

池塘养殖“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的滋味特征

刘洪波^{1,2}, 薛峻仁³, 唐静³, 任黎华⁴, 姜涛^{1,2}, 陈修报^{1,2}, 杨健^{1,2,3*}

(1. 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心 渔业微化学实验室, 江苏 无锡 214081; 2. 农业农村部淡水渔业和种质资源利用重点实验室, 江苏 无锡 214081; 3. 南京农业大学 无锡渔业学院, 江苏 无锡 214081; 4. 昆山市阳澄湖大闸蟹产业研究院, 江苏 昆山 215300)

摘要: 为揭示“六月黄”中华绒螯蟹食用部分(几乎全部为肝胰腺)的滋味品质特征,利用味觉分析系统,研究昆山市养殖池塘产雌、雄“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的滋味特征。结果表明,新鲜蒸制的“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的基本味味觉指标中,鲜味非常突出,其次是苦味和涩味。而其回味味觉指标中苦味回味最高,其次是涩味回味和鲜味回味。“六月黄”雌、雄蟹个体间,苦、涩味和苦味回味等味觉强度指标均有极显著差异($P<0.01$)。相关线性判别分析的初始验证判别和交互验证回判的正确率均可达到100%。池塘养殖“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺滋味具有显著性别差异性,雄蟹的滋味特征显示出较雌蟹更为美味的趋势。

关键词: 中华绒螯蟹;肝胰腺;味觉特征;电子舌;滋味;品质

Taste Profiling of Hepatopancreas from *Eriocheir sinensis* ‘Liuyuehuang’ from Aquaculture Ponds

LIU Hongbo^{1,2}, XUE Junren³, TANG Jing³, REN Lihua⁴, JIANG Tao^{1,2},
CHEN Xiubao^{1,2}, YANG Jian^{1,2,3*}

(1. Laboratory of Fishery Microchemistry, Freshwater Fisheries Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 2. Key Laboratory of Freshwater Fisheries and Germplasm Resources Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 3. Wuxi Fisheries College, Nanjing Agricultural University, Wuxi 214081, Jiangsu, China; 4. Kunshan Yangcheng Lake Crab Industrial Research Institute, Kunshan 215300, Jiangsu, China)

Abstract: The taste profile of the edible parts (almost all of which are hepatopancreas) of the Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) ‘Liuyuehuang’ (juveniles) was studied. An taste sensing system was used to quantitatively evaluate the taste attributes of the hepatopancreas in the crabs from the aquaculture ponds near the Yangcheng Lake in Kunshan City, Jiangsu Province. It was revealed that umami was the predominant taste of the steamed crabs, followed by bitterness and astringency. The bitterness aftertaste had the highest taste-active value among three aftertastes, followed by astringency aftertaste and umami aftertaste. Male and female crab samples had significant differences ($P<0.01$) in the values of bitterness, astringency, and bitterness aftertaste. The linear discriminant analysis indicated that both the initial discrimination and the cross-validation had the discriminant accuracy as high as 100%, which could robustly distinguish between male and female crabs. The results demonstrated that significant gender differences existed in hepatopancreatic taste profiles of the crabs from aquaculture ponds near the Yangcheng Lake, and the male crabs were tastier than the female crabs.

Key words: Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*); hepatopancreas; taste profile; electronic tongue; taste; quality

基金项目:国家自然科学基金面上项目(31772850);昆山市阳澄湖大闸蟹产业研究院项目(HX2021509300);中国水产科学研究院院级基本科研业务费专项(2021XT0704)

作者简介:刘洪波(1968—),女(汉),副研究员,博士,研究方向:渔业生态环境评价与保护。

*通信作者:杨健(1964—),男,研究员,博士,研究方向:渔业生态环境评价与保护。

引文格式:

刘洪波,薛峻仁,唐静,等.池塘养殖“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的滋味特征[J].食品研究与开发,2024,45(7):61-65.

LIU Hongbo, XUE Junren, TANG Jing, et al. Taste Profiling of Hepatopancreas from *Eriocheir sinensis* 'Liuyuehuang' from Aquaculture Ponds[J]. Food Research and Development, 2024, 45(7): 61-65.

“六月黄”是中华绒螯蟹(俗称大闸蟹、河蟹)养殖过程中没有完成生殖脱壳的幼蟹^[1],具有壳薄、肉嫩、黄多的优点^[2],其经济价值和水产养殖潜力已越来越受到重视。苏州市从2016年起创新性地连续举办了“六月黄”大闸蟹文化节,在满足相关消费者尝味需求的同时,也提高了养殖户的经济效益^[3]。

作为一种较为新型的夏季应市蟹水产品,“六月黄”蟹食用部分的滋味将直接影响到消费者的喜好^[4-5],然而至今相关研究较少。仅王帅等^[1]利用游离氨基酸及呈味核苷酸,Zhang等^[2]利用游离氨基酸的组成间接推测过“六月黄”肝胰腺的滋味。鉴于此,本研究基于采自昆山市阳澄湖大闸蟹产业园的“六月黄”蟹,利用可模拟人的味觉识别机能的SA402B型味觉分析系统^[6],对池塘养殖大闸蟹肝胰腺的滋味特征的具体测定和分析。该味觉分析系统的滋味感应膜反应已被证明,在氨基酸、脂肪酸、无机盐等呈味化学成分刺激时,是和人类味觉组织相同的基本味或回味味觉感应受体反应相对应,故具有味觉强度量化感应的可靠性^[6-9]。

本研究的目的主要为在直接获取昆山市池塘养殖的“六月黄”中华绒螯蟹基本味及其回味量化强度背景值,探讨其滋味特征的同时,有效分析雄蟹与雌蟹的滋味特征是否具有性别差异;以期利用味觉分析系统来有效测定和客观把握“六月黄”水产品的滋味品质,为其今后的市场开发提供重要的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

“六月黄”中华绒螯蟹:2021年7月采自昆山市阳澄湖大闸蟹产业园内池塘,雄蟹(KSX1~5)体质量85.1~150.3 g,雌蟹(KSC1~5)体质量69.8~102.7 g。

谷氨酸单钠(monosodium glutamate, MSG)、氯化钾(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司;酒石酸(分析纯):上海凌峰化学试剂有限公司;盐酸奎宁(分析纯):北京百灵威科技有限公司;单宁酸、异 α 酸(均为分析纯):日本INSENT公司。

1.2 仪器与设备

SA402B型味觉分析系统:日本INSENT公司;JYL-Y912高速破壁机:九阳股份有限公司;双圈定性滤纸:通用电气生物科技(杭州)有限公司;GKC214水浴锅:

南通华泰实验仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品前处理

将活体蟹用自来水冲洗去除表面泥沙等杂质,编好样本号后,放入不锈钢蒸锅内100℃蒸制30 min;打开头胸甲,取出全部肝胰腺并称量。将装有去离子水的容量瓶放入水浴锅中加热至40℃。熟制的肝胰腺按照1:10(g/mL)加入40℃去离子水,用高速破壁机匀浆2 min,然后转移到250 mL离心瓶中;3 600 r/min离心15 min,离心后的上清液经双圈定性双层过滤后,取80 mL平均分成两份放在样品杯里待用。

1.3.2 电子舌检测方法

基本味和回味味觉指标的膜传感器和玻璃参比电极检测以及实际蟹样的分析测试均用SA402B型味觉分析系统进行。因“六月黄”个体小,肝胰腺的量少;而与其它基本味的测量不同,甜味需要等量的专用样本和单独的方法进行检测,无法满足测定甜味所需样本量的要求,因此本研究中暂不涉及甜味的测定。确定电子舌正常状态的膜传感器和玻璃参比电极的检测参考Wu等^[6]、Liu等^[10]的方法进行。

“六月黄”味觉值样品的检测方法和数据处理参照刘洪波等^[11]和Liu等^[10]的方法。以参比溶液作为对照值,酸味的无味点为-13,咸(盐)味的无味点为-6,其余为0,1个味道单位代表呈味物质的刺激强弱发生了20%变化。

1.4 数据处理

雷达图描述“六月黄”中华绒螯蟹的味觉特征。使用SPSS 21.0进行Mann-Whitney U-test分析和线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA),以测试和可视化雄性和雌性“六月黄”中华绒螯蟹之间味觉强度指标的差异。

2 结果与分析

2.1 雌、雄“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的滋味值特征

昆山市池塘养殖“六月黄”雌、雄蟹的酸味值远低于无味点(-13)可视为0;同时其盐味值的范围大于30,超过了仪器的正常检测范围,被视为不可靠值。鲜、苦、涩味以及其回味作为有效味觉指标如表1所示。

从表1可知,“六月黄”基本味觉的排序是鲜味>苦味>涩味,后味中苦味回味最高,然后是涩味回味和鲜

表 1 江苏省昆山市池塘养殖“六月黄”肝胰腺的滋味强度值

Table 1 Taste values of hepatopancreas in the juveniles (‘Liuyuehuang’) of *Eriocheir sinensis* from aquaculture ponds in Kunshan, Jiangsu

样本组别	样本号	鲜味	鲜味回味	苦味	苦味回味	涩味	涩味回味
雄蟹	KSX1	15.43	7.16	11.93	7.85	10.69	6.62
	KSX2	15.29	4.93	11.69	8.36	8.15	6.15
	KSX3	15.69	5.56	11.89	8.17	8.97	6.45
	KSX4	15.62	4.42	12.11	9.03	8.45	6.02
	KSX5	15.31	4.22	12.12	9.42	8.48	6.00
	平均值±标准差	15.5±0.2	5.3±1.2	11.9±0.2	8.6±0.7	8.9±1.0	6.2±0.3
雌蟹	KSC1	16.27	4.71	11.00	10.75	7.44	6.53
	KSC2	14.75	6.07	11.07	11.11	7.43	6.95
	KSC3	15.15	4.03	10.91	10.08	7.90	6.38
	KSC4	15.36	4.00	10.92	10.13	7.76	6.34
	KSC5	15.49	3.88	10.42	9.57	7.69	6.40
	平均值±标准差	15.4±0.6	4.5±0.9	10.9±0.3	10.3±0.6	7.7±0.2	6.5±0.3

味回味。鲜味是最突出的滋味,此结果与成蟹肌肉的滋味轮廓一致^[11]。鲜味为 5 种基本味道之一^[12]。在蟹类可食部分呈味氨基酸的组成中 MSG 含量最高^[3,13],“六月黄”雌、雄蟹的谷氨酸含量分别为 1.35 g/100 g DW 和 1.25 g/100 g DW^[3],且游离氨基酸组成与成蟹相比并无明显差异^[1],呈味核苷酸如 5'-鸟苷酸和 5'-腺苷酸的含量与成蟹相当^[1],呈味核苷酸与游离氨基酸还有协同增鲜作用^[14],因此,“六月黄”中华绒螯蟹的鲜味较其它味觉显示出了最高的感知强度。

本次试验盐味的感知强度值被推测为不可靠。味觉传感系统的测量结果呈现出两种输出类型:基本味(鲜味、苦味、涩味和咸味)的值和后味(鲜味回味,苦味回味和涩味回味)对应的吸附味觉物质产生的膜电位变化(change in membrane potential caused by the adsorption of taste substances onto the membrane,CPA)值。回味的 CPA 值表示样品测量前后吸附引起的参比溶液膜电位的变化^[9,15]。测定溶液的 pH 值超过 8,对咸味传感器有影响;但即使 pH 值低于 8,只要含有较多的碱性氨基酸,咸味传感器仍有可能出现异常应答。“六月黄”蟹肝胰腺上清液的 pH 值为 6.5,呈弱酸性;但因含有较高的精氨酸属碱性氨基酸^[3],其所带的正电荷对咸味传感器的输出仍可能会有较大影响,即精氨酸对咸味传感器的应答可能使测定所获咸味值大于实际的咸味水平。

“六月黄”蟹基本味的输出强度值中还有苦味(10.4~12.1)和涩味(7.4~10.7)值。奎宁化合物感知的阈值为 0.008 mmol/L^[16]。0.01 mmol/L 奎宁化合物对应于滋味传感器上的输出值约为 10^[7],即输出值低于 10 时无法被人感知^[15]。在本次测定中,苦味传感器的输出值为 10.4~12.1,可被视为低苦味水平。而低苦味强度被认为是味道丰富性的表现^[17-18]。对食品而言,低

苦味是一种风味指标^[17],保证其中含有低苦味以增加味道丰富性是食品行业的大趋势之一^[15,19]。同时中华绒螯蟹可食部分中含量最高的苦味氨基酸是精氨酸(Arg)^[1,3,13],但它同时也含有甜味^[13]。0.05% 单宁酸对应在味道传感器上的起始输出值约为 11^[7],即人能感知的最低涩味输出值为 11。试验测定中涩味传感器的最大输出值仅为 10.7,推测该值并不代表实际意义的涩味,很可能也是味道丰富性的一种。另外,“六月黄”蟹是未完成生殖脱壳阶段的幼蟹。而商品成蟹检测时未测定到涩味^[10-11]。推测其涩味可能与其尚处生长发育阶段有关。

多通道脂膜滋味传感器的味觉响应值中还有“鲜味回味”、“苦味回味”和“涩味回味”3 种后味值。回味的定义是引起基本味的物质去掉后,口中能持续残留的滋味^[15]。通常,回味主要体现相应基本味的“丰富性”。其可分为两种,一种是鲜味的持续性,即“鲜味回味”;另一种指味道的“尖锐度”^[17],即“苦味回味”和“涩味回味”在口感中减少的速度。“鲜味回味”在食品行业广受好评,甚至比鲜味更重要^[17],是味道丰富性的重要标志,比如味觉分析系统测定味道丰富性增强剂谷胱甘肽时几乎检测不出其有鲜味,但测其“鲜味回味”的响应值却很高^[20]。对具有苦味和涩味的食品而言,如果“苦味回味”和“涩味回味”的衰减比率大,表明其“尖锐度”好,食品品质等级也越高^[17,21]。本试验得到“六月黄”蟹的 3 种后味“鲜味回味”的响应值最低,说明其衰减的程度高于“苦味回味”和“涩味回味”;因而该“六月黄”蟹的“尖锐度”有待改善。今后需要通过精细调控蟹的养殖环境,进一步理顺“水土-蟹”的协调关系来解决相关问题。

2.2 “六月黄”雌、雄蟹肝胰腺滋味特征的多元统计分析 & 滋味的差异性比较

雌、雄蟹鲜、苦、涩味以及其回味间显著性差异分

析见表2。

表2 “六月黄”肝胰腺滋味差异显著性分析
Table 2 Significant difference analysis of taste values for
hepatopancreas in the juveniles (‘Liuyuehuang’) of
Eriocheir sinensis

项目	鲜味	鲜味 回味	苦味	苦味 回味	涩味	涩味 回味
鲜味		**	**	**	**	**
鲜味回味	**		**	**	**	N.S.
苦味	**	**		**	**	**
苦味回味	**	**	N.S.		N.S.	**
涩味	**	**	**	**		**
涩味回味	**	**	**	**	**	
雌蟹与雄蟹对比	N.S.	N.S.	**	**	**	N.S.

注:无底色和有底色区域分别为雌蟹间和雌蟹间的比较;**表示差异极显著, $P<0.01$;N.S.表示无显著性差异。

由表2可知,无论是雌蟹还是雄蟹,其鲜味值均极显著大于其它味觉指标($P<0.01$);雌、雄蟹之间,苦味、苦味回味和涩味值的差异极显著($P<0.01$),即雄蟹的苦味和涩味极显著大于雌蟹,而雌蟹的苦味回味值极显著大于雄蟹。

线性判别分析已成功用于区分多种食品风味品质和饮料的口味特性^[22-24]。对本研究测试样品进行独立样本分析后可知,雌蟹和雄蟹间苦味、涩味和苦味回味呈味物质的刺激强弱相差1个味道单位以上,即至少有20%的味觉差异^[6,9,11]。

采用线性判别分析法对“六月黄”雌、雄蟹的味觉特征值建立 Fisher 式判别公式如下。

$F1=0.42\times\text{鲜味}-2.395\times\text{鲜味回味}-0.9634\times\text{苦味}+4.434\times\text{苦味回味}+2.562\times\text{涩味}+8.034\times\text{涩味回味}+0.706$ 。

将所有样本的滋味强度值代入判别函数后,样本的判别准确率为100%,用交互验证法进行回判的准确率同样可达到100%。特别是雄蟹味道的“尖锐度”(即雄蟹苦味与苦味回味之差为3.3,雌蟹为0.6;雄蟹涩味与涩味回味之差为2.7,雌蟹为1.2)和“丰富性”(即雄蟹鲜味回味为5.3,雌蟹为4.5)均大于雌蟹,因此从味道的“尖锐度”和“丰富性”指标综合判断,“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺的滋味具有明显的性别差异性,雄性“六月黄”蟹的肝胰腺比雌蟹显示出更为美味的趋势。

3 结论

本研究采用味觉分析系统,通过模拟人的味觉识别系统,实现对池塘养殖“六月黄”中华绒螯蟹肝胰腺滋味特性的量化评价。结果发现,最为突出的基本味觉指标为鲜味,其次是苦味和涩味;而最为明显的回味指标为苦味回味,其次是涩味回味和鲜味回味。判

别函数能100%地将雌、雄样本分开。虽然雌、雄蟹均呈现高的鲜味强度值,且无性别差异;但其苦味、涩味和苦味回味指标却具有极显著性别差异($P<0.01$)。这些特征描绘出了上述“六月黄”蟹的滋味轮廓,可为利用味觉分析系统来有效测定和客观把握“六月黄”这类较为新型的大闸蟹水产品的滋味品质及其今后的市场开发提供重要的理论基础。

参考文献:

- [1] 王帅,吴旭干,陶宁萍,等.中华绒螯蟹六月黄营养及风味品质研究[J].中国食品学报,2017,17(4):219-227.
WANG Shuai, WU Xugan, TAO Ningping, et al. Nutritional and flavor quality analysis of Liu Yuehuang (*Eriocheir sinensis*)[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(4): 219-227.
- [2] ZHANG L, TAO N P, WU X G, et al. Metabolomics of the hepatopancreas in Chinese mitten crabs (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Research International, 2022, 152: 110914.
- [3] 王友成,倪康达,江芝娟,等.中华绒螯蟹“六月黄”与成蟹肝胰腺营养成分比较[J].水产科技情报,2021,48(4):181-186.
WANG Youcheng, NI Kangda, JIANG Zhijuan, et al. Comparison on major nutritional quality in hepatopancreas tissues between the June-caught and adult Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*[J]. Fisheries Science & Technology Information, 2021, 48(4): 181-186.
- [4] FAN L C, XIAO T, XIAN C N, et al. Effect of short-term frozen storage on taste of gonads of female *Eriocheir sinensis* and the classification of taste quality combined with sensory evaluation and fuzzy logic model[J]. Food Chemistry, 2022, 378: 132105.
- [5] 刘源,崔智勇,周雪珂,等.水产品滋味研究进展[J].食品科学技术学报,2022,40(1):22-29.
LIU Yuan, CUI Zhiyong, ZHOU Xueke, et al. Research progress on taste of aquatic products[J]. Journal of Food Science and Technology, 2022, 40(1): 22-29.
- [6] WU X, YUAN Y P, TAHARA Y, et al. Reusability enhancement of taste sensor using lipid polymer membranes by surfactant cleaning treatment[J]. IEEE Sensors Journal, 2020, 20(9): 4579-4586.
- [7] KOBAYASHI Y, HABARA M, IKEZAKI H, et al. Advanced taste sensors based on artificial lipids with global selectivity to basic taste qualities and high correlation to sensory scores[J]. Sensors, 2010, 10(4): 3411-3443.
- [8] TAHARA Y, TOKO K. Electronic tongues-A review[J]. IEEE Sensors Journal, 2013, 13(8): 3001-3011.
- [9] WU X, TAHARA Y, YATABE R, et al. Taste sensor: Electronic tongue with lipid membranes[J]. Analytical Sciences, 2020, 36(2): 147-159.
- [10] LIU H B, JIANG T, XUE J R, et al. Taste profile characterization of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) meat using electronic tongue analysis[J]. Sensors and Materials, 2021, 33(7): 2537.
- [11] 刘洪波,姜涛,骆仁军,等.味觉分析系统对不同产地中华绒螯蟹滋味强度值的区分[J].食品科学,2020,41(16):132-137.
LIU Hongbo, JIANG Tao, LUO Renjun, et al. Evaluation of the taste-active values of Chinese mitten crabs(*Eriocheir sinensis*) from different geographic origins using a taste sensing system[J]. Food Science, 2020, 41(16): 132-137.
- [12] YAMAGUCHI S. Basic properties of umami and effects on humans[J]. Physiology & Behavior, 1991, 49(5): 833-841.

- [13] CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*)[J]. Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200-1205.
- [14] SASAKI K, TANI F, SATO K, et al. Analysis of pork extracts by taste sensing system and the relationship between umami substances and sensor output[J]. Sensors and Materials, 2005, 17(7): 397-404.
- [15] KOMIYA Y, MIZUNOYA W, KAJIWARA K, et al. Correlation between skeletal muscle fiber type and responses of a taste sensing system in various beef samples[J]. Animal Science Journal, 2020, 91(1): e13425.
- [16] IZAWA K, AMINO Y, KOHMURA M, et al. Human-environment interactions-taste[M]//Comprehensive Natural Products II. Amsterdam: Elsevier, 2010: 631-671.
- [17] 都甲洁. 舌尖上的味道分析[M]. 耿利华, 崔红, 编译. 北京: 中国质检出版社, 2013.
- Toko Kiyoshi. Taste analysis on the tip of the tongue[M]. GENG Lihua, CUI Hong, Compiled. Beijing: China Quality Inspection Press, 2013.
- [18] KOMATA Y. Umami taste of seafoods[J]. Food Reviews International, 1990, 6(4): 457-487.
- [19] COUPLAND J N, HAYES J E. Physical approaches to masking bitter taste: Lessons from food and pharmaceuticals[J]. Pharmaceutical Research, 2014, 31(11): 2921-2939.
- [20] OGASAWARA M, KATSUMATA T, EGI M. Taste properties of Maillard-reaction products prepared from 1 000 to 5 000 Da peptide[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 600-604.
- [21] HAYASHI N, CHEN R G, IKEZAKI H, et al. Evaluation of the astringency of black tea by a taste sensor system: Scope and limitation[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2007, 71(2): 587-589.
- [22] LEGIN A, RUDNITSKAYA A, VLASOV Y, et al. Tasting of beverages using an electronic tongue[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 1997, 44(1/3): 291-296.
- [23] MENDEZ M L R. Electronic noses and tongues in food science[M]. London: Academic Press, 2016.
- [24] ZHANG H M, ZOU G Y, LIU X P, et al. Identification of Xinyang Maojian tea taste using electronic tongue[J]. Sensors and Materials, 2019, 31(7): 2347.

责任编辑:冯娜

收稿日期:2022-07-27

(上接第54页)

- [18] 魏娜. 羟自由基和过氧自由基氧化对鸭肉肌原纤维蛋白结构及凝胶特性的影响[D]. 重庆:西南大学, 2021.
- WEI Na. Effects of hydroxyl radical and peroxy radical oxidation on the structure and gel properties of duck myofibrillar protein[D]. Chongqing: Southwest University, 2021.
- [19] 杨曦, 程群, 常陆望, 等. 羟自由基和过氧自由基氧化对美藤果蛋白功能性质的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(10): 35-40.
- YANG Xi, CHENG Qun, CHANG Luwang, et al. Effect of hydroxyl radical and peroxy radical oxidation on functional properties of sachalin protein[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(10): 35-40.
- [20] YE L, LIAO Y, ZHAO M M, et al. Effect of protein oxidation on the conformational properties of peanut protein isolate[J]. Journal of Chemistry, 2013, 2013: 423254.
- [21] 尤翔宇. 过氧自由基和丙二醛氧化对米糠蛋白结构、功能性质和消化性质的影响[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- YOU Xiangyu. Effects of oxidative modification on structure functional properties and digestibility of rice bran protein by peroxy radicals and malondialdehyde[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2019.
- [22] 陈晓思, 贺稚非, 王泽富, 等. 过氧自由基对兔肉肌原纤维蛋白理化性质及结构的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(8): 54-61.
- CHEN Xiaosi, HE Zhifei, WANG Zefu, et al. The effect of peroxy radicals on the physicochemical properties and structure of rabbit meat myofibrillar protein[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(8): 54-61.
- [23] KEERATI-U -RAI M, MIRIANI M, IAMETTI S, et al. Structural changes of soy proteins at the oil-water interface studied by fluorescence spectroscopy[J]. Colloids and Surfaces B, Biointerfaces, 2012, 93: 41-48.
- [24] SUREWICZ W K, MANTSCH H H, CHAPMAN D. Determination of protein secondary structure by Fourier transform infrared spectroscopy: A critical assessment[J]. Biochemistry, 1993, 32(2): 389-394.
- [25] JACKSON M, HARIS P I, CHAPMAN D. Fourier transform infrared spectroscopic studies of lipids, polypeptides and proteins[J]. Journal of Molecular Structure, 1989, 214: 329-355.
- [26] 周非白. 氧化修饰对猪肉肌原纤维蛋白结构与功能特性的调控研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- ZHOU Feibai. Oxidative modification on porcine myofibrillar protein in relation to structural changes and functional properties[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016.

加工编辑:张岩蔚

收稿日期:2023-01-04