

## 冷冻即食海参质构特性指标的相关性研究

葛小通<sup>1,2,3</sup>, 王红丽<sup>1,2,3</sup>, 尹明雨<sup>1,2,3</sup>, 王锡昌<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>上海海洋大学食品学院 上海 201306

<sup>2</sup>上海水产品加工及贮藏工程技术研究中心 上海 201306

<sup>3</sup>农业农村部水产品贮藏保鲜质量安全风险评估实验室 上海 201306

**摘要** 目的:全面评价冷冻即食海参的质构特性。方法:采用质构仪(质地剖面、剪切力和应力松弛模式)检测和感官评价方法对 4 种方式解冻的冷冻即食海参进行质构测定,对仪器检测各指标间、仪器检测指标与感官评价指标间进行相关性分析,并对仪器检测指标进行主成分分析。结果:4 种解冻组的仪器检测指标与感官评价指标均具有显著性差异( $P<0.05$ )。除 TPA 黏聚性与 TPA 弹性、纵剪切力、粘滞系数  $\eta$  外,9 项仪器检测指标间均呈较高的相关性( $r\geq 0.800$ );同时,仪器检测指标和感官评价指标间存在一定的相关性( $r=0.577\sim 0.994$ )。主成分分析表明感官评价总分最高的冷藏解冻组趋近于主成分 1 和 2 的正方向,且能同时被 TPA 黏聚性、TPA 硬度、横剪切力和弹性模量  $E_1$  较好地解释。结论:冷冻即食海参质构特性指标间具有很好的相关性,本研究结果为冷冻即食海参的质构评价研究提供参考。

**关键词** 冷冻即食海参;质构特性;仪器检测指标;感官评价

**文章编号** 1009-7848(2023)01-0326-09 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2023.01.031

海参属棘皮动物门(Echinodermata)海参纲(Holothuroidea),富含肽、三萜苷、甾醇和多糖等生物活性物质,是一种海洋高营养价值食品<sup>[1]</sup>。目前,海参养殖年产量近 22 万 t,市场价值超过 70 亿美元<sup>[2]</sup>。因海参在机械破坏、温度变化、水质变化、盐度变化等刺激下会产生自溶现象<sup>[3]</sup>,故选择合适的加工方法以延长其贮藏时间尤为重要。传统的海参加工方法为干制,大多采用自然晾晒,加入大量糖或盐进行腌制,其过程复杂且需复水操作,极大地破坏了海参的品质。不同于传统干制海参,通过高温、高压和热处理制备的冷冻即食海参,由于生产工序少,所含营养成分尤其是水溶性营养物质及生物活性物质损失相对较小<sup>[4]</sup>,且产品食用方便性增强,因此成为近 10 年受欢迎的一种产品。

冷冻即食海参产品方便食用,具有较好的弹性、韧性及口感<sup>[5]</sup>,其质构特性对消费者的感官体验影响显著。冷冻即食海参的质构特性可通过人的感官评价或仪器评价的方法获得。感官评价能直观反映冷冻即食海参的质构特性,然而,主观因素影响大,评价结果无法直接用精确的数据表达,

具有局限性<sup>[6]</sup>。因此,使用便捷、客观的仪器检测各项指标具有很重要的意义。目前已有对海参质构特性分析的研究报道,如 Liu 等<sup>[2]</sup>通过硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性等 TPA(Texture profile analysis)指标表征贮藏过程中胶原蛋白氧化对海参体壁的影响;Xiong 等<sup>[7]</sup>利用剪切力测定海参氧化过程中的嫩化程度;薛冬梅等<sup>[8]</sup>通过应力松弛试验表征加热条件下海参的结构变化。综上,前人报道采用质构仪测量海参质构特性的方法单一,对冷冻即食海参质构特性的研究较少。

本试验选用 4 种解冻方式的冷冻即食海参为原料(冷藏解冻、空气解冻、静水解冻和超声辅助解冻),进行 TPA、剪切力和应力松弛等指标检测,并与感官评价进行关联分析。基于冷冻即食海参质构特性的全面分析与评价,为冷冻即食海参质构品质提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

冷冻即食海参(蓝渤海海洋食品有限公司,辽宁省大连市)购于麦德龙超市,置于铺满冰袋的保鲜箱迅速运输至实验室,放在 $(-20\pm 1)^\circ\text{C}$ 冰箱中贮藏备用。

Fluke-NetDAQ32 多点温度采集仪,美国

收稿日期:2022-01-29

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0901006)

第一作者:葛小通,男,硕士生

通信作者:王锡昌 E-mail: xcwang@shou.edu.cn

Fluke 公司;KQ-100VDE 型超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司;TA-XT2I 质构分析仪,英国 SMS 公司。

## 1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 从-20℃冰箱中取出冷冻即食海参,选出大小相似(质量:(20.56±1.78)g,体长:

(8.12±0.67)cm, $n=160$ ),经过4种方式解冻的冷冻即食海参作为研究对象,其试验设计组别见表1。各组均采用多点温度采集仪测定温度,待其中心温度达到4℃时,即视为解冻结束,立即进行质构特性的检测。

表 1 冷冻即食海参的 4 种解冻方式与解冻时间

Table 1 Four thawing methods of frozen instant sea cucumbers

组别	解冻方式	操作方式	解冻时间/min
A	冷藏解冻	样品置于(4±1)℃冷藏室中解冻	414.9
B	空气解冻	样品置于室温(20±2)℃下解冻	98.6
C	静水解冻	样品置于水温(20±2)℃的满水烧杯中解冻	23.1
D	超声辅助解冻	样品置于频率 43 kHz、功率 200 W、水温(20±1)℃的超声清洗仪中解冻 <sup>[9]</sup>	11.3

### 1.2.2 质构仪检测

1.2.2.1 样品制备 取解冻后的冷冻即食海参用滤纸擦干表面水分,去头去尾将中间腹部平整区域切成直径 2 cm,厚度 25 mm 的圆柱体。

1.2.2.2 TPA TPA 测定参考 Torres 等<sup>[10]</sup>的方法,并稍作修改,将样品置于 SMS 物性分析仪进行二次压缩试验。使用 P/50 平底柱形探头,试验前、中、后速度分别设置为 1,5,1 mm/s,压缩度 30%,两次压缩间隔 5 s,触发力 5 g。

1.2.2.3 剪切力 参考 Zhu 等<sup>[11]</sup>的方法并稍作修改,将样品垂直于 SMS 物性分析仪上进行纵剪切力试验,将样品水平于平台放置。测定条件:探头型号为 WBS 切刀形探头,试验前、中、后速度分别设置为 1,5,1 mm/s,初始激发力 5 g。

1.2.2.4 应力松弛 参考 Zhang 等<sup>[12]</sup>的方法并稍作修改。将样品置于 SMS 物性分析仪上进行一次压缩试验。使用 P/36 平底柱形探头,试验前、中、后速度分别设定为 1,2,1 mm/s,压缩度 30%,压缩时间 60 s。

应力松弛曲线采用改进的三元模型拟合如下式<sup>[13]</sup>:

$$\sigma = E_0 \varepsilon_0 + E_1 \varepsilon_0 e^{-t/\tau} \quad (1)$$

$$\tau = \eta / E_1 \quad (2)$$

式中, $\sigma$ ——样品在试验中任何时间  $t$  所受的应力(kg); $\varepsilon_0$ ——应变压缩(30%); $\tau$ —— $\sigma$  降至初始值  $e^{-1}$  时的弛豫时间(s); $E_0$  和  $E_1$ ——平衡和衰减弹性系数; $\eta$ ——阻尼体粘滞系数。

1.2.3 感官评价 参考邱岑<sup>[14]</sup>的方法,以硬度、弹性、黏度 3 项作为样品的评价指标,制定感官评价标准表。4 组样品用 3 位数的随机数编码,由 10 位年龄在 22~25 岁经过训练的感官员(5 男 5 女)进行评价。

感官评价试验样品是解冻后的冷冻即食海参,切取中间腹部直径 2 cm,厚度 25 mm 的圆柱体小块。根据 GB/T 16860-1997 质构特性的定义和评价方法<sup>[15]</sup>,采取 10 分制打分,具体评分标准见表 2。

### 1.3 数据处理

所有试验均重复 8 次,试验数据以“平均值±标准偏差”表示。采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析及相关性分析。采用 Excel 插件 XLSTAT 进行主成分分析。作图软件是用 Sigma Plot 12.5 和 Adobe Illustrator CS5。

## 2 结果与分析

### 2.1 仪器检测指标分析

2.1.1 TPA TPA 以提供样品在形变中的力学特性信息,是一种广泛应用于食品质地评估的经典方法<sup>[16]</sup>。本试验主要对硬度、弹性、黏聚性和咀嚼性进行分析。4 种解冻方式间的样品质构特性差异显著( $P < 0.05$ )(图 1)。如图 1a 所示,A 组的硬度最大(4.48 kg),而 B 组的硬度最小(2.78 kg),硬度变化可能与冷冻即食海参体壁组织中胶原纤维的断裂有关,A 组硬度强表明其胶原纤维相互聚集,

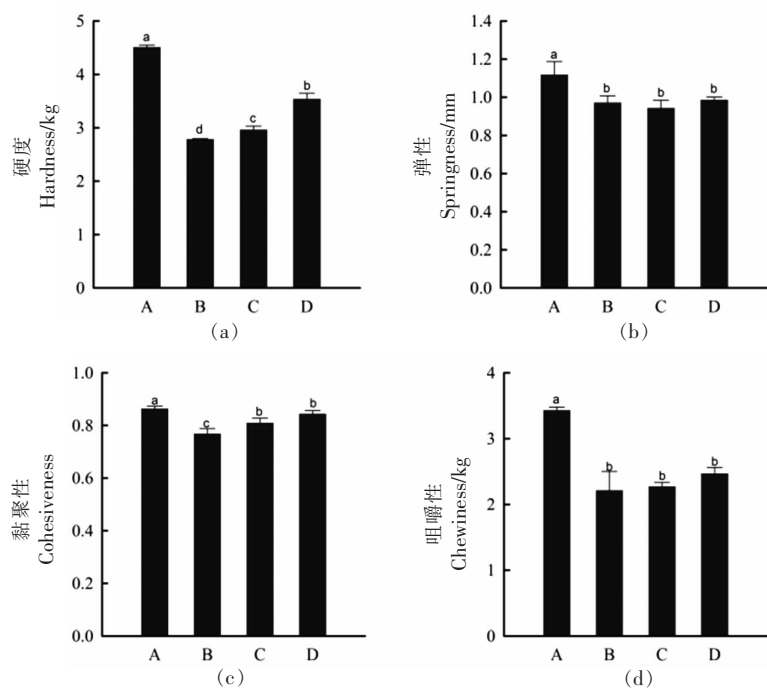
表2 质构特性感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard for texture properties

感官属性	分值	评分标准	参照样品
硬度	8~10	样品硬度较高	胡萝卜
	6~8	样品硬度高	花生
	4~6	样品较软	奶酪
	<4	样品非常稀软	鸡蛋白
弹性	8~10	样品有弹性,指轻压后凹陷立即恢复	果冻
	6~8	样品稍有弹性,指轻压后凹陷恢复较快	果汁软糖
	4~6	样品弹性较差,指轻压后凹陷恢复较慢	法兰克福香肠
	<4	样品弹性差,指轻压后凹陷不恢复	奶油奶酪
黏度	8~10	样品咀嚼时较稠且较容易黏附在牙齿上	加糖炼乳
	6~8	样品咀嚼时稠且容易黏附在牙齿上	糖浆
	4~6	样品咀嚼时较稀且不易黏附在牙齿上	单炼乳
	<4	样品咀嚼时非常稀且无法黏附在牙齿上	水

具有较为致密的胶原纤维网络结构,有效维持其原有形态。前人研究发现<sup>[7]</sup>,食品弹性的变化与脂肪含量存在正相关关系,图1b中B、C和D组的弹性无显著差异( $P>0.05$ ),可能由于这3组解冻

时间较短并不能引起明显的脂肪损失。由图1d可知,A组的咀嚼性显著高于其它3组( $P<0.05$ ),咀嚼性可以反映样品的嫩度,它与硬度、弹性和黏聚性有关,是评价质地的综合指标。



注:不同小写字母表示组间差异显著( $P<0.05$ ),下同。

图1 4组冷冻即食海参的TPA测定结果

Fig.1 TPA determination results of four groups of frozen instant sea cucumber

2.1.2 剪切力 冷冻即食海参是经过高温、高压处理过的产品,其胶原蛋白已高度凝胶化,而嫩度

则是评价凝胶产品的重要指标。嫩度通常通过切割纤维阻力的大小来判断,剪切力则是测定嫩度

较客观的方法之一<sup>[18]</sup>。如图 2 所示,A 组的纵截面剪切力显著大于其它 3 组( $P<0.05$ ),与 TPA 中咀嚼性趋势相同。A 组的横截面剪切力显著大于 B 组( $P<0.05$ )。一般来说,剪切力越大,对机械剪切的抵抗能力越强,说明 A 组样品的韧性强且凝胶网络结构紧密。

**2.1.3 应力松弛** 应力松弛是研究大分子物质黏弹性的重要方法,它与凝胶的网络结构密切相关。图 3 显示了 4 组样品的应力松弛曲线,曲线的压缩部分(从试验开始到达到最大力)未考虑在内,当应力达到最大值后,所有样品的应力都迅速下降,然后随着时间的推移缓慢下降到一个平衡值。在不断形变的过程中,冷冻即食海参的蛋白质大分子链会发生空间和构象变化,从而产生黏性流动,能量释放到环境中,从而降低应力,平衡应力

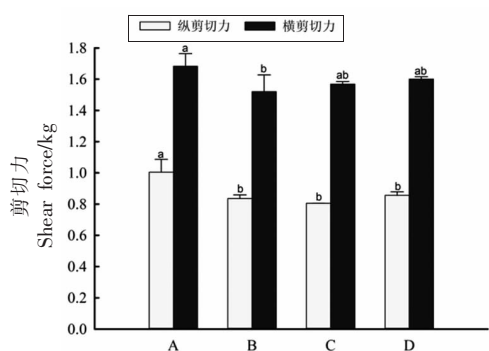


图 2 4 组冷冻即食海参的剪切力测定结果

Fig.2 Shear force determination results of four groups of frozen instant sea cucumber

值反映了样品的硬度<sup>[19]</sup>。从图 3 可以看出,A 组的平衡应力最大,说明 A 组的硬度最大,B 组最小,这与 TPA 硬度的测试结果一致。

根据公式(1)将试验数据拟合到修正的三元模型中,得到的  $E_0$ 、 $E_1$ 、 $\tau$  与  $\eta$  的拟合参数,试验数据与方程吻合良好,每个拟合方程  $R^2$  均大于 0.900。如表 3 所示,A 组的  $E_0$  和  $E_1$  参数明显高于其它 3 组( $P<0.05$ ),参数  $E_0$  与硬度密切相关。另一个参数  $E_1$  反应了样品的弹性, $E_1$  越高,从最大值到平衡点的下降距离就越大,弹性趋势是  $A>D>C>B$ 。松弛时间  $\tau$  取决于样品的黏度与弹性,它反映的是能量释放速度,这与大分子在压缩过程中的阻力有关<sup>[20]</sup>。根据公式(2)得到样品的粘滞系数  $\eta$  反映了样品的黏度,黏度趋势是  $A>D>B>C$ 。

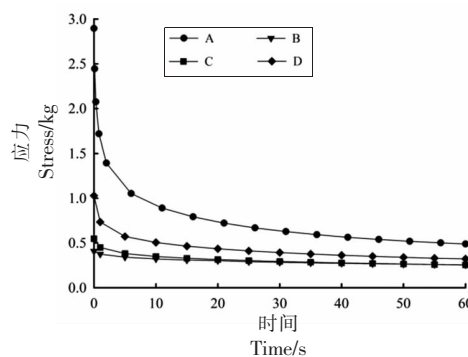


图 3 4 组冷冻即食海参的应力松弛曲线

Fig.3 Stress relaxation curves of four groups of frozen instant sea cucumber

表 3 4 组冷冻即食海参的三元模型参数

Table 3 Ternary model parameters of four groups of frozen instant sea cucumber

组别	$E_0/\text{kPa}$	$E_1/\text{kPa}$	$\tau/\text{s}$	$\eta/\text{kPa}\cdot\text{s}$	$R^2$
A	$4.35 \pm 1.48^a$	$24.70 \pm 0.80^a$	$1.59 \pm 0.16^c$	$39.14 \pm 3.89^a$	0.905
B	$1.39 \pm 0.20^b$	$2.30 \pm 0.08^c$	$6.18 \pm 0.79^a$	$14.27 \pm 2.31^{bc}$	0.996
C	$1.63 \pm 0.09^b$	$3.28 \pm 0.62^c$	$3.87 \pm 0.96^b$	$12.39 \pm 0.75^c$	0.977
D	$1.95 \pm 0.18^b$	$9.39 \pm 1.03^b$	$1.94 \pm 0.32^c$	$18.02 \pm 1.49^b$	0.960

## 2.2 感官评价指标分析

感官评价是一种直观、快速的评价方法。由图 4a 可知,感官评价中硬度趋势是  $A>D>C>B$ ;弹性趋势是  $A>D>C>B$ ;黏度趋势是  $A>D>B>C$ ,这与仪器检测指标分析结果基本相同。

从感官评价总分的结果(图 4b)可以看出 A

组(19.84)的感官总分最高,其次是 D 组(17.96)和 C 组(15.6),B 组(13.81)感官总分最低。其主要原因可能是 A 组的解冻温度低且过程较温和,有效地减弱了生化反应强度,抑制了微生物的繁殖,组织损伤较小,胶原纤维结构致密。D 组由于超声波作用水产生空化气泡,C 组由于介质是水,两者都



提高了传热效率,能较快地通过最大冰晶融解带(-5~0℃),从而减少了样品胶原蛋白的降解,降低了组织结构的破坏<sup>[21]</sup>。综上,4组样品的质构特性感官评价指标具有显著性差异( $P<0.05$ )。

然而,仪器检测指标能否互相关联,能否准确反映消费者的感官真实值,还需要做进一步的相关性与主成分分析。

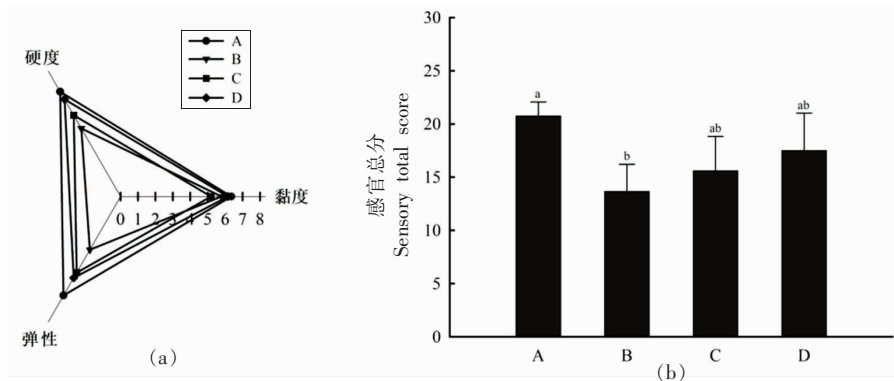


图4 4组冷冻即食海参的感官评价与评价总分结果

Fig.4 Sensory evaluation and total score results of four groups of frozen instant sea cucumber

### 2.3 仪器检测指标间的相关性分析

仪器检测指标间的相关性见图5。9项仪器检测指标中,除了黏聚性与弹性、纵剪切力、 $\eta$ 外,其它仪器检测指标间均具有较高的相关性( $r=0.800\sim 0.999\geq 0.800$ ),说明质构仪检测的仪器指标间呈较好相关性。其中TPA黏聚性是第一次压缩与第二次压缩的做功之比,一定程度上与其它仪器检测指标相关性不高,这与以往研究结果相符<sup>[22]</sup>。而

弹性模量  $E_1$  与硬度( $r=0.990, P<0.01$ )、弹性( $r=0.974, P<0.05$ )、咀嚼性( $r=0.994, P<0.01$ )、纵剪切力( $r=0.978, P<0.05$ )、横剪切力( $r=0.961, P<0.05$ )、 $E_0$ ( $r=0.986, P<0.05$ )、 $\eta$ ( $r=0.987, P<0.05$ )之间有不同程度的相关性。冷冻即食海参的  $E_1$  表示的是样品在弹性形变区内应力与应变曲线的斜率,这与大分子在压缩过程中的阻力有关,与样品的柔韧性密切相关<sup>[20]</sup>。

	硬度	弹性	黏聚性	咀嚼性	纵剪切力	横剪切力	$E_0$	$E_1$	$\eta$	$r$
硬度	1.000	0.935	0.926	0.969*	0.944	0.978*	0.957*	0.990**	0.956*	1.000
弹性	0.935	1.000	0.755	0.988*	0.999**	0.879	0.982*	0.974*	0.998**	0.875
黏聚性	0.926	0.755	1.000	0.845	0.764	0.976*	0.842	0.882	0.800	0.750
咀嚼性	0.969*	0.988*	0.845	1.000	0.986*	0.941	0.998**	0.994**	0.996**	
纵剪切力	0.944	0.999**	0.764	0.986*	1.000	0.883	0.978*	0.978*	0.997**	
横剪切力	0.978*	0.879	0.976*	0.941	0.883	1.000	0.939	0.961*	0.910	
$E_0$	0.957*	0.982*	0.842	0.998**	0.978*	0.939	1.000	0.986*	0.991**	
$E_1$	0.990**	0.974*	0.882	0.994**	0.978*	0.961*	0.986*	1.000	0.987*	
$\eta$	0.956*	0.998**	0.800	0.996**	0.997**	0.910	0.991**	0.987*	1.000	

注:\*. 皮尔逊相关分析有显著性( $P<0.05$ ),\*\*. 皮尔逊相关分析有极显著性( $P<0.01$ )。L shear force 为纵剪切力, T shear force 为横剪切力,下同。

图5 仪器检测指标间的聚类相关性色图

Fig.5 Color map of correlations among instrument detection indicators

### 2.4 仪器检测指标与感官评价指标间的相关性分析

仪器检测指标与感官评价指标间的相关性见图6。硬度、黏聚性、咀嚼性、横剪切力和  $E_1$  与感官硬度,硬度、黏聚性、咀嚼性、横剪切力、 $E_0$  和  $E_1$  与感官弹性,全部仪器检测指标与感官总分均呈较

高的相关性( $r=0.800\sim 0.994\geq 0.800$ ),说明感官评价是一种主观性、综合性较强的质构特性评价,部分仪器检测指标与特定感官评价指标呈弱相关性,然而所有仪器检测指标与感官总分间相关性较好。其中 TPA 黏聚性与感官硬度( $r=0.982, P<0.05$ )、感官弹性( $r=0.994, P<0.01$ )、感官总分

( $r=0.984, P<0.05$ )间呈显著相关性,冷冻即食海参的黏聚性表示的是样品断裂前的形变程度,这与样品的柔软性和组织状态密切相关<sup>[23]</sup>。样品的横剪切力与感官弹性和感官总分间呈显著相关性( $P<0.05$ ),横剪切力是模拟人咬合冷冻即食海参所需力的最佳参数,样品弹性越好,则抗拒形变的力量越大,所需横剪切力就越高<sup>[24]</sup>。硬度是反映均匀咀嚼时压迫样品所需的力,而 TPA 硬度是第 1 次压缩所需的力,且在没超过消费者承受范围时,

样品的硬度越大,质构越好<sup>[25]</sup>。而感官黏度与所有仪器检测指标相关性不高 ( $r=0.577\sim 0.790<0.8$ ),黏度与抗流动性的机械质地特性有关,表现为用舌头将样品吸进口腔里,用平稳速率所需的力量,而质构仪检测的样品为圆柱状小块,从而导致感官黏度与仪器检测指标相关性不高。综上,仪器检测指标和感官评价指标之间存在一定的相关性,且可将 TPA 硬度、TPA 黏聚性和横剪切力作为冷冻即食海参质构特性评价的重要综合性指标。

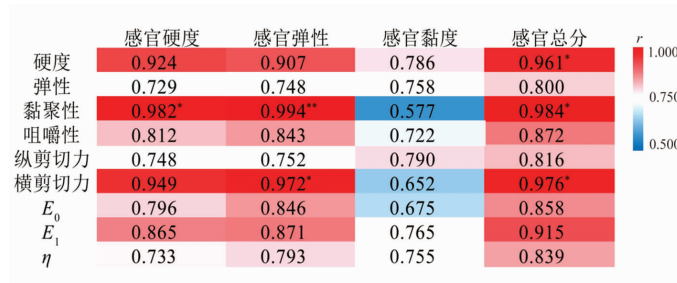


图 6 仪器检测指标与感官评价指标间的聚类相关性色图

Fig.6 Color map of correlations among instrumental detection indicators and sensory evaluation indexes

### 2.5 仪器检测指标的主成分分析

对仪器检测指标数据进行主成分分析 (PCA),发现前 2 个主成了解释了总变量的 99.65%(PC1 和 PC2 分别为 94.83%和 4.82%)(图 7)。载荷图表明射线的箭头终点与原点距离越远,其指标被 2 个主成了解释程度越高,箭头空间距离越近,指标间相关性就越高<sup>[26]</sup>。主成分 1 与 9 项仪器检测指标均呈正相关,且应力松弛  $E_1$  和 TPA 硬度能较好的被主成分 1 解释。主成分 2 与 TPA 黏聚性、横剪切力、TPA 硬度和弹性模量  $E_1$  正相关且能较好的被主成分 2 解释,与其它仪器检测指标呈负相关。所有仪器检测指标均能被这 2 个主成分较好的解释。

图 8 是对 4 组样品得分因子绘制的 PCA 得分图。4 个象限把 4 个解冻组分 3 类,这与感官评价总分分类情况相似。感官评价总分最高的 A 组趋近于主成分 1 和主成分 2 的正方向,由于主成分 1 与应力松弛  $E_1$  和 TPA 硬度呈正相关且能够被较好的解释,主成分 2 与 TPA 黏聚性、横剪切力、TPA 硬度和弹性模量  $E_1$  正相关且能较好的解释,说明样品要获得较好的感官评价总分,需要较高的黏聚性、硬度、横剪切力和  $E_1$ 。

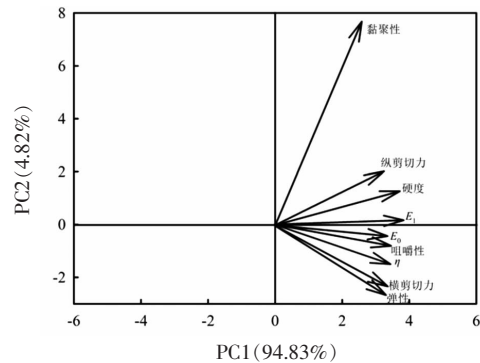


图 7 主成分载荷图

Fig.7 Biplot of principal component analysis

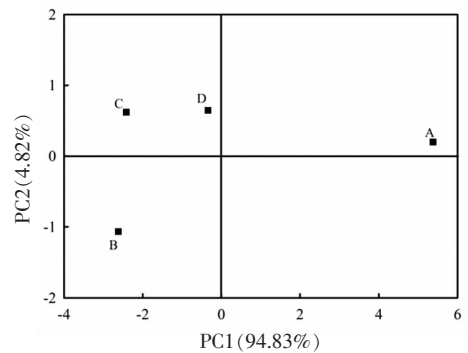


图 8 4 组样品的主成分得分图

Fig.8 Principal component score chart of four groups of samples

总之,仪器检测指标间的主成分分析和仪器检测指标与感官评价指标间相关性分析结果相似,对冷冻即食海参质构特性起关键作用的指标是TPA黏聚性、TPA硬度、横剪切力和弹性模量 $E_1$ 。

### 3 结论

本研究通过TPA、剪切力和应力松弛试验中的9项仪器检测指标分析和3项感官评价指标分析对4种方式解冻的冷冻即食海参样品质构特性进行研究,得到以下结论:

1) 4种方式解冻的冷冻即食海参的仪器检测指标与感官评价指标均具有显著差异( $P < 0.05$ ),表明质构特性与样品本身的特性存在密切关系,如冷冻即食海参解冻后的微生物繁殖、蛋白质氧化和水分流失等均对质构特性产生影响。

2) 经过仪器检测指标间的相关性分析,发现质构仪测量的9项仪器指标除黏聚性与弹性、纵剪切力、 $\eta$ 以外,其余指标间均呈较高的相关性( $r \geq 0.800$ )。

3) 经过仪器检测指标与感官评价指标间的相关性分析,发现TPA黏聚性与感官硬度和感官总分显著相关( $P < 0.05$ ),与感官弹性极显著相关( $P < 0.01$ ),样品的横剪切力与感官弹性和感官总分显著相关( $P < 0.05$ ),TPA硬度则与感官总分显著相关( $P < 0.05$ )。

4) 经过仪器检测指标间的主成分分析,发现黏聚性、硬度、横剪切力和 $E_1$ 对感官评价总分影响较大。

综上,对冷冻即食海参质构特性起到决定性作用的指标是TPA黏聚性、TPA硬度、横剪切力和弹性模量 $E_1$ 。仪器检测指标间相关性较好,精确性高且测量快速、便捷;感官评价指标虽能准确反映消费者的感官真实值,但主观性较强且耗时、耗力。

### 参 考 文 献

- [1] BORDBAR S, ANWAR F. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods—A review[J]. *Marine Drugs*, 2011, 9(10): 1761–1805.
- [2] LIU Z Q, LI D Y, SONG L, et al. Effects of proteolysis and oxidation on mechanical properties of sea cucumber (*Stichopus japonicus*) during thermal processing and storage and their control[J]. *Food Chemistry*, 2020, 330(15): 127248.
- [3] LIU Y X, ZHOU D Y, MA D D, et al. Effects of endogenous cysteine proteinases on structures of collagen fibres from dermis of sea cucumber (*Stichopus japonicus*)[J]. *Food Chemistry*, 2017, 232(1): 10–18.
- [4] 汤志旭, 薛冬梅, 徐凤香, 等. 即食海参质构及流变学特征的研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(10): 57–60.
- [5] TANG Z X, XUE D M, XU F X, et al. Research on the texture and rheological properties of instant sea cucumber[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2007, 28(10): 57–60.
- [5] 刘征东, 张永勤. 即食海参体壁失稳的影响因素及其稳定化方法研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(9): 56–60.
- [5] LIU Z D, ZHANG Y Q. Influencing in the unstable influences and the stabilization methods of instant sea cucumber body wall[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2014, 5(9): 56–60.
- [6] 王丹, 姜启兴, 许艳顺, 等. 鱼糕质构的仪器分析与感官评定间的相关性[J]. *食品与机械*, 2016, 32(4): 24–27.
- [6] WANG D, JIANG Q X, XU Y S, et al. Correlation between sensory evaluation and instrumental analysis of kamabokos texture[J]. *Food and Machinery*, 2016, 32(4): 24–27.
- [7] XIONG X, XIE W, XIE J, et al. Protein oxidation results in textural changes in sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) during tenderization[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2021(6): 111231.
- [8] 薛冬梅, 高昕, 崔凤霞, 等. 加热条件下刺参结构和流变学性质的变化[J]. *中国食品学报*, 2006, 6(1): 168–173.
- [8] XUE D M, GAO X, CUI F X, et al. Rheological and structure properties changes of *Stichopus japonicus* during heat treatment[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2006, 6(1): 168–173.
- [9] LI H J, HU Y F, ZHAO X H, et al. Effects of different ultrasound powers on the structure and stability of protein from sea cucumber gonad[J]. *LWT – Food Science and Technology*, 2020, 137(1): 110403.

- [10] TORRES J A, SARAIVA J A. Effect of combining high-pressure processing and frozen storage on the functional and sensory properties of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2014, 21(1): 2-11.
- [11] ZHU B, DONG X, SUN L, et al. Effect of thermal treatment on the texture and microstructure of abalone muscle (*Haliotis discus*) [J]. *Food Science & Biotechnology*, 2011, 20(6): 1467-1473.
- [12] ZHANG H, XIONG Y, BAKR Y A M, et al. Effect of yeast  $\beta$ -glucan on gel properties, spatial structure and sensory characteristics of silver carp surimi [J]. *Food Hydrocolloids*, 2018, 88(3): 256-264.
- [13] XU Y, XIONG S, ZHAO S, et al. Effect of cooking technology and chemical components on stress-relaxation property of cooked rice [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 35(2): 206-210.
- [14] 邱岑. 栅栏技术对即食鲜海参保鲜的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- QIU C. Study on the hurdle technology of instant fresh sea cucumber preservation [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016.
- [15] 国家技术监督局. 感官分析方法 质地剖面检验: GB/T 16860-1997[S]. 北京: 中国标准出版社, 1997: 6-15.
- The State Bureau of Quality and Technical Supervision. Sensory analysis methodology-Texture profile: GB/T 16860-1997[S]. Beijing: Standards Press of China, 1997: 6-15.
- [16] ALAKHRASH F, ANYANWU U, TAHERGORABI R. Physicochemical properties of Alaska pollock (*Theragra chalcogramma*) surimi gels with oat bran [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 66(3): 41-47.
- [17] 吴琼, 李德阳, 潘锦锋, 等. 熟化方式对大菱鲆肌肉加工特性的影响 [J]. *中国食品学报*, 2016, 16(9): 129-135.
- WU Q, LI D Y, PAN J F, et al. Effects of cooking methods on the processing characteristics of muscle from turbot (*Scophthalmus maximus*) [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2016, 16(9): 129-135.
- [18] 褚津, 王冬妮, 董秀萍, 等. 低温加热对海参体壁嫩化作用的研究 [C]. 中国食品科学技术学会中美食品业高层论坛, 2013. <http://conf.foodmate.net/mobile/show?id=60>.
- CHU J, WANG D N, DONG X P, et al. Study on tenderization of sea cucumber (*Stichopus Japonicus*) by low-temperature heating [C]. China-US Food Industry High-level Forum of Chinese Society for Food Science and Technology, 2013. <http://conf.foodmate.net/mobile/show?id=60>.
- [19] LIU Y M, LI R J, ZHAO S M. Effects of water,  $\text{Na}^+$  and  $\text{Ca}^{2+}$  on stress-relaxation properties of surimi gel [J]. *Journal of Central South University of Technology*, 2008, 15(1): 529-533.
- [20] XIONG Q, HU T, ZHAO S, et al. Texture and flavor characteristics of rice cake fermented by *Brettanomyces custersii* ZSM-001 [J]. *Journal of Food Science & Technology*, 2015, 52(11): 7113-7122.
- [21] 王雪松, 谢晶. 不同解冻方式对冷冻竹荚鱼品质的影响 [J]. *食品科学*, 2020, 636(23): 146-152.
- WANG X S, XIE J. Effects of different thawing methods on the quality of frozen horse mackerel [J]. *Food Science*, 2020, 636(23): 146-152.
- [22] 乔支红, 许荣华, 王恒, 等. 豆腐质构的感官评定与仪器评价的相关性分析 [J]. *食品工业科技*, 2021, 42(8): 271-276.
- QIAO Z H, XU R H, WANG H, et al. Correlation between sensory and instrumental measurement of tofu texture [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(8): 271-276.
- [23] 王灵昭, 陆启玉, 袁传光, 等. 用质构仪评价面条质地品质的研究 [J]. *郑州工程学院学报*, 2003, 24(3): 29-33, 49.
- WANG L Z, LU Q Y, YUAN C G, et al. Study on the assessment for noodle texture with texture analyzer [J]. *Journal of Zhengzhou Institute of Technology*, 2003, 24(3): 29-33, 49.
- [24] MITHCHELL J. Food texture and viscosity: Concept and measurement [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2003, 38(7): 839-840.
- [25] 徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究 [J]. *中国食品学报*, 2014, 14(12): 190-197.
- XU K H, ZHAO Q L, LIAO M T, et al. Research of relationship between texture and sensory evaluation of tuna [J]. *Journal of Chinese Institute of Food*



Science and Technology, 2014, 14(12): 190–197.  
[26] HADLE W, SIMAR L. Applied multivariate statisti-

cal analysis[M]. New York: Springer Verlag, 2007:  
243–244.

## Studies on Correlation of Texture Properties of Frozen Instant Sea Cucumber

Ge Xiaotong<sup>1,2,3</sup>, Wang Hongli<sup>1,2,3</sup>, Yin Mingyu<sup>1,2,3</sup>, Wang Xichang<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306

<sup>2</sup>Shanghai Engineering Research Center of Aquatic-Product Processing & Preservation, Shanghai 201306

<sup>3</sup>Laboratory of Quality and Safety Risk Assessment for Aquatic Products on Storage and Preservation (Shanghai),  
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Shanghai 201306)

**Abstract** Purpose: In order to make a comprehensive evaluation of the texture characteristics of frozen instant sea cucumbers. Method: Used texture analyzer (texture profile, shear force and stress relaxation mode) detection and sensory evaluation to characterize the texture of frozen instant sea cucumbers after four thawing methods. Analyzed the correlation between instrument detection indexes, instrument detection indexes and sensory evaluation indexes, and perform principal component analysis on instrument detection indexes. Results: The instrument detection indexes and sensory evaluation indexes of the four groups of samples were significant different ( $P < 0.05$ ). In addition to cohesiveness and elasticity, longitudinal shear force, coefficient of viscosity  $\eta$ . There was a high correlation among the 9 instrument detection indexes ( $r \geq 0.800$ ). Meanwhile, there was a certain correlation between instrument detection indexes and sensory evaluation indexes ( $r = 0.577-0.994$ ). The principal component analysis found that group refrigerated thawing with the highest total sensory evaluation approached the positive direction of principal components 1 and 2, and could be better explained by TPA cohesiveness, hardness, transverse shear force and elastic modulus  $E_1$ . Conclusion: The indexes of the texture properties of frozen instant sea cucumbers have a good correlation. This study provides a certain theoretical reference for the texture evaluation of frozen instant sea cucumbers.

**Keywords** frozen instant sea cucumber; texture properties; instrument detection indexes; sensory evaluation