

模拟物流运输条件下冻半干金鲳鱼品质和风味变化

Changes in quality and flavor of frozen semi-dried pomfret under simulated logistics and transportation conditions

段茹碧 何燕富 邱 丹 夏光华 李永成

DUAN Rubi HE Yanfu QIU Dan XIA Guanghua LI Yongcheng

(海南大学食品科学与工程学院, 海南海口 570100)

(College of Food Science and Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570100, China)

摘要:目的:探究半干金鲳鱼在模拟实际运输温度下的品质和风味变化。方法:以冻半干金鲳鱼为研究对象,模拟其在不同温度下的物流运输过程,测定了解冻损失率、肌原纤维蛋白构象的变化、蛋白质和脂质氧化等理化指标以及风味物质的变化规律。结果:半干金鲳鱼的蛋白质和脂质氧化程度均随运输时间的延长显著升高($P < 0.05$),且温度越高氧化程度越显著($P < 0.05$),此过程中蛋白质发生聚集且变性程度严重,而解冻损失率仅随温度升高显著增大($P < 0.05$)。共检测出 17 种氨基酸,总氨基酸、鲜味氨基酸和苦味氨基酸含量随着运输时间的延长均呈先显著上升后下降的趋势($P < 0.05$),温度对其含量则无显著影响($P > 0.05$)。半干金鲳鱼的主要挥发性物质为醛类、烃类和醇类,其中高温运输组的醛类含量显著下降,而烃类物质含量显著上升($P < 0.05$)。结论:冻半干金鲳鱼在较低温度下运输能够减缓蛋白质的变性程度以及蛋白质和脂质氧化程度,并使其富有更多良好的风味物质。

关键词:半干金鲳鱼;模拟物流运输;解冻;品质;风味

Abstract: Objective: This study aimed to investigate the changes in quality and flavor of semi-dried gold pomfret during the thawing process of logistics transportation. Methods: The logistics transportation process of frozen semi-dried gold pomfret was simulated at different temperatures. The thawing-loss rate, changes in myofibrillar protein conformation, physical and chemical indexes of protein, lipid oxidation and changes in flavor substances were determined. Results: The protein and lipid oxidation degrees of pomfret were significantly increased with the

extension of transport time ($P < 0.05$). The oxidation degree was ($P < 0.05$) more significant as the temperature increased. During this process, protein aggregation and degeneration degree were serious, while the thawing-loss rate only increased significantly with the increase in temperature ($P < 0.05$). A total of 17 amino acids were detected. The contents of total amino acids, umami amino acids and bitter amino acids were significantly increased and then decreased with the extension of transportation time ($P < 0.05$), but temperature had no significant effect on the contents ($P > 0.05$). The main volatile substances of pomfret were aldehydes, hydrocarbons and alcohols, and the content of aldehydes in the high temperature transport group was significantly decreased, while the content of hydrocarbons was significantly increased ($P < 0.05$). Conclusion: The transportation of frozen semi-dried pomfret at lower temperatures can reduce the rate of protein degeneration and the rate of protein and lipid oxidation while also enriching the pomfret's flavor.

Keywords: half-dried pomfret; simulate logistics transportation; thaw; quality; flavor

半干水产品的盐含量低于传统腌干咸鱼制品,含水量一般控制在 40%~55%,水分活度则一般在 0.85~0.94,在此水分活度下绝大多数细菌、酵母和霉菌均可生长繁殖^{[1][11]}。因此,半干水产品需置于一20℃以下才能长期保存。

基于半干水产品高含水量、低盐度的特点,在贮藏、运输、销售环节须配套全程冷链设备,才能保证其在货架期内的质量安全。然而,全程冷链运输价格昂贵,会造成物流成本高。目前半干金鲳鱼的流通方式以真空包装,附带冰袋的方式进行物流运输为主。运输途中由于冰袋融化包装中温度升高,易造成半干鱼制品的品质变化及风味异变。尤其是在夏季高温及长途运输情况下,品质劣变及异味产生情况多见。

基金项目:海南省自然科学高层次人才项目(编号:322RC593);
海南大学科研启动基金(编号:KYQD[ZR]20047)

作者简介:段茹碧,女,海南大学在读硕士研究生。

通信作者:何燕富(1990—),女,海南大学讲师,博士。

E-mail: heyafu819@163.com

收稿日期:2023-04-09 **改回日期:**2023-08-25

目前国内外对于半干水产品的研究仅限于产品的工艺优化以及贮藏期间品质的变化等方面,关于半干水产品

在物流运输过程的品质和风味变化的研究极少。研究拟模拟物流运输解冻过程,半干金鲳鱼解冻损失、理化指标及风味的变化情况,为进一步了解冷冻半干鱼制品解冻过程中的品质和风味稳定性提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜金鲳鱼:体重为(615±37)g,体长为(54±10)cm,市售;

甲醇、异丙醇、三氯甲烷、乙酸、硫代硫酸钠标准溶液、盐酸胍、乙醚、乙醇、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、高氯酸、盐酸;色谱纯,上海源叶生物科技有限公司;

鸟嘌呤(GMP)、腺嘌呤(AMP)、胞嘧啶(CMP)、尿嘧啶(UMP)呈味核苷酸标准品;分析纯,上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

氨基酸分析仪:Biochrom 30+型,英国 Biochrom 公司;

气相色谱质谱联用仪:7890B-5975C 型,安捷伦科技有限公司;

液相色谱仪:1260 型,安捷伦科技有限公司;

电热鼓风干燥箱:BH-GC-42L 型,上海一恒科学仪器有限公司;

全波长酶标仪:HED-SY96S 型,北京凯奥科技发展有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 原料制备 金鲳鱼经去鳃、去内脏处理后,切成腹部相连的段。清洗后用质量分数为 12%粗盐水腌制,清洗两遍后沥干,于 48℃的热风干燥机中干至肌肉水分含量为 45%左右。获得半干金鲳鱼真空包装后立即冻藏于-20℃冰箱中用于后续试验。

1.3.2 模拟物流运输解冻过程 模拟海南夏季 35℃和冬季 20℃的自然条件,将-20℃冻藏 3 d 的半干金鲳鱼作为对照,将冻半干金鲳鱼采取真空包装分别置于泡沫箱中,放置冰块,随后置于恒温 20℃和 35℃温度下,模拟物流运输条件,分别于 48 h 和 96 h 取样检测。

1.3.3 解冻损失率 称量物流运输前后鱼肉重量(运输后的鱼肉先用滤纸吸干表面水分再称重),根据式(1)计算解冻损失率。

$$T = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \tag{1}$$

式中:

T——解冻损失率,%;

m₁——运输前鱼肉的重量,g;

m₂——运输后鱼肉的重量,g。

1.3.4 总碳基含量 根据李学鹏等^[2]的方法。

1.3.5 总硫基含量 根据袁凯^[3]的方法。

1.3.6 傅里叶红外光谱分析 根据马玉婵等^[4]的方法。

1.3.7 色氨酸荧光光谱 根据梁雯雯等^[5]的方法,修改如下:将提取的肌原纤维蛋白样品用 10 mmol/L Tris-HCl 缓冲液(含 0.6 mol/L NaCl pH 7.2)稀释成 1 mg/mL。使用 Hitachi 荧光分光光度计测定,激发起始波长为 280 nm,荧光发射波长 300 nm,激发光的终止波长 500 nm,荧光强度值为荧光谱图的峰值。

1.3.8 硫代巴比妥酸(TBA)值 根据 GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法测定。

1.3.9 感官评定 根据万江丽^[6]的方法,修改如下:将新鲜样品装入袋中,将冻藏的肉放入 100℃的微波炉中加热 10 min,待样品降至室温再进行感官评定。对于模拟运输后的鱼肉,直接进行感官评定。感官评定小组由 10 位成员(5 位男性和 5 位女性,年龄 24~30 岁)组成,根据国际标准方法(ISO-8586-1,2012)对小组成员进行培训。采用评分法进行,在感官评价过程中,评价员根据感官评分表对不同的样品进行判断,评价完一个样品需要用清水漱口,再进行下一个样品的评价,评价标准见表 1。

1.3.10 呈味核苷酸 参照胡齐杰等^[7]的方法,取 2 g 左右样品,加入 20 mL 5%的高氯酸,匀浆 2 min,超声波处

表 1 半干金鲳鱼感官评价评分标准

Table 1 Sensory evaluation and scoring standard of semi-dried pomfret

指标	评分标准	得分
咸味	适宜	16~20
	稍重	10~15
	重	0~10
腊香味	浓郁	16~20
	较淡	10~15
	无香味	0~10
色泽	金黄色,光泽好	7~10
	较深(浅),无光泽	4~6
	发暗,无光泽	0~4
鲜味	明显	16~20
	不足	10~15
	无鲜味	0~10
异味	无异味	7~10
	有腥味,无其他异味	4~6
	行为中,有其他异味	0~4
咀嚼性	咀嚼性足	16~20
	咀嚼性一般	10~15
	无咀嚼性,糜烂	0~10

理 5 min,充分溶出后,离心(14 000 r/min,10 min),过滤,取上清液,沉淀物加 20 mL 5%高氯酸,重复上述步骤 1 次。将 2 次所得的上清液进行混合,调 pH 为 6.8,用超纯水定容至 50 mL。

HPLC 参数:色谱柱为 ODS-3/C₁₈(5 μ m,4.6 mm $\times$ 250 mm),柱温 35 $^{\circ}$ C,进样量 10 μ L,洗脱液组成:流动相 A 为 CH₃O,流动相 B 为 12.5 mmol/L 的 KH₂PO₄ 和 12.5 mmol/L 的 K₂HPO₄,加入 KOH 调节 pH 至 5.8。控制流速为 1.0 mL/min,洗脱梯度:起始流动相为 3% A,8 min;线性变化至 6% A,2 min;再线性变化至 30% A,13 min;最后线性变化至 0% A,3 min。设置紫外检测器波长为 248 nm。

1.3.11 游离氨基酸 参照黄海源^[8]的方法并修改。称取 2 g 样品于 50 mL 容量瓶,充分溶解,加水定容至刻度,混匀,放置 24 h,吸取上清液 20 mL 于 100 mL 离心管中,加入 20 mL 体积分数为 5% 磺基水杨酸溶液混匀,6 000 $\times g$ 离心 10 min,吸取上清液 20 mL 在旋转蒸发器中蒸干,加入 1 mL 柠檬酸钠缓冲液溶解后用 0.45 μ m 膜过滤。缓冲液流速 20 mL/h,反应流速 10 mL/h,采用分离柱 Na 型阳离子树脂层析柱。

1.3.12 挥发性风味物质 参照王琦等^[9]的方法,稍作调整。取 5 g 碎鱼肉与 0.18 g/mL NaCl 以质量比 1:1 混合,均质。取 5 g 装入自动进样瓶中加盖待测,每组样品平行做 3 次。采用 65 μ m 的 PDMS/DVB 萃取头,萃取头插入顶空瓶中,萃取头距离顶端 4 mm 左右,萃取温度 60 $^{\circ}$ C,平衡 15 min,萃取 35 min,立即在气质联用仪上进行热解吸,解吸温度 250 $^{\circ}$ C,5 min。气相色谱条件:初温 40 $^{\circ}$ C,保持 2 min,以 4 $^{\circ}$ C/min 升至 160 $^{\circ}$ C/min 后以 10 $^{\circ}$ C/min 升至 240 $^{\circ}$ C,保持 10 min。进样口温度 240 $^{\circ}$ C,载气为氦气,流速 1.0 mL/min,不分流进样。质谱条件:电子能量 70 eV,离子源温度 230 $^{\circ}$ C,传输线温度 280 $^{\circ}$ C,质量扫描范围 m/z 30~450。

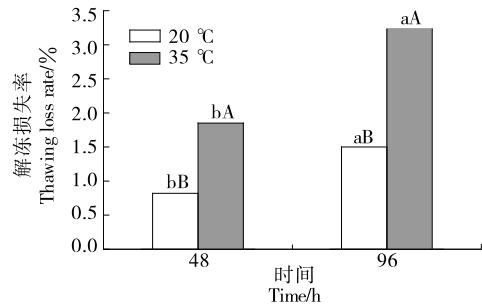
1.4 数据处理

采用 SPSS 17.5 统计软件中单因素方差分析来检验不同组别数据之间的差异显著性,多重比较采用最小显著差法,差异显著水平 $\alpha=0.05$,试验数据使用平均值士标准差来表示。

2 结果与分析

2.1 模拟物流运输条件下半干金鲷鱼的解冻损失率

鱼肉在冷冻和运输解冻过程中,受到冰晶形成和融化的影响,产生机械性的损伤,导致鱼肉解冻后的保水性会降低而引起大量的汁液流失。汁液流失的大小与肌肉细胞组织结构的完整性,蛋白质的变形和降解有关^[10]。由图 1 可知,随着时间的延长和温度的升高,鱼肉的损失率显著增加($P<0.05$)。由于半干金鲷鱼水分含量低,残



小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著($P<0.05$);大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著($P<0.05$)

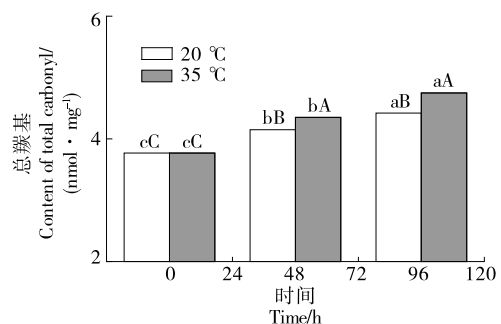
图 1 模拟不同物流运输条件下的解冻损失率的变化
Figure 1 The change of thawing loss rate under different simulate logistics and transportation conditions

存的自由水在冻藏过程中以冰晶形式冻结,冰晶融化形成汁液流失出来,造成了损失,温度越高,冰晶融化速度越快^[11]。

2.2 模拟物流运输条件下半干金鲷鱼的蛋白质氧化情况

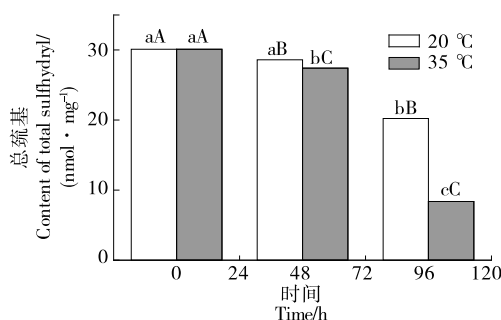
2.2.1 总羰基含量的变化 如图 2 所示,对照组的半干金鲷鱼的总羰基含量为 3.77 nmol/mg,在物流运输解冻过程中,随着时间的延长,总羰基含量显著增加($P<0.05$),且温度越高,总羰基含量增加越大。20,35 $^{\circ}$ C 运输 96 h 的半干金鲷鱼总羰基含量分别达到 4.42,4.75 nmol/mg。这与陈晓楠等^[12]研究中羰基的变化趋势一致。因此,在运输过程中随着温度和时间的增加,总羰基含量越高,蛋白质氧化程度越严重。

2.2.2 总巯基含量的变化 如图 3 所示,不同温度组总巯基含量显著下降($P<0.05$),且同一运输时间下,温度越高,总巯基含量下降越多。该结果与于小番等^[13]在对虾肉进行微波和蒸制处理后蛋白质巯基的变化趋势一



小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著($P<0.05$);大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著($P<0.05$)

图 2 半干金鲷鱼在不同模拟物流运输条件下的总羰基含量的变化
Figure 2 Variation of total carbonyl content of semi-dried golden pomfret under different simulated logistics transportation conditions



小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)

图 3 半干金鲳鱼在不同模拟物流运输条件下的总巯基含量的变化

Figure 3 Variation of total sulfhydryl content of semi-dried pomfret under different simulated logistics transportation conditions

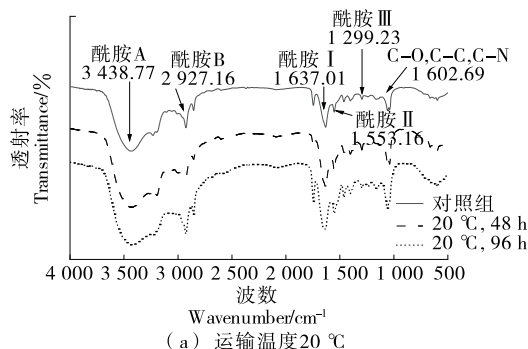


图 4 模拟运输条件下半干金鲳鱼肌肉蛋白质傅里叶变换红外光谱图

Figure 4 Fourier transform infrared spectroscopy of protein in the semi-dried golden pomfret muscle under simulated transportation conditions

表 2 模拟运输条件下半干金鲳鱼肌肉蛋白质二级结构百分含量[†]

Table 2 Percentage content of protein secondary structure of semi-dried golden pomfret muscle under simulated transportation conditions

组别	相对含量/%	
	β -折叠 (1 600~1 640 cm^{-1})	β -转角 (1 660~1 700 cm^{-1})
对照组	0.98±0.00 ^{aA}	0.02±0.00 ^{bB}
20 °C 48 h	0.94±0.09 ^{aA}	0.06±0.00 ^{bB}
20 °C 96 h	0.99±0.01 ^{aA}	0.01±0.00 ^{bB}
35 °C 48 h	0.44±0.01 ^{bB}	0.56±0.01 ^{aA}
35 °C 96 h	0.45±0.03 ^{bB}	0.55±0.03 ^{aA}

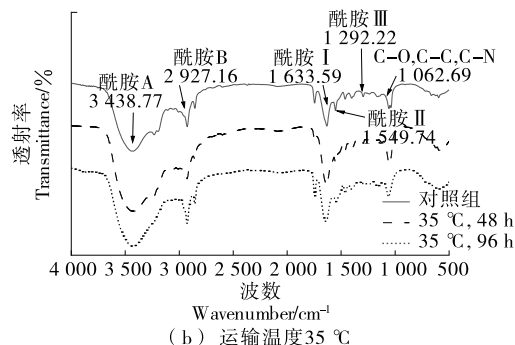
[†] 同列肩标小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)。

致, 巯基含量下降的原因是运输解冻过程中冰晶的形成和消失, 导致蛋白质的空间结构遭到破坏, 内部的巯基暴露于空气中, 进一步氧化形成二硫键, 或更深一步形成磺酸类物质。

2.3 模拟物流运输条件下半干金鲳鱼蛋白质二级结构变化的差异

红外光谱用于物质定性, 通过红外光谱来进一步考察蛋白质构象的变化。由图 4 可知, 酰胺 I 带 (1 600~1 700 cm^{-1}) 中的 C—O 键和 N—H 键对二级结构变化高度敏感, 通常用于分析蛋白质变性和聚集, 由蛋白质的二级结构的重带组成, 包括 α -螺旋 (1 645~1 662 cm^{-1}), β -折叠 (1 665~1 680 cm^{-1}), β -转角 (1 660~1 700 cm^{-1}) 和无规卷曲 (1 640~1 650 cm^{-1})^[14]。

对上样测试获得的原始谱图进行二阶求导, 对谱图中的酰胺 I 带进行分解, 通过曲线拟合的方法, 可以定量分析蛋白质中各二级结构的含量, 不同温度物流运输各



二级结构的百分含量如表 2 所示, 与对照组相比, 同一温度组下, β -折叠和 β -转角的百分含量随时间的延长均无显著变化 ($P > 0.05$); 但随着温度升高 β -折叠的百分含量显著下降 ($P < 0.05$), 而 β -转角的百分含量显著升高 ($P < 0.05$)。 β -折叠的百分含量减少可能是由于蛋白质之间的相互作用和蛋白质聚集物的形成^{[15]23}。 Chanadda 等^[16]指出, 蛋白质的氧化导致蛋白质二级结构的展开, 转变为 β -折叠和 β -转角。说明运输温度越高, 蛋白质的变性越强, 进一步导致鱼肉品质变差。

2.4 模拟物流运输条件下蛋白质三级结构变化的差异

如图 5 所示, 经过运输时间的延长和温度的升高, 最大发射波长 (λ_{max}) 发生不同程度的蓝移是因为色氨酸被包埋于非极性环境条件下, 后发生红移是因为色氨酸暴露于极性环境, 蛋白质三级结构变得松散, 20 °C 组随着运输时间的延长, 荧光强度先上升后下降; 35 °C 组荧光强度随着运输时间的延长呈上升趋势。 48 h 时, 20 °C 组的荧光强度高于 35 °C 组; 而运输 96 h 时, 35 °C 组的荧光强度

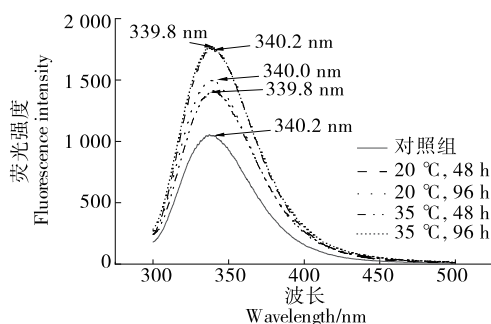


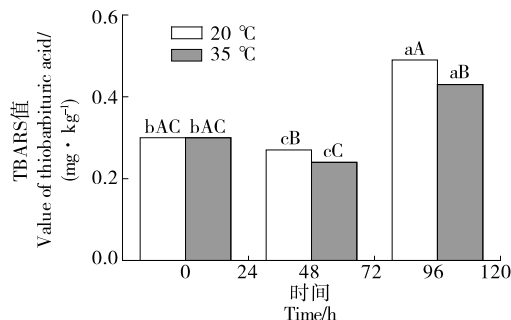
图5 模拟不同运输条件下半干金鲷的蛋白质荧光光谱

Figure 5 Fluorescence spectrum of protein of semi-dried golden pomfret under simulated different transport conditions

高于 20 °C 组。荧光强度呈上升的原因:①暴露的疏水基团间相互作用,导致蛋白质聚集,色氨酸残基被重新包埋于非极性环境中;②在运输解冻过程中鱼肉的脂肪氧化产物可能会与氨基酸、蛋白质、肽、核酸等发生反应,产生荧光性质的产物,从而导致荧光强度上升^{[15]40}。荧光强度下降的原因是蛋白质在运输过程中发生变性,色氨酸所处的微环境极性增强,色氨酸荧光量子产率降低。说明运输时间的延长和温度的升高引起蛋白质聚集和变性程度的增加。

2.5 不同模拟物流运输条件下的硫代巴比妥酸值

由图6可知,模拟 20, 35 °C 条件下运输, TBA 值均随着时间的延长呈先下降后上升的趋势 ($P < 0.05$), TBA 值下降是因为在运输过程中半干金鲷鱼发生脂质氧化,由于丙二醛和其他短链化合物不稳定,转化为不能与 TBA 反应的有机酸或醇类,从而导致 TBA 值下降^{[1]28-29}, 运输时间继续延长不饱和脂肪酸继续氧化导致 TBA 值再次升高,且温度越高,脂质氧化程度越大。然



小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)

图6 半干金鲷鱼在不同模拟物流运输条件下 TBA 值的变化

Figure 6 Changes in thiobarbituric acid value of semi-dried gold pomfret under different simulated logistics transportation conditions

而,在不同的物流运输条件下, TBA 值均未超过 1 mg/kg, 说明鱼肉产品未发生严重劣变^{[1]29}。

2.6 不同物流运输条件下半干金鲷鱼制品的感官品质

如图7所示,同一温度下,随着运输时间的延长,在咸味和异味的感官特性上鱼肉的差异性不大,差异较大的是咀嚼性和鲜味。咀嚼性、色泽、鲜味、腊香味得分随时间的延长逐渐降低。在运输 96 h 时,腊香味较淡,鲜味不足,色泽较深无光泽,咀嚼性一般,总体感官评分低,但鱼肉没有任何的异味,咸味没有显著的变化。结合上述理化指标和空间结构的研究结果,推测是由于鱼肉在物流运输过程中发生了汁液流失、蛋白质和脂质氧化以及蛋白质变性,导致咀嚼性、风味和口感变差。

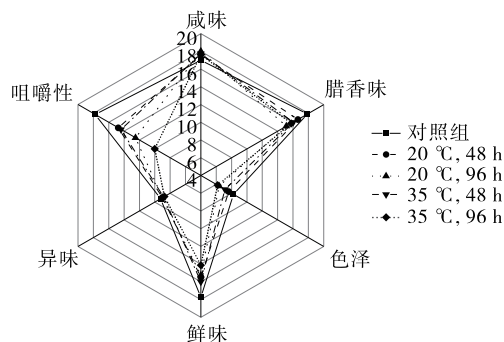


图7 不同物流运输条件下半干金鲷鱼制品的感官品质

Figure 7 Sensory quality of semi-dried pomfret products under different logistics and transportation conditions

2.7 模拟不同物流运输条件下呈味核苷酸含量的变化

如表3所示,与对照组相比,20 °C 组 CMP 和 AMP 含量呈显著下降趋势 ($P < 0.05$), 而 UMP 含量呈先上升后下降趋势 ($P < 0.05$); 而 35 °C 组 CMP、UMP 和 AMP 含量均随着时间的延长显著降低 ($P < 0.05$); 且温度越高,核苷酸含量下降越快。推测下降的原因是冰晶对肌

表3 模拟不同物流运输过程中各呈味核苷酸的含量[†]

Table 3 Contents of flavor nucleotides in simulated different logistics and transportation processes

组别	含量/(10 ⁻² mg · g ⁻¹)		
	胞嘧啶(CMP)	尿嘧啶(UMP)	腺嘌呤(AMP)
对照组	3.26 ± 0.01 ^{aA}	2.53 ± 0.00 ^{bBA}	2.07 ± 0.01 ^{aA}
20 °C 48 h	3.06 ± 0.01 ^{bB}	2.93 ± 0.01 ^{aA}	1.61 ± 0.01 ^{bB}
20 °C 96 h	2.62 ± 0.02 ^{cB}	2.26 ± 0.02 ^{cB}	1.57 ± 0.01 ^{cB}
35 °C 48 h	2.55 ± 0.02 ^{bC}	2.19 ± 0.00 ^{bC}	1.58 ± 0.01 ^{bC}
35 °C 96 h	2.15 ± 0.03 ^{cC}	1.55 ± 0.03 ^{cC}	1.34 ± 0.01 ^{cC}

[†] 同列肩标小写字母不同表示同一温度不同时间的样品之间差异显著 ($P < 0.05$); 大写字母不同表示同一时间不同温度的样品之间差异显著 ($P < 0.05$)。

肉组织造成的损伤,以及随着运输时间的延长和温度的升高,核苷酸发生热降解,且温度越高,热降解速度越快,核苷酸含量下降得越快^[17]。

2.8 半干金鲳鱼在不同模拟物流运输条件下游离氨基酸的变化

由表 4 可知,从半干金鲳鱼中共检测出氨基酸 17 种,总氨基酸含量为 11.86~27.68 mg/g。与对照组相比,随着运输时间的延长鲜甜味氨基酸,苦味氨基酸和总氨基酸含量显著下降($P<0.05$),但不同温度组间无显著差异($P>0.05$),游离氨基酸含量下降可能是由于解冻引起的汁液流失造成游离氨基酸的损失,这也可能是造成物流运输解冻后感官品质下降的原因^[18]。而 35℃ 物流运输 96 h 大部分的游离氨基酸含量高于 20℃ 物流运输 96 h 的,可能由于较高的物流运输温度,使半干金鲳鱼肌肉中的蛋白质发生热降解。这与陈桂平^[19]的结果不一致,可能是后者的试验中,鱼肉受到加热变性,导致汁液流失带走了更多的物质。

谷氨酸、丙氨酸和甘氨酸是重要的鲜味氨基酸,其对

表 4 半干金鲳鱼在不同模拟物流运输条件下游离氨基酸的变化[†]

Table 4 Changes of free amino acids in semi-dried pomfret under different simulated logistics transportation conditions

氨基酸	含量/(mg·g ⁻¹)		
	对照组	20℃ 96 h	35℃ 96 h
苏氨酸	1.04±0.03 ^a	0.37±0.02 ^c	0.57±0.02 ^b
丝氨酸	1.29±0.02 ^a	0.44±0.02 ^b	0.32±0.02 ^c
谷氨酸	2.11±0.02 ^a	0.74±0.02 ^c	1.08±0.02 ^b
甘氨酸	2.50±0.05 ^a	0.92±0.03 ^c	1.18±0.02 ^b
丙氨酸	2.13±0.03 ^a	0.89±0.03 ^c	1.32±0.01 ^b
脯氨酸	1.26±0.02 ^a	0.64±0.02 ^c	0.71±0.00 ^b
异亮氨酸	1.80±0.03 ^a	1.35±0.02 ^c	1.45±0.05 ^b
亮氨酸	2.89±0.02 ^a	1.10±0.02 ^c	1.35±0.05 ^b
缬氨酸	2.03±0.02 ^a	0.93±0.00 ^c	1.16±0.01 ^b
苯丙氨酸	1.28±0.02 ^a	0.33±0.01 ^c	0.53±0.02 ^b
组氨酸	0.81±0.03 ^a	0.36±0.02 ^c	0.45±0.05 ^b
精氨酸	0.95±0.03 ^a	0.43±0.01 ^b	0.09±0.00 ^c
天冬氨酸	1.04±0.01 ^a	0.25±0.04 ^c	0.35±0.04 ^b
胱氨酸	0.42±0.03 ^a	0.30±0.00 ^b	0.32±0.01 ^b
酪氨酸	1.56±0.05 ^a	0.36±0.03 ^b	0.13±0.03 ^c
赖氨酸	2.37±0.02 ^a	0.90±0.03 ^c	1.77±0.02 ^b
甲硫氨酸	2.20±0.03 ^a	1.55±0.04 ^c	1.66±0.00 ^b
鲜甜味氨基酸	10.33±0.60 ^a	4.00±0.23 ^b	5.18±0.39 ^b
苦味氨基酸	9.76±0.78 ^a	4.50±0.43 ^b	5.03±0.56 ^b
总氨基酸	27.68±0.69 ^a	11.86±0.39 ^b	14.44±0.55 ^b

[†] 同行肩标小写字母不同表示样品之间差异显著($P<0.05$)。

半干金鲳鱼的鲜甜滋味成分贡献很大,甘氨酸作用不仅可提供鲜甜味,还可减少苦味,去除食品中不愉快的滋味^[20]。随着运输时间的延长,不同温度组的谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量均显著下降($P<0.05$),而温度越高,3 种氨基酸含量越高。亮氨酸是含量最高的苦味氨基酸,在模拟运输过程中均呈显著下降趋势($P<0.05$),且温度越高,含量越高。游离氨基酸的增减取决于其形成和降解量的比率。在模拟物流运输过程中,一方面,随着温度 and 时间的增加,蛋白质发生降解导致游离氨基酸的增加,另一方面,一些水溶性的氨基酸会随着汁液流失。同时氨基酸也参与了美拉德反应和 Strecker 反应,导致其含量减少^[19]。上述结果说明,低水分含量的半干金鲳鱼在运输条件下能很好地保留营养成分。

2.9 半干金鲳鱼在不同模拟物流运输条件下挥发性风味成分的变化

采用 HS-SPME-GC-MS 技术在 3 组样品中共鉴定出 33 种挥发性化合物,对照组、20℃ 运输 96 h 组和 35℃ 运输 96 h 组分别检测出 30,24,24 种(表 5),表明长时间的物流运输解冻过程,半干金鲳鱼的挥发性化合物种类显著下降($P<0.05$)。20 种挥发性化合物在 3 组样品中均有检出,占定性化合物总量的 64%。说明不同物流运输条件下解冻的半干金鲳鱼中挥发性化合物的组成存在相似性,但也存在一定的差异。其中环辛醇、4-乙基苯甲醛、D-柠檬烯、1-(1,5-二甲基-4-己烯)-4-甲苯、氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萘、癸酸甲酯、3,5-辛二烯-2-酮仅在对照组中检测到,这些物质可能成为区分不同物流运输条件及风味差异的关键挥发性化合物。

样品中挥发性化合物主要是烃类(11 种)、醛类(8 种)、醇类(5 种)、酯类(3 种)、芳烃类和其他化合物(3 种),其中相对含量最高的是醛类,其次为烃类和醇类。醛类物质对挥发性风味物质的贡献较大,据报道^[21-22],在多种鱼干制品中检出的己醛、庚醛、辛醛、壬醛和癸醛 5 种饱和线性醛,被证实是重要的挥发性风味成分,通常具有柑橘和脂肪味,它们对鱼干制品整体风味起着重要作用。己醛是活鱼中的一种香气活性化合物,提供清新气味,是半干金鲳鱼肌肉中的主要挥发性成分,经过物流运输解冻后其相对含量显著减少($P<0.05$),甚至在 35℃ 下已检测不到。

烃类化合物是通过长链脂肪酸的自动氧化或脂质的热降解中产生的。烃类化合物虽然大量存在于所研究的鱼肉中,但由于气味阈值高和具有令人不愉快的金属气味,因此对整体香气的影响很小。但是,在样品中检测到烯烃类(β -石竹烯和 D-柠檬烯)可作为风味物质醛、酮和醇类的风味前体,对半干金鲳鱼风味具有一定的潜在贡献,这两种烯烃类的含量在物流运输解冻过程中发生了显著下降($P<0.05$),而其余的烃类经过物流运输解冻后,其含量显著上升($P<0.05$),如 3-甲基十一烷、正十二

表 5 半干金鲳鱼在不同模拟物流运输条件下挥发性风味成分的变化[†]
Table 5 Changes of volatile flavor components of semi-dried pomfret under different simulated logistics transportation conditions

类别	名称	相对含量/%		
		对照组	20 ℃ 96 h	35 ℃ 96 h
醇类	1-乙基-3-哌啶醇	ND	4.48±0.06 ^a	4.13±0.09 ^b
	2,7-辛二烯-1-醇	3.00±0.23 ^a	1.19±0.00 ^b	1.43±0.12 ^b
	1-辛烯-3-醇	6.81±0.11 ^a	2.03±0.09 ^c	2.43±0.06 ^b
	环辛醇	0.45±0.05	ND	ND
	5-甲基-2-(1-甲基乙基)环己醇	3.45±0.08 ^a	1.61±0.24 ^c	2.05±0.04 ^b
	合计	13.71±2.53 ^a	9.31±1.29 ^c	10.04±1.05 ^b
醛类	己醛	17.68±0.23 ^a	4.24±0.13 ^b	ND
	庚醛	0.87±0.07 ^a	0.43±0.04 ^b	ND
	苯甲醛	11.44±0.21 ^a	4.72±0.22 ^b	4.30±0.19 ^c
	苯乙醛	6.52±0.12 ^a	2.53±0.16 ^c	4.44±0.12 ^b
	4-乙基苯甲醛	1.53±0.05	ND	ND
	正壬醛	11.43±0.19 ^a	6.02±0.03 ^b	5.70±0.17 ^c
	正癸醛	0.81±0.12 ^a	0.60±0.06 ^c	0.74±0.06 ^b
	十六醛(棕榈醛)	0.84±0.16 ^b	0.86±0.10 ^b	2.09±0.05 ^a
	合计	51.12±6.22 ^a	19.40±2.16 ^b	17.27±1.76 ^c
烃类	D-柠檬烯	0.73±0.08	ND	ND
	3-甲基十一烷	1.52±0.25 ^b	0.56±0.08 ^c	2.34±0.10 ^a
	正十二烷	3.63±0.17 ^b	2.38±0.03 ^c	7.11±0.11 ^a
	正十三烷	1.21±0.10 ^a	0.71±0.01 ^b	0.78±0.04 ^b
	3-甲基十三烷	0.89±0.03 ^b	ND	1.52±0.04 ^a
	十四烷	2.02±0.04 ^b	1.08±0.10 ^c	2.56±0.06 ^a
	石竹烯	1.90±0.10 ^a	0.37±0.02 ^b	0.27±0.02 ^b
	十五烷	4.41±0.28 ^b	6.54±0.33 ^a	4.53±0.14 ^b
	正十六烷	0.75±0.05 ^a	0.45±0.03 ^b	0.51±0.03 ^b
	正十七烷	2.39±0.07 ^b	5.32±0.10 ^a	2.31±0.08 ^b
	2,6,10,14-四甲基十五烷	1.81±0.05 ^c	3.66±0.08 ^a	2.83±0.03 ^b
	合计	21.26±1.15 ^b	21.07±2.26 ^b	24.76±1.98 ^a
芳烃类	1-(1,5-二甲基-4-己烯)-4-甲苯	1.72±0.11	ND	ND
	1,2,3,5,6,8a-六氢-4,7-二甲基-1-(1-甲基乙基)萘	0.94±0.05	ND	ND
	丁基羟基甲苯	4.54±0.08 ^c	39.43±1.19 ^a	33.43±0.10 ^b
	合计	7.20±1.64 ^c	39.43±1.19 ^a	33.43±0.10 ^b
酯类	甲酸己酯	ND	ND	1.88±0.13
	癸酸甲酯	0.80±0.06	ND	ND
	1,2-苯二甲酸双(2-甲基丙基)酯	0.22±0.02 ^b	0.31±0.03 ^b	0.71±0.10 ^a
	合计	1.02±0.32 ^b	0.31±0.03 ^{bc}	2.59±0.68 ^a
酸类	3-甲基丁酸	0.76±0.03 ^a	0.62±0.01 ^c	0.71±0.02 ^b
酮类	3,5-辛二烯-2-酮	2.25±0.02	ND	ND
其他	甲氧基苯酚	ND	9.16±0.23 ^b	9.62±0.42 ^a

[†] “ND”表示未检测到;同行肩标小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

烷、3-甲基十三烷、十四烷、十五烷、正十六烷、正十七烷、2,6,10,14-四甲基十五烷,这也可能是物流运输解冻后半干金鲳鱼感官风味品质下降的原因。

醇类化合物主要来源于糖、氨基酸和醛类化合物的还原以及脂质氧化等,由于不饱和醇阈值较小,不饱和醇对整体风味贡献较大,饱和醇对整体风味影响较小^[23]。试验中,不饱和醇 2,7-辛二烯-1-醇、1-辛烯-3-醇环、辛醇、5-甲基-2-(1-甲基乙基)环己醇经过物流运输解冻后,其含量均显著下降($P<0.05$)。

结合以上感官评价结果,推测醛类含量的降低和烃类含量的增加是半干金鲳鱼解冻过程品质风味下降的重要原因。

3 结论

在模拟物流运输条件下,由于鱼肉体体内汁液的流失,不仅造成鱼肉的重量损失,也导致蛋白质和脂质的氧化,以及蛋白质的聚集变性,鱼肉品质下降。且在温度上升和时间的延长条件下,半干金鲳鱼的解冻损失率、蛋白质和脂质氧化程度均会增加,运输过程中蛋白质的空间结构发生聚集和变性越严重,品质下降程度越厉害。此外,在物流运输过程中鱼肉发生热降解和鱼体内汁液的流失,导致风味物质有所下降,且温度越高,热降解越快,风味物质下降越严重。在蛋白质和脂质氧化以及微生物和自身的代谢作用下,使一些具有不良风味的物质含量升高,这也是鱼肉感官品质下降的重要原因,但是在 96 h 的物流运输过程中,半干金鲳鱼的品质仍在可食用范围内,较一般新鲜鱼的货架期长,可能是由于半干金鲳鱼水分含量较一般新鲜鱼低,且存在一定的盐含量,因此各生化反应在物流运输过程不是太剧烈。

在较低温度的物流环境下运输半干金鲳鱼制品能够减缓其解冻损失率、蛋白质和脂质氧化程度以及蛋白质的结构损失,且具有更多良好风味的物质。后续将通过不同温度运输过程中鱼肉的菌落总数测定对鱼肉品质影响进行深入研究。

参考文献

- [1] 李慧兰. 半干淡水鱼的贮藏特性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
LI H L. Study on storage characteristics of semi-dry freshwater fish [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013.
- [2] 李学鹏, 周明言, 周凯, 等. 大黄鱼冻藏过程中肌原纤维蛋白氧化及其功能性质的变化[J]. 中国食品学报, 2018, 18(7): 171-179.
LI X P, ZHOU M Y, ZHOU K, et al. Changes of myofibrillar protein oxidation and functional properties during frozen storage of rhu barb fish [J]. Journal of China Food Science, 2018, 18(7): 171-179.

- [3] 袁凯. 白鲢鱼糜及其制品加工过程中的蛋白质氧化规律及其控制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2018: 12.
YUAN K. Study on protein oxidation law and its control in the processing of silver carp surimi and its products [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2018: 12.
- [4] 马玉婵, 马良, 张宇昊. 高温杀菌后鱼糜制品的劣变及改进[J]. 农业工程, 2016, 6(6): 37-42, 45.
MA Y C, MA L, ZHANG Y H. Degradation and improvement of surimi products after high temperature sterilization [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2016, 6(6): 37-42, 45.
- [5] 梁雯雯, 郭建, 汪秋宽, 等. 不同解冻方式对鲢鱼肌球蛋白结构和性质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 7-12.
LIANG W W, GUO J, WANG Q K, et al. Effects of different thawing methods on the structure and properties of silver carp myosin [J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(21): 7-12.
- [6] 万江丽. 不同解冻方式对大口黑鲈品质的影响[D]. 锦州: 渤海大学, 2020: 47.
WAN J L. Effects of different thawing methods on the quality of largemouth bass [D]. Jinzhou: Bohai University, 2020: 47.
- [7] 胡奇杰, 朱佳茜, 陈赭建, 等. 太湖蟹加工过程中呈味核苷酸变化规律研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(22): 102-104.
HU Q J, ZHU J Q, CHEN C J, et al. Study on the variation of flavoring nucleotide during the processing of Taihu crab [J]. Food Research and Development, 2017, 38(22): 102-104.
- [8] 黄海源. 青鱼半干制品加工工艺及其贮藏过程中品质变化的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2021: 37.
HUANG H Y. Study on processing technology and quality change of semi-dried black carp products during storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2021: 37.
- [9] 王琦, 岳大鹏, 王然然, 等. 风干金鲳鱼制品加工过程中脂质氧化和挥发性成分的变化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 54-60.
WANG Q, YUE D P, WANG R R, et al. Changes of lipid oxidation and volatile components during the processing of air-dried golden pomfret products [J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 54-60.
- [10] AROEIRA C N, TORRES F R, FONTES P R, et al. Freezing thawing and aging effects on beef tenderness from Bos indicus and Bos taurus cattle [J]. Meat Science, 2016, 116: 118-255.
- [11] SUN Q X, KONG B H, LIU S C, et al. Ultrasound-assisted thawing accelerates the thawing of common carp (Cyprinus carpio) and improves its muscle quality [J]. Food Science and Technology, 2021, 141: 111080.
- [12] 陈晓楠, 赵金丽, 张宾, 等. 低温冻藏过程中鲈鱼肌肉蛋白质氧化特性研究[J]. 包装工程, 2020, 41(17): 38-45.
CHEN X N, ZHAO J L, ZHANG B, et al. Study on protein oxidation characteristics of mackerel muscle during low temperature freezing storage [J]. Packaging Engineering, 2020, 41(17): 38-45.
- [13] 于小番, 袁亚明, 叶宇, 等. 不同热处理方式下虾肉品质和蛋

- 白质结构变化的差异[J]. 现代食品科技, 2021, 37(5): 160-168.
- YU X P, YUAN Y M, YE Y, et al. Differences of shrimp meat quality and protein structure changes under different heat treatment methods[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(5): 160-168.
- [14] MAHSA M, MOLOUD N, REZA E, et al. Effect of thawing under an alternating magnetic field on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet characteristics [J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134255.
- [15] 张喜才. 石斑鱼冷藏过程中品质评价、蛋白变化以及内源性蛋白酶作用机制研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- ZHANG X C. Quality evaluation, protein changes and action mechanism of endogenous protease in grouper during cold storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [16] CHANADDA S, PANPRADUB S, KASARAT P, et al. Effects of β -alanine and L-histidine supplementation on carnosine contents in and quality and secondary structure of proteins in slow-growing Korat chicken meat[J]. Poultry Science, 2022, 101: 101776.
- [17] 王琳涵, 乔凯娜, 丁奇, 等. 不同煮制时间对鸡汤中呈味物质的影响[J]. 精细化工, 2018, 35(10): 1 683-1 690.
- WANG L H, QIAO K N, DING Q, et al. Effect of different cooking time on flavoring substances in chicken soup[J]. Fine Chemical Industry, 2018, 35(10): 1 683-1 690.
- [18] 熊大林, 段亚飞, 陈成勋, 等. 高温与氨氮复合胁迫对凡纳滨对虾渗透调节的影响[J]. 水产科学, 2021, 40(4): 475-482.
- XIONG D L, DUAN Y F, CHEN C X, et al. Effects of combined stress of high temperature and ammonia nitrogen on osmotic regulation of *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquatic Sciences, 2021, 40(4): 475-482.
- [19] 陈桂平. 草鱼低温贮藏期间质构及风味物质变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- CHEN G P. Study on texture and flavor changes of grass carp during cryogenic storage [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [20] 林瑞榕, 袁红飞, 钟小清, 等. 不同熬制工艺对“佛跳墙”营养成分及风味物质的影响[J]. 食品科学, 2023, 44(4): 240-246.
- LIN R R, YUAN H F, ZHONG X Q, et al. Effects of different cooking techniques on nutrient composition and flavor of "Fotiao Wall"[J]. Food Science, 2023, 44(4): 240-246.
- [21] REN S, LI P P, GENG Z M, et al. Lipolysis and lipid oxidation during processing of chinese traditional dry-cured white amur bream (*Parabramis pekinensis*) [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2017, 26(6): 719-730.
- [22] ZHAO D D, HU J, CHEN W X. Analysis of the relationship between microorganisms and flavour development in dry-cured grass carp by high-throughput sequencing, volatile flavour analysis and metabolomics[J]. Food Chemistry, 2022, 368: 130889.
- [23] 刘瑶, 乔海军, 贾志龙, 等. 气相色谱-离子迁移谱结合化学计量学分析成熟时间对牦牛乳干酪挥发性风味物质的影响[J]. 分析与检测, 2022, 48(17): 265-272.
- LIU Y, QIAO H J, JIA Z L, et al. Effects of gas chromatography-ion-migration spectrometry combined with stoichiometry on volatile flavor compounds of yak milk cheese[J]. Analysis and Detection, 2022, 48(17): 265-272.
-
- (上接第 136 页)
- [13] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. SSD: Single shot multibox detector [C]// Computer Vision-ECCV 2016: 14th European Conference, Amsterdam, The Netherlands, October 11-14, 2016, Proceedings, Part I 14. [S.l.]: Springer International Publishing, 2016: 21-37.
- [14] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: An incremental improvement [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2018: 18040276.
- [15] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection [C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Piscataway: IEEE Press, 2020: 10934.
- [16] 范加利, 田少兵, 黄葵, 等. 基于 Faster R-CNN 的航母舰面多尺度目标检测算法[J]. 系统工程与电子技术, 2022, 44(1): 40-46.
- FAN J L, TIAN S B, HUANG K, et al. Multi-scale object target detection algorithm for aircraft carrier surface based on Faster R-CNN[J]. Systems Engineering and Electronics, 2022, 44(1): 40-46.
- [17] 王昊, 查涛, 也灵梅, 等. 基于改进 Faster R-CNN 的隐形眼镜表面缺陷检测算法[J]. 激光与光电子学进展, 2023, 60(20): 141-147.
- WANG H, ZHA T, NIE L M, et al. Contact lens surface defect detection algorithm based on improved Faster R-CNN[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2023, 60(20): 141-147.
- [18] 常莉莉, 王贤敏, 王春胜. 基于改进 Faster R-CNN 的码头自动识别[J]. 遥感学报, 2022, 26(4): 752-765.
- CHANG L L, WANG X M, WANG C S. Automatic dock identification based on improved Faster R-CNN [J]. National Remote Sensing Bulletin, 2022, 26(4): 752-765.
- [19] XIE J, PANG Y W, PAN J, et al. Complementary feature pyramid network for object detection[J]. Acm Transactions on Multimedia Computing Communications and Applications, 2023, 19(6): 1-15.
- [20] HE K, GKIOXARI G, DOLLÁR P, et al. Mask R-CNN [C]// Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 2017: 2 980-2 988.
- [21] 张志凯, 韩红章, 赵雪芊, 等. 基于改进 YOLOv3 模型的软包装食品自动识别方法[J]. 食品与机械, 2023, 39(5): 95-100.
- ZHANG Z K, HAN H Z, ZHAO X Q, et al. Automatic recognition method for soft packaged food based on improved YOLOv3 model [J]. Food & Machinery, 2023, 39(5): 95-100.