

不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生贮藏品质的影响

杨 慧 韩俊豪 谢永康 李 萍 曹世娜

(河南省农业科学院农产品加工研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要: [目的] 研究臭氧对鲜食花生的保鲜效果。[方法] 以“四粒红”鲜食花生为试验材料, 采用不同质量浓度臭氧(10, 30, 50 mg/L)对鲜食花生进行气熏处理, 于 (4 ± 1) °C 贮藏 15 d, 每 3 d 测定鲜食花生的食用品质、营养品质和安全品质等指标。[结果] 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生采后贮藏品质的影响存在差异。与对照组相比, 中、低质量浓度(≤ 30 mg/L)臭氧处理能有效减少花生质量损失, 抑制霉变发生和微生物生长, 维持籽粒色泽稳定 and 良好口感, 同时延缓细胞膜脂与油脂氧化进程, 保持较高的营养品质。高质量浓度(50 mg/L)臭氧处理随着贮藏时间的延长会加速花生品质劣变, 尤其在贮藏后期, 表现为花生籽粒色泽变化加剧、营养成分降解加快, 以及膜脂氧化与油脂氧化加速。以 30 mg/L 臭氧处理的保鲜效果最佳。[结论] 臭氧处理可作为一种适宜的保鲜技术, 用于延缓鲜食花生采后品质, 延长其保鲜期。

关键词: 鲜食花生; 臭氧; 保鲜; 贮藏; 品质

Effects of ozone treatment at different concentrations on storage quality of fresh peanuts

YANG Hui HAN Junhao XIE Yongkang LI Ping CAO Shina

(Agricultural Product Processing Research Center, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: [Objective] To study the preservation effect of ozone on fresh peanuts. [Methods] "Four Red" fresh peanuts were used as experimental materials. Peanuts were treated with ozone at different concentrations (10, 30, and 50 mg/L) and stored at (4 ± 1) °C for 15 days. Edible quality, nutritional quality, and safety quality were measured every 3 days. [Results] The effects of ozone treatment on the post-harvest storage quality of fresh peanuts varied with concentration. Compared with the control group, medium-to-low concentration ozone treatment (≤ 30 mg/L) effectively reduced peanut mass loss, inhibited mold development and microbial growth, maintained stable kernel color and good texture, and delayed lipid and oil oxidation in cell membranes, thereby preserving nutritional quality. In contrast, high-concentration ozone treatment (50 mg/L) accelerated quality deterioration during storage, particularly in the later stages, manifesting as intensified color changes, faster nutrient degradation, and accelerated lipid and oil oxidation. The optimal preservation effect was observed at 30 mg/L ozone. [Conclusion] Ozone treatment is a suitable preservation technique for delaying post-harvest quality deterioration and extending the shelf life of fresh peanuts.

Keywords: fresh peanuts; ozone; preservation; storage; quality

鲜食花生指在花生荚果充实末期、果壳变硬时收获, 不经晾晒直接食用或煮熟食用的花生^[1]。与普通花生相比, 鲜食花生清香、不油腻、味道鲜美, 且可最大限度地保留花生的营养成分和保健功能, 契合当代消费者对健康

基金项目: 河南省科技攻关项目(编号: 252102110090); 河南省中央引导地方科技发展资金项目(编号: Z20231811181); 国家自然科学基金青年科学基金资助项目(编号: 32401731); 河南省农业科学院新兴学科发展专项(编号: 2024XK12)

通信作者: 杨慧(1986—), 女, 河南省农业科学院农产品加工研究中心助理研究员, 硕士。E-mail: yanghui1222@163.com

收稿日期: 2025-05-14 **改回日期:** 2025-12-18

引用格式: 杨慧, 韩俊豪, 谢永康, 等. 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2026, 42(5): 142-149.

Citation: YANG Hui, HAN Junhao, XIE Yongkang, et al. Effects of ozone treatment at different concentrations on storage quality of fresh peanuts[J]. Food & Machinery, 2026, 42(5): 142-149.

饮食的需求^[2-3]。然而,鲜食花生含水量高,呼吸代谢旺盛,加之收获时表面附着大量微生物,贮藏过程中极易发生腐烂、霉变、褐变等现象,严重损害其食用品质 and 安全性,大幅度缩短货架期^[4]。目前,有关鲜食花生贮藏保鲜的研究主要集中在低温保鲜^[5]、气调保鲜^[6-7]、化学保鲜^[8-9]等方面。臭氧(O₃)作为一种强氧化剂,对微生物有广谱杀菌作用^[10],加上其高效、无毒、无残留等特点,已被广泛应用于香椿、苹果、哈密瓜、杭白菜等^[11-15]果蔬贮藏保鲜中。陈红等^[16]研究表明,臭氧结合低温处理可有效降低常温贮藏花生的失重率,减小黄曲霉菌感染指数,抑制霉菌生长;林勇敢^[9]采用臭氧处理含水率为29.83%的花生,可降低花生外表壳的微生物数量,减少花生贮藏过程中霉菌滋生的几率。以上研究多集中在臭氧处理对中低水分花生的保鲜作用,而对高水分花生采后的保鲜效果鲜见报道。试验拟以高水分鲜食花生为研究对象,考察不同质量浓度臭氧处理下鲜食花生的食用品质、营养品质和安全品质等变化,探讨臭氧处理技术在鲜食花生保鲜领域中应用的可能性,以期延长鲜食花生货架期、延缓鲜食花生品质劣变、保障食用安全提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鲜食花生:品种为“四粒红”,水分含量为42%左右,挑选大小均一、无病虫害、无霉变的花生荚果,经清洗、沥干水分后于4℃下预冷12 h后备用,市售。

1.2 仪器与设备

台式臭氧发生器:CHZTW-7G型,广州创环臭氧电器设备有限公司;

色差仪:Color Flex EZ型,美国Hunter Lab公司;

质构仪:TMS-Pro型,美国Food Technology公司;

光吸收全波长酶标仪:ReadMax 1200型,上海朗谱生物科技有限公司;

近红外快速成分分析仪:XDS型,丹麦FOSS集团;

电导率仪:FE38型,美国METTLER TOLEDO公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

(1) 臭氧质量浓度设置:调整臭氧发生器的O₂流量(1.5~3.0 L/min)和电流参数,采用臭氧检测器检测发生器出口的臭氧质量浓度,待质量浓度分别达到10, 30, 50 mg/L时,即可使用。

(2) 臭氧处理:将鲜食花生平均分为4组(每组28.8 kg),其中3组分别用10, 30, 50 mg/L臭氧进行处理,另一组做空白对照。将鲜食花生置于处理箱内(长宽高为70.5 cm×48 cm×38.5 cm,底部与顶部各留1个通气孔),开启制氧机与臭氧发生器,将臭氧发生器的出气口与处理箱底部小孔连通,处理箱顶部预留出气口,向处理箱内分别通入质量浓度为10, 30, 50 mg/L的臭氧处理60 min(中间拨动花生两次,使花生不同部位充分接触臭

氧),取出装入厚0.03 mm、120 mm×170 mm的PE保鲜袋中密封包装,每袋200 g,于(4±1)℃贮藏15 d,处理组分别用T₁、T₂、T₃表示。对照组通入空气,用CK表示。每个处理每次取8袋(3个重复),每隔2 d取样测定指标。

1.3.2 指标测定

(1) 质量损失率:采用称重法^[17]。

(2) 霉变率:采用计数法^[18],以肉眼观察到外壳表面出现霉斑或霉点为标准,计算出发霉果数(即外壳霉变颗粒加上籽仁霉变颗粒的总数)占总果数的百分比。

(3) 色泽:采用色差仪测定花生仁的L^{*}、a^{*}、b^{*}值,每个处理重复10次,结果取平均值。

(4) 硬度和脆度:样品前处理方法参照张玉荣等^[19]的方法。TPA测定参数:75 mm圆柱形探头P/75,测试速度1 mm/s,初始接触力5 N,形变率为30%^[20]。每个处理重复10次,结果取平均值。

(5) 蛋白质、脂肪、总氨基酸、油酸和亚油酸含量:参照韩俊豪等^[21]的方法。

(6) 菌落总数:参照GB 4789.2—2022。

(7) 霉菌数:参照GB 4789.15—2016。

(8) 丙二醛(MDA)含量:参照GB 5009.181—2016。

(9) 细胞膜渗透率:参照韩俊豪等^[21]的方法。

(10) 酸价:参照GB 5009.229—2016。

(11) 过氧化值:参照GB 5009.227—2023。

1.4 数据处理

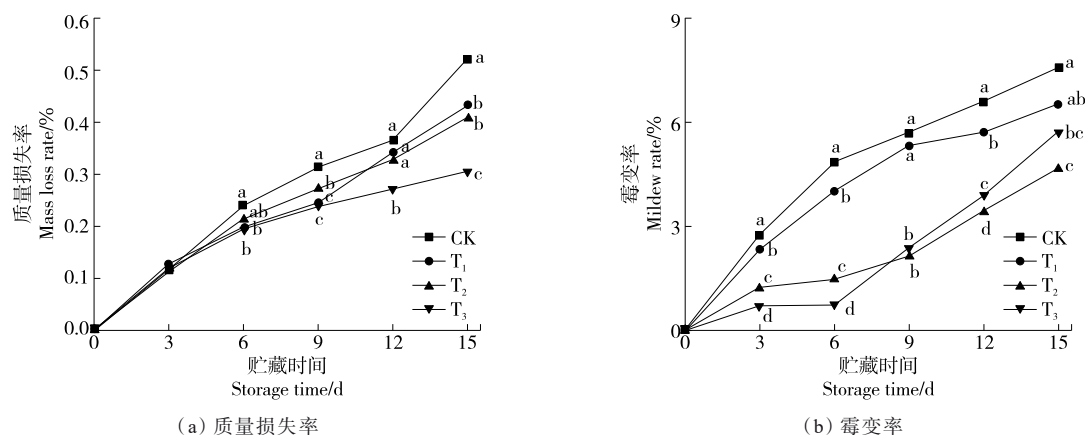
使用Excel 2016软件进行数据整理、Origin 2021软件进行数据分析及作图,采用SPSS 19.0软件进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 臭氧处理对鲜食花生食用品质的影响

2.1.1 对质量损失率和霉变率的影响 质量损失与水分的蒸腾作用和营养物质的消耗相关^[22],是评价果实品质和商业价值的重要指标。由图1(a)可知,贮藏期间,各处理组鲜食花生的质量损失率均随贮藏时间的延长呈上升趋势。其中,臭氧处理组的质量损失率上升速率明显低于CK组。贮藏第15天,T₁、T₂、T₃组的质量损失率分别为0.43%, 0.41%, 0.31%,相较于CK组分别降低了16.89%, 21.53%, 41.26%,且达到显著水平(P<0.05),与白玉等^[13]、王晓等^[15]、李欣等^[23]的研究结果一致。这可能与臭氧的多重作用机制相关,包括抑制微生物活动、减少分解损耗,抑制呼吸作用与酶活性、延缓代谢过程,促进表面结构致密化,减少水分蒸发等^[23-24]。

鲜食花生因水分含量高、营养丰富,极易发生霉变,影响其食用安全^[25-26]。由图1(b)可知,各处理组鲜食花生的霉变率随贮藏时间的延长而增加。但不同处理组之间差异显著,其中CK组霉变率上升最快,T₁组次之,贮藏第15天,CK组与T₁组霉变率分别为7.59%和6.56%;T₂和T₃组霉变率始终维持在较低水平,贮藏前6 d变化平稳,贮



(a) 质量损失率

(b) 霉变率

 字母不同表示同一时间不同组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 1 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生质量损失率和霉变率的影响

Figure 1 Effects of ozone treatment at different concentrations on the mass loss rate and mildew rate of fresh peanuts

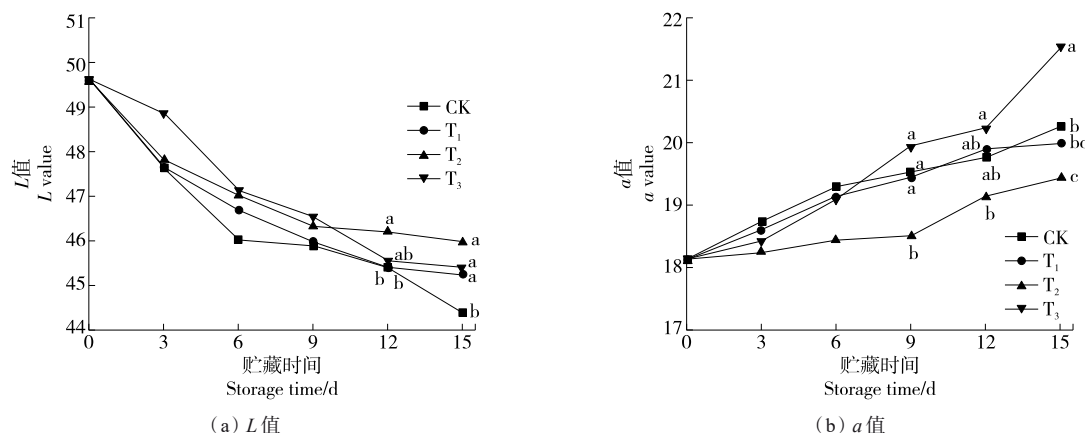
贮藏第 9~15 天, T₃ 组迅速上升, 显著高于 T₂ 组 ($P < 0.05$)。贮藏结束时, T₂ 和 T₃ 组霉变率较 CK 组分别降低了 24.77% 和 38.34%, 与毛金林等^[8]的结果相似, 表明臭氧处理对鲜花花生霉变具有抑制作用, 但处理浓度存在阈值效应。高浓度臭氧 (如 T₃ 组) 虽能高效杀灭微生物, 但其强氧化性可能破坏花生表皮细胞结构, 降低组织防御能力, 反而加速霉菌侵染^[27]; 而适宜浓度的臭氧 (如 T₂ 组) 既能有效抑制微生物生长, 又可避免对花生表皮造成损伤, 从而维持良好的贮藏品质。这与董成虎等^[28]、徐兵等^[29]的研究结果相吻合。

2.1.2 对色泽的影响 色泽是花生外观品质的直观体现, 直接影响消费者购买意愿^[20]。由图 2(a) 可知, 花生籽粒在贮藏过程中 L 值均持续下降, 其中 CK 组下降速率高于 T₁、T₂、T₃ 组, 表明常规贮藏条件下花生籽粒亮度衰减更明显。贮藏前 9 d, T₃ 组 L 值维持在较高水平, 但随着贮藏时间的延长, T₃ 组 L 值下降迅速, 并在贮藏末期低于 T₂ 组。贮藏结束时, CK 组和 T₁、T₂、T₃ 组 L 值分别较贮藏初期降低了 11.29%, 10.95%, 8.53%, 9.29%, 臭氧处理组鲜食花

生的亮度保持效果显著优于对照组 ($P < 0.05$)。

由图 2(b) 可知, 花生籽粒 a 值在贮藏期间均呈上升趋势, 表明花生籽粒颜色逐渐向红色偏移。贮藏前 6 d, CK 组 a 值上升幅度高于 T₁、T₂、T₃ 组, 表明常规贮藏下花生褐变进程快。随着贮藏时间的延长, T₃ 组 a 值上升速率较快, 贮藏结束时达 21.53, 显著高于其他处理组 ($P < 0.05$), 而 T₂ 组 a 值始终维持在较低水平, 表明其对色泽稳定性的保持效果更佳。这可能是臭氧在一定程度上抑制了贮藏过程中酶促褐变的发生^[30]或减缓了脂肪氧化^[16]的发生, 有效延缓了鲜食花生的酶促褐变与脂质氧化进程, 维持了花生的色泽稳定性。然而, 高浓度的臭氧可能因为过度氧化作用, 破坏了花生细胞内部的色素结构与抗氧化系统, 加速色泽劣变。

2.1.3 对硬度和脆度的影响 硬度和脆度是影响鲜食花生口感的两大重要因素^[31]。由图 3(a) 可知, 贮藏过程中, 鲜食花生籽粒硬度呈先上升后下降趋势。贮藏前 12 d, T₁、T₂、T₃ 组与 CK 组硬度无显著性差异, 表明此阶段臭氧



(a) L 值

(b) a 值

 字母不同表示同一时间不同组间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生籽粒色泽的影响

Figure 2 Effects of ozone treatment at different concentrations on the color of fresh peanut kernels

处理对花生硬度的影响较小。贮藏第15天, T_2 、 T_3 组硬度显著低于CK和 T_1 组($P<0.05$),表明 T_2 、 T_3 处理有效保持了花生的硬度。由图3(b)可知,随着贮藏时间的延长,鲜食花生籽粒的脆度呈先上升后下降趋势。与其他处理组相比, T_2 组在整个贮藏周期内始终维持在较高的脆度水平,并在贮藏第12天达到峰值,峰值为同期CK组的1.15倍,表明 T_2 处理对维持鲜食花生脆度具有显著优势。而 T_3 组脆度在贮藏第12天显著低于其他处理组($P<0.05$),至贮藏结束脆度降至79.47 N,推测 T_3 处理可能对花生脆度的保持产生不利影响。这与张玉荣等^[19]的研究结论略有不同,可能是因为作用机制不同,臭氧处理可诱导花生蛋白中二硫键发生部分交联和聚集,产生大分子蛋白聚集体(>250 ku)^[24],同时抑制细胞壁的分解,激活贮藏过程中的抗氧化系统,加速非酶促(维生素C、总酚、类黄酮)和酶促(SOD、CAT、POD、APX)过氧化物防御系统作出反应,提高抗氧化次生代谢物含量^[23],这些均有助于硬度的保持与提升。随着贮藏时间的进一步延长,持续的失水和后期的霉变,尤其是高浓度臭氧处理的强氧化作用,共同破坏了花生内部结构,致使硬度和脆度显著降低。

2.2 臭氧处理对鲜食花生营养品质的影响

蛋白质和脂肪是评价花生品质的两大主要营养成分^[21]。由表1可知,贮藏期间,鲜食花生蛋白质含量均呈下降趋势,但不同处理组的变化速率存在差异。贮藏前9 d, T_1 、 T_2 组蛋白质含量下降速率缓于CK和 T_3 组,且始终维持在较高水平;随着贮藏时间的延长, T_3 组蛋白质含量下降较快,贮藏结束时,CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 组蛋白质含量较贮藏初期(第0天)分别下降了18.08%, 17.79%, 17.11%, 21.68%, 其中 T_3 组显著低于其他组($P<0.05$)。脂肪含量变化趋势与蛋白质含量相似,各处理组整体呈下降趋势。贮藏前9 d, CK组脂肪含量下降较快;贮藏中后期, T_3 组脂肪含量下降迅速,贮藏结束时降至39.71%,显著低于其他处理组($P<0.05$); T_1 和 T_2 组则始终维持在较高水平,表明

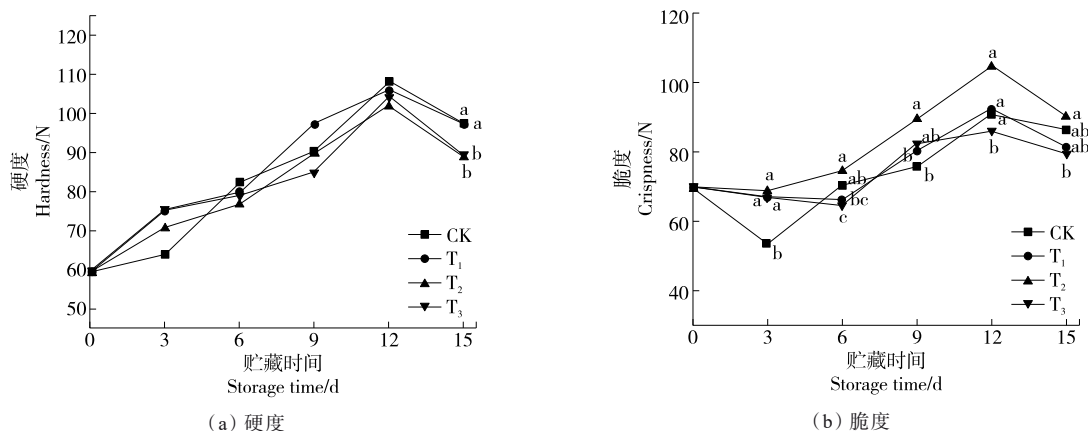
适宜浓度臭氧处理对脂肪保存有积极作用。

油酸与亚油酸是花生中的主要不饱和脂肪酸,具有降血脂、预防心血管疾病等作用^[32]。贮藏过程中,鲜食花生油酸含量整体呈下降趋势,其中CK组在贮藏前期下降最为迅速。至贮藏结束, T_2 组油酸含量始终维持在较高水平,而 T_3 组油酸含量下降至18.76%,显著低于其他组($P<0.05$)。亚油酸含量变化趋势与油酸类似,贮藏前期,CK和 T_3 组的下降速率显著快于 T_1 和 T_2 组;贮藏结束时 T_1 和 T_2 组亚油酸含量分别为48.20%和49.53%,显著高于CK和 T_3 组($P<0.05$)。此外,鲜食花生总氨基酸含量随贮藏时间的延长而降低,但 T_1 组在贮藏前期出现短暂上升,并在贮藏第6天达到最高值,推测可能源于蛋白质分解导致游离氨基酸含量稍有增加。表明适宜浓度的臭氧可通过抑制微生物的生长和繁殖,减少微生物代谢产生的蛋白酶、脂肪分解酶对蛋白质和脂肪的分解作用,同时还起到了调节花生细胞内的代谢平衡的作用,使蛋白酶和脂肪酶活性处于较低水平,进而减缓蛋白质和脂肪的分解,进一步抑制油酸和亚油酸的氧化,而高浓度的臭氧(≥ 50 mg/L)可能直接破坏花生的细胞结构或因强氧化性直接与蛋白质和脂肪发生反应,加速蛋白质、脂肪的分解,促使油脂氧化^[33-34]。

2.3 臭氧处理对鲜食花生安全品质的影响

2.3.1 对微生物的影响 菌落总数是评价花生食用安全性的重要指标之一,菌落总数越多,其安全性越低^[21]。由图4(a)可知,鲜食花生细菌菌落总数在贮藏期间均逐渐升高,其中, T_1 、 T_2 、 T_3 组菌落总数明显低于CK组($P<0.05$),表明臭氧处理显著抑制了细菌生长。值得注意的是, T_3 组在整个贮藏期内始终维持在较低水平。由图4(b)可知,鲜食花生霉菌菌落总数在贮藏期间逐渐增加。与CK组相比, T_2 、 T_3 组霉菌菌落总数显著降低,其中 T_3 组始终处于较低水平,与细菌菌落总数的变化趋势相似。

2.3.2 对丙二醛(MDA)含量和细胞膜渗透率的影响 丙



字母不同表示同一时间不同组间差异显著($P<0.05$)

图3 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生籽粒硬度和脆度的影响

Figure 3 Effects of ozone treatment at different concentrations on the hardness and crispness of fresh peanut kernels

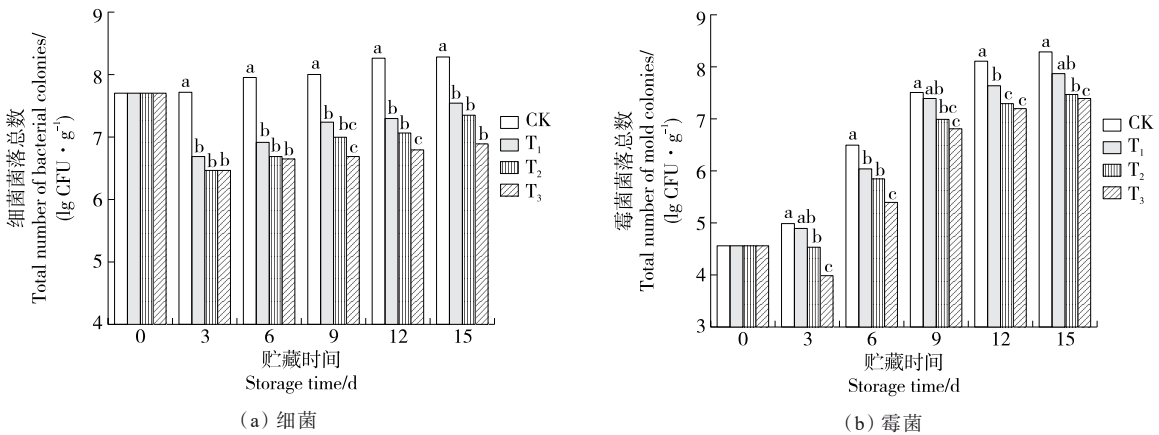
表 1 不同臭氧处理对鲜食花生营养品质的影响[†]

Table 1 Effects of different ozone treatments on the nutritional quality of fresh peanuts							%
指标	组别	0 d	3 d	6 d	9 d	12 d	15 d
蛋白质	CK	30.86±0.93	28.72±0.47 ^{ab}	26.58±0.74 ^c	26.84±0.89 ^a	25.49±0.80	25.28±0.48 ^a
	T ₁	30.86±0.93	29.16±1.55 ^{ab}	27.99±0.35 ^b	25.52±0.44 ^b	25.27±1.66	25.37±0.37 ^a
	T ₂	30.86±0.93	30.26±0.86 ^a	30.76±0.87 ^a	25.93±0.45 ^{ab}	25.98±1.02	25.58±0.32 ^a
	T ₃	30.86±0.93	27.38±0.68 ^b	26.19±0.44 ^c	25.89±0.62 ^{ab}	25.76±0.39	24.17±0.95 ^b
脂肪	CK	49.62±0.40	50.43±0.71	46.15±0.40 ^d	46.26±0.19 ^b	45.75±0.64	41.52±0.88 ^b
	T ₁	49.62±0.40	50.49±0.47	50.35±0.46 ^a	47.96±0.42 ^a	46.75±0.93	42.45±0.23 ^{ab}
	T ₂	49.62±0.40	50.15±0.67	49.28±0.63 ^b	47.89±0.47 ^a	45.91±0.35	43.18±0.44 ^a
	T ₃	49.62±0.40	50.94±0.86	47.67±0.48 ^c	47.08±0.66 ^{ab}	46.43±0.61	39.71±0.40 ^c
油酸	CK	36.44±1.48	31.67±0.37	28.67±1.51 ^d	28.34±1.39 ^b	27.15±0.98	19.32±1.03 ^a
	T ₁	36.44±1.48	34.54±1.86	32.46±1.58 ^a	30.68±0.53 ^a	29.13±1.69	20.78±2.78 ^a
	T ₂	36.44±1.48	35.09±0.79	34.61±1.81 ^b	31.27±1.32 ^a	30.45±0.11	27.94±0.89 ^a
	T ₃	36.44±1.48	33.54±0.38	32.32±0.91 ^c	30.31±0.07 ^{ab}	29.32±5.05	18.76±0.93 ^b
亚油酸	CK	63.72±2.54	55.09±0.24 ^c	51.14±1.12 ^b	49.31±1.35	48.82±0.97 ^a	46.16±0.72 ^b
	T ₁	63.72±2.54	57.60±0.90 ^b	54.17±0.66 ^a	49.60±1.97	49.31±0.48 ^a	48.20±0.66 ^a
	T ₂	63.72±2.54	62.46±1.01 ^a	54.32±1.70 ^a	50.50±1.64	49.58±1.04 ^a	49.53±0.18 ^a
	T ₃	63.72±2.54	54.98±1.24 ^c	50.91±1.18 ^b	48.65±1.06	46.34±1.89 ^b	45.30±1.07 ^b
总氨基酸	CK	27.20±0.80	25.02±0.58 ^b	24.26±0.67 ^c	23.07±0.24 ^b	22.68±1.37	22.66±0.39 ^{ab}
	T ₁	27.20±0.80	27.89±0.72 ^a	28.35±0.78 ^a	24.21±0.77 ^a	22.89±0.69	22.86±0.40 ^a
	T ₂	27.20±0.80	26.37±1.32 ^{ab}	25.57±0.34 ^b	23.34±0.33 ^{ab}	23.29±0.84	23.09±0.29 ^a
	T ₃	27.20±0.80	26.33±0.41 ^{ab}	23.60±0.37 ^c	23.60±0.37 ^{ab}	23.48±0.48	22.20±0.09 ^b

[†] 字母不同表示同一时间不同组间差异显著($P<0.05$)。

二醛作为膜脂氧化的最终产物,其含量可以反映细胞膜受活性氧损伤的程度和膜的完整性^[35]。由图 5(a)可知,鲜食花生 MDA 含量在贮藏期间逐渐升高,贮藏前 9 d,CK 组 MDA 含量上升速率高于其他处理组,表明 CK 组细胞膜受活性氧损伤的速度更快。随着贮藏时间的延长,T₃组 MDA 含量快速上升,至贮藏结束显著高于其他处理组($P<0.05$);T₂组在整个贮藏期间始终维持在较低水平,与李文瀚等^[27]的研究结果相似。

细胞膜渗透率可以反映细胞膜受损伤的程度,细胞膜渗透率增大说明细胞膜受损伤程度增加、细胞质膜功能下降^[35]。由图 5(b)可知,鲜食花生细胞膜渗透率在贮藏期间持续上升。其中,T₁、T₂组鲜食花生细胞膜渗透率始终维持在较低水平,贮藏第 12 天,T₃组细胞膜渗透率上升速率明显加快,至贮藏结束,细胞膜渗透率达 34.156%,显著高于 T₁和 T₂组($P<0.05$),与 MDA 含量变化趋势相似。表明适宜浓度的臭氧能够有效抑制鲜食花



字母不同表示同一时间不同组间差异显著($P<0.05$)

图 4 不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生细菌和霉菌菌落总数的影响

Figure 4 Effects of ozone treatment at different concentrations on the total number of bacterial colonies and the total number of mold colonies of fresh peanuts

生MDA含量的积累,降低细胞膜渗透率,对维持细胞膜的完整性和功能具有积极作用;但臭氧浓度过高,可能对花生细胞结构造成损伤,加速细胞的氧化进程,进而影响鲜食花生的贮藏品质。这与李欣等^[23]的研究结果一致。

2.3.3 对酸价和过氧化值的影响 花生所含的大部分油脂为不饱和脂肪酸,极易发生氧化反应,致使油脂酸败,降低花生的食用品质和营养^[36]。由图6(a)可知,鲜食花生酸价在贮藏期间整体呈上升趋势,CK与T₃组始终维持在较高水平,尤其在贮藏第9天,T₃组酸价急剧上升,至贮藏第15天达到3.28 mg/g(以KOH计),显著高于T₁和T₂组($P<0.05$),表明T₃处理条件下鲜食花生脂肪水解程度更为剧烈。由图6(b)可知,随着贮藏时间的延长,鲜食花生过氧化值整体呈上升趋势,CK组在贮藏前期(0~12 d)迅速上升,第12天达到峰值,随后下降。相比之下,T₁和T₂组过氧化值在整个贮藏期间的上升幅度显著低于CK和T₃组($P<0.05$),贮藏结束时分别维持在0.18,0.13 g/100 g。这与韩

俊豪等^[21]的研究结果相似,表明适宜浓度的臭氧能够有效抑制鲜食花生油脂的氧化进程,而高浓度的臭氧因其强氧化性,反而加速油脂的水解与初级氧化反应,加剧油脂品质劣变。

3 结论

不同质量浓度臭氧处理对鲜食花生贮藏品质的影响存在差异,其中30 mg/L的臭氧处理在保持鲜食花生食用品质、营养品质及安全品质方面表现出明显优势,贮藏15 d后仍能有效抑制水分损失及霉变发生,质量损失率和霉变率仅为0.41%和4.68%,较好地维持了鲜食花生籽粒的色泽及口感,蛋白质、脂肪、油酸、亚油酸、总氨基酸含量均维持在较高水平,细菌菌落总数与霉菌菌落总数维持在较低水平,丙二醛含量与细胞膜渗透率最低,酸价与过氧化值均在NY/T 1067—2025规定的限值标准内。因此,采用30 mg/L臭氧处理可通过抑制微生物增殖、减缓

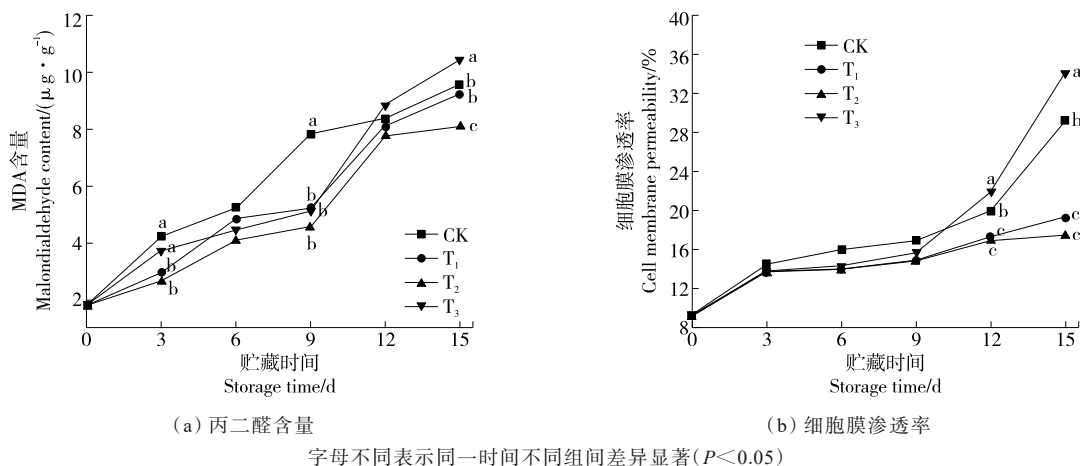


图5 不同质量浓度臭氧对鲜食花生丙二醛含量和细胞膜渗透率的影响

Figure 5 Effects of ozone at different concentrations on the malondialdehyde content and cell membrane permeability of fresh peanuts

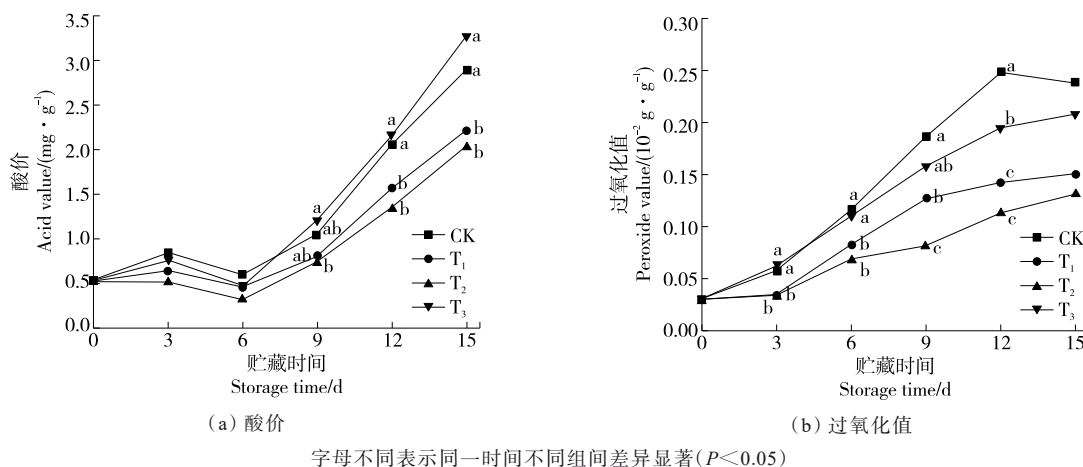


图6 不同质量浓度臭氧对鲜食花生酸价和过氧化值的影响

Figure 6 Effects of ozone at different concentrations on the acid value and peroxide value of fresh peanuts

油脂氧化和膜脂过氧化进程,达到延长鲜食花生贮藏期、延缓品质劣变的效果。后续可从分子生物学角度分析臭氧处理后鲜食花生贮藏过程中的优势腐败菌,并探索臭氧与气调、冰温、生物拮抗等物理、化学及生物保鲜技术的协同应用模式,系统揭示协同保鲜技术的作用机理。此外,应加快鲜食花生采后贮藏保鲜相关标准的制定,推动产业标准化规范化发展。

参考文献

- [1] 厉广辉,王兴军,石素华,等.我国鲜食花生研究现状及展望[J].中国油料作物学报,2018,40(4): 604-607.
LI G H, WANG X J, SHI S H, et al. An overview of research progress and prospect for fresh peanut in China[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2018, 40(4): 604-607.
- [2] 尹欣幸,杨伟波,金龙飞,等.基于主成分分析的鲜食花生品质评价[J].热带作物学报,2021,42(10): 3 001-3 007.
YIN X X, YANG W B, JIN L F, et al. Quality evaluation of fresh eating peanut based on principal component analysis[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(10): 3 001-3 007.
- [3] 王建文,李永军,赵国建,等.鲜食花生发展前景、存在问题及发展对策探讨[J].陕西农业科学,2009,55(2): 129-130.
WANG J W, LI Y J, ZHAO G J, et al. Discussion on the development prospect, existing problems and development countermeasures of fresh peanut[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2009, 55(2): 129-130.
- [4] 刘欢, NASIRU Mustapha Muhammad, 冯进,等.花生表面黄曲霉高压电场低温等离子体消杀工艺优化及对花生品质的影响[J].食品与机械,2025,41(3): 108-115.
LIU H, NASIRU M M, FENG J, et al. Optimization of elimination process of *Aspergillus flavus* on peanut surface through high voltage electric field cold plasma and its effect on peanut quality[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 108-115.
- [5] 杨慧,路风银,韩俊豪,等.高通量测序技术分析鲜食花生贮藏过程中真菌群落的组成和变化[J].河南农业科学,2023,52(2): 171-180.
YANG H, LU F Y, HAN J H, et al. Analysis of the composition and changes of fungal community in fresh peanut during storage based on high-throughput sequencing[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(2): 171-180.
- [6] 林勇敢,付晓纪,周巾英,等.包装材料对不同水分含量花生贮藏效果影响[J].食品工业科技,2014,35(19): 331-334, 339.
LIN Y G, FU X J, ZHOU J Y, et al. Effect of packaging materials on storage property of different moisture content peanut[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 331-334, 339.
- [7] 李雪华.甜玉米及鲜食花生贮藏保鲜技术研究[D].广州:华南农业大学,2018: 34-40.
LI X H. Studies on the storage technology of sweet corn and fresh-eating peanut[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018: 34-40.
- [8] 毛金林,陈杭君,葛林梅,等.涂膜保鲜对鲜食花生采后霉变和品质的影响[J].浙江农业科学,2009,50(2): 352-354.
MAO J L, CHEN H J, GE L M, et al. Effect of coating preservation on postharvest mildew and quality of fresh peanut[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2009, 50(2): 352-354.
- [9] 林勇敢.不同水分花生密闭贮藏技术研究[D].南昌:江西农业大学,2014: 24-30.
LIN Y G. Research on the controlled atmosphere storage technologies of different moisture peanut[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2014: 24-30.
- [10] BAI A G M, FREITAS-SILVA O, JUNIOR M F. Understanding the role of chlorine and ozone to control postharvest diseases in fruit and vegetables: a review[J]. Current Nutrition & Food Science, 2020, 16(4): 455-461.
- [11] 宁明岸,史君彦,王清,等.臭氧结合低温自发热气调包装对平菇贮藏品质的影响[J].北方园艺,2020(21): 80-85.
NING M A, SHI J Y, WANG Q, et al. Effects of ozone combined low temperature and modified atmosphere packaging on postharvest storage quality of *Pleurotus ostreatus* [J]. Northern Horticulture, 2020(21): 80-85.
- [12] 林少华,张慧杰,王细燕,等.不同浓度臭氧处理对香椿贮藏期间非酶抗氧化性的影响[J].保鲜与加工,2022,22(6): 15-20.
LIN S H, ZHANG H J, WANG X Y, et al. Effects of different concentrations of ozone on non-enzymatic antioxidant activity of *Toona sinensis* during storage[J]. Storage and Process, 2022, 22(6): 15-20.
- [13] 白玉,纪海鹏,陈存坤,等.臭氧处理对阿克苏苹果贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2022,48(15): 237-242.
BAI Y, JI H P, CHEN C K, et al. Effect of ozone treatment on storage quality of Aksu apple[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(15): 237-242.
- [14] 古丽丹·塔勒达吾,魏嘉怡,李乾,等.臭氧处理对哈密瓜常温贮藏品质的影响[J].保鲜与加工,2022,22(1): 1-8.
GULIDAN·TALEDAWU, WEI J Y, LI Q, et al. Effect of O₃ treatment on storage quality of Hami melon at normal temperature[J]. Storage and Process, 2022, 22(1): 1-8.
- [15] 王晓,刘晨霞,陈冰洁,等.臭氧处理对抗白菜保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2021,42(5): 270-274.
WANG X, LIU C X, CHEN B J, et al. Effects of ozone treatment on the preservation of Hangzhou cabbage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 270-274.
- [16] 陈红,任金海,杜宇,等.臭氧处理花生的试验研究[J].粮油加工,2008(11): 119-121.
CHEN H, REN J H, DU Y, et al. Experimental study on peanut treated with ozone[J]. Cereals and Oils Processing, 2008(11): 119-121.
- [17] 杨慧,赵守涣,史冠莹,等.近冰温贮藏对香椿嫩芽品质及关键风味物质的影响[J].保鲜与加工,2019,19(5): 46-52.
YANG H, ZHAO S H, SHI G Y, et al. Effect of near freezing-point storage on quality and key flavor substances of *toona sinensis* bud[J]. Storage and Process, 2019, 19(5): 46-52.
- [18] 王思滢,寇莉萍,蔚江涛,等.1-MCP处理对冬枣低温贮藏期

- 间品质变化的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(22): 64-70.
- WANG S Y, KOU L P, YU J T, et al. Effect of 1-MCP treatment on quality of winter jujube during low-temperature storage[J]. Food Research and Development, 2021, 42(22): 64-70.
- [19] 张玉荣, 李晨杰, 王殿轩, 等. 氮气气调对鲜食花生采后品质的影响研究[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33(6): 71-79.
- ZHANG Y R, LI C J, WANG D X, et al. Effect of nitrogen modified atmosphere on the postharvest quality of fresh edible peanuts[J]. China Food Additives, 2022, 33(6): 71-79.
- [20] 高帅平, 田广瑞, 李顺峰, 等. 不同气调保鲜对平菇贮藏品质和理化性质的影响[J]. 中国瓜菜, 2024, 37(4): 79-86.
- GAO S P, TIAN G R, LI S F, et al. Effects of different modified atmosphere preservation on the storage quality and physicochemical properties of *Pleurotus ostreatus*[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2024, 37(4): 79-86.
- [21] 韩俊豪, 杨慧, 李凯歌, 等. 微波预处理对生鲜花生贮藏特性和品质的影响[J]. 花生学报, 2024, 53(1): 97-104.
- HAN J H, YANG H, LI K G, et al. Effect of microwave pretreatment on storage characteristics and quality of fresh peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2024, 53(1): 97-104.
- [22] 齐淑宁, 赵焱焱, 唐继兴, 等. 不同保鲜袋包装对水蜜桃贮藏品质的影响[J]. 包装工程, 2021, 42(19): 55-62.
- QI S N, ZHAO Y Y, TANG J X, et al. Effect of different fresh-keeping bags on storage quality of juicy peach[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(19): 55-62.
- [23] 李欣, 梁子兆, 范思仪, 等. 不同浓度间歇性臭氧处理对猕猴桃贮藏保鲜效果及抗氧化系统的影响[J]. 食品科学, 2024, 45(20): 239-246.
- LI X, LIANG Z Z, FAN S Y, et al. Effect of intermittent treatment with different concentrations of ozone on preservation and antioxidant system of kiwifruit[J]. Food Science, 2024, 45(20): 239-246.
- [24] 严永红, 郑召君, 林叶, 等. 臭氧处理对花生蛋白结构性能的影响[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(1): 61-67.
- YAN Y H, ZHENG Z J, LIN Y, et al. Effects of ozone on the structural characteristics of peanut protein[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(1): 61-67.
- [25] 王连平, 王汉荣, 茹水江, 等. 低温贮藏花生嫩果病变及真菌状况初步研究[J]. 花生学报, 2006, 35(3): 24-27.
- WANG L P, WANG H R, RU S J, et al. Studies on the diseases and microflora of tender peanut fruits in low temperature storage[J]. Journal of Peanut Science, 2006, 35(3): 24-27.
- [26] 金建猛, 任丽, 谷建中, 等. 影响花生种子安全贮藏的原因与对策[J]. 种子科技, 2007, 25(3): 48-49.
- JIN J M, REN L, GU J Z, et al. Reasons and countermeasures affecting the safe storage of peanut seeds[J]. Seed Science & Technology, 2007, 25(3): 48-49.
- [27] 李文瀚, 刘紫韞, 姜瑜倩, 等. 臭氧处理对红灯樱桃保鲜效果的影响[J]. 轻工学报, 2025, 40(4): 52-59.
- LI W H, LIU Z Y, JIANG Y Q, et al. Effects of ozone treatment on the preservation of Hongdeng cherries[J]. Journal of Light Industry, 2025, 40(4): 52-59.
- [28] 董成虎, 彭旭阳, 刘光昭, 等. 不同浓度臭氧熏蒸处理对树莓贮藏保鲜效果的影响[J]. 保鲜与加工, 2023, 23(8): 1-6.
- DONG C H, PENG X Y, LIU G Z, et al. Effect of different concentrations of ozone fumigation treatment on preservation of raspberry[J]. Storage and Process, 2023, 23(8): 1-6.
- [29] 徐兵, 汤艺, 赖淑涵, 等. 臭氧处理对杏鲍菇储藏期防腐保鲜效应的影响[J]. 北方园艺, 2020(16): 115-119.
- XU B, TANG Y, LAI S H, et al. Effects of ozone treatment on preservation and preservation of *Pleurotus eryngii* during storage[J]. Northern Horticulture, 2020(16): 115-119.
- [30] 张政. 臭氧处理对花生红衣中多酚类物质的影响研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 50-55.
- ZHANG Z. Influences of ozone treatment on polyphenols in peanut skins[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2015: 50-55.
- [31] 赵莉, 郭艳萍, 党彦学, 等. 不同清洗方式对鲜食花生保鲜效果的研究[J]. 保鲜与加工, 2022, 22(11): 14-19, 28.
- ZHAO L, GUO Y P, DANG Y X, et al. Research of different cleaning methods on fresh peanuts preservation[J]. Storage and Process, 2022, 22(11): 14-19, 28.
- [32] 赵星, 张嘉楠, 杨华, 等. 花生中油酸与亚油酸含量测定方法研究[J]. 石家庄学院学报, 2019, 21(3): 13-17.
- ZHAO X, ZHANG J N, YANG H, et al. Study on the determination method of oleic acid and linoleic acid in peanuts [J]. Journal of Shijiazhuang University, 2019, 21(3): 13-17.
- [33] CAO H, SHI C L, JIA X Y. Toxicity mechanism of cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog *Rana nigromaculata*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4 199-4 206.
- [34] OKPALA C O R. Changes in some proximate, colour and textural characteristics of ozone -processed shrimp: combined effects of increasing ozone discharge and iced storage[J]. Journal of Fisheries Sciences, 2017, 16(2): 625-638.
- [35] 庄坤, 丁文平, 刘成龙. 臭氧处理对糯米中氨基酸组成的影响[J]. 食品科技, 2016, 41(5): 146-150.
- ZHUANG K, DING W O, LIU C L. Effect of ozone treatment on the amino acid composition of glutinous rice[J]. Food Science and Technology, 2016, 41(5): 146-150.
- [36] 谢永康, 王茜, 巨浩羽, 等. 5种干燥方式对花生干燥特性及品质的影响[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 197-203.
- XIE Y K, WANG X, JU H Y, et al. Effects of five drying methods on the drying characteristics and quality of peanuts [J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 197-203.