

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.12.024

低场核磁结合电子鼻判定复合保鲜剂对冷藏虹鳟鱼片品质变化的影响

LF-NMR combined with electronic nose to analyze the quality changes of refrigerated rainbow trout treated with composite preservative

沈秋霞¹ 朱克永¹ 李明元² 钱 杨¹

SHEN Qiu-xia¹ ZHU Ke-yong¹ LI Ming-yuan² QIAN Yang¹

许童桐¹ 吴李川¹ 袁 洋¹

XU Tong-tong¹ WU Li-chuan¹ YUAN Yang¹

(1. 四川工商职业技术学院, 四川 都江堰 611830; 2. 西华大学, 四川 成都 610039)

(1. Sichuan Technology and Business College, Dujiangyan, Sichuan 611830, China;

2. Xihua University, Chengdu, Sichuan 610039, China)

摘要:以质构、pH 值、硫代巴比妥酸(TBA)值、挥发性盐基氮(TVB-N)值及菌落总数为评价指标,同时采用低场核磁共振(LF-NMR)及电子鼻技术对鱼片贮藏期间的水分和挥发性成分变化进行检测,研究复合保鲜剂(壳聚糖、茶多酚及柠檬汁)对虹鳟鱼片贮藏期间品质的影响。结果表明,复合保鲜剂组能较好地维持鱼片质构特性,同时可延缓鱼片 TBA 值、TVB-N 值及菌落总数的增加。低场核磁测得两组鱼片贮藏期间 T_{21} 幅值逐渐降低,在贮藏后期(12~14 d),保鲜剂组鱼片自由水比例显著低于对照组($P < 0.05$),且两组鱼片自由水比例与初期比较均增加。电子鼻 PCA 分析及 LDA 分析均可较好地地区分贮藏期间鱼片的品质变化,LA 分析发现引起鱼片新鲜度变化的主要成分为氮氧化物、无机硫化物、芳香成分物质和乙醇等,而 PCA 分析结果表明对照组鱼片第 6 天开始发生腐败变质,保鲜剂组鱼片第 10 天开始趋于腐败。综上所述,低场核磁及电子鼻检测结果与理化指标结果具有一致性。

关键词:低场核磁共振;电子鼻;复合保鲜剂;虹鳟;品质变化

Abstract: In order to study the effect of composite preservatives (chitosan, tea polyphenols and lemon juice) on the quality of rainbow trout fillets during storage, The fresh-keeping effects were listed as follows: texture, pH, TBA, TVB-N and the total number of colonies. LF-NMR and electronic nose technology were

作者简介:沈秋霞(1994—),女,四川工商职业技术学院助教,硕士。E-mail:1158099236@qq.com

收稿日期:2019-08-26

used to explore the changes of moisture content and volatile components during the storage. The results showed that the composite preservative group could better maintain the texture characteristics of fillets compared with the control group, and at the same time, it also could delay the TBA value, TVB-N value and total viable counts change of fillets. The T_{21} amplitude of the two groups decreased gradually during the storage with the low field nuclear magnetic resonance (LF-NMR) measuring. In the late storage period (12~14 d), the proportion of free water in the treated group was significantly lower than the control group ($P < 0.05$). Comparing with the initial period, the proportion of free water of two groups increased. Both principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) could better distinguish the quality of fish fillets during storage. Loading analysis (LA) showed that the components that caused the bad freshness of fish fillets were mainly nitrogen oxides, inorganic sulfides, aromatic components, ethanol and so on. The results of PCA indicated that the control group began to spoilage on the 6th day, while the treated group began to spoilage on the 10th day. In summary, the results of LF-NMR and electronic nose were consistent with the results of physical and chemical indicators.

Keywords: LF-NMR; electronic nose; composite preservative; rainbow trout; quality changes

虹鳟为一种冷水鱼类,其生长的水域温度为 16~18 °C^[1]。虹鳟肉质鲜美,含有丰富的蛋白质、多不饱和脂肪酸、矿物质及维生素等营养物质,是国际公认的优质食用鱼^[2-4]。由于虹鳟鱼肉水分含量高,同时含有丰富的

营养物质,在贮藏及销售过程中极易发生腐败变质。

目前,水产品防腐保鲜已成为近年来广大消费者十分关注的问题,而生物保鲜剂因其无毒无害的特点,是目前水产品防腐保鲜最主要的研究热点之一。于林等^[5]研究发现茶多酚改性后的胶原蛋白-壳聚糖复合膜可抑制冷藏斜带石斑鱼的理化指标及细菌总数。Qiu等^[6]利用壳聚糖结合甘油提取物对鲳鱼进行涂膜保鲜,发现处理组鱼片的TBA值更低,同时鱼片失水率也降低。Li等^[7]采用1.5%壳聚糖与0.2%茶多酚对大黄鱼进行保鲜研究,发现两种保鲜剂复合能有效抑制微生物生长,将货架期延长8~10 d。Serap等^[8]研究发现,经柠檬汁处理后的鳕鱼感官得分优于对照组,同时能够抑制细菌的生长延长鳕鱼货架期。而近年来关于壳聚糖、茶多酚结合柠檬汁应用于虹鳟鱼片的保鲜研究鲜有报道。

水产品常见的新鲜度评价方法主要有感官、微生物检测及理化指标检测等,而这些方法存在耗时长且对样品具有破坏性等缺点。近年来在食品检测领域逐渐出现了一些快速检测技术,如电子鼻、电子舌、低场核磁共振技术等。杨震等^[9]采用电子鼻技术结合感官及理化指标分析了冷藏秋刀鱼片的新鲜度变化,发现电子鼻分析结果与感官、理化分析结果显著相关。国内外许多研究学者利用电子舌及核磁共振对羊肉^[10]、鳕鱼^[11]、鲍鱼^[12]等肉类的品质变化进行了相关研究,而目前关于电子鼻结合核磁共振技术快速检测虹鳟鱼片的品质变化研究还未见报道。

试验拟研究4℃冷藏条件下,复合保鲜剂(壳聚糖、茶多酚及柠檬汁)处理的真空包装虹鳟鱼片在贮藏期内的质构、理化及微生物指标变化情况,并利用低场核磁共振及电子鼻技术分析鱼片贮藏期间水分含量变化和挥发性成分变化,以此评价复合保鲜剂的保鲜效果,同时为虹鳟鱼片新鲜度快速检测方法提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

虹鳟:通威(成都)三文鱼有限公司;

柠檬:尤力克,四川安岳产;

平板计数琼脂培养基(PCA):成都市迪维乐普科技有限公司;

硼酸、盐酸、溴甲酚绿、甲基红、氧化镁、高氯酸、三氯乙酸、2-硫代巴比妥酸:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

水溶性壳聚糖:食品级,脱乙酰度90%,河南荣申化工有限公司;

茶多酚:食品级,河南千志商贸有限公司。

1.2 仪器与设备

电子分析天平:TB-214型,北京赛多利斯仪器系统有限公司;

全自动定氮仪:K-1100型,山东海能科学仪器有限

公司;

紫外—可见分光光度计:UV2800型,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;

电热恒温培养箱:SGSP-02型,黄石市恒丰医疗器械有限公司;

自动台式灭菌锅:TMQR-3250型,山东新华医疗器械公司;

台式离心机:TD-5M型,四川蜀科仪器有限公司;

便携式电子鼻系统:PEN3型,德国Airsense公司;

低场核磁共振仪:MesoMR23-040V-1型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;

恒温水浴锅:DK-98A型,天津泰斯特有限公司;

真空包装机:TW-BZJ-2-4型,海沃迪智能装备股份有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 复合保鲜剂浓度的确定 在前期单因素试验的基础上,利用响应面试验对茶多酚、壳聚糖和柠檬汁浓度进行复合配比优化,以硫代巴比妥酸(TBA)值、挥发性盐基氮(TVB-N)值及菌落总数为评价指标,最终确定复合保鲜剂最佳浓度为壳聚糖1.75%,茶多酚0.25%,柠檬汁4.98%。

1.3.2 原料预处理 鲜活虹鳟清洁暂养24 h后,于清洁无菌条件下进行宰杀,经去皮去内脏处理后,采用碎冰包装立即运送至实验室,将鱼肉清洗干净后,取背脊肉并分割成质量相差不大的鱼片,再次用清水清洗干净。将处理好的鱼片分别于蒸馏水(对照组)和复合保鲜剂溶液(1.75%壳聚糖、0.25%茶多酚、4.98%柠檬汁)中浸泡30 min(鱼片与浸泡溶液体积比1:4)。取出后自然沥干表面水分,用聚对苯二甲酸二甲酯+聚乙烯(PET/PE)复合包装袋进行真空包装,4℃下冷藏,每2 d对鱼片进行微生物、理化指标检测,同时采用低场核磁共振和电子鼻技术对鱼片进行水分含量及挥发性物质的快速检测。

1.4 评价指标测定

1.4.1 质构 参照文献^[13]。

1.4.2 pH值 参照文献^[14]的方法并略做修改。取10.000 g绞碎鱼糜于烧杯中,加入蒸馏水100 mL,用玻璃棒搅拌充分后静置30 min,过滤。取滤液50 mL用pH计测其pH值,每组样品做3次平行,取平均值。

1.4.3 TBA、TVB-N值 参照文献^[13]。

1.4.4 菌落总数 按GB 4789.2—2010执行。

1.4.5 低场核磁共振 参照文献^[11—12]的方法并略做修改。称取2 g样品,用经蒸馏水润湿的滤纸片将鱼肉表面水分拭干,迅速置于玻璃样品管中,将样品管放入磁体腔内进行测试条件探索。利用标准水膜在Q-FID序列下进行仪器校正,依次进行90°,180°脉冲校正,放入样品,探寻最佳采样等待时间和累加次数,在Q-CPMG脉冲序列

下进行试验。Q-CPMG 序列测定参数为测定温度 32 ℃, 采样频率 100 kHz, 主频率 20 MHz, 90°脉冲脉宽 10 μs, 180°脉冲脉宽 20 μs, 采样点数 185 672, 累加次数 4, 采样等待时间 4 200 ms, 回波数 3 000, 频率漂移 937 320.75。使用软件自带的反演软件对试验数据进行反演, 得到不同组分水分的弛豫时间(T_2)与峰面积图。

1.4.6 电子鼻 参考文献[15-17]的方法。利用电子鼻 WinMuster 软件对样品进行负荷加载分析、LA 分析、PCA 分析及雷达图分析, 每组样品做 6 次平行, 分析比较去掉异常值。表 1 为电子鼻各传感器性能。

1.5 数据处理

采用 WinMuster、Excel 2006、SPSS 21.0 及 Oringin 9.0 对试验数据进行分析处理。

2 结果与讨论

2.1 复合保鲜剂对冷藏鱼片质构的影响

由图 1 可知, 对照组与保鲜剂组鱼片硬度在贮藏期间先上升后下降, 贮藏至第 2 天时, 两组鱼片硬度最大; 第 6 天时, 分别下降至 754.501, 794.396 g; 第 14 天时, 分别下降至 533.333, 556.489 g, 与初始值相比分别下降了 31.87%, 28.91%。随着贮藏时间的延长, 对照组与保鲜剂组鱼片弹性均下降, 且在贮藏初期(0~2 d), 两组鱼片弹性下降速率缓慢, 从第 2 天开始, 对照组的下降速率加快且高于保鲜剂组的; 第 8 天时两组鱼片弹性与初值比

表 1 电子鼻传感器性能描述

Table 1 Sensor properties of electronic nose

传感器	名称	响应特性
R1	W1S	对芳香成分物质灵敏
R2	W5S	灵敏度大, 对氮氧化物灵敏
R3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
R4	W6S	对氢气有选择性
R5	W5C	对烷烃、芳香成分灵敏
R6	W1C	对甲烷灵敏
R7	W1W	对无机硫化物灵敏
R8	W2S	对乙醇灵敏
R9	W2W	对有机硫化物灵敏
R10	W3S	对烷烃灵敏

较分别下降了 12.80%, 11.54%, 第 14 天弹性分别下降至 0.658, 0.678 g。随着贮藏时间的延长, 对照组与保鲜剂组鱼片回复性和咀嚼性均逐渐下降, 且保鲜剂组的高于对照组; 贮藏初期, 鱼片回复性为 0.177 g, 第 14 天时, 对照组鱼片回复性下降至 0.121 g, 此时保鲜剂组的为 0.134 g, 说明保鲜剂处理对虹鳟鱼片弹性变化影响不明显($P>0.05$); 贮藏结束后, 两组鱼片咀嚼性分别为 69.322, 87.385 g, 与初值比较分别下降了 47.01%, 33.20%, 可能是其硬度、弹性及回复性等质构变化导致的。综合表明, 使用保鲜剂对虹鳟鱼进行处理可较好地维持其质构特性。

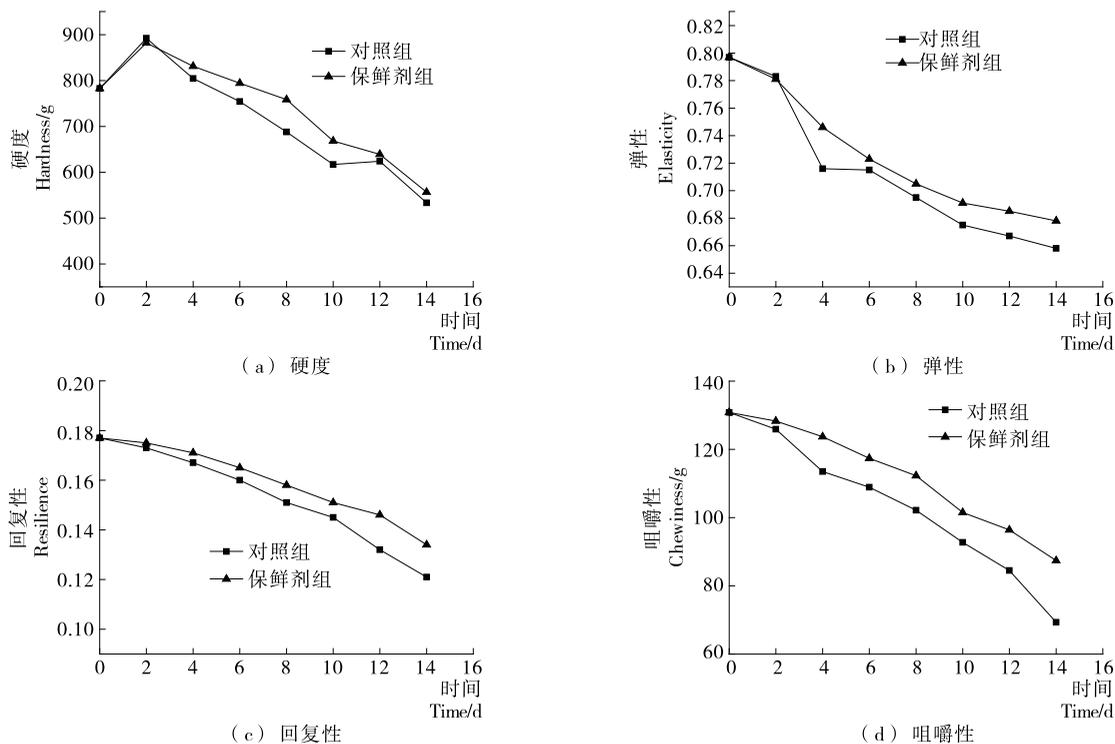


图 1 贮藏期间鱼片的质构

Figure 1 The texture of rainbow trout during the storage

2.2 复合保鲜剂对冷藏鱼片 pH 值的影响

由图 2 可知,随着贮藏时间的延长,对照组鱼片 pH 值呈现波动变化,而保鲜剂组鱼片 pH 值先下降后上升。贮藏 0~6 d,两组鱼片 pH 值整体呈下降趋势,第 6 天两组鱼片 pH 值分别为 6.40、6.38;从第 6 天开始,两组鱼片 pH 值开始逐渐增加,第 10 天两组鱼片 pH 值分别增加至 6.54、6.45。这主要是前期细胞进行无氧呼吸产生乳酸,同时糖原发生酵解产生磷酸等物质导致 pH 值降低,后期蛋白质发生分解作用产生氨及胺类等碱性物质造成 pH 值上升;在贮藏后期保鲜剂组鱼片 pH 值低于对照组,可能是保鲜剂的抑菌作用使得鱼肉蛋白质分解缓慢造成的。

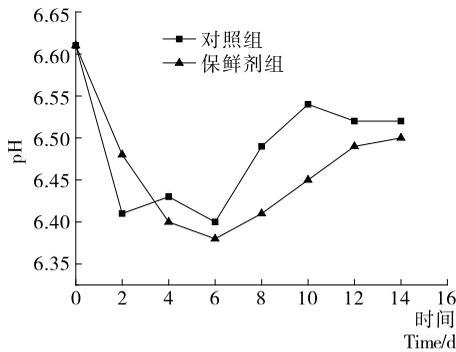


图 2 贮藏期间鱼片的 pH

Figure 2 The pH of rainbow trout during the storage

2.3 复合保鲜剂对冷藏鱼片 TBA 值的影响

由图 3 可知,随着贮藏时间的延长,对照组与保鲜剂组鱼片 TBA 值逐渐增加,且对照组高于保鲜剂组。贮藏 0~6 d,两组鱼片 TBA 值增长趋势平缓,之后对照组 TBA 值开始急剧增加,第 14 天两组鱼片 TBA 值分别增加至 0.936、0.725 mg MDA/kg。贮藏期间保鲜剂组鱼片的脂肪氧化速度低于对照组鱼片,可能是由于茶多酚的抗氧化作用减缓了鱼肉的脂肪氧化,同时壳聚糖及柠檬汁的抑菌作用也减缓了微生物对脂肪的分解。

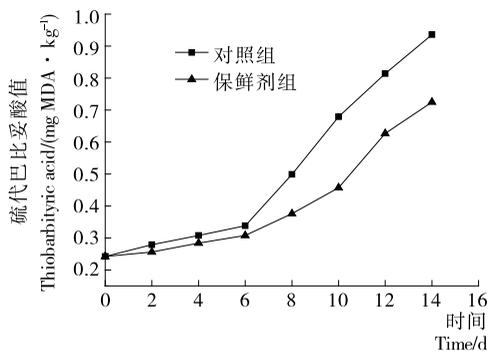


图 3 贮藏期间鱼片的 TBA 值

Figure 3 The TBA of rainbow trout during the storage

2.4 复合保鲜剂对冷藏鱼片 TVB-N 值的影响

由图 4 可知,随着贮藏时间的延长,鱼片 TVB-N 值逐渐增加,且对照组高于保鲜剂组。鱼片 TVB-N 初始值为 8.382 mg/100 g,第 8 天对照组鱼片 TVB-N 值为 22.721 mg/100 g,此时鱼肉新鲜度差,已达到食用临界值^[18];第 12 天保鲜剂组鱼片 TVB-N 值为 23.854 mg/100 g;贮藏结束时,两组鱼片 TVB-N 值分别增加至 30.684、26.478 mg/100 g,均已腐败。结果表明,经保鲜剂处理鱼片的贮藏期较对照组可延长 4 d 左右。

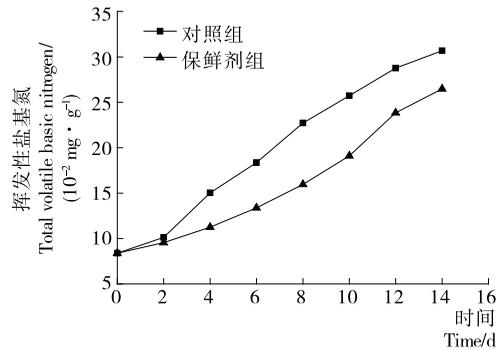


图 4 贮藏期间冷藏鱼片的 TVB-N 值

Figure 4 The TVB-N of rainbow trout during the storage

2.5 复合保鲜剂对冷藏鱼片菌落总数的影响

由图 5 可知,随着贮藏时间的延长,鱼片菌落总数逐渐增加,且对照组高于保鲜剂组。贮藏前期(0~6 d),保鲜剂组鱼片菌落总数增长缓慢,第 6 天其增长速度加快;第 10 天时,对照组鱼片菌落总数为 6.25 lg CFU/g,超出可接受水平限量值(5×10^5 CFU/g)^[19];第 14 天时,保鲜剂组鱼片菌落总数值 $> 5 \times 10^5$ CFU/g。保鲜剂组鱼片抑菌效果优于对照组,是由于壳聚糖、茶多酚及柠檬汁均具有抑菌性能,减慢了微生物的生长繁殖。贮藏期间,两组鱼片菌落总数变化趋势与 TBA 值和 TVB-N 值变化基本一致。

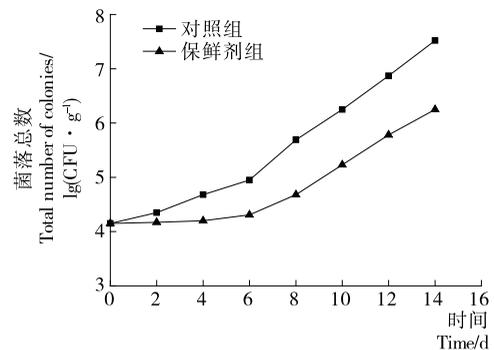


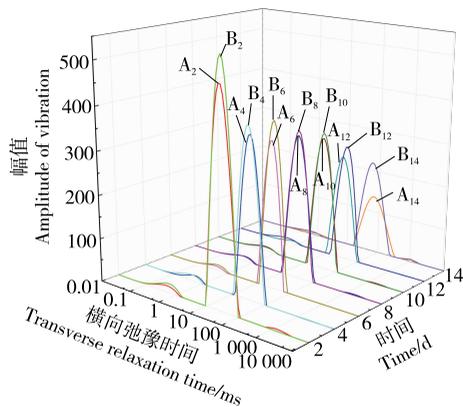
图 5 贮藏期间冷藏鱼片的菌落总数

Figure 5 The total viable counts of rainbow trout during the storage

2.6 复合保鲜剂对冷藏鱼片水分及含量变化的影响

由图 6 可知,经 NMR 自身软件反演后的图谱出现 3 个峰,表明鱼片中存在 3 种不同状态的水分,其中弛豫时间最短的(T_{20} 0~10 ms)为结合水,这部分水与细胞内大分子物质结合非常紧密;处于中间的(T_{21} 10~100 ms)为不易流动水,这部分水存在肌纤维、肌纤维及膜之间;弛豫时间最长的(T_{22} 100~1 000 ms)为自由水,这部分水存在肌纤维细胞间隙,通过物理作用吸附在鱼肉上,在贮藏过程中特别容易流失^[12,20]。随着贮藏时间的延长,两组鱼片 T_{21} 幅值逐渐降低,峰面积也在不断发生变化; T_{20} 幅值变化不明显, T_{22} 幅值变化呈波动趋势。

由表 2 可知,随着贮藏时间的延长,对照组与保鲜剂组鱼片 P_{20} 先减小后增加,可能是由于肌肉前期无氧呼吸作用产生的乳酸及磷酸等酸性物质致使 pH 降低,当 pH 值接近蛋白质等电点时,蛋白质净电荷为 0 而相互靠近使其水合作用减弱,导致 P_{20} 减少^[21];两组鱼片在不同贮藏



A_i 表示对照组, B_i 表示保鲜剂处理组, i 表示贮藏天数

图 6 贮藏期间冷藏鱼片的水分横向弛豫时间

Figure 6 The transverse relaxation time distribution of rainbow trout during the storage

藏时间的 P_{20} 差异显著 ($P < 0.05$), 贮藏 0~4 d, 对照组与保鲜剂组鱼片 P_{20} 差异不显著 ($P > 0.05$)。对照组与保鲜剂组鱼片 P_{21} 先增加后减少, 与甄少波等^[22] 的研究结果一致; 两组鱼片在不同贮藏时间的 P_{21} 差异显著 ($P < 0.05$), 第 14 天时, 对照组与保鲜剂组鱼片 P_{21} 分别为 93.83%, 94.30%。对照组与保鲜剂组鱼片 P_{22} 呈现波动变化; 贮藏后期 (12~14 d), 保鲜剂组自由水比例显著低于对照组 ($P < 0.05$), 且两组鱼片自由水比例与初期比较均增加, 可能是随着贮藏时间的延长, 鱼肉蛋白质结构遭到破坏导致部分不易流动水结合能力减弱流出, 存在于肌纤维间隙, 不易流动水比例减少而自由水比例增加。

2.7 复合保鲜剂处理冷藏鳟鱼片的电子鼻分析

2.7.1 LA 分析 由图 7 可知, LA-1、LA-2 贡献率分别为 65.87%, 32.36%, 总贡献率达 98.23%。对第一主成分贡献率最大的传感器为 R2、R7 传感器, 其分别对氮氧化物及无机硫化物等挥发性物质灵敏; R1、R8 传感器对第二主成分贡献率最大, 即对芳香成分物质和乙醇有选择性; R10 传感器在坐标轴上接近于零, 其响应值可忽略不计, 说明对烷烃选择性极小。

2.7.2 PCA 分析 通常情况下, 第一主成分和第二主成分总贡献率在 70%~85%, 此分析方法便可使用^[23]。由图 8 可知, PCA-1、PCA-2 贡献率分别为 65.87%, 32.36%, 总贡献率为 98.23%, 说明两种主成分可以反映两种处理方式下的鱼片在不同贮藏时间的整体信息。不同贮藏时间的鱼片与新鲜鱼片均存在一定距离, 但对照组在贮藏第 2 天与第 6 天响应值存在重叠区域, 保鲜剂组在贮藏第 2 天与第 6 天响应值情况与对照组相同, 说明此阶段鳟鱼片新鲜度差异不大 ($P > 0.05$)。贮藏第 10 天, 对照组鱼片挥发性物质响应值区域与初期区域距离明显增大 ($P < 0.05$), 表明鱼片在贮藏 6 d 后开始腐败变质; 而保鲜剂组贮藏至第 14 天时响应值区域与初期区

表 2 贮藏期间冷藏鱼片的 3 种状态水分峰面积[†]

Table 2 Changes of peak areas for three kinds of water of rainbow trout treated with composite preservatives during the storage

贮藏时间/d	P_{20}		P_{21}		P_{22}	
	对照组	保鲜剂组	对照组	保鲜剂组	对照组	保鲜剂组
0	3.54±0.036 ^e	3.54±0.044 ^f	95.78±0.125 ^b	95.78±0.114 ^b	0.68±0.010 ^b	0.68±0.026 ^b
2	3.25±0.125 ^f	3.39±0.036 ^e	96.19±0.115 ^a	95.99±0.052 ^a	0.56±0.026 ^c	0.62±0.030 ^c
4	3.79±0.157 ^d	3.88±0.036 ^e	96.14±0.062 ^a	95.89±0.089 ^{aA}	0.07±0.017 ^f	0.23±0.017 ^{fA}
6	6.19±0.104 ^a	5.45±0.046 ^{aA}	93.76±0.121 ^d	94.08±0.052 ^{hA}	0.05±0.010 ^f	0.47±0.010 ^{dA}
8	5.78±0.173 ^b	4.94±0.082 ^{bA}	93.81±0.123 ^d	94.94±0.044 ^{dA}	0.41±0.026 ^d	0.12±0.010 ^{eA}
10	4.01±0.131 ^d	4.49±0.036 ^{cA}	95.66±0.070 ^b	95.23±0.089 ^{cA}	0.33±0.017 ^e	0.28±0.026 ^e
12	3.77±0.046 ^d	4.31±0.017 ^{dA}	94.69±0.175 ^c	94.49±0.036 ^f	1.54±0.035 ^a	1.20±0.017 ^{aA}
14	4.66±0.062 ^c	4.51±0.030 ^{cA}	93.83±0.026 ^d	94.30±0.020 ^{eA}	1.51±0.020 ^a	1.19±0.017 ^{aA}

[†] P_{20} 、 P_{21} 、 P_{22} 分别为 T_{20} 、 T_{21} 、 T_{22} 弛豫时间的峰面积; 大写字母不同表示组间差异显著 ($P < 0.05$), 小写字母不同表示组内差异显著 ($P < 0.05$)。

域距离增大,说明鱼片在贮藏 10 d 后开始腐败。PCA 分析结果与 TBA 值、TVB-N 值及菌落总数变化趋势一致。
 2.7.3 LDA 分析 由图 9 可知,LD-1、LD-2 贡献率分别为 70.91%,18.60%,总贡献率为 89.51%。随着贮藏时间的延长,对照组鱼片挥发性物质响应值均逐渐增加,保鲜剂组鱼片挥发性物质响应值呈现波动变化。不同处理方

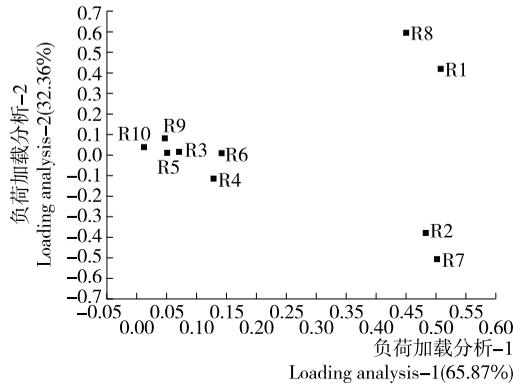


图 7 贮藏期间冷藏鱼片的负荷加载分析
 Figure 7 Loadings analysis of rainbow trout during the storage

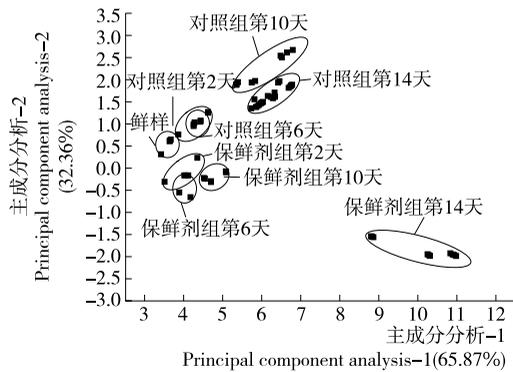


图 8 贮藏期间冷藏鱼片的 PCA 分析
 Figure 8 PCA analysis of rainbow trout during the storage

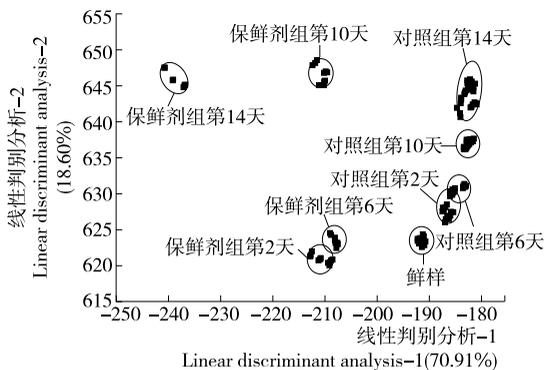


图 9 贮藏期间冷藏鱼片的 LDA 分析
 Figure 9 LDA analysis of rainbow trout during the storage

式的鱼片在不同时间响应值区域间距离明显,鱼片新鲜度差异显著($P < 0.05$),表明利用 LDA 分析法能够区分对照组与保鲜剂组鱼片在不同贮藏时间的新鲜度。

2.7.4 特征雷达图分析 由图 10 可知,新鲜鳟鱼雷达图响应值分布均匀,表明鱼肉新鲜度良好;随着贮藏时间的延长,两组鱼片响应值开始发生变化,对照组中除 R6、R8 传感器响应值增大外,其余传感器响应值均逐渐减小;而保鲜剂组中除 R2、R6 及 R7 传感器响应值增大外,其余传感器响应值均减小。贮藏至第 14 天时,对照组与保鲜剂组鱼片的 R2、R6、R7、R8 传感器响应值增至最大,伴有明显的鱼腥味,已腐败变质,此时鱼肉挥发性气味主要由氮化合物、甲烷、芳香成分、乙醇等物质组成。

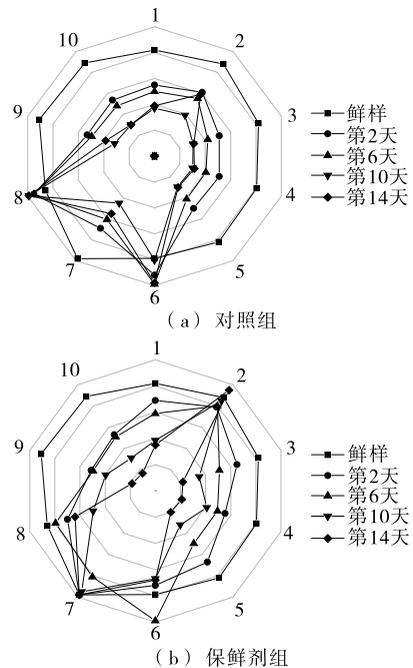


图 10 贮藏期间冷藏鱼片的特征雷达图
 Figure 10 Radar plot of electronic detection values of rainbow trout during the storage

3 结论

通过研究复合保鲜剂处理的虹鳟鱼片经真空包装后于 4 °C 贮藏条件下的质构、理化指标及微生物指标变化情况,同时利用低场核磁共振及电子鼻技术对其进行快速检测,以此评价复合保鲜剂对鳟鱼的保鲜效果。结果表明,复合保鲜剂能较好地维持鱼片质构特性,同时能够有效延缓 TBA 值、TVB-N 值及菌落总数变化。利用低场核磁测得两组鱼片贮藏期间 T_{21} 幅值逐渐降低,贮藏后期(12~14 d),保鲜剂组自由水比例显著低于对照组($P < 0.05$),且两组鱼片自由水比例与初期比较均增加。通过电子鼻技术可较好地地区分贮藏期间鱼片品质变化,通过 LA 分析发现引起鱼片新鲜度变化的主要成分为氮氧

化合物、无机硫化物、芳香成分物质和乙醇等,而 PCA 分析表明不同贮藏时间的鱼片与新鲜鱼片比较均存在一定距离,对照组鱼片第 6 天开始腐败变质,保鲜剂组鱼片第 10 天开始腐败。低场核磁及电子鼻检测结果与理化指标结果具有一致性,即证明低场核磁共振技术与电子鼻技术可用于虹鳟鱼片贮藏期间的快速无损检测;与对照组比较,复合保鲜剂能将鳟鱼片的贮藏期延长 4 d 左右。后续可深入探讨经不同贮藏温度、不同包装材料结合复合保鲜剂处理的虹鳟鱼片在贮藏过程中的品质变化。

参考文献

[1] 吴永俊,王玉涛,施文正,等.不同产地虹鳟鱼肉风味物质的比较[J].上海海洋大学学报,2017,26(6):889-899.

[2] 王汉玲.不同处理方式对虹鳟在微冻条件下品质影响的研究[D].石河子:石河子大学,2018:9.

[3] 李东萍,蒋妍,高亮,等.冷藏和冻藏条件下虹鳟鱼片品质变化研究[J].渔业现代化,2016,43(5):23-27.

[4] 高桂香,简生龙.青海鲑鳟鱼加工现状及发展建议[J].青海农林科技,2017(3):28-30,57.

[5] 于林,陈舜胜,王娟娟,等.茶多酚改性胶原蛋白-壳聚糖复合膜对冷藏斜带石斑鱼的保鲜效果[J].食品科学,2017,38(3):220-226.

[6] QIU Xu-jian, CHEN Sheng-jun, LIU Guang-ming, et al. Inhibition of lipid oxidaxion in frozen farmed ovate pompano (*Trachinotus ovatus* L.) fillets stored at -18 °C by chitosan cotaing incorporated with citric acid or licorice extract[J]. J Sci Food Agric, 2016, 96: 3 374-3 379.

[7] LI Ting-ting, HU Wen-zhong, LI Jian-rong. Coating effects of tea polyphenol and rosemary extract combined with chiosan on the storage quality of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Food Control, 2012, (25): 101-106.

[8] SERAP Cosansu, SUHENDAN Mol, DIDEM UCOK Alakavuk, et al. The effect of lemon juice on shelf life of sous vide packaged whiting (*merlangius merlangus euxinus*, nordmann, 1840)[J]. Food Bioprocess Technol, 2013, 6: 283-289.

[9] 杨震,贡慧,刘梦,等.基于电子鼻技术的秋刀鱼新鲜度评

价[J].肉类研究,2017,31(3):40-44.

[10] 王胜威.基于低场核磁共振及电子舌对羊肉品质安全判别研究[D].贵阳:贵州大学,2015:21-28.

[11] MMARIA G, SIGURJON A, TURID R. The effects of pre-salting methods on water distribution and protein denaturation of dry salted and rehydrated cod-A low-field NMR study[J]. Journal of Food Engineering, 2011(104): 23-29.

[12] 高兴盛,李艳茹,郭卫华,等.低场核磁共振技术结合化学计量学建立鲍鱼水分和脂肪含量预测模型[J].现代农业科技,2016(8):267-270,274.

[13] 沈秋霞,李明元,胡永正,等.包装方式对三文鱼片贮藏品质的影响[J].食品与机械,2018,34(6):133-138.

[14] 丁婷,李婷婷,顾建荣.0 °C 冷藏三文鱼片新鲜度综合评价[J].中国食品学报,2014,14(11):252-259.

[15] 沈秋霞,王晓君,卢朝婷,等.基于电子鼻技术对真空包装三文鱼片的新鲜度评价[J].食品与发酵工业,2018,44(10):241-247.

[16] 赵梦醒,丁晓敏,曹荣,等.基于电子鼻技术的鲈鱼新鲜度评价[J].食品科学,2013,34(6):143-147.

[17] 李婷婷,丁婷,邹朝阳,等.顶空固相微萃取-气质联用技术结合电子鼻分析 4 °C 冷藏过程中三文鱼片挥发性成分的变化[J].现代食品科技,2015,31(2):249-260.

[18] 汪之和.水产品加工与利用[M].北京:中国农业出版社,1999:21-25.

[19] 国际食品微生物规格委员会.微生物检验与食品安全控制[M].北京:中国轻工业出版社,2012:110-122.

[20] BERTRAM H C, KARLSSON A H, RASMUSSEN M, et al. The origin of multiexponential T_2 relaxation in muscle myowater[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 2001, 49: 3 092-3 100.

[21] OFFER G. Modeling of the formation of pale, soft and exudative meat: Effects of chilling regime and rate and extent of glycolysis[J]. Meat Science, 1991, 30(2): 157-184.

[22] 甄少波,刘奕忍,郭慧嫒,等.低场核磁共振分析猪肉宰后成熟过程中的水分变化[J].食品工业科技,2017,38(21):66-70.

[23] 白一凡,贡慧,张睿梅,等.电子鼻对酱牛肉煮制过程中老汤风味的检测[J].肉类研究,2014,28(11):27-29.

(上接第 129 页)

[13] LUO Chun-ping, HU Chun-qiu, GAO Jin-yan, et al. A potential practical approach to reduce Ara h 6 allergenicity by gamma irradiation[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3/4): 1 141-1 147.

[14] WIHODO M, MORARU C I. Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of protein films: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2013, 114(3): 292-302.

[15] 王建辉,刘永乐,刘冬敏,等.冷藏期间草鱼鱼片脂肪氧化变化规律研究[J].食品科学,2013,34(6):243-246.

[16] CAI Lu-yun, CAO Ai-ling, BAI Feng-ling, et al. Effect of ϵ -polylysine in combination with alginate coating treatment on physicochemical and microbial characteristics of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) during refrigerated storage[J]. Food Science and Technology, 2015, 62(2): 1 053-1 059.

[17] 徐晨,白婵,耿胜荣,等. ^{60}Co - γ 射线辐照对草鱼贮藏品质的影响[J].核农学报,2018,32(6):1 116-1 124.

[18] LIU Da-song, LIANG Li, XIA Wen-shui, et al. Biochemical and physical changes of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at -3 and 0 °C [J]. Food Chemistry, 2013, 140(1/2): 105-114.