提高,非蛋白氮含量(主要包括游离氨基酸、核苷酸和小分子的多肽)逐渐升高,肉品风味因此逐渐变好^[18]。有文献^[6]表明,蒸制和煮制中华绒螯蟹(雄蟹)4个可食部中,同一部位不同烹调条件下的某些种类氨基酸存在极显著差异($P<0.01$)。本研究中不同蒸制方式下,太湖蟹蟹肉中某些氨基酸含量也存在显著差异($P<0.05$)见表 3。电蒸箱蒸制蟹的氨基酸总量、

表 3 最佳感官条件下的不同蒸制方式的蟹肉氨基酸含量比较[†]

Table 3 Comparison of amino acids under optimal sensory conditions of different steaming process g/100 g

氨基酸	雌蟹		雄蟹	
	电蒸箱	明火蒸锅	电蒸箱	明火蒸锅
天冬氨酸(Asp) ^a	7.89±0.07	8.03±0.06	8.80±0.53	8.06±0.02
谷氨酸(Glu) ^a	11.42±0.25	11.74±0.16	12.49±0.54	11.90±0.04
丝氨酸(Ser)	2.11±0.11	2.14±0.13	2.31±0.09	2.20±0.06
组氨酸(His)	1.49±0.12	1.55±0.01	1.74±0.15	1.53±0.00
甘氨酸(Gly) ^a	4.78±0.04	4.44±0.20	5.13±0.05	4.85±0.08
苏氨酸(Thr)	2.57±0.05	2.54±0.10	2.77±0.11	2.61±0.02
精氨酸(Arg) ^a	6.99±0.61	6.19±0.45	7.34±0.14	6.54±0.43
丙氨酸(Ala) ^a	5.66±0.15	5.95±0.03	5.33±0.07	5.43±0.06
酪氨酸(Tyr)	2.02±0.14	2.05±0.01	2.38±0.07*	2.07±0.01
半胱氨酸(Cys)	0.83±0.04	0.80±0.08	0.78±0.06	0.98±0.11
缬氨酸(Val)	3.66±0.01	3.58±0.04	3.90±0.19	3.54±0.02
甲硫氨酸(Met)	1.91±0.15	1.76±0.00	2.00±0.09	1.78±0.02
苯丙氨酸(Phe)	2.98±0.11	2.88±0.01	3.47±0.12*	2.85±0.02
异亮氨酸(Ile)	3.62±0.07	3.52±0.07	3.87±0.17	3.58±0.02
亮氨酸(Leu)	5.36±0.03*	5.16±0.05	5.99±0.07*	5.19±0.02
赖氨酸(Lys)	5.37±0.28	5.37±0.00	6.04±0.13*	5.29±0.02
脯氨酸(Pro)	3.31±0.18	3.58±0.14	2.74±0.34	2.97±0.16
TAA	71.96±1.86	71.29±0.60	77.08±2.10	71.36±0.32
EAA	26.94±0.35	26.36±0.26	29.78±1.04*	26.36±0.02
NEAA	45.02±1.52	44.93±0.35	47.30±1.06	45.00±0.34
DAA	36.74±1.05	36.36±0.00	39.08±1.33	36.79±0.23
EAA/TAA/%	37.45±0.49	36.98±0.05	38.63±0.29*	36.93±0.20
DAA/TAA/%	51.05±0.14	51.00±0.44	50.70±0.35	51.55±0.09
EAA/NEAA/%	59.87±1.24	58.68±0.12	62.96±0.77*	58.57±0.49

† a表示呈味氨基酸;TAA:总氨基酸;EAA:必需氨基酸;NEAA:非必需氨基酸;DAA:呈味氨基酸;*表示电蒸箱和明火蒸锅蒸制条件下的同一种氨基酸之间存在显著差异($P<0.05$)。

必需氨基酸总量、呈味氨基酸总量均高于明火蒸锅蒸制的,并且雄蟹的必需氨基酸总量在电蒸箱和明火蒸锅之间存在显著性差异($P<0.05$)。并且,除个别氨基酸外,电蒸箱蒸制蟹的氨基酸含量大部分高于明火蒸锅的。雌蟹中,电蒸箱蒸制的亮氨酸含量显著高于明火蒸锅的;雄蟹中,电蒸箱蒸制蟹的酪氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸和赖氨酸含量显著高于明火蒸制的($P<0.05$)。与蛋白质的损失类似,氨基酸显著性差异的产生主要是由于水分的损失和蒸汽温度的差异。

本研究中,熟制太湖蟹氨基酸组成中含量最高的是谷氨酸与天冬氨酸,这与大通湖和阳澄湖产中华绒螯蟹的研究结果一致^[10]。与文献[5]中煮制 15 min 的雄蟹相比,除天冬氨酸(8.80%)、蛋氨酸(1.08%)、异亮氨酸(3.68%)和脯氨酸

(2.45%)略低于本研究的蒸制雄蟹,其余氨基酸含量均略高。原因可能是中华绒螯蟹的品种不同,烹调方式和时间的不同。

2.3.4 脂肪酸 有研究^[24]表明,在高温烹调过程中,长链脂肪酸极易受到氧化物的影响,从而导致 PUFA 成分下降。不饱和脂肪酸的稳定性差,并且随着不饱和程度的增加,稳定性变差^[25]。生鲜太湖蟹肉的脂肪酸组成中, $C_{20:4}$ (ARA)含量为 $(2.05\pm 0.16)\%$, $C_{22:5}$ (EPA)含量为 $(6.35\pm 0.18)\%$, $C_{22:6}$ (DHA)含量为 $(4.83\pm 0.26)\%$ ^{[20]36-39}。熟制后含量均有所下降。

由表 4 可知,不同蒸制条件下蟹黄/蟹膏的电蒸箱蒸制蟹的单不饱和脂肪酸(MUFAs)所占比例显著高于明火蒸制的,但多不饱和脂肪酸(PUFAs)所占比例显著低于明火蒸锅

表 4 不同蒸制方式最佳感官条件下的脂肪酸组成比较[†]

Table 4 Comparison of fatty acid composition under optimal sensory conditions of different steaming process %

脂肪酸	雌蟹		雄蟹		
	电蒸箱	明火蒸锅	电蒸箱	明火蒸锅	
饱和脂肪酸 (SFA)	$C_{15:0}$	0.05±0.00 *	0.03±0.00	0.04±0.00 *	0.03±0.00
	$C_{16:0}$	0.18±0.00 *	0.11±0.00	0.26±0.01 *	0.11±0.00
	$C_{17:0}$	0.04±0.02	0.04±0.00	0.05±0.00	0.11±0.00 *
	$C_{18:0}$	11.24±0.11	12.01±0.07 *	9.79±0.09 *	5.87±0.01
	$C_{20:0}$	0.17±0.00 *	0.11±0.00	0.14±0.01 *	0.08±0.00
	$C_{22:0}$	0.83±0.04 *	0.43±0.01	0.38±0.01	0.38±0.01
	$C_{23:0}$	0.16±0.00	0.16±0.00	0.20±0.01	0.34±0.07
单不饱和 脂肪酸 (MUFA)	$C_{14:1}(n-3)$	0.09±0.00	0.08±0.00	0.09±0.01	0.08±0.00
	$C_{16:1}(n-7)$	0.56±0.01 *	0.41±0.00	0.50±0.01	0.47±0.01
	$C_{17:1}(n-7)$	17.28±0.10	21.00±0.07 *	19.75±0.16	19.37±0.17
	$C_{18:1}(n-13)$	0.70±0.01 *	0.27±0.00	0.32±0.01	0.25±0.02
	$C_{18:1}(n-9)$	1.20±0.05 *	0.60±0.01	0.67±0.01 *	0.50±0.04
	$C_{20:1}(n-9)$	3.41±0.01 *	2.04±0.00	2.19±0.02 *	1.78±0.03
	$C_{22:1}(n-9)$	4.58±0.05 *	1.57±0.00	2.46±0.01 *	1.35±0.03
多不饱和 脂肪酸 (PUFA)	$C_{18:2}(n-6)$	3.78±0.01 *	3.19±0.00	2.39±0.01	3.18±0.05 *
	$C_{18:3}(n-6)$	29.47±0.19	33.20±0.08 *	28.30±0.01	35.91±0.17 *
	$C_{18:3}(n-3)$	16.27±0.28	18.44±0.02 *	18.80±0.02	21.07±0.09 *
	$C_{20:2}(n-6)$	0.86±0.02	0.88±0.01	1.70±0.04	1.63±0.02
	$C_{20:3}(n-6)$	1.18±0.02	1.37±0.01 *	1.17±0.03	1.99±0.02 *
	$C_{20:3}(n-3)$	0.63±0.02	0.90±0.03 *	1.06±0.03	1.23±0.02
	$C_{20:4}(n-6)$	0.18±0.01	0.18±0.00	0.19±0.02	0.18±0.01
$C_{20:5}(n-3)$	0.05±0.04	0.08±0.00	0.18±0.01	0.32±0.02 *	
$C_{22:6}(n-3)$	4.80±0.16 *	1.64±0.01	7.03±0.13 *	2.53±0.03	
其他	2.31±0.01 *	1.24±0.01	2.33±0.02 *	1.25±0.04	
SFAs	12.66±0.04	12.90±0.05 *	10.86±0.07 *	6.93±0.10	
MUFAs	27.81±0.09 *	25.98±0.07	25.99±0.15 *	23.79±0.04	
PUFAs	53.44±0.13	56.69±0.13 *	58.43±0.23	64.85±0.14 *	
∑PUFA $n-3$	21.83±0.10 *	21.14±0.03	27.16±0.13 *	25.22±0.02	
∑PUFA $n-6$	35.48±0.24	38.83±0.10 *	33.75±0.10	42.89±0.08 *	
∑PUFA $n-3$ /∑PUFA $n-6$	0.61±0.01 *	0.54±0.00	0.80±0.00 *	0.59±0.00	

† * 表示电蒸箱和明火蒸锅蒸制条件下的同一种脂肪酸之间存在显著差异($P<0.05$)。

的($P < 0.05$)。而分析其中 $n-3$ 与 $n-6$ 系列多不饱和脂肪酸的比值($\sum\text{PUFA } n-3/\sum\text{PUFA } n-6$)发现,电蒸箱蒸制蟹的比值明显高于明火蒸锅蒸制的($P < 0.05$)。文献[19]报道, $\sum\text{PUFA } n-3/\sum\text{PUFA } n-6$ 比值越高, $n-3$ 系列 PUFAs 的利用率越高,对人体健康越有利,这表明电蒸箱蒸制蟹中 $n-3$ 系列 PUFAs 在人体中的利用率较高。

此外,DHA($C_{22,6}$)含量在电蒸箱与明火蒸锅蒸制样品之间存在显著性差异($P < 0.05$),电蒸箱蒸制样品中的 DHA 含量为明火蒸锅的 2 倍以上。结合文献[16]²²⁻²³发现,明火蒸制雄蟹的 DHA 含量与煮制 15 min 的雄蟹含量接近(2.85%),但远低于电蒸制雄蟹的 DHA 含量。其差异产生的原因可能是蒸制过程中,明火蒸锅中的过热蒸汽导致太湖蟹受热过度,DHA 氧化程度加剧,致使在脂肪酸中的比重下降。

2.3.5 虾青素及磷脂 蟹类产品是虾青素的重要来源,蟹壳内色素的主要组成成分为虾青素酯,蟹黄油中也含有丰富的虾青素^[1]。生蟹中,虾青素与蛋白质结合,不显红色;熟蟹中,由于虾青素高温不易被破坏,熟制后虾青素与蛋白质脱离,呈现原来的红色^[26]。由图 5(a)可知,在最佳感官条件下,明火蒸锅蒸制蟹黄/膏中的虾青素含量显著低于电蒸箱蒸制的,电蒸箱蒸制雄蟹蟹黄中虾青素含量为明火蒸锅蒸制的 2 倍,雌蟹虾青素含量高达 3 倍。猜测虾青素的流失主要是由于蒸制过程中蟹黄/蟹膏的流失造成,明火蒸锅蒸制太湖蟹的失重率高,因此蟹黄流失多,虾青素含量损失多。

由图 5(b)可知,电蒸箱蒸制蟹中磷脂含量与明火蒸锅蒸制的并无显著差异($P < 0.05$)。有研究^[27]表明加热过程可以使磷脂与蛋白质结合,因而不易随着水分流失,猜测这是磷

脂含量在两种蒸制方式之间未产生差异的原因。

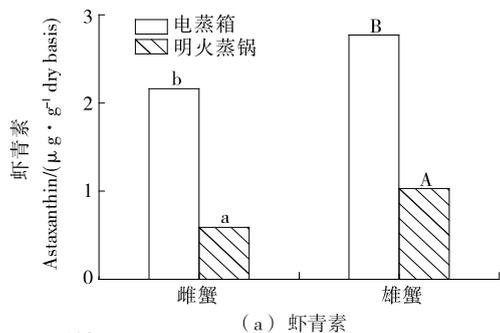
3 结论

本试验通过对两种蒸制方式(电蒸箱蒸制和明火蒸锅蒸制)对蟹感官评定及营养价值影响的研究发现:两种蒸制方式下的失重率均逐渐上升,可食部的水分逐渐下降,明火蒸锅蒸制蟹的失重率更高且水分下降更多,可能是明火蒸锅内温度过高造成;最佳感官条件下,电蒸箱蒸制的基本营养成分高于明火蒸锅的,部分指标之间存在显著性差异;电蒸箱蒸制蟹中 TAA、EAA 和 DAA 含量、MUFAs 所占比例、 $\sum\text{PUFA } n-3/\sum\text{PUFA } n-6$ 比值均高于明火蒸锅的,DHA 和虾青素含量都是明火蒸锅的 2 倍以上。但明火蒸锅蒸制蟹的 PUFAs 所占比例显著高于电蒸箱蒸制的。综合以上试验结果,在确保最佳感官的前提下,与明火蒸锅蒸制蟹相比,电蒸箱蒸制蟹可以较好地保留食材本身的营养。

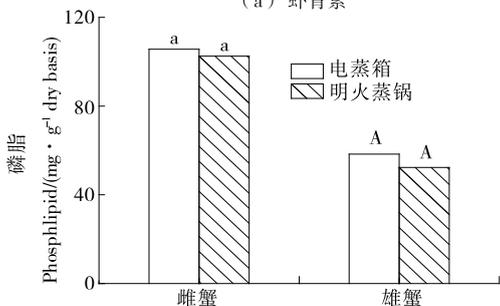
蟹类研究中,曾有研究者^[16]⁵⁶⁻⁵⁷采用同时蒸馏萃取技术(SDE)和气相色谱—质谱联用技术(GC—MS)对其挥发性成分进行了分析,并采用 55% 的压缩程度测试了蟹肉组织的硬度和弹性。对于蟹类产品来说,风味和质构固然是评价的重要指标,但这些研究都没有考虑特定烹饪条件下的感官特性,基于感官评定下的营养品质评价对消费者而言更具有实际意义。因此,本研究选用了感官评价的方法确定不同蒸制条件下的最佳蒸制条件,并在此基础上进行了营养价值的比较。除此之外,本研究充实了淡水蟹营养价值的研究,对日常烹调和企业生产都具有一定的指导意义。但对于部分营养成分之间形成显著差异的原因,还需进一步的试验研究来探索与验证。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 19783—2005 中华绒螯蟹[S]. 北京:中国标准出版社,2005:2.
- [2] 郑海波. 中华绒螯蟹的品质分析与比较[D]. 无锡:江南大学,2008.
- [3] 柏如法,周刚,李跃华,等. 中华绒螯蟹种质特性研究江苏主要产区养殖河蟹可食部分矿物质元素特性的比较研究[J]. 水产养殖,2006,27(5):16-19.
- [4] 赵樑,吴娜,王锡昌,等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技,2016(7):261-269.
- [5] CHEN De-wei, ZHANG Min, SHRESTHA S. Compositional characteristics and nutritional quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1343-1349.
- [6] 付娜,王锡昌,陶宁萍,等. 蒸制和煮制中华绒螯蟹 4 个部位中游离氨基酸含量差异性分析[J]. 食品科学,2013(24):178-181.
- [7] MAULVAULT A L, ANACLETO P, LOURENÇO H M, et al. Nutritional quality and safety of cooked edible crab (*Cancer pagurus*)[J]. Food Chemistry, 2012, 133(2): 277-283.
- [8] 金燕. 蟹肉风味的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2011:38-45.
- [9] 卜俊芝. 三种海蟹营养和风味成分的研究[D]. 杭州:浙江工商大学,2012:46-63.



(a) 虾青素



(b) 磷脂

同一组柱状图中不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平具有显著性

图 5 不同蒸制方式最佳感官条件下的功能性成分比较

Figure 5 Comparison of functional components under optimal sensory conditions of different steaming process

计齿宽和节省材料,一般将小齿轮略加宽 5~10 mm。

2.4.5 圆整中心距后的强度校核

(1) 齿面接触疲劳强度校核:根据式(3),若 $\sigma_H \leq [\sigma_H]$,则齿面接触疲劳强度满足要求。

$$\sigma_H = \sqrt[3]{\frac{2K_H T_1}{\varphi_d d^3} \cdot \frac{u+1}{u}} \cdot Z_H Z_E Z_\epsilon \quad (3)$$

(2) 齿根弯曲疲劳强度校核:根据式(4),若 $\sigma_{Fi} \leq [\sigma_F]_i$,则齿根弯曲疲劳强度满足要求。

$$\sigma_{Fi} = \frac{2K_F T_1 Y_{Fai} Y_{sai} Y_\epsilon}{\varphi_d m^3 z_1^2} \quad (i = 1, 2) \quad (4)$$

2.4.6 主要设计参数 最终确定齿数 $z_1 = 24$, $z_2 = 96$,模数 $m = 2$ mm,压力角 $\alpha = 20^\circ$,中心距 $a = 120$ mm,齿宽 $b_1 = 55$ mm, $b_2 = 48$ mm。小齿轮选用 40Cr(调质),大齿轮选用 45 钢(调质)。齿轮按 7 级精度设计。

3 结论

通过对干果包装机的市场分析,提出并设计了一种集干果的定量收集、装袋、热塑封袋和纸袋的整齐装箱、自动封箱等功能于一体的旋转式多工位自动干果包装机,该机器采用旋转式可控定量投料系统实现干果的储料、送料、定量、调控容积功能;集抓袋、开袋、装袋、封袋于一体的打包系统实现干果可调控的定量装袋、封袋功能;斜面间歇运动式整齐装箱系统和环形自动封箱系统实现袋装干果的自动装箱、封箱功能。最终通过多次试验得到,干果损失率 $\leq 2\%$,果实破碎率 $\leq 1\%$,干果成功收集率 $\geq 98\%$ 。该机器全部采用机械机构实现功能,操作简单,适用性强。整体采用封闭式圆柱形设计,大大减少机器占地面积,因而具有良好的应用前景。

但本机的计量方式是量杯式的,计量精度不够,进一步开发时可采用多头计量称和光电控制的自动数粒等方式。

参考文献

- [1] 包装机[DB/OL]. [2016-12-03]. http://baike.baidu.com/link?url=dymilzmEIDsu-Wm8-N_fmVdubqZsPx1TNTka_-f06LAAAPqtgsIguh5QI5JKNpiUfAAr0EpoEEjTFZVah3X2ojdz-MfB1LmJ5BMtNAc3ykZX-T1cLCD_hoEXBMT3ImV8.
- [2] 封少坤. 一种改进型食品包装机: 中国, 104276296 A[P]. 2015-01-14.
- [3] 过山. 干果坚果零食包装: 中国. 202163763 U[P]. 2012-03-14.
- [4] JEONG Y M, KIM Y S, KIM S S, et al. Construction of an automation system for the inspection and packing processes of a screw/bolt production line[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2013, 27(6): 1 835-1 824.
- [5] YAMAMOTO S, OCHIAI Y, SAITO S. et al. Study on an automatic packing system for strawberries[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2012, 28(4): 593-601.
- [6] 邓永祥, 李高军. CH 透明纸包装机烟包压紧装置的改进[J]. 食品与机械, 2016, 32(5): 110-113.
- [7] 邵忠良. 基于 PLC 的 FFS 包装机移动平台设计及控制系统实现[J]. 食品与机械, 2013, 29(3): 157-160.
- [8] 温诗铸, 丁建宁. 微型机械设计基础研究[J]. 机械工程学报, 2000, 36(7): 39-42.
- [9] 濮良贵, 陈国定, 吴立言. 机械设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013.
- [10] 廖念钊, 古莹菴, 莫雨松, 等. 互换性与技术测量[M]. 北京: 中国质检出版社, 2012: 217-218.
- [10] 杨品红, 李梦军, 黄春红, 等. 大通湖中华绒螯蟹 (*Eriocheir sinensis*) 品质分析与评价[J]. 海洋与湖沼, 2014, 45(3): 637-643.
- [11] 邵利平, 夏文水, 姜启兴, 等. 蟹黄油的理化性质及其营养成分分析[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 362-364, 369.
- [12] 邵路畅. 配合饲料和野杂鱼育肥对中华绒螯蟹品质及感官评价的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2012: 49-51.
- [13] 王少梅, 陈少莲, 崔奕波. 用氯仿-甲醇抽提法测定鱼体脂肪含量的研究[J]. 水生生物学报, 1993, 17(2): 193-196.
- [14] 常相娜, 骆伟, 王正平. 高效液相色谱在检测维生素 B₂ 中的应用[J]. 化学工程师, 2005(2): 44-45.
- [15] 中华人民共和国卫生部. GB 5413.15—2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中烟酸和烟酰胺的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010: 1-3.
- [16] 陈德慰. 熟制大闸蟹风味及冷冻加工技术的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. SN/T 2327—2009 中华人民共和国出入境检验检疫行业标准 进出口动物源性食品中角黄素、虾青素的检测方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 1-3.
- [18] 孙丽, 夏文水. 蒸煮对金枪鱼肉及其蛋白质热变性的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(1): 22-25.
- [19] RISSO S J, CARELLI A A. Nutrient composition of raw and cooked meat of male southern king crab (*Lithodes santolla* Molina, 1782[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2012, 21: 433-444.
- [20] 孙丽萍. 东太湖常见沉水植物作为中华绒螯蟹饲料源的可行性研究[D]. 苏州: 苏州大学, 2011.
- [21] 朱清顺, 柏如发. 养殖中华绒螯蟹风味品质比较研究[J]. 中国农学通报, 2008(3): 463-468.
- [22] 胡宏海, 张泓术, 张雪. 过热蒸汽在肉类调理食品加工中的应用研究[J]. 肉类研究, 2013, 27(7): 48-52.
- [23] ZIEGLER Ekhard E, FILER L J. 现代营养学[M]. 闻芝梅, 陈君石, 译. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 154-161.
- [24] GLADYSHEV M, SUSHCHIK N, GUBANENKO G, et al. Effect of way of cooking on content of essential polyunsaturated fatty acids in muscle tissue of humpback salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) [J]. Food Chemistry, 2006, 96(3): 446-451.
- [25] SIOEN I, HAAK L, RAES K, et al. Effect of pan-frying in margarine and olive on the fatty acid composition of cod and salmon[J]. Food Chemistry, 2006, 98(4): 609-617.
- [26] 刘子贻, 沈奇桂. 虾青素的生物活性及开发应用前景[J]. 中国海洋药物, 1997(3): 46-49.
- [27] TSAPE K, SINANOGLU V J, MINIADIS-MEIMAROGLOU S. Comparative analysis of the fatty acid and sterol profiles of widely consumed Mediterranean crustacean species [J]. Food Chemistry, 2010, 122(1): 292-299.

(上接第 38 页)