

低温等离子体对南美白对虾 冷藏期间品质保持的效果

徐慧倩, 严金红, 唐玲玲, 邓尚贵, 缪文华

(浙江海洋大学食品与药学学院, 浙江舟山 316022)

摘要: 本研究以南美白对虾为原料, 探讨了低温等离子体杀菌技术对其在冷藏期间的品质变化影响。低温等离子体技术是近年来出现的一种综合性新兴杀菌技术, 广泛应用于食品、医药、环境等领域。本研究分别采用了 20 kV、40 kV、60 kV 电压的低温等离子体对南美白对虾处理 3 min, 通过测定菌落总数、挥发性盐基氮值 (Total Volatile Base Nitrogen, TVB-N)、pH 值、2-硫代巴比妥酸值 (2-Thiobarbituric acid, TBA)、质构特性、色差值、感官评价等指标来研究南美白对虾冷藏期间品质的变化。在实验过程中, 三种处理电压均能有效减缓南美白对虾的腐败变质, 其中 60 kV 的处理效果最好, 冷藏 14 d 后的菌落总数为 5.21 log(CFU/g), 低于对照组的 6.21 log(CFU/g), TVB-N 值也在一定时间内优于对照组。且随着冷藏时间的变化, 处理了的南美白对虾质构特性、色泽的保持效果都显著优于对照组, 对于 pH 值的上升和微生物的增殖起到了明显的减缓作用, 但显著促进 TBA 值的上升。总体而言, 低温等离子体对南美白对虾处理后在冷藏期间的杀菌效果明显, 对其品质具有较好的保持作用。

关键词: 低温等离子体; 南美白对虾; 品质; 冷藏

文章编号: 1673-9078(2021)04-116-123

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2021.4.0831

Effect of Cold Atmospheric Plasma on Quality Maintenance of *Penaeus vannamei* during Cold Storage

XU Hui-qian, YAN Jin-hong, TANG Ling-ling, DENG Shang-gui, MIAO Wen-hua

(College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

Abstract: In this study, *Penaeus vannamei* was used as the raw material for investigating the effect of cold atmospheric plasma sterilization technology on its quality changes during cold storage. Cold atmospheric plasma technology is a comprehensive sterilization technology that has emerged in recent years, and widely used in fields such as food, medicine and environment. The effects of cold atmospheric plasma processes (20 kV, 40 kV or 60 kV voltage for 3 min) on the quality changes of the *Penaeus vannamei* during cold storage were investigated including indices like the total plate count, total volatile base nitrogen (TVB-N), pH, 2-thiobarbituric acid (TBA), texture properties, color difference, and sensory attributes). Experiments showed that the treatments with three different voltages could effectively slow down the deterioration of *Penaeus vannamei*, and the 60-kV treatment exhibited the strongest effect with the total plate count after 14 days of cold storage being 5.21 log(CFU/g) (which was lower than that 6.21 log(CFU/g) of the control group), and the TVB-N also higher than that of the control group over a certain time period. With the refrigeration time prolonging, the retention of the texture properties and color of the treated groups was significantly greater than that for the control group. The treatment slowed down significantly the increase of pH and proliferation of microorganisms, but promoted significantly the increase of TBA value. In general, the cold atmospheric plasma had a significant bactericidal effect on *Penaeus vannamei* during cold storage, and facilitate its quality maintenance.

引文格式:

徐慧倩, 严金红, 唐玲玲, 等. 低温等离子体对南美白对虾冷藏期间品质保持的效果[J]. 现代食品科技, 2021, 37(4): 116-123

XU Hui-qian, YAN Jin-hong, TANG Ling-ling, et al. Effect of cold atmospheric plasma on quality maintenance of *Penaeus vannamei* during cold storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(4): 116-123

收稿日期: 2020-09-02

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32072291); 浙江省公益技术研究计划项目 (LGJ20C200002)

作者简介: 徐慧倩 (1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与贮藏工程

通讯作者: 缪文华 (1983-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 海洋水产品蛋白质性质

Key words: cold atmospheric plasma; *Penaeus vannamei*; quality; cold storage

南美白对虾 (*Penaeus vannamei*), 学名凡纳滨对虾, 是目前世界上养殖产量最高的三大虾类之一, 也是我国南方地区的主要养殖虾种^[1]。南美白对虾因其壳薄体肥, 肉质鲜嫩, 而受到广大消费者的喜爱。不仅如此, 南美白对虾还含有丰富的蛋白质、氨基酸以及钙、铁等矿物元素, 但脂肪含量低于 1%^[2,3]。正因其蛋白质含量丰富, 当虾死后, 在内源酶和微生物的作用下, 虾体容易腐败变质, 所以南美白对虾的货架期较短^[4]。因此, 研究南美白对虾的贮藏保鲜及其品质变化并延长其货架期, 成为目前国内外的研究热点。近年来, 保鲜技术层出不穷。常见的有低温贮藏保鲜、辐照保鲜、臭氧杀菌、保鲜剂保鲜等等^[5]。在众多杀菌保鲜技术中, 低温等离子体技术是一种应用广泛、作用时间短、杀灭微生物种类多、安全无害的技术, 并且基本不损害食品的营养和品质^[6]。Elisa 等人^[7]发现用低温等离子体对葡萄酒进行处理后产生了更有利的影响, 比如更高的颜色强度, 更低的色调, 以及葡萄酒中总酚类化合物和花青素的含量更高。王卓等人^[8]研究发现低温等离子体处理蓝莓后可以有效减少其表面细菌和真菌的数量, 抑制贮藏期间腐烂的发生。Kim 等人^[9]研究表明低温等离子体技术可以有效降低牛肉干表面金黄色葡萄球菌的数量。这体现了低温等离子体杀菌技术是杀灭有害微生物的有效技术手段^[10], 并且可以产生大量的活性氧类物质^[11], 可以抑制细菌的生长和繁殖, 对肉类及果蔬保鲜贮藏等具有良好的效果。低温等离子体技术在水产品上的应用相对较少, 故研究低温等离子体对南美白对虾的品质变化影响具有深远意义。

本研究通过低温等离子体技术对南美白对虾进行处理, 探讨低温等离子体对南美白对虾的杀菌效果及冷藏期间品质的影响, 并通过菌落总数、TVB-N 值、pH 值、TBA 值、质构特性、色差和感官评价等指标来研究南美白对虾冷藏期间品质的变化。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

实验材料: 鲜活南美白对虾, 购于浙江舟山老碇菜市场。在 30 min 内运至实验室, 立即处理后备用。

实验试剂: 营养琼脂 BR, 国药集团化学试剂公司; 三氯乙酸、乙二胺四乙酸 (EDTA)、正丁醇等其余试剂均为分析纯, 购于国药集团化学试剂公司。

1.2 仪器与设备

Phenix BK 130/36 型低温等离子体处理仪, 美国凤凰科技公司; KDN-520 型全自动凯氏定氮仪, 邦亿精密量仪 (上海) 有限公司; TMS-PRO 型质构仪, 美国 FTC 公司; CM-5 分光测色仪, 日本柯尼卡美能达; UV-5900 紫外可见分光光度计, 上海元析仪器有限公司; PHS-25 型酸度计, 梅特勒-托利多公司; 高速冷冻离心机, 赛默飞世尔科技 (中国) 有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

南美白对虾用蒸馏水洗净后, 用碎冰猝死, 用纱布吸干其表面的水。取大小、形态相似的南美白对虾放入 400 mm×360 mm×100 mm 的 PET 包装盒内, 再把包装盒置于低温等离子体处理装置中, 低温等离子体处理电压为 20 kV、40 kV、60 kV; 处理时间为 3 min。对照组不做任何处理。处理后的南美白对虾分装于无菌自封袋, 写上标签, 放入 4 °C 冰箱密封保藏。分别取 0、2、4、6、8、10、12、14 d 的样品进行实验。

1.3.2 菌落总数的测定

菌落总数的测定方法参照国标 GB 4789.2-2016^[12]。

1.3.3 挥发性盐基氮 (TVB-N) 的测定

挥发性盐基氮的测定方法参照国标 GB 5009.228-2016 中的第二法^[13]。

1.3.4 pH 值的测定

按 GB 5009.237-2016 规定的方法进行测定^[14]。南美白对虾去壳, 称取 10.00 g 切碎的虾肉, 加新煮沸后冷却的水至 100 mL, 摇匀, 浸渍 30 min 后过滤, 取约 50 mL 滤液于 100 mL 烧杯中, 用 pH 计测定滤液中的 pH 值。

1.3.5 2-硫代巴比妥酸值 (TBA) 的测定

采用硫代巴比妥酸法^[15]。南美白对虾去壳, 称取切碎的虾仁样品 5.00 g 置于烧杯中, 加入 7.5%、含 0.1% EDTA 的三氯乙酸溶液 50 mL, 用匀浆机高速匀浆 2 min, 搅拌 30 min, 然后过滤除去沉淀, 量取 5 mL 上清液于试管中, 加入 5 mL 提前一天用 1-丁醇溶解配制的 0.02 mol/L TBA 溶液, 在 90 °C 恒温水浴锅反应 30 min。冷却至室温后, 加入 5 mL 氯仿并摇匀, 待溶液分层后。用移液枪吸取上清液分别在 532 nm 和 600 nm 波长下测定其吸光值, 南美白对虾中的 2-

硫代巴比妥酸值的计算公式为:

$$TBA(mg/kg) = \frac{(A_{532} - A_{600}) \times 0.05 \times 72.6}{155 \times m} \times 1000 \quad (1)$$

式中: A_{532} , A_{600} : 样品于 532 nm 和 600 nm 波长处的吸光值; m : 样品质量, g。

1.3.6 质构的测定

选取形态、大小基本相同的南美白对虾进行测试。测定部位是南美白对虾腹部第二节侧面, 方法的参数设置为: 选用 P/50 平底柱形探头, 探头下降、测试和返回速度均为 60.0 mm/min, 样品压缩形变量 30%; 测试触发力 0.6 N。每个处理组取 3 个样品 (重复 3 次), 取平均值作为最终的质构特性值。

1.3.7 色差的测定

采用 CM-5 型分光测色仪测定南美白对虾第二节侧面的 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 仪器测定前需要进行标准的白板校正和零校准。每个处理组取 3 个样品 (重复 3

次), 取平均值作为最终色差的结果。色差值的计算公式为:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (2)$$

其中, L : 处理组样品的 L^* 值, L_0 : 对照组样品的 L^* 值, a : 处理组样品的 a^* 值, a_0 : 对照组样品的 a^* 值; b : 处理组样品的 b^* 值, b_0 : 对照组样品的 b^* 值。

1.3.8 感官评定

感官评分采用 9 分制打分法。邀请 12 名食品专业的学生作为感官评定人员, 分别对南美白对虾样品的气味、色泽以及组织结构进行综合性评分 (评分标准见表 1)。按照表格要求进行综合评分, 取每项的平均分作为最终的结果分数。每两天对南美白对虾样品评价一次, 最后, 通过计算每项标准的平均分来最终确定综合感官评定结果。

表 1 感官评分细则

Table 1 Detailed rules of sensory assessment

	3 分	2 分	1 分	0 分
气味	虾固有气味	稍有异味	异味较强	强烈异味
色泽	体表青灰色, 肌体肉色半透明, 断面有光泽	体表深青色, 肌肉光泽有些消失	体表略带黄色, 肌肉光泽消失	体表变成黄色, 肌肉完全没有光泽
组织结构	头部不易脱落; 虾壳紧贴虾肉; 肌肉组织纹理清晰, 富有弹性	头部较易脱落; 虾壳稍微翘起; 肌肉弹性略差	头部容易脱落; 虾壳比较不贴虾肉; 肌肉弹性较差	头部极易脱落; 虾壳不贴虾肉; 肌肉组织松软, 几乎没有弹性

1.3.9 数据分析

实验数据通过 IBM SPSS Statistics 20 统计软件进行分析, 结果表示为平均值±标准偏差 (显著性水平为: $p < 0.05$); 作图采用 OriginPro 8 绘图软件。

2 结果与分析

2.1 菌落总数的变化

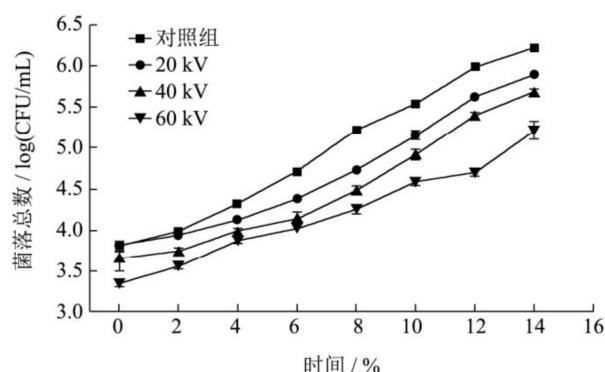


图 1 低温等离子体对南美白对虾菌落总数的影响

Fig.1 Effect of cold atmospheric plasma on the total plate count of *Penaeus vannamei*

菌落总数是作为判定食品被细菌污染程度的标志, 是鉴定虾腐败变质及新鲜程度评价的一项重要指标。从图 1 中可以看出, 在 4 °C 冷藏期间, 南美白对虾的菌落总数随着时间的变化而显著增加 ($p < 0.05$), 说明虾体的腐败程度加剧, 其品质在不断地下降。用低温等离子体处理处理后的南美白对虾, 在相同贮藏时间下, 其菌落总数显著低于对照组 ($p < 0.05$), 且抑菌效果与处理电压呈正相关, 说明低温等离子体能够抑制虾体微生物的生长, 且这种抑制作用在冷藏期间有较明显的作用, 这与 WANG Qian-yun 等人^[16]研究的辛酸对壳聚糖-香芹酚涂层的影响对南美白对虾冰藏品质的结果相似。对照组的初始菌落总数为: 3.80 log(CFU/g); 而用 60 kV 低温等离子体处理后, 南美白对虾的菌落总数下降至为 3.35 log(CFU/g)。在冷藏第 14 d 后, 这两组的菌落总数分别为 6.21 log(CFU/g) 和 5.21 log(CFU/g)。说明低温等离子体能够很好的抑制微生物的生长。大量研究表明, 低温等离子体技术可以产生多种具有杀菌性能的物质, 如活性氧和活性氮, 以及带电粒子、紫外光子等, 这些物质使得低温等离子体具有杀菌的作用^[17], 这种杀菌作用对于维持南

美白对虾品质有较好的效果。

2.2 TVB-N 值的变化

挥发性盐基氮是指在腐败过程中,由于蛋白质分解而产生的氨以及胺类等碱性含氮物质,与虾的鲜度有明显的对应关系,因此是反映虾的鲜度的重要指标^[18]。南美白对虾 4℃冷藏过程中 TVB-N 值的变化如图 2 所示。各处理组的 TVB-N 值随着贮藏时间的延长呈现上升趋势。从图 2 中可以看出,在 4℃冷藏期间,南美白对虾的 TVB-N 值随着时间的增加而显著增加 ($p<0.05$),说明虾随着时间的增加,虾体开始腐败变质,新鲜度下降。在冷藏前 6 d 中,60 kV 处理组增加的幅度相较于对照组而言较慢,意味着用低温等离子体处理后能降低其 TVB-N 值。根据 GB 2733-2015《食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品》规定,海水虾的挥发性盐基氮限值在 30 mg/100 g^[19]。图 2 显示对照组在 4 d 时 TVB-N 值为 39.02 mg/100 g,已经超过限值,而 60 kV 处理组的 TVB-N 值为 21.92 mg/100 g,仍然在限值范围内。在第 6 d 时 60 kV 处理组 TVB-N 值达到 41.11 mg/100 g,超过标准限值。这与张家源^[20]等人的研究结果相似。这表明低温等离子体处理在一定时间内能降低南美白对虾的 TVB-N 含量,可能是由于低温等离子体处理有效抑制了细菌及内源酶的活性,从而抑制虾中的氨或其他挥发性胺类等含氮化合物产生,抑制 TVB-N 含量的上升^[21]。

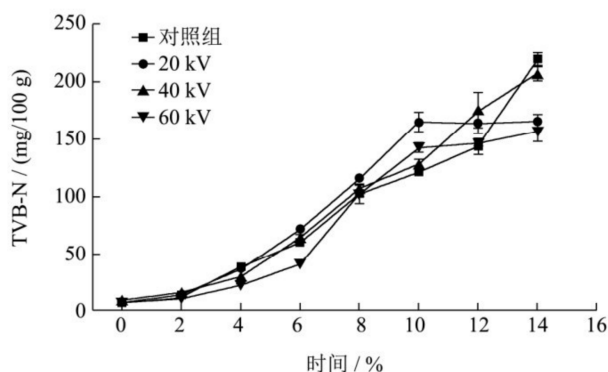


图 2 低温等离子体对南美白对虾 TVB-N 值的影响

Fig.2 Effect of cold atmospheric plasma on TVB-N value of *Penaeus vannamei*

2.3 pH 值的变化

pH 值是反映虾体酸碱程度的指标,也能在一定程度上反映虾类的鲜度品质。从图 3 中可以看出,在 4℃冷藏期间,随着时间的变化,南美白对虾的 pH 值均显著上升 ($p<0.05$)。与对照组相比,用低温等离子体处理的南美白对虾 pH 值上升相对较慢;在处理电压为 60 kV 时,其 pH 值显著低于对照组 ($p<0.05$),说

明电压为 60 kV 的低温等离子体处理对南美白对虾的 pH 值变化有显著影响。冷藏第 14 d,对照组、20 kV 处理组、40 kV 处理组和 60 kV 处理组的 pH 值分别是 8.44、8.18、8.15、7.97。这与 Khursheed 等人^[22]的研究的高压冷等离子体处理云树叶提取物对南美白对虾的结果相似。南美白对虾 pH 值上升主要是由于虾肉组织内的蛋白质分解为碱性含氮化合物(例如氨类化合物、三甲胺等),而这些物质会在虾体内积聚,引起嗜碱菌作用^[23]。低温等离子体处理后的南美白对虾 pH 值上升较慢,可能是南美白对虾肌肉中的 H_2O 分子与 H_2O_2 反应生成酸性 H_3O^+ 离子。 O_3 通常存在于低温等离子体体系中^[24],并且作为强氧化剂,臭氧可以通过臭氧分解或催化发生直接或间接的氧化反应。臭氧对蛋白质作用的基本科学依据是 O_3 会诱导肽键的裂解,多肽骨架的氧化,蛋白质的交联以及氨基酸侧链的反应^[25]。而且低温等离子体抑制了蛋白质的活性及微生物生长的作用,使得微生物对蛋白质降解和虾肉腐败变质变慢,这也是虾体 pH 值上升减缓的原因之一。

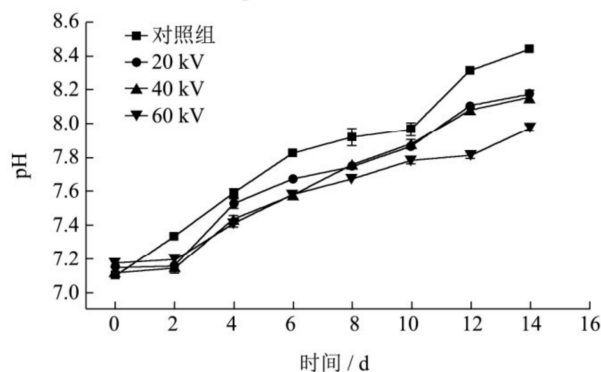


图 3 低温等离子体对南美白对虾 pH 值的影响

Fig.3 Effect of cold atmospheric plasma on pH value of *Penaeus vannamei*

2.4 TBA 值的变化

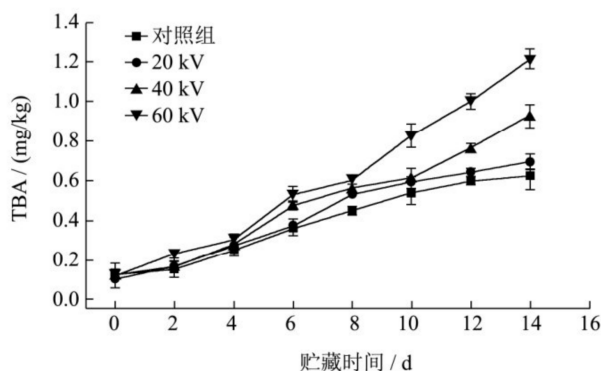


图 4 低温等离子体对南美白对虾 TBA 值的影响

Fig.4 Effect of cold atmospheric plasma on TBA value of *Penaeus vannamei*

2-硫代巴比妥酸(TBA)值代表的是脂质的氧化

产物丙二醛等的含量,主要用于评价脂质中的不饱和脂肪酸的氧化程度^[26],也是评定食品酸败的指标之一。它是由于自氧化的第二阶段所致,代表了在油脂性食品储存过程中产生的异味或气味的化合物^[27]。从图4可以看出,随着冷藏时间的变化,各实验组南美白对虾的TBA值均显著上升($p<0.05$)。这与CHEN Jing等人^[28]研究的低温等离子体对鲑鱼的品质分析结果相似。与对照组相比,从第6 d开始,处理组南美白对虾的TBA值显著升高($p<0.05$)。在冷藏第14 d,对照组、20 kV处理组、40 kV处理组、60 kV处理组的TBA值分别为:0.62、0.69、0.93、1.22 mg/kg。从结果可以看出,随着冷藏时间的延长,低温等离子体处理后的南美白对虾的TBA值高于对照组。低温等离子体处理南美白对虾后会显著加速脂质的氧化,这可能是由于体系中ROS的作用,如单线态氧和羟基自由基导致的脂质氧化^[29]。Albertors等^[30]报道,用低温等离子体处理大西洋鲱鱼后,在储藏期间其氧化程度显著增加。Rød等^[31]报道也发现猪肉中的脂质氧化随着低温等离子体的处理电压、处理时间以及贮藏时间的增加而提高。

2.5 质构的变化

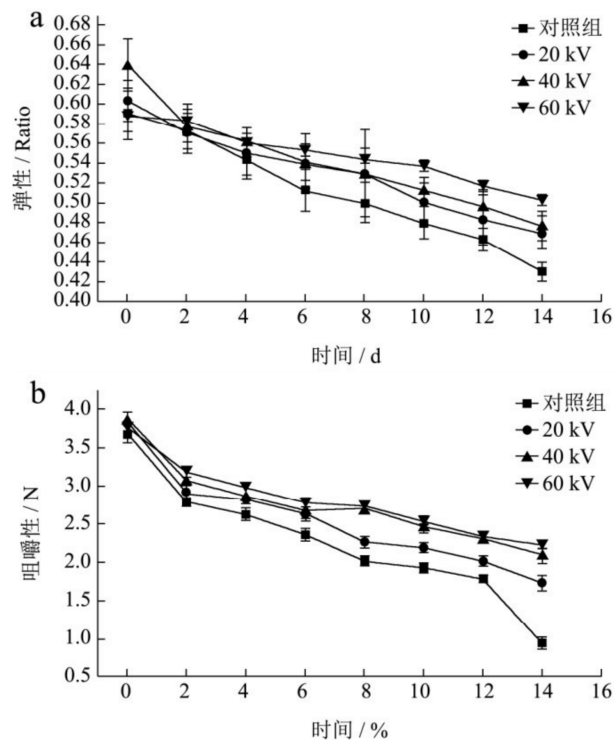


图5 低温等离子体对南美白对虾弹性(a)和咀嚼性(b)的影响

Fig.5 Effect of cold atmospheric plasma on the elasticity (a) and the chewiness (b) of *Penaeus vannamei*

弹性是指物体在外力作用下发生形变,撤去外力

后恢复原来状态的能力;咀嚼性是指将固体食品咀嚼到可吞咽时需做的功的大小^[32]。从图5中可以看出,南美白对虾的弹性随着冷藏时间的延长显著下降($p<0.05$),在冷藏初期(第2 d,处理前后弹性无显著变化($p>0.05$)),在第10 d及之后,处理组南美白对虾的弹性下降呈显著低于对照组($p<0.05$),且处理电压越高延缓效果越好,说明在较长时间冷藏时,低温等离子体处理可以显著抑制南美白对虾弹性的下降。这个结果和李秀霞等人^[33]在研究冷藏南美白对虾的品质分析结果类似。在冷藏过程中,在微生物和各种酶的持续作用下,虾的品质逐渐劣变,其中的表现之一就是组织逐渐松散并开始丧失弹性。有研究表明,保鲜过程中虾的肌动球蛋白在内源蛋白酶的作用下发生降解,会导致质构品质劣化^[34]。而低温等离子体可能通过抑制虾体表面的微生物和体内的内源蛋白酶来实现对肌肉弹性下降的抑制^[35,36]。同时,随着冷藏时间的变化,各实验组南美白对虾的咀嚼性均呈下降的趋势($p<0.05$),在冷藏的第2 d,对照组和处理组处理前后咀嚼性差异显著($p<0.05$),随着冷藏时间的延长,在第8 d及之后,低温等离子体可以显著抑制南美白对虾咀嚼性的下降,但是处理电压为40 kV和60 kV处理后的效果差异不显著($p>0.05$)。其作用原理可能和抑制肌肉弹性下降类似。

2.6 色差的变化

表2 低温等离子体对南美白对虾总色差的变化影响

Table 2 Effect of cold atmospheric plasma on the variation of total color difference of *Penaeus vannamei*

冷藏时间/d	电压			
	未处理	20 kV	40 kV	60 kV
2	3.33±0.13a	1.90±0.34b	0.73±0.16c	0.68±0.34c
4	5.85±0.32a	2.90±0.35b	0.92±0.12c	0.88±0.08c
6	8.12±0.49a	3.86±0.49b	1.42±0.02c	1.53±0.13c
8	9.97±0.38a	4.51±0.23b	2.17±0.08c	1.55±0.07d
10	12.43±0.55a	6.55±0.56b	4.92±0.09c	2.86±0.12d
12	14.88±0.08a	7.77±0.33b	6.30±0.35c	4.10±0.15d
14	15.29±0.39a	9.59±0.37b	7.38±0.39c	5.48±0.12d

注:字母差异表示不同电压处理的样品在相同冷藏时间下差异显著性($p<0.05$)。

南美白对虾鲜度下降,伴随着虾体色泽的变化,色泽变化可能是消费者对其品质上的一种认定。目前的研究表明,色差仪能够快速检测出虾体表面的色泽情况,进而来判断虾体的品质好坏^[37]。色差主要用 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值表示, L^* 值表示亮度值,反映了南美白对虾表现的明亮程度, L^* 值越大,则说明虾体明

亮度越好, L^* 值越小, 说明虾体明亮度越差。 a^* 值和 b^* 值表示样品的彩色值, a^* 正值表示偏红, 负值表示偏绿; b^* 正值表示偏黄, 负值表示偏蓝^[38], ΔE^* 值反映的是总体的色差变化。

从表 2 中可以看出, 随着冷藏时间的延长, 南美白对虾的总色差值相差越来越明显 ($p < 0.05$), 在冷藏天数相同时, 随着处理电压的增大, 总色差值的差异显著减小 ($p < 0.05$), 说明在冷藏过程中, 低温等离子体处理使得南美白对虾的总色差值的差异较小, 对其色差的变化有较好的保护作用。这与蓝蔚青等人^[39]研究的流化冰处理对南美白对虾品质影响过程中观察到色差的变化趋势相似。其原因一方面可能是低温等离子体对南美白对虾的鲜度具有较好的保持作用。低温等离子体可以利用正负离子瞬间产生的能量, 对虾体表面杀菌, 降解代谢产物, 从而可以达到保鲜的效果。任翠荣等人^[40]的研究表明经低温等离子体处理后的草莓外观及营养价值损伤小, 且无药剂残留, 食用安全性提高。Zouelm 等人^[41]的研究表明低温等离子体可以有效减少生化变化, 提高对虾的品质, 在保证其鲜度品质同时延长其货架期。另一方面可能是低温等离子体能够在一定程度上抑制虾类体内的多酚氧化酶, 从而延缓其黑变。黑变是多酚氧化酶对氧作用的结果, 在一些研究中, 黑变的发生率高主要是由于 ΔE^* 值在升高, 而使用低温等离子体可以使得虾在贮藏期间颜色变化更小^[42]。

2.7 感官品质的变化

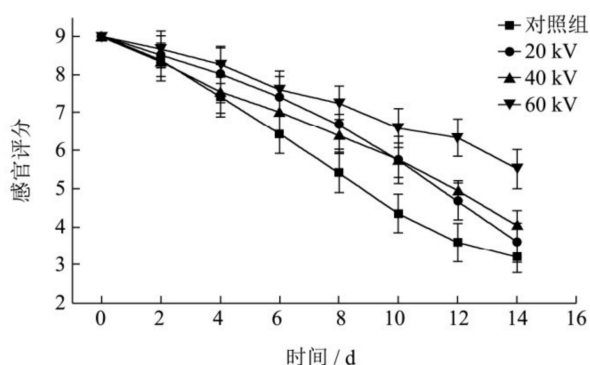


图 6 低温等离子体对南美白对虾感官评分的影响

Fig.6 Effect of cold atmospheric plasma on sensory score of *Penaeus vannamei*

食品的感官评定能直观地反映出食品的品质变化^[43]。从图 6 可以看出, 随着冷藏时间的变化, 对照组和经过低温等离子体处理的南美白对虾的感官评分均显著下降 ($p < 0.05$), 相较于对照组, 低温等离子体处理后的感官评分下降的趋势变得缓慢。在处理电压为 60 kV 时, 南美白对虾的感官评分值显著高于对照组

和处理电压为 20 kV 和 40 kV ($p < 0.05$), 说明处理电压为 60 kV 的低温等离子体对南美白对虾的品质保持效果最好。在冷藏的 14 d, 对照组南美白对虾的感官评分从 9.00 下降至 3.17, 在低温等离子体处理电压 60 kV 处理后, 感官评分为 5.50。这种变化说明低温等离子体技术能够较好的保持南美白对虾在冷藏期间的感官品质。

3 结论

本实验利用低温等离子体对南美白对虾进行了处理, 通过测定菌落总数、TVB-N 值、pH 值、TBA 值、质构特性、色差值、感官评价等指标来进行比较和分析。结果表明, 三种处理电压均能有效减缓南美白对虾的腐败变质, 其中 60 kV 的处理的保鲜效果最好, 菌落总数从初始的 $3.35 \log(\text{CFU/g})$ 升至 $5.21 \log(\text{CFU/g})$, 低于对照组的 $6.21 \log(\text{CFU/g})$, TVB-N 值也在一定时间内优于对照组。且随着冷藏时间的延长, 低温等离子体处理后南美白对虾的质构特性、色泽保持的效果都显著优于对照组 ($p < 0.05$), 对于 pH 值的上升起到了明显的减缓作用 ($p < 0.05$)。然而由于电场对活性氧等的作用, 在加强保鲜效果的同时, 脂肪的氧化程度也在一定程度上增加, TBA 值的上升对南美白对虾的品质也会造成不良的影响, 因此, 低温等离子体技术对于保鲜的同时如何保持脂质防止其氧化还需要进一步研究。

参考文献

- [1] 王娟. 中国对虾、南美白对虾和斑节对虾肌肉营养成分的比较[J]. 食品科技, 2013, 38(6): 146-150
WANG Juan. Comparison of nutritional compositions in muscles of *Penaeus chinensis*, *Penaeus vannamei* Boone and *Penaeus japonicus* Bate [J]. Food Science and Technology, 2013, 38(6): 146-150
- [2] 刘品. 低温等离子体对南美白对虾防黑变及品质的影响研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2018: 1
LIU Pin. Effect of low temperature plasma on black resistance and freshness quality of *Penaeus vannamei* [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2018: 1
- [3] QIAN Yun-fang, XIONG Qing, YANG Sheng-ping, et al. Formula optimization for melanosis-inhibitors of Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by response surface methodology [J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 28(6): 1687-1692
- [4] 陈胜军, 陶飞燕, 潘创, 等. 虾产品低温贮藏保鲜技术研究进展[J]. 中国渔业质量与标准, 2020, 10(1): 68-75

- CHEN Sheng-jun, TAO Fei-yan, PAN Chuang, et al. Research progress on low temperature storage and preservation technology of shrimp products [J]. Chinese Fishery Quality and Standards, 2020, 10(1): 68-75
- [5] 吴锁连,康怀彬,李冬姣.水产品保鲜技术研究现状及应用进展[J].安徽农业科学,2019,47(22):4-6,33
- WU Suo-lian, KANG Huai-bin, LI Dong-jiao. Research status and application progress of fresh-keeping technology of aquatic products [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019, 47(22): 4-6, 33
- [6] Brendan A N. Cold plasma decontamination of foods [J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2012, 3: 125-142
- [7] Elisa S G, Isabel L A, Rodolfo M V, et al. Effect of the atmospheric pressure cold plasma treatment on tempranillo red wine quality in batch and flow systems [J]. Beverages, 2019, 5(3): 1-12
- [8] 王卓,周丹丹,彭菁,等.低温等离子体对蓝莓果实的杀菌效果及对其品质的影响[J].食品科学,2018,39(15):101-107
- WANG Zhuo, ZHOU Dan-dan, PENG Jing, et al. Efficacy of cold plasma on microbial decontamination and storage quality of blueberries [J]. Food Science, 2018, 39(15): 101-107
- [9] Kim J S, Lee E J, Choi E H, et al. Inactivation of *Staphylococcus aureus* on the beef jerky by radio-frequency atmospheric pressure plasma discharge treatment [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 22: 124-130
- [10] 相启森,刘秀妨,刘胜男,等.大气压冷等离子体技术在食品工业中的应用研究进展[J].食品工业,2018,39(7):267-271
- XIANG Qi-sen, LIU Xiu-fang, LIU Sheng-nan, et al. Recent research progress on application of atmospheric cold plasma technology in food industry [J]. The Food Industry, 2018, 39(7): 267-271
- [11] Hirst A M, Frame F M, Arya M, et al. Low temperature plasmas as emerging cancer therapeutics: the state of play and thoughts for the future [J]. Tumour Biology, 2016, 37(6): 7021-7031
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定:GB 4789.2-2016[S]
- National Health and Family Planning Commission of PRC, National Medical Products Administration. National Food Safety Standard Food Microbiological Inspection Determination of the total number of colonies: GB 4789.2-2016 [S]
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定:GB 5009.228-2016 [S]
- National Health and Family Planning Commission of PRC, National Food Safety Standard Determination of Total Volatile Basic Nitrogen in Food: GB 5009.228-2016 [S]
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品 pH 值的测定:GB 5009.237-2016 [S]
- National Health and Family Planning Commission of PRC, National Food Safety Standard Determination of Food pH: GB 5009.237-2016 [S]
- [15] 黄伟坤.食品检验与分析[M].北京:轻工业出版社,1989: 398-399
- HUANG Wei-kun. Food Inspection and Analysis [M]. Beijing: Light Industry Press, 1989: 398-399
- [16] WANG Qian-yun, LEI Jun, MA Jun-jie, et al. Effect of chitosan-carvacrol coating on the quality of Pacific white shrimp during iced storage as affected by caprylic acid [J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106: 123-129
- [17] LI Xiao-an, LI Mei-lin, JI Na-na, et al. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit [J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 115: 108447
- [18] XU Yong-xia, YIN Yi-ming, LI Tao, et al. Effects of lysozyme combined with cinnamaldehyde on storage quality of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*) fillets [J]. Journal of Food Science, 2020, 85(4): 1037-1044
- [19] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 鲜、冻动物性水产品:GB 2733-2015 [S]
- National Health and Family Planning Commission of PRC, National Food Safety Standard Fresh and Frozen Animal Aquatic Products: GB 2733-2015 [S]
- [20] 张家源,张洪才,陈舜胜.鱼精蛋白复配保鲜剂对南美白对虾的保鲜效果[J].食品与发酵工业,2020,46(2):142-149
- ZHANG Jia-yuan, ZHANG Hong-cai, CHEN Shun-sheng. Study on the fresh-keeping effect of protamine complex preservative on *Penaeus vannamei* [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2): 142-149
- [21] Ocaño-higuera V M, Maeda-martínez A N, Marquez-ríos E, et al. Freshness assessment of ray fish stored in ice by biochemical, chemical and physical methods [J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 49-54
- [22] Khursheed A S, Soottawat B. Effect of high voltage cold

- atmospheric plasma processing on the quality and shelf-life of Pacific white shrimp treated with Chamuang leaf extract [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2020, 64: 102435
- [23] LIN Ting, WANG Jing-jing, LI Ji-bing, et al. Use of acidic electrolyzed water ice for preserving the quality of shrimp [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(36): 8695-8702
- [24] Bilea F, Bradu C, Mandache N B, et al. Characterization of the chemical activity of a pulsed corona discharge above water [J]. Chemosphere, 2019, 236: 124302
- [25] Kelly F J, Mudway I S. Protein oxidation at the air-lung interface [J]. Amino Acids, 2003, 25(3-4): 375-396
- [26] GUO Jian, HUANG Kang, WANG Jian-ping. Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: a review [J]. Food Control, 2015, 50: 482-490
- [27] Kang H J, Kim S J, You Y S, et al. Inhibitory effect of soy protein coating formulations on walnut (*Juglans regia* L.) kernels against lipid oxidation [J]. LWT - Food Science and Technology, 2013, 51(1): 393-396
- [28] CHEN Jing, WANG Sheng-zhe, CHEN Jun-yu, et al. Effect of cold plasma on maintaining the quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): biochemical and sensory attributes [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(1): 39-46
- [29] Joshi S G, Cooper M, Yost A, et al. Nonthermal dielectric-barrier discharge plasma-induced inactivation involves oxidative DNA damage and membrane lipid peroxidation in *Escherichia coli* [J]. Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 2011, 55(3): 1053-1062
- [30] Albertos I, Martin-diana A B, Cullen P J, et al. Shelf-life extension of herring (*Clupea harengus*) using in-package atmospheric plasma technology [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2019, 53: 85-91
- [31] Rød S K, Hansen F, Leipold F, et al. Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality [J]. Food Microbiology, 2012, 30(1): 233-238
- [32] GUO Pei, LI Chuan, SHEN, Xuan-ri, et al. Golden pompano fish and tilapia fish skin gelatin improving quality of tilapia surimi [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(s2): 406-411
- [33] 李秀霞,马莹莹,海涵,等.冻藏南美白对虾品质和水分分布的相关性分析[J].包装与食品机械,2019,37(3):1-4
- LI Xiu-xia, MA Ying-ying, HAI Han, et al. Correction analysis of quality and moisture distribution of *Litopenaeus vannamei* during frozen stora [J]. Packaging and Food Machinery, 2019, 37(3): 1-4
- [34] 贾胜男.骨架蛋白降解对冷鲜草鱼质构影响的研究[D].无锡:江南大学,2019:6-8
- JIA Sheng-nan. Effect of degradation in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) myofibrillar structural protein on texture at low temperature [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019: 6-8
- [35] 杨新文,牛文俊,成军虎,等.低温等离子技术及其对食品品质与微生物的影响[J].食品与机械,2019,35(9):199-203,215
- YANG Xin-wen, NIU Wen-jun, CHENG Jun-hu, et al. Cold plasma technology and its effect on the food quality and microorganism [J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 199-203, 215
- [36] 张晔,刘志伟,谭兴和,等.冷等离子体食品杀菌应用研究进展[J].中国酿造,2019,38(1):20-24
- ZHANG Ye, LIU Zhi-wei, TAN Xing-he, et al. Research progress of cold plasma application in food sterilization [J]. China Brewing, 38(1): 20-24
- [37] 李立杰,柴春祥,鲁晓翔,等.微冻南美白对虾鲜度的色泽评价[J].食品工业科技,2013,34(19):320-322,327
- LI Li-jie, CHAI Chun-xiang, LU Xiao-xiang, et al. Color evaluation of the freshness of *Penaeus vannamei* Boone during partially frozen storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 320-322, 327
- [38] 王伟,柴春祥,鲁晓翔,等.色差和质构评定南美白对虾的新鲜度[J].浙江农业学报,2015,27(2):271-277
- WANG Wei, CHAI Chun-xiang, LU Xiao-xiang, et al. Evaluation on freshness of *Penaeus vannamei* by color and texture [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2015, 27(2): 271-277

(下转第 138 页)