DOI:10.12441/spyswjs.20240701003 [文章编号] 1673-1689(2024)09-0090-09

非钠盐部分替代NaCl对低盐青鱼品质的影响

倪云梅[1] 吴佳佳[1] 董晓涵[1] 王士桢[1] 俞来兴[2] 金仁耀[1*]

(1. 浙江工商大学海洋食品研究院,浙江 杭州 310012; 2. 嘉兴诚兴水产有限公司,浙江 嘉兴 314016)

摘要:作者比较了不同非钠替代盐在低盐青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)腌制过程中的减钠效果,筛选出适用于青鱼的替代盐种类及替代比例。以新鲜青鱼为原料,研究在20%、50%的替代比例下,氯化钾(KCl)、乳酸钾(KL)、咸味肽和KCl、KL复配对青鱼脂肪氧化、蛋白质降解、感官评分等指标的影响。结果表明:KCl替代组的青鱼水分质量分数、pH下降,鱼肉硬度较高,但色泽较对照组无显著差异(P>0.05),50% KCL替代组的脂肪氧化效果明显但总盐质量分数偏高,20% KCL替代组的鱼肉生物胺质量分数、TVB-N值减少,感官评分最高;KL替代组的青鱼水分质量分数、pH、脂肪质量均分数均下降,20% KL替代组的鱼肉脂肪氧化明显且总盐质量分数偏高,TVB-N值、色泽、生物胺质量分数与对照组无显著差异(P>0.05);咸味肽替代组的青鱼脂肪质量分数较高,鱼肉安全性差且风味、气味、可接受度较低;KCl、KL替代组抑制鱼肉脂肪氧化的效果最好,但鱼肉酪胺质量分数较高;KCl、KL替代组中柠檬酸的添加使鱼肉pH下降,鱼肉偏酸。综合分析,KCl为青鱼最佳替代盐且最佳替代比例为20%。

关键词:低盐;青鱼;脂肪氧化;蛋白质降解;感官品质

Effect of Partial Substitution of NaCl by Non-Sodium Salts on the Quality of Low-Salt Black Carp

NI Yunmei[1] *WU Jiajia*[1] *DONG Xiaohan*[1] *WANG Shizhen*[1] *YU Laixing*[2] *JIN Renyao*[1*]

(1. Marine Food Research Institute, Zhejiang Gongshang University,Hangzhou 310012, China; 2. Jiaxing Chengxing Aquatic Products Co., Ltd., Jiaxing 314016, China)

Abstract: The author compared the salt-reduction effect of different non-sodium substitute salts in the process of low-salt black carp (*Mylopharyngodon piceus*) curing, and selected the suitable types and substitution ratios of these salts. Using fresh black carp as raw materials, the effects of potassium chloride (KCl), potassium lactate (KL), salty peptide, and the combination of KCl and KL on the indicators of fat oxidation, protein degradation and sensory scores of black carp curing were studied at substitution ratios of 20% and 50%.The results indicated that: in KCl replacement group, the moisture mass fraction and pH of black carp decreased, and the hardness of the fish meat increased, but the colour was not significantly different from the control group (P>0.05). The fat oxidation effect in the 50% KCl replacement group was significant, but the total salt mass fraction was relatively high. In the 20% KCl replacement group, the biogenic amine mass fraction and TVB-N value of fish meat were reduced, and the highest sensory score was achieved. In the KL replacement group, the moisture mass fraction, pH, and fat mass fraction of black carp decreased. In the 20% KL replacement group, the fat oxidation of the fish meat was more pronounced, but the total salt mass fraction was higher. There were no significant differences between TVB-N value, colour and biogenic amine mass fraction compared to the control group (P>0.05). In the salty peptide replacement group, the fat mass fraction of black carp was higher, the safety of the fish meat was lower, and its flavor, odor and

基金项目:科技部重点研发专项项目(2018YFC0311205);嘉兴市科技特派员团队项目(K2022C012)。

通信作者:金仁耀(1981—),男,博士,副研究员,硕士研究生导师,主要从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: nodjin@163.com

收稿日期:2024-07-01 **修回日期:**2024-10-13

acceptability were poorer. The KCl and KL replacement group exhibited the best effect of inhibiting fat oxidation of the fish meat, but tyramine mass fraction was higher. The addition of citric acid in the KCl and KL replacement group decreased the pH of the fish meat, making it more acidic. Based on the overall analysis, KCl was identified as the best alternative salt for black carp, with the optimal substitution ratio being 20%.

Keywords: low-salt; black carp; fat oxidation; protein degradation; sensory quality

青鱼是我国重要的淡水养殖品种之一，具有生长快、肉质紧实、营养丰富等特点。2023年，青鱼年养殖产量达80万t[1]。因青鱼个大、鱼肉含水量高，常温保存易腐，仅少部分进行鲜销，大部分青鱼采用干制、腌腊、罐头等工艺制作成青鱼制品，其中青鱼干制品占25%左右[2]。高盐腌制是青鱼贮藏中重要的保鲜手段，是利用高渗透压使鱼肉脱水，进而抑制腐败菌滋生。另外，腌制过程中脂肪、蛋白质的适度降解使鱼肉呈现独特的咸鱼风味[3]。干腌水产品总盐质量分数普遍较高，为15%~25%[4-5]。研究表明，长期高Na^+摄入的饮食结构容易诱发高血压、冠心病等心血管疾病，加重肾脏负担[6]，因此研究低钠盐质量分数且又能保留口感风味的低盐腌制青鱼产品具有重要意义。

直接减少食盐用量是降低腌制鱼制品总盐质量分数最为简单直接的手段，但盲目减少食盐用量对鱼肉滋味、色泽、质构、脂肪氧化和蛋白质降解等方面有不利影响[7]。目前，采用咸度较高或相似的食盐替代物，如非钠金属元素（K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}）按一定比例替代Na^+，是腌制鱼制品常用的减盐手段之一。这些金属元素相对分子质量与Na^+相近，具有合适的咸味及较高的抗菌活性。Giese等[8]研究KCl、KL以一定比例替代氯化钠（NaCl）对冷熏三文鱼及鲱鱼贮藏两周后理化指标的影响，发现替代组的鱼肉在质地、色泽、pH及感官特性上与对照组没有显著差异（P>0.05）。但也有研究表明，K^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}等金属盐替代比例较高时可能会对鱼肉风味造成不良影响，如鱼肉滋味发苦、有明显金属异味等，适当添加鲜味氨基酸或多肽风味剂，可在一定程度上掩蔽不良气味[9]。

为进一步探究不同替代盐及替代比例对低盐青鱼腌制过程中的品质变化规律，作者以新鲜青鱼为原料，以100% NaCl食用盐腌制为对照组，KCl、KL及咸味肽3种替代盐在20%、50%两种替代比例下制备NaCl复配盐，经晾晒处理后以鱼肉基本营养成分、脂肪氧化、蛋白质降解、生物胺质量分数、感官品质等为指标，评估3种替代盐和高替代比例、低替代比例对青鱼品质变化的影响，筛选出最优替代盐及替代比例，挖掘其在青鱼实际生产应用中的潜力，为低盐青鱼产品研发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

青鱼：嘉兴诚兴水产有限公司；NaCl、KCl、KL、柠檬酸：江苏省盐业集团有限责任公司；咸味肽：杭州味元极食品科技有限公司；酪胺盐酸盐、章胺盐酸盐、丹磺酰：上海阿拉丁生化科技股份有限公司；尸胺二盐酸盐、腐胺盐酸盐、组胺盐酸盐：德国默克集团有限公司；氨水：上海麦克林生化科技股份有限公司；乙腈、甲醇（色谱级）、其他化学试剂：分析纯，国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

全波长酶标仪：SpectraMax 190型，美国Molecular Devices公司；均质机：T-18型，德国IKA仪器有限公司；高速冷冻离心机：Lynx 4000型，美国Thermo Fisher Scientific公司；紫外分光光度计：Evolution 60s型，美国Thermo Fisher Scientific公司；质构仪：TMS-Pro型，美国FTC仪器有限公司；自动凯氏定氮仪：K-370型，瑞士BUCHI公司；高效液相色谱仪：2695型，美国Waters公司；色差仪：Color Quest XE型，美国Hunter Lab仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 加工工艺及样品制备

取体型、质量相似的新鲜青鱼对半剖开，按质量分数15%（以鱼肉计）添加NaCl复配盐，试验组中替代盐添加量（以1 kg原料鱼肉计）见表1。鱼肉腌制2 d后洗去多余盐分，常温（8~15 ℃）晾晒7 d。样品采集后置于镀铝真空袋中抽真空并密封，于−80 ℃冰箱保藏。

1.3.2 青鱼基本营养成分测定

水分质量分数测定：参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的直接干

表1 替代盐添加量

Table 1 Substitute salt addition amount

组别	配料	添加比例	添加质量/g				
			NaCl	KCl	KL	咸味肽	柠檬酸
C1组	NaCl	100	150	0	0	0	0
A1组	NaCl/KCl	80∶20	120	30.0	0	0	0
A2组	NaCl/KCl	50∶50	75	75.0	0	0	0
B1组	NaCl/KL	80∶20	120	0	30.0	0	0
B2组	NaCl/KL	50∶50	75	0	75.0	0	0
D1组	NaCl/咸味肽	80∶20	120	0	0	30	0
D2组	NaCl/咸味肽	50∶50	75	0	0	75	0
E1组	NaCl/KCl/KL	80∶10∶10	120	15.0	15.0	0	0
E2组	NaCl/KCl/KL	50∶25∶25	75	37.5	37.5	0	0
E3组	NaCl/KCl/KL/柠檬酸	50∶20∶20∶10	75	30.0	30.0	0	15

燥法进行测定。pH测定：称取青鱼肉2 g，加入去离子水20 mL，均质后用pH计测定。脂肪质量分数测定：参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》的索氏抽提法进行测定。

1.3.3 总盐、Na^+、K^+质量分数测定

总盐质量分数参照SC/T 3011—2001《水产品中盐分的测定》进行测定。Na^+、K^+质量分数参照GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》进行测定。

1.3.4 色泽测定

将鱼肉切成同等厚度并去除可见筋膜后紧扣在出光口，随机挑选测定位置，使各测定位置均匀分布在样品表面，记录所测亮度值（L^*）、红度值（a^*）、黄度值（b^*）。

1.3.5 质构特性

将鱼肉切成同等厚度，固定在底座，用质构仪测定样品的硬度和弹性变化，多次测试取平均值。

1.3.6 脂肪氧化指标测定

硫代巴比妥酸（TBA）值参照GB 5009.181—2016《食品安全国家标准 食品中丙二醛的测定》中的分光光度法进行测定。过氧化值（POV）参照GB 5009.227—2023《食品安全国家标准 食品中过氧化值的测定》中的指示剂滴定法进行测定。

1.3.7 挥发性盐基氮（TVB-N）值测定

TVB-N值参照GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的半微量定氮法进行测定。

1.3.8 生物胺测定

参照GB 5009.208—2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》的液相色谱法进行测定。

1.3.9 感官评价

参照杨贺等[10]的感官评价细则并稍加修改。选择10名食品专业且无不良嗜好的成员，样品评估前，用清水漱口，各评分成员间无交流，对青鱼形态、色泽、气味、风味、可接受度共5个方面进行感官评定，采用10分制，见表2。

表2 青鱼感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for black carp

指标	标准	评分
形态	鱼肉形态完整，体表干燥	8~10
	鱼肉形态较完整，体表较干燥	6~7
	鱼肉形态较完整，体表发黏现象严重	3~5
	鱼肉形态不完整，体表发黏现象严重	0~2
色泽	具有咸鱼应有的自然色泽，有光泽	8~10
	咸鱼自然色泽较浅，光泽变暗	6~7
	无咸鱼自然光泽，体表略有变黄，光泽消失	3~5
	鱼肉体表大面积变黄	0~2
气味	具有咸鱼特有香味，无任何异味	8~10
	咸鱼特有香味较淡，有轻微的油脂酸败味	6~7
	无咸鱼特有香味，油脂酸败味及鱼腐味较重	3~5
	油脂酸败味及鱼腐味严重	0~2
风味	鱼肉结实，有很好的咀嚼性和弹性	8~10
	鱼肉较结实，有较好的咀嚼性和弹性	6~7
	鱼肉较软烂，有较差的咀嚼性和弹性	3~5
	鱼肉糜烂，咀嚼性和弹性很差	0~2
可接受度	整体接受度好	8~10
	整体接受度较好	6~7
	整体接受度一般	3~5
	整体接受度差	0~2

2　结果与讨论

2.1　不同替代盐及替代比例下青鱼基本营养成分的分析

基于水分质量分数、pH、脂肪质量分数绘制热图，见图1。不同替代盐及替代比例对青鱼基本营养成分有较大影响。除E1组及E3组外，所有替代组水分质量分数均低于C1组，水分质量分数为52.53%~60.24%。A1组、E2组与C1组表现出相似的持水能力。KCl替代组的水分质量分数随替代比例增加而显著降低（$P<0.05$），推测高浓度K^+会率先与鱼肉表面蛋白质大量结合，造成青鱼肌肉收缩，进而阻碍Na^+及Cl^-渗透，这种阻碍作用不利于鱼肉保水，因此水分质量分数降低[11]；KL替代组中B2组的持水性优于B1组，这与Stekelenburg[12]的研究结果一致；咸味肽替代组中，D2组和D1组的水分质量分数变化不显著（$P>0.05$）；E3组中柠檬酸的添加有助于降低青鱼在腌制过程中的水分流失。青鱼pH范围在6.01~6.61，大部分食盐替代组的pH较C1组略有降低；仅B2组、E2组的鱼肉pH显著高于C1组（$P<0.05$）。研究表明，K^+能促进鱼肉中乳酸菌生长，进而产生乳酸，导致pH降低[13]。E3组鱼肉中因添加柠檬酸，鱼肉pH显著下降（$P<0.05$）。青鱼脂肪质量分数为5.06%~6.87%，A1组、E2组青鱼脂肪质量分数最接近C1组，且无显著差异（$P>0.05$）；B2组青鱼脂肪质量分数最低；D1组青鱼脂肪质量分数最高。

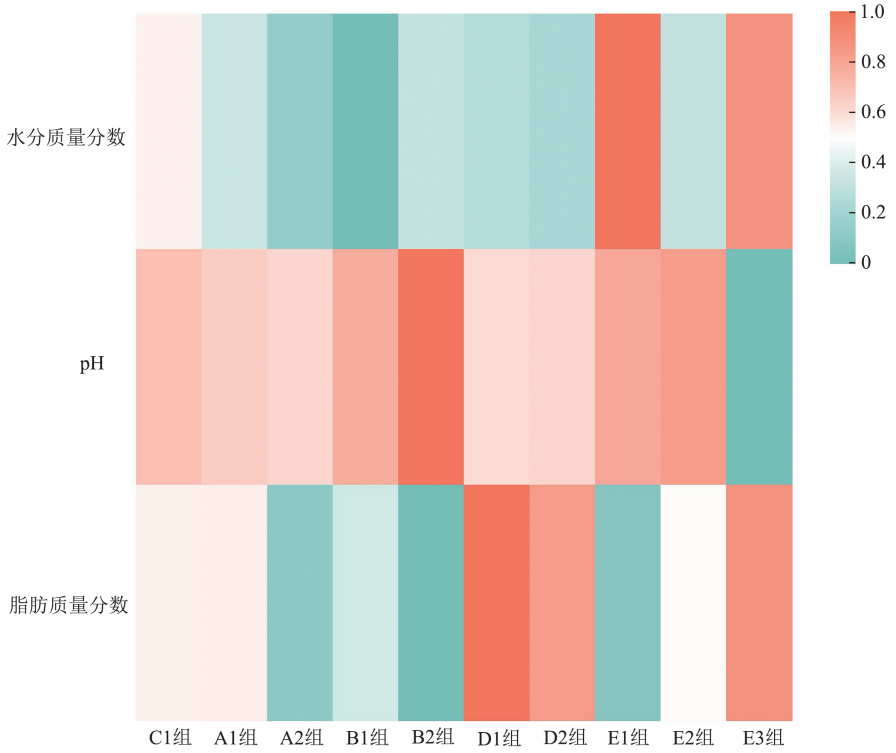


图1　不同替代盐及替代比例对青鱼基本营养成分的影响

Fig. 1　Effect of different substitute salts and substitution ratios on the basic nutrient composition of black carp

2.2　不同替代盐及替代比例下青鱼总盐、Na^+、K^+质量分数的分析

青鱼腌制、晾晒后，替代组与对照组间总盐、Na^+、K^+质量分数差异显著（$P<0.05$），见表3。KCl替代组和KL替代组的K^+质量分数随替代比例上升呈增长趋势，而Na^+质量分数则呈相反趋势；其中A2组的K^+质量分数显著高于其他替代组，说明KCl在高替代比例下，更有利于K^+在青鱼肉中的渗透扩散，但总盐质量分数高，鱼肉口感较咸。研究表明，适量添加KL能增强NaCl的作用，增加鱼肉咸味[14]。KL在20%替代比例时，其总盐质量分数较C1组提高了1.12%，但在50%替代比例下，由于KL的保水作用，鱼肉水分质量分数高于C1组，总盐质量分数下降。咸味肽中海洋鱼低聚肽、豌豆肽

表3 不同替代盐及替代比例下青鱼总盐、Na^+、K^+质量分数

Table 3 Mass fractions of total salt, Na^+ and K^+ in black carp under different substitute salts and substitution ratios

组别	总盐质量分数/%	K^+质量分数/(mg/100 g)	Na^+质量分数/(mg/100 g)
C1组	3.80	502	2 533
A1组	3.57	847	2 011
A2组	6.31	2 075	1 113
B1组	4.92	1 127	2 129
B2组	3.57	1 419	836
D1组	3.48	506	1 044
D2组	6.72	510	2 056
E1组	3.85	835	1 305
E2组	3.54	1 332	812
E3组	3.81	1 146	512

为主要组成成分。在相同替代比例下,咸味肽替代组鱼肉中K^+质量分数均低于KCl替代组和KL替代组;D1组的咸味较淡,总盐质量分数低;而D2组的总盐质量分数较高,鱼肉较咸。E1组和E3组的总盐质量分数较接近C1组。所有替代组的Na^+质量分数均显著低于C1组,达到了鱼肉低盐腌制中减钠目的。

2.3 不同替代盐及替代比例下青鱼的色泽分析

色泽是直观评价鱼肉品质的重要依据,研究表明消费者更愿意接受高L^*、高a^*和低b^*的鱼肉[15]。KCl及KL的添加对青鱼L^*及a^*没有显著影响($P>0.05$);咸味肽替代组鱼肉亮度低,新鲜度较差(见表4)。L^*、a^*的高低与鱼肉中蛋白质结构、血红蛋白及肌红蛋白的质量分数相关。Armenteros等[16]的研究表明,K^+和Na^+在蛋白质降解中具有相似作用,因此添加KCl和KL能够保持鱼肉色泽稳定。b^*可反映鱼肉脂肪氧化程度,鱼肉中不饱和脂肪酸氧化生成的过氧化物易与高铁血红蛋白结合,生成铁酰血红蛋白自由基,使鱼肉色泽发黄[17]。该研究中,B2组、D2组的b^*显著高于C1组($P<0.05$),这可能是由于高浓度的KL可延缓鱼肉pH的下降,使得鱼肉在贮藏期间更易氧化变质。咸味肽替代盐导致鱼肉中脂肪质量分数升高,鱼肉较易被氧化,色泽发黄。在所有替代组中,随着替代比例的增加,b^*均呈上升趋势。

2.4 不同替代盐及替代比例下青鱼的质构特性分析

KCl、KL及咸味肽替代组的鱼肉硬度显著高于C1组($P<0.05$)(见表5),可能是替代组鱼肉水分质量分数较低,水分流失大,因此鱼肉硬度偏高。此外,K^+能提高盐溶性蛋白质的凝胶强度,增加鱼肉制品硬度[18]。E1组、E3组的鱼肉硬度较低,KCl、KL低替代比例有利于保持鱼肉持水性,

表4 不同替代盐及替代比例下青鱼色泽变化

Table 4 Changes in coloration of black carp under different substitute salts and substitution ratios

组别	L^*	a^*	b^*
C1组	44.61 ± 0.91^{a}	0.94 ± 0.20^{a}	2.77 ± 0.25^{c}
A1组	44.58 ± 1.71^{a}	0.95 ± 0.26^{a}	2.79 ± 0.33^{c}
A2组	44.51 ± 1.87^{a}	0.96 ± 0.45^{a}	3.01 ± 0.70^{bc}
B1组	43.74 ± 1.20^{a}	1.25 ± 0.38^{a}	2.87 ± 0.25^{c}
B2组	42.29 ± 1.21^{abc}	0.87 ± 0.36^{a}	3.99 ± 0.13^{a}
D1组	40.58 ± 0.74^{bc}	0.86 ± 0.23^{a}	2.96 ± 0.25^{bc}
D2组	40.13 ± 1.68^{c}	0.88 ± 0.13^{a}	3.69 ± 0.24^{ab}
E1组	43.35 ± 2.08^{ab}	1.08 ± 0.39^{a}	2.51 ± 0.24^{c}
E2组	42.90 ± 1.18^{abc}	0.93 ± 0.32^{a}	3.09 ± 0.17^{bc}
E3组	43.22 ± 2.12^{abc}	1.09 ± 0.27^{a}	3.09 ± 0.34^{bc}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.5$)。

表5 不同替代盐及替代比例下青鱼的质构特性变化

Table 5 Changes in the texture qualities of black carp under different substitute salts and substitution ratios

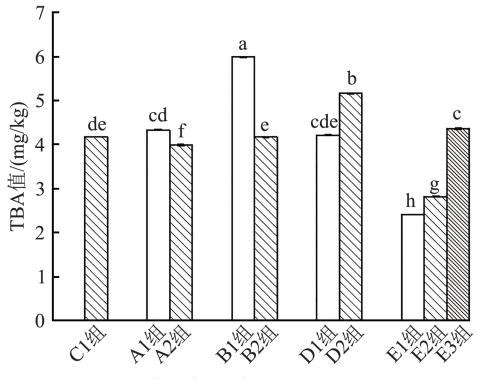
组别	硬度/N	弹性
C1组	2.517 ± 0.174^{ef}	1.171 ± 0.102^{de}
A1组	2.797 ± 0.194^{de}	1.329 ± 0.162^{cd}
A2组	3.542 ± 0.526^{ab}	1.462 ± 0.123^{c}
B1组	3.807 ± 0.532^{a}	1.598 ± 0.133^{ab}
B2组	2.991 ± 0.073^{cd}	1.252 ± 0.112^{cde}
D1组	3.274 ± 0.142^{bc}	1.591 ± 0.157^{ab}
D2组	3.466 ± 0.210^{ab}	1.583 ± 0.103^{ab}
E1组	2.040 ± 0.162^{g}	1.220 ± 0.177^{de}
E2组	3.267 ± 0.064^{bc}	1.692 ± 0.093^{a}
E3组	2.124 ± 0.194^{fg}	1.072 ± 0.160^{e}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.5$)。

其中柠檬酸的添加使鱼肉pH降低，肌原纤维蛋白较易发生盐溶，导致鱼肉肌原纤维结构松散[19]。弹性可反映鱼肉中肌肉蛋白质与水的结合能力[20]。除E3组外，其余替代组的鱼肉弹性均高于C1组，可能是因为当NaCl质量分数较高时，青鱼肌肉韧性降低，纤维结构收缩，弹性凝胶网络包裹水与脂肪的能力下降，表现为鱼肉弹性下降[21]。

2.5　青鱼TBA值变化分析

TBA值可反映鱼肉贮藏过程中脂肪的氧化程度，鱼肉TBA值越大则氧化程度越高[22]。KCl替代组和KL替代组的鱼肉TBA值随替代比例的增加而显著下降（P<0.05），高替代比例组鱼肉TBA值均低于C1组（见图2）。Quintanilla等[23]研究KCl部分替代NaCl用于干腌发酵香肠时发现，KCl对脂肪水解酶活性有抑制作用，从而减缓脂肪过度氧化速度。同样有研究表明，KL作为有机酸盐能通过清除超氧阴离子和羟基自由基抑制脂质氧化[24]。KCl、KL替代组的鱼肉表现出较好的脂肪抗氧化能力，这可能是在促脂肪氧化反应中，Cl^-首先与脂肪酸发生卤代反应进而使脂肪氧化速度加快[25]。咸味肽替代组的TBA值随替代比例的增加而显著上升（P<0.05）。



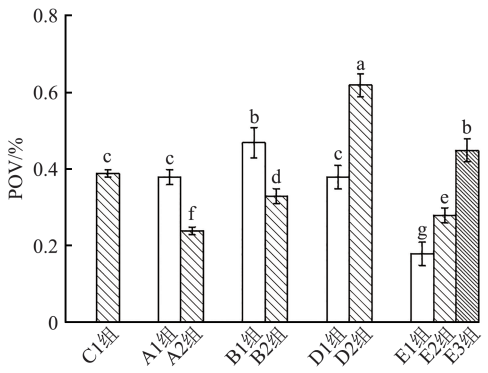
不同小写字母代表差异显著（P<0.05）。

图2　不同替代盐及替代比例对青鱼TBA值的影响

Fig. 2　Effect of different substitute salts and substitution ratios on TBA value of black carp

2.6　青鱼POV变化分析

A1组、D1组中替代盐对青鱼POV没有显著影响（P>0.05），A2组、B2组及KCl、KL替代组的POV显著低于C1组（P<0.05）（见图3）。这可能是因为钾盐能提高谷胱甘肽过氧化氢酶活性，加快鱼肉中过氧化物分解成小分子碳水化合物[26]。



不同小写字母代表差异显著（P<0.05）。

图3　不同替代盐及替代比例对青鱼POV的影响

Fig. 3　Effect of different substitute salts and substitution ratios on POV of black carp

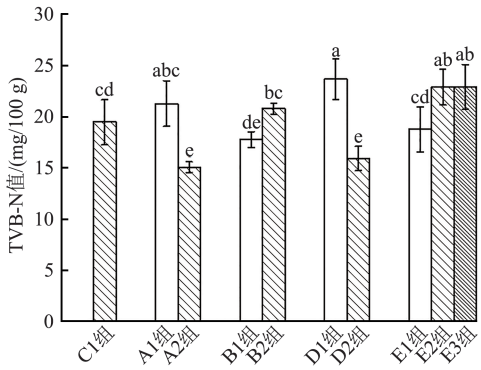
D2组的鱼肉氧化稳定性差，氧化程度最高。在复配组中，柠檬酸的添加使鱼肉POV上升，可能是偏酸性的环境促使脂肪氧化酶活性变高，致使脂肪初级氧化产物积累速度大于分解速度[27]。脂肪氧化中间产物的组成取决于脂肪本身及氧化条件，替代组鱼肉的POV变化趋势与TBA值一致，说明替代盐对鱼肉脂肪的一级氧化及次级氧化具有相似作用。所有试验组的POV均低于GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》中的限量值。

2.7　不同替代盐及替代比例下青鱼TVB-N值的分析

TVB-N值是水产品新鲜度评估指标之一[28]。A2组、D2组鱼肉的TVB-N值显著低于C1组（P<0.05）（见图4），可能是因为这两组鱼肉总盐质量分数较高，在鱼肉贮藏期间抑制细菌滋生的效果较好，进而延缓含氮物质的积累。A1组、B1组、B2组的鱼肉TVB-N值与C1组无显著差异（P>0.05），可能由于K^+使鱼肉呈微酸性环境，且乳酸盐具有良好抑菌活性，进而有效抑制鱼肉中腐败微生物的生长、繁殖[12]。D1组、E2组、E3组鱼肉TVB-N值较高，鱼肉腐败明显，说明低替代比例的咸味肽替代及高替代比例的KCl、KL复配盐对青鱼贮藏期间微生物活动及蛋白质降解抑制效果较差。所有试验组鱼肉TVB-N值均在GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》中的限量值限值内。

2.8　不同替代盐及替代比例下青鱼生物胺质量分数

根据前期研究经验，选择腐胺、尸胺、组胺、章



不同小写字母代表差异显著(P<0.05)。

图 4　不同替代盐及替代比例下青鱼的 TVB-N 值

Fig. 4　TVB-N value of black carp under different substitute salts and substitution ratios

胺、酪胺为研究对象，考察不同替代盐及替代比例下青鱼生物胺质量分数的变化（见表 6）。在所有试验组中都检测出酪胺，KCl 替代组和 KL 替代组鱼肉中检测出的酪胺质量分数与 C1 组相近，且未检测出其他胺类，说明 KCl、KL 的加入能显著抑制青鱼腐胺、尸胺、组胺、章胺的生成。研究表明，一定量钾盐替代 NaCl 会降低肉制品中游离氨基酸质量分数[16]，这可能是导致 KCl 替代组和 KL 替代组总生物胺质量分数降低的主要原因。各替代组的酪胺质量分数处于波动状态，可能与替代盐及 NaCl 对酪氨酸脱羧酶的促进及抑制作用相互竞争有关[29]。咸味肽替代组及 KCL、KL 替代组中均检测出较高质量分数的酪胺，说明鱼肉安全性低。

2.9　不同替代盐及替代比例下青鱼感官评分

青鱼感官评分随替代比例的增加呈显著下降趋势（P<0.05），见图 5。A1 组鱼肉在风味、色泽及可接受度上与 C1 组具有相近的感官评分。KCl 和 NaCl 具有相似的性质及咸味，在有效降低 Na^+ 质量分数的同时保证离子强度不受影响。A1 组的鱼肉总盐质量分数虽低于 C1 组，但鱼肉的咸味与 C1 组相近。A2 组在气味及风味上的感官得分显著下降（P<0.05），可能与 KCl 本身具有较重的重金属味及苦味相关。A2 组鱼肉的总盐质量分数较高，鱼肉咸味也相应较高。B1 组、B2 组的鱼肉形态及可接受度差异不显著（P>0.05），B1 组的鱼肉色泽较好，鱼肉口感偏咸，因此添加适当比例的 KL 有利于增加青鱼的咸味。此外，与 C1 组相比，KL 替代组鱼肉在形态、气味、风味及可接受度上得分较低。咸味肽替代组对鱼肉各项感官指标影响显著（P<0.05），鱼肉肉质松散，品质较差；D1 组的鱼肉咸味最低，较 C1 组明显下降，但 D2 组鱼肉的咸味显著提高。E1 组的鱼肉在风味、形态上得分较高，咸味与 C1 组相近，但鱼肉色泽较差。随着替代比例的增加，咸味下降，各指标得分降低。从权重分数看，A1 组的感官得分最高，其次是 E1 组，这两组鱼肉各项感官指标得分最接近 C1 组。

表 6　不同替代盐及替代比例下青鱼生物胺质量分数

Table 6　Mass fraction of biogenic amines of black carp under different substitute salts and substitution ratios

组别	生物胺质量分数/(mg/kg)				
	腐胺	尸胺	组胺	章胺	酪胺
C1 组	6.80	0.76	3.85	—	21.32
A1 组	—	—	—	—	20.13
A2 组	—	—	—	—	28.95
B1 组	—	—	—	—	28.60
B2 组	—	—	—	—	23.78
D1 组	—	—	—	—	44.30
D2 组	3.05	1.21	3.81	2.35	74.77
E1 组	—	—	—	—	64.56
E2 组	—	—	—	—	49.72
E3 组	—	—	—	—	49.86

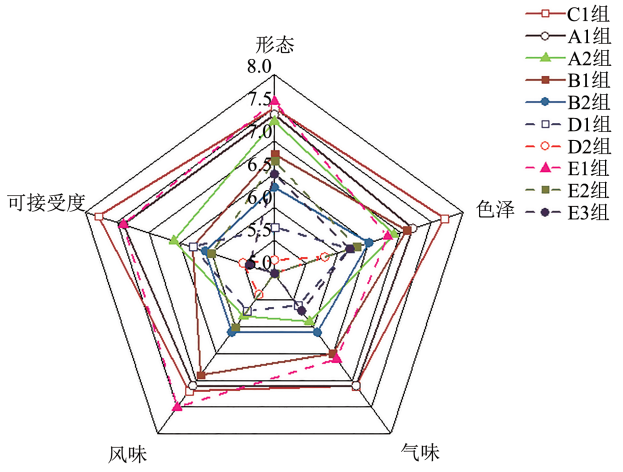


图 5　不同替代盐及替代比例下青鱼感官评分雷达图

Fig. 5　Radar chart of sensory score of black carp under different substitute salts and substitution ratios

3　结论

腌制水产品普遍存在含盐量偏高的问题，降低其生产过程中钠盐质量分数有助于满足“大健康”的饮食理念。作者分析了 KCl、KL、咸味肽 3 种替代盐与 NaCl 在不同配比下对青鱼品质的影响，综合 9 个

不同替代组中青鱼脂肪氧化、蛋白质降解抑制效果和感官评分发现：在50% KCl替代比例下，鱼肉总盐质量分数较高、咸味较重、感官评分显著下降（$P<0.05$）；20% KL替代组的鱼肉脂肪氧化严重；50% KL替代组的鱼肉色泽发黄，感官评分低；咸味肽替代组的鱼肉脂肪质量分数、生物胺质量分数升高，鱼肉风味较差且肉质松散；KCl、KL替代组的鱼肉生物胺质量分数较高。相比之下，20% KCl替代组青鱼基本营养成分、色泽质构、TBA值、POV及TVB-N值与100% NaCl对照组无显著差异（$P>0.05$），鱼肉中生物胺质量分数最低，感官评分最高，鱼肉总盐质量分数较对照组略有降低但口感、咸味相近，因此选择20% KCl作为最佳替代比例及替代盐，可用于低盐青鱼制品的开发，后续有关低盐处理工艺优化与抗氧化剂的结合仍需深入探究。

参考文献

[1] 农业农村部渔业渔政管理局，全国水产技术推广总站，中国水产学会. 2024中国渔业统计年鉴[M]. 北京：中国农业出版社，2024.

[2] 付晓陆，邹礼根，夏荣焕. 青鱼产品及其加工过程中的有害物质综述[J]. 食品安全导刊，2023(35)：166-168.
FU X L，ZOU L G，XIA R H. Overview of harmful substances in black carp products and their processing[J]. China Food Safety Magazine，2023(35)：166-168.（in Chinese）

[3] 李冬梅，任响，林峻鑫，等. 碱性氨基酸影响肉品品质及机理的研究进展[J]. 食品与生物技术学报，2022，41(8)：35-42.
LI D M，REN X，LIN J X，et al. Progress in the study of alkaline amino acids affecting meat quality and mechanism[J]. Journal of Food and Biotechnology，2022，41(8)：35-42.（in Chinese）

[4] 尹敬. 氨基酸食盐替代物对风干草鱼脂质氧化和风味物质的影响[D]. 南京：南京农业大学，2019.

[5] 涂雨晨，林海生，高加龙，等. 金鲳鱼加工与副产物高值化利用研究现状[J]. 食品与机械，2024，40(8)：190-196.
TU Y C，LIN H S，GAO J L，et al. Current status of research on golden pomfret processing and high-value utilization of by-products[J]. Food & Machinery，2024，40(8)：190-196.（in Chinese）

[6] PETIT G，JURY V，LAMBALLERIE M，et al. Salt intake from processed meat products：benefits，risks and evolving practices[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety，2019，18(5)：1453-1473.

[7] GARRIDO R，DOMÍNGUEZ R，LORENZO J M，et al. Effect of the length of salting time on the proteolytic changes in dry-cured lacón during ripening and on the sensory characteristics of the final product[J]. Food Control，2012，25(2)：789-796.

[8] GIESE E，MEYER C，OSTERMEYER U，et al. Sodium reduction in selected fish products by means of salt substitutes[J]. European Food Research and Technology，2019，245(8)：1651-1664.

[9] LAWLESS H T，RAPACKI F，HORNE J，et al. The taste of calcium and magnesium salts and anionic modifications[J]. Food Quality and Preference，2003，14(4)：319-325.

[10] 杨贺，张彪，曹志奇，等. 麻辣金枪鱼肉酱的制作工艺研究[J]. 中国调味品，2021，46(4)：90-95，101.
YANG H，ZHANG B，CAO Z Q，et al. Research on the production process of spicy tuna sauce[J]. China Condiment，2021，46(4)：90-95，101.（in Chinese）

[11] GAN X，LI H J，WANG Z M，et al. Does protein oxidation affect proteolysis in low sodium Chinese traditional bacon processing?[J]. Meat Science，2019，150：14-22.

[12] STEKELENBURG F K. Enhanced inhibition of *Listeria monocytogenes* in Frankfurter sausage by the addition of potassium lactate and sodium diacetate mixtures[J]. Food Microbiology，2003，20(1)：133-137.

[13] 甘潇，李洪军，王兆明，等. KCl部分替代NaCl对腊肉蛋白质氧化、降解及质构的影响[J]. 食品与发酵工业，2019，45(4)：167-173.
GAN X，LI H J，WANG Z M，et al. Effect of partial replacement of NaCl by KCl on protein oxidation，proteolysis and texture of bacon[J]. Food and Fermentation Industries，2019，45(4)：167-173.（in Chinese）

[14] 于传龙，徐明生，王文君. 重组肉中常用黏合剂的研究进展[J]. 食品与生物技术学报，2024，43(2)：1-10.
YU C L，XU M S，WANG W J. Common binders in restructured meat processing：a review[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2024，43(2)：1-10.（in Chinese）

[15] 汪晓瑜，赵利，白春清，等. 基于不同加盐量和腌制时间对腊鱼肉品质的影响[J]. 食品工业，2023，44(4)：195-200.
WANG X Y，ZHAO L，BAI C Q，et al. The effect of different salt content and curing time on the meat quality of preserved fish[J]. The Food Industry，2023，44(4)：195-200.（in Chinese）

[16] ARMENTEROS M，ARISTOY M C，BARAT J M，et al. Biochemical changes in dry-cured loins salted with partial replacements of NaCl by KCl[J]. Food Chemistry，2009，117(4)：627-633.

[17] 李鸣泽，李晴，谭雨青，等. 低盐腌制草鱼肉各分割部位蒸制过程品质变化规律[J]. 肉类研究，2023，37(11)：1-7.
LI M Z，LI Q，TAN Y Q，et al. Quality changes during the steaming process of different cut-up parts of low-salt brined grass carp（*Ctenopharyngodon idellus*）[J]. Meat

Research，2023，37（11）：1-7.（in Chinese）

[18] LEE S K，TATIYABORWORNTHAM N，GRUNWALD E W，et al. Myoglobin and haemoglobin-mediated lipid oxidation in washed muscle：observations on crosslinking，ferryl formation，porphyrin degradation，and haemin loss rate[J]. Food Chemistry，2015，167：258-263.

[19] DELGADO-ANDRADE C，SEIQUER I，NAVARRO M P. Bioavailability of iron from a heat treated glucose-lysine model food system：assays in rats and in Caco-2 cells[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2004，84（12）：1507-1513.

[20] 张啸峰，王鑫淼，陈建设，等. 直链/支链淀粉对鱼丸质构特性及感官品质的影响[J]. 食品与生物技术学报，2023，42（3）：57-63.
ZHANG X F，WANG X M，CHEN J S，et al. Effects of amylose/amylopectin on texture and organoleptic qualities of fish balls[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2023，42（3）：57-63.（in Chinese）

[21] 黄莉，胡颜寓，任中阳，等. 腌制时间对大黄鱼鱼肉理化性质和烤制品品质的影响[J]. 中国食品学报，2024，24（1）：209-219.
HUANG L，HU Y Y，REN Z Y，et al. Effect of salting time on physicochemical properties and roasting quality of large yellow croaker（*Larimichthys crocea*）[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology，2024，24（1）：209-219.（in Chinese）

[22] ALEXANDRE A C S，ALBERGARIA F C，SANTOSFERRAZESILVA L M，et al. Effect of natural and synthetic antioxidants on oxidation and storage stability of mechanically separated tilapia meat [J]. LWT-Food Science and Technology，2022，154：112679.

[23] QUINTANILLA L，IBAÑEZ C，CID C，et al. Influence of partial replacement of NaCl with KCl on lipid fraction of dry fermented sausages inoculated with a mixture of *Lactobacillus plantarum* and *Staphylococcus carnosus*[J]. Meat Science，1996，43（3/4）：225-234.

[24] MIR S A，WANI S M，NASEEM Z，et al. Application of sodium diacetate，potassium lactate and calcium lactate as a microbial decontaminant during processing and storage of the traditional meatballs （rista）[J]. Food Production，Processing and Nutrition，2023，5：1.

[25] 杜宇凡. 低盐腌制对冷冻罗非鱼肉品质的影响研究[D]. 上海：上海海洋大学，2022.

[26] GHEISARI H R，MOTAMEDI H. Chloride salt type/ionic strength and refrigeration effects on antioxidant enzymes and lipid oxidation in cattle，camel and chicken meat[J]. Meat Science，2010，86（2）：377-383.

[27] 孔维乾. 漂洗与腌制工艺对腊鸭胸肉品质的影响[D]. 广州：华南农业大学，2018.

[28] 梅俊，许振琨，郁慧洁，等. 冷链物流中海水鱼的腐败机制及保鲜技术研究进展[J]. 食品与生物技术学报，2022，41（7）：84-99.
MEI J，XU Z K，YU H J，et al. Research progress on spoilage mechanism and preservation technology of marine fish in cold chain logistics[J]. Journal of Food Science and Biotechnology，2022，41（7）：84-99.（in Chinese）

[29] DOEUN D，DAVAATSEREN M，CHUNG M S. Biogenic amines in foods[J]. Food Science and Biotechnology，2017，26（6）：1463-1474.

（责任编辑：闫林红）