

# 臭氧处理对杭白菜保鲜效果的影响

王 晓<sup>1,2</sup>, 刘晨霞<sup>1,2</sup>, 陈冰洁<sup>1,2</sup>, 张 怡<sup>1,2</sup>, 王春芳<sup>1,2</sup>, 乔勇进<sup>1,2,\*</sup>

(1.上海市农业科学院农产品保鲜加工研究中心,上海 201403;

2.上海农产品保鲜加工工程技术研究中心,上海 201403)

**摘要:**为了研究臭氧处理对杭白菜保鲜效果的影响,采用不同浓度(30、60、90 和 120  $\mu\text{g/L}$ )臭氧气体对杭白菜进行熏蒸处理,时间为 30 min。在 2  $^{\circ}\text{C}$ 、湿度 70%~80% 条件下贮藏,每隔 6 d 测定不同处理条件下杭白菜的营养和生理相关指标。结果表明:在温度为 2  $^{\circ}\text{C}$ ,臭氧处理浓度为 60  $\mu\text{g/L}$  时,杭白菜的感官品质最好,可溶性固形物、叶绿素含量较高,色泽变化较慢,水分含量较高和过氧化产物丙二醛含量较低,保鲜效果最佳,贮藏期可达 18 d。本研究对杭白菜的贮藏保鲜具有一定的指导作用。

**关键词:**杭白菜,低温,臭氧,保鲜效果

## Effects of Ozone Treatment on the Preservation of Hangzhou Cabbage

WANG Xiao<sup>1,2</sup>, LIU Chenxia<sup>1,2</sup>, CHEN Bingjie<sup>1,2</sup>, ZHANG Yi<sup>1,2</sup>, WANG Chunfang<sup>1,2</sup>, QIAO Yongjin<sup>1,2,\*</sup>

(1.Agro-food Storage and Processing Research Center, Shanghai Academy of Agriculture Sciences, Shanghai 201403, China;

2.Shanghai Engineering Technology Research Center of Agricultural Product Preservation & Processing, Shanghai 201403, China)

**Abstract:** In order to study the effect of ozone treatment on the preservation of Hangzhou cabbage, different concentrations (30, 60, 90 and 120  $\mu\text{g/L}$ ) of ozone were used to fumigate the cabbage, and the fumigation time of ozone was 30 min. These cabbage was then stored at 2  $^{\circ}\text{C}$  and 70%~80% relative humidity. The nutritional and physiological indexes of Hangzhou cabbage under different pretreatment conditions were determined every 6 days. The results showed that when the storage temperature was 2  $^{\circ}\text{C}$  and the ozone concentration was 60  $\mu\text{g/L}$ , Hangzhou cabbage showed better sensory quality, higher soluble solids and chlorophyll contents, low value of color change and contents of water and malondialdehyde. The storage period of Hangzhou cabbage could reach 18 d. This study has certain guiding effect on the storage and preservation of Hangzhou cabbage.

**Key words:** hangzhou cabbage; low temperature; ozone; preservation effect

中图分类号:TS255.1

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2021)05-0270-05

doi:10.13386/j.issn1002-0306.2020040279

**引文格式:**王晓,刘晨霞,陈冰洁,等.臭氧处理对杭白菜保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2021,42(5):270-274.

WANG Xiao, LIU Chenxia, CHEN Bingjie, et al. Effects of Ozone Treatment on the Preservation of Hangzhou Cabbage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(5): 270-274. (in Chinese with English abstract)  
<http://www.spgykj.com>

杭白菜又名小白菜,别名青菜、油白菜、白菜秧,其口味清甜,质地脆嫩,也是该地区产量最大的绿叶蔬菜之一,深受江浙沪地区人们的喜爱<sup>[1]</sup>。杭白菜叶表面积大,容易失水萎蔫;采后呼吸作用旺盛,营养损耗会带来黄化脱帮等问题;其组织脆嫩,在贮藏运输过程中也易产生机械损伤和腐烂,这都不利于杭白菜采后品质的保持<sup>[2]</sup>。尤其在炎热的夏季,采后保鲜问题尤为突出,市场上经常会出现绿叶菜供不应求的局面<sup>[3]</sup>。因此,提高杭白菜等绿叶菜的贮藏品质,最大程度地保持其新鲜度和营养价值及减少采

后损耗是农产品保鲜行业亟需解决的问题<sup>[4]</sup>。

臭氧具有保鲜、灭菌、防止霉变等多种功效,与其它采后保鲜处理技术(气调、化学处理、UV、辐照等)相比,具有成本低、洁净、广谱高效、不会形成二次污染等优点。已有研究表明臭氧对菠菜、西兰花、鲜切菜的保鲜贮藏有明显的效果<sup>[5]</sup>。据报道臭氧处理可以诱导绿叶菜表皮气孔缩小,从而减少水分的蒸腾作用;作为一种强氧化剂,臭氧可以降解绿叶菜贮藏保鲜过程中释放的乙烯,降低绿叶菜采后呼吸作用,调节采后生理<sup>[6]</sup>;臭氧处理还可以破坏绿叶菜

收稿日期:2020-04-24

作者简介:王晓(1988-),女,博士,助理研究员,研究方向:农产品保鲜与精深加工技术研究,E-mail:wangxiao.0127@163.com。

\*通信作者:乔勇进(1967-),男,博士,研究员,研究方向:农产品保鲜与加工技术,E-mail:yjqiao2002@126.com。

基金项目:上海市科学技术委员会成果转化项目(17391903100);上海农产品保鲜加工工程技术研究中心(19DZ2251600);上海市农产品保鲜加工专业技术服务平台项目(18DZ2291300)。

表面的微生物的膜结构,进而发挥杀菌的效果<sup>[7]</sup>。目前,杭白菜的保鲜采用的方法主要有生物保鲜剂保鲜、二氧化氯气体处理、臭氧水清洗杀菌等<sup>[2,4,8]</sup>。臭氧气体处理杭白菜保鲜的研究还未见报道。本研究在低温的条件下,使用不同浓度的臭氧气体对杭白菜进行保鲜处理,探索不同浓度臭氧处理对杭白菜生理以及营养品质变化的影响,进而为杭白菜贮藏保鲜提供理论依据与技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

杭白菜 采自上海星辉蔬菜有限公司,采后立马运回上海市农业科学院农产品保鲜加工中心,在冷库(7℃)中预冷12 h后,挑选长度和质量均一、无机械损伤的杭白菜作为贮藏原料;95%乙醇、植物丙二醛试剂盒 南京建成生物工程研究所。

CM-5 分光测色计 日本柯尼卡美能达;V20S 水分测定仪 瑞士梅特勒托利多;JX-FSTPR-1 全自动样品冷冻研磨仪 上海净信科技;N-1 $\alpha$  型手持折光仪 日本 ATAGO 公司产品; $\mu$ Quant 酶标仪 BIO-TEK 公司;SX-500 臭氧发生器 奥奈特环保电子(上海)有限公司;D37520 Osterode 型高速冷冻离心机 德国 Biofuge 公司产品;BP301S 型电子天平 德国赛多利斯公司产品;DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱 上海一恒科技有限公司。

### 1.2 实验方法

1.2.1 贮藏条件 将经预冷、挑选后的杭白菜按每10 kg 一组,随机分为5组,每组分别采用不同浓度臭氧进行处理(30、60、90 和 120  $\mu$ g/L),处理时间为30 min,采用厚度为0.03 mm PE 保鲜膜包装后,置于2℃冷库中低温贮藏<sup>[6,8]</sup>,湿度为70%~80%。无臭氧处理组作为空白对照,每6 d 取样检测。

1.2.2 指标测定方法 色度值采用美能达 CM-5 分光测色计测定  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  值;可溶性固形物含量采用手持式阿贝折光仪测定,单位为%;含水量采用

V20S 红外水分测定仪测定,单位为%。

丙二醛的测定采用南京建成植物丙二醛试剂盒,准确称取研磨后的植物组织0.5 g,加入4.5 mL 提取液,4℃条件下8000~10000 r/min,离心10 min。取上清液按照要求测定,单位为 nmol/g。

叶绿素含量参照曹建康方法进行测定<sup>[9]</sup>,并进行了一定的改进。详细操作如下,准确称取匀浆后的杭白菜样品2.0 g,分次加入95%乙醇提取叶绿素,直到样品呈现无色,合并提取液,定容至100 mL;取200  $\mu$ L提取液,加入96孔酶标板,然后使用酶标仪检测,按照如下公式进行计算:叶绿素 a = 12.72A<sub>663</sub> - 2.59 A<sub>645</sub>, 叶绿素 b = 22.88A<sub>645</sub> - 4.67 A<sub>663</sub>, 总叶绿素 = 叶绿素 a + 叶绿素 b,单位为 mg/L,经过换算转化为 mg/g。

1.2.3 感官评价 感官评定小组由9人组成,均为食品专业的从业人员,在评定开始前,评定小组已经通过了感官评定方面的培训。评定人员以颜色、光泽、萎蔫、腐烂及气味等品质作为感官评价的指标。按照表1的标准对杭白菜的感官品质进行综合评分,多次评分后取平均值<sup>[10-11]</sup>。

### 1.3 数据统计

采用 SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago IL, USA) 统计分析软件进行数据分析,每个数据均为三次测定的平均值  $\pm$  标准差,字母 a~f 表示在显著性水平为  $P < 0.05$  时,具有显著性的差异。采用 Origin 8.0 进行作图分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度臭氧处理对杭白菜感官品质的影响

感官品质是综合性地反映绿叶菜品质变化的指标,最为直观地反映了绿叶菜的价值<sup>[8,11]</sup>。由表2可知,杭白菜采用60  $\mu$ g/L 臭氧处理组的感官评分下降较慢,在贮藏18 d 时杭白菜叶子稍微萎蔫,颜色轻微偏黄,总体尚可食用。与对照组相比,可延长贮藏期约6 d。

表1 杭白菜的感官评分标准

Table 1 The sensory evaluation standard of Hangzhou cabbage

分值	变色	光泽	萎蔫	腐烂	气味	综合
9~10	完全鲜绿色	鲜亮	叶片硬挺新鲜	无腐烂	特有香味	新鲜硬挺
7~8	浅绿,变黄 < 10%	较鲜亮	微现萎蔫	腐烂率 < 10%	气味减弱	微现皱缩,开始腐烂
5~6	10% $\leq$ 变黄 < 30%	较暗淡	叶片卷曲褶皱	10% $\leq$ 腐烂率 < 30%	无香味	商业拒绝点
3~4	30% $\leq$ 变黄 < 100%	暗淡	边缘出现干化	30% $\leq$ 腐烂率 < 100%	有异味	食用拒绝点
0~2	几乎完全变黄	无光泽	叶片完全干枯	几乎全部腐烂	异味严重	完全腐烂

表2 不同处理条件下杭白菜的感官评分

Table 2 Sensory evaluation score of Hangzhou cabbage under different treatment conditions

处理	贮藏时间(d)				
	0	6	12	18	24
对照	10.0 $\pm$ 0.0	8.0 $\pm$ 0.2	7.0 $\pm$ 0.3	5.0 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.1
30 $\mu$ g/L 臭氧 30 min	10.0 $\pm$ 0.0	9.0 $\pm$ 0.2	7.5 $\pm$ 0.4	6.0 $\pm$ 0.2	3.0 $\pm$ 0.0
60 $\mu$ g/L 臭氧 30 min	10.0 $\pm$ 0.0	9.5 $\pm$ 0.2	8.0 $\pm$ 0.4	6.5 $\pm$ 0.3	4.0 $\pm$ 0.1
90 $\mu$ g/L 臭氧 30 min	10.0 $\pm$ 0.0	9.0 $\pm$ 0.2	7.5 $\pm$ 0.4	5.5 $\pm$ 0.1	2.0 $\pm$ 0.0
120 $\mu$ g/L 臭氧 30 min	10.0 $\pm$ 0.0	8.5 $\pm$ 0.3	6.5 $\pm$ 0.2	5.0 $\pm$ 0.2	2.0 $\pm$ 0.0

## 2.2 不同浓度臭氧处理对抗白菜可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物指的是果蔬体内水溶性的干物质,主要是有机酸、单宁、低分子量的糖和蛋白等<sup>[12]</sup>。随着可溶性固形物含量的增加,果蔬的冰点温度呈递减趋势,同时果蔬比热容变大<sup>[13-14]</sup>。由此可见,可溶性固形物含量是果蔬重要的品质指标,该值的测定可为采收期确定和果蔬后期贮藏、流通、加工等提供科学指导<sup>[15]</sup>。图1结果表明,在2℃条件下杭白菜存放6~12 d时,可溶性固形物含量达到最高值,这是在贮藏初期杭白菜体内不溶性固形物逐渐分解成可溶性物质引起的<sup>[8]</sup>。随着存放时间的延长,呼吸作用逐渐消耗了营养物质,在贮藏后期除了60 μg/L臭氧处理组,其它处理组都呈现出了下降的趋势。可见适宜浓度的臭氧处理能有效延缓可溶性固形物含量的降低,原因可能是在该臭氧浓度条件下处理杭白菜,能还原杭白菜采后生产的内源性乙烯,从而降低杭白菜的呼吸作用,延缓了可溶性物质的消耗,而臭氧浓度较低时不足以还原大部分乙烯,浓度过高时可能对抗白菜本身产生伤害<sup>[8]</sup>。

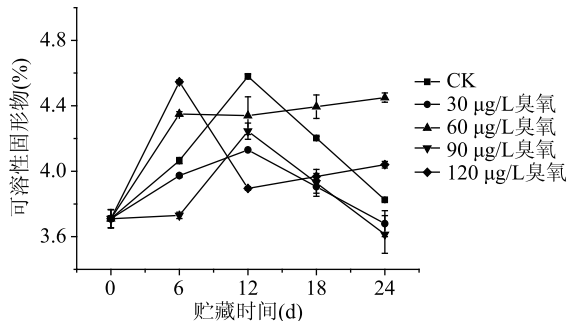


图1 不同处理对抗白菜可溶性固形物含量的影响

Fig.1 Effects of different treatments on the soluble solids contents of Hangzhou cabbage during storage

## 2.3 不同浓度臭氧处理对抗白菜色度的影响

绿叶菜采后呼吸作用旺盛,能量消耗量大,这是绿叶菜失绿转黄的主要因素<sup>[16]</sup>。绿叶菜的分级指标主要包括规格、感官品质(气味和滋味)、色泽、机械损伤和病虫害情况等,其中颜色是绿叶菜非常重要的品质特性,直接反映了绿叶菜的新鲜度<sup>[17]</sup>。研究人员通常采用色差即色泽的差值反映绿叶菜的色泽改变,色泽参数主要包括 $L^*$ (明度,反映色泽的亮度)、 $a^*$ (正数代表红色,负数代表绿色)和 $b^*$ (正数代表黄色,负数代表蓝色)。由图2可知,在低温贮藏期间 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值不断变大,说明在贮藏过程中叶片白度增加、绿色消退的同时黄化加快,这与之前的研究结果保持一致<sup>[18-19]</sup>。对照组在贮藏初期即0~12 d时与臭氧处理组相比,色泽差异不大,但在贮藏后期12~24 d时色泽参数均迅速增大。由以上结果可知,采用一定浓度的臭氧处理杭白菜,可以使杭白菜在贮藏后期色泽变化减慢,利于杭白菜的贮藏保鲜。同时在臭氧处理浓度为60 μg/L,杭白菜在贮藏后期具有最低的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值,色泽最佳。这可能与臭氧处理降低了杭白菜的呼吸作用强度有关。呼吸作用

减弱,各种营养物质包括叶绿素的消耗也会变慢,所以臭氧处理过的杭白菜颜色变化减慢。

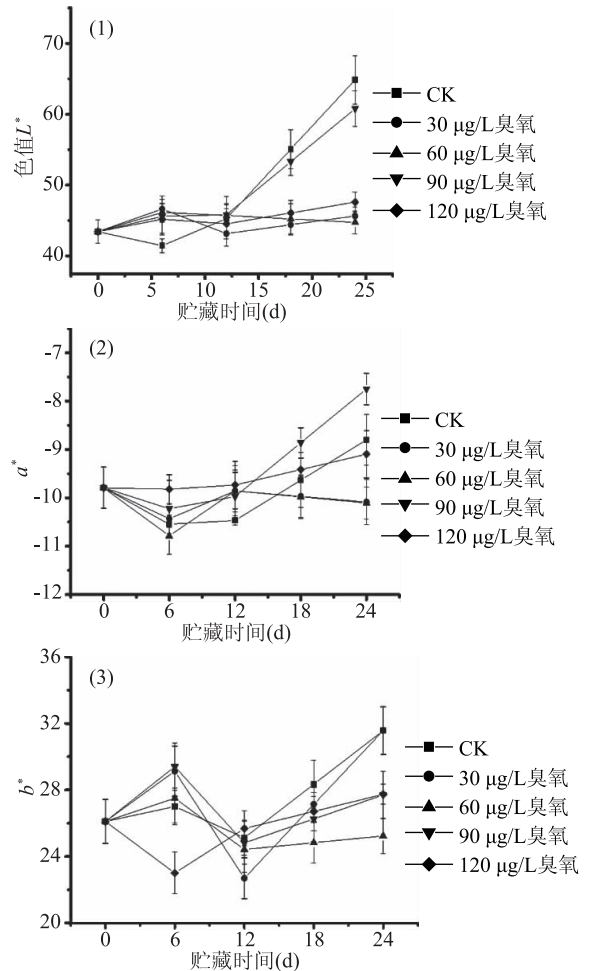


图2 不同处理对抗白菜(1) $L^*$ 、(2) $a^*$ 及(3) $b^*$ 的影响

Fig.2 Effects of different treatments on values of  $L^*$  (1),  $a^*$  (2) and  $b^*$  (3) of Hangzhou cabbage during storage

## 2.4 不同浓度臭氧处理对抗白菜叶绿素含量的影响

绿色损失是采后绿叶菜衰老的明显症状之一,这是由叶绿素降解引起的。在绿叶菜采后贮藏的过程中,叶绿素会被五种叶绿素分解代谢酶逐步降解,最终产物是无色的线性四吡啶即非荧光叶绿素分解代谢产物<sup>[20]</sup>。已有研究报道表明,臭氧在绿叶菜的贮藏过程中具有杀菌、保持感官品质和营养物质的效果,其中对于叶绿素降解的抑制具有一定的效果<sup>[6,21]</sup>。图3的结果表明,在贮藏过程中叶绿素a、b及总叶绿素含量呈现了先升高后下降的趋势。在贮藏第6 d时叶绿素含量达到了最高值。这可能是在0~6 d这个阶段,光和作用生成的叶绿素含量高于贮藏过程中分解的量<sup>[22]</sup>。在贮藏前期即0~6 d时对照组叶绿素含量较高,但贮藏后期叶绿素含量迅速下降。臭氧处理组的叶绿素含量在贮藏后期均高于对照组,说明一定浓度的臭氧处理可以抑制杭白菜叶绿素的降解。其中臭氧处理浓度为60 μg/L时,在贮藏后期该组杭白菜的叶绿素含量高于其它处理组。该结果与杭白菜色泽检测的结果一致,这是由于叶绿素的黄化与叶绿素的降解相关。

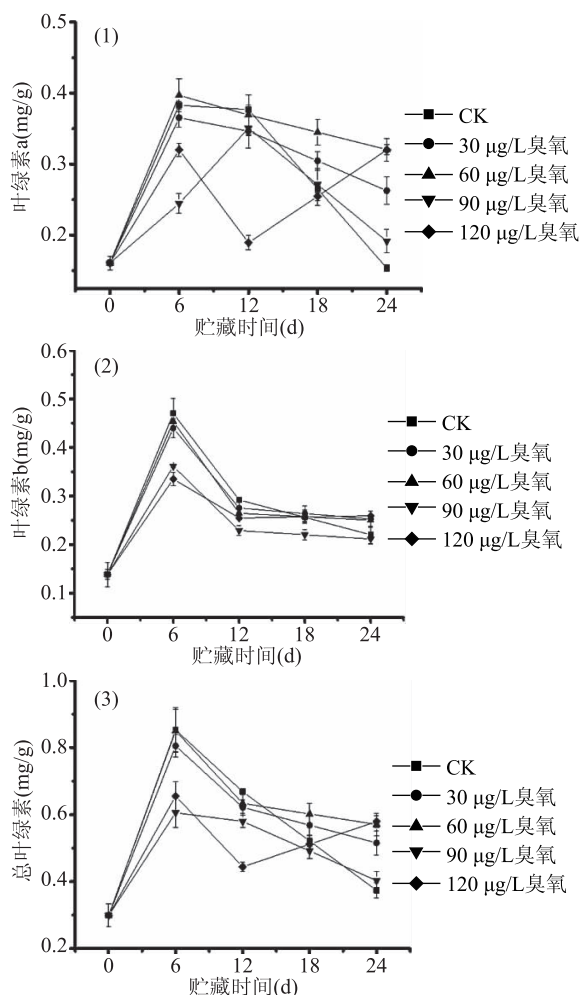


图3 不同处理对抗白菜(1)叶绿素a、(2)叶绿素b及(3)总叶绿素含量的影响

Fig.3 Effects of different treatments on contents of the chlorophyll a(1), chlorophyll b(2), and total chlorophyll(3) of Hangzhou cabbage during storage

### 2.5 不同浓度臭氧处理对抗白菜水分含量的影响

绿叶菜在采后贮藏的过程中,呼吸代谢仍然进行着,同时绿叶菜叶表面积大,水分容易蒸腾损失,这都会造成绿叶菜中水分的不断减少<sup>[23]</sup>。水分是绿叶菜的重要组成成分,其含量可达95%以上,这些水分主要以3种状态存在,分别是自由水、不易流动的水和结合水。在贮藏的过程中这三种状态下的水会发生迁移,从而产生不同的感官品质,所以贮藏过程中的水分含量变化与绿叶菜品质密切相关<sup>[24]</sup>。由图4可知,在贮藏过程中,水分含量在94.23%±0.25%~96.21%±0.20%之间波动,含量比较稳定,这是由于2℃低温贮藏及0.03mm PE保鲜膜包装具有缓解水分含量下降的作用。低温条件下呼吸作用会受到抑制,水分的损耗降低,同时保鲜膜包装也会减少水分的蒸腾。在贮藏后期臭氧处理组的含水量均高于对照组,这可能是因为臭氧处理能降低绿叶菜呼吸强度,诱导绿叶菜表皮气孔缩小,从而减少了水分消耗和蒸腾作用<sup>[7]</sup>。

### 2.6 不同浓度臭氧处理对抗白菜丙二醛含量(MDA)的影响

绿叶菜在衰老或逆境的情况下,会发生细胞膜

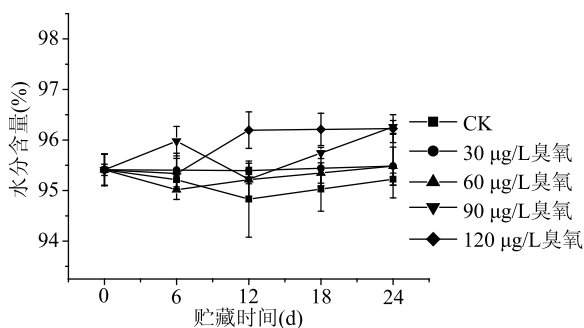


图4 不同处理对抗白菜水分含量的影响

Fig.4 Effects of different treatments on the water contents of Hangzhou cabbage during storage

脂质过氧化作用,细胞膜的磷脂分子最终会被氧化生成丙二醛,丙二醛的积累也会进一步破坏细胞膜的完整性<sup>[25]</sup>。丙二醛的含量越高表明绿叶菜细胞膜破坏越严重,其含量是绿叶菜衰老的重要标志<sup>[4]</sup>。由图5可知,杭白菜在贮藏期间,在6~12d时出现了丙二醛含量的高峰,接着丙二醛含量逐渐降低。出现这种变化可能是因为杭白菜在贮藏初期,生理生化反应强度比较高,在呼吸代谢的过程中产生了大量的丙二醛。但随着贮藏时间的延长以及臭氧的处理,呼吸作用减弱,同时丙二醛的积累激活了绿叶菜体内的抗氧化系统,从而抑制了自由基对细胞膜的氧化作用。在贮藏过程中对照组的丙二醛含量相对较高,说明适宜浓度的臭氧处理可以抑制丙二醛的生成。

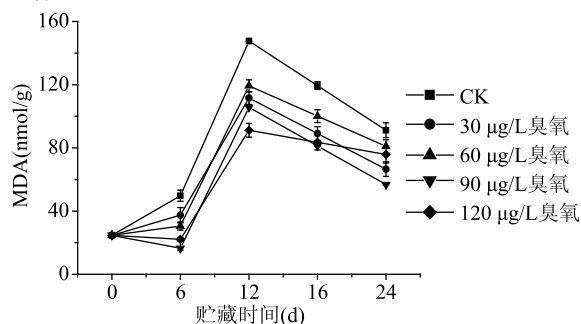


图5 不同处理对抗白菜MDA含量的影响

Fig.5 Effects of different treatments on the MDA contents of Hangzhou cabbage during storage

## 3 讨论与结论

杭白菜口味清香、口感柔嫩,富含多种矿物质和纤维,深受江浙沪地区人民的喜爱<sup>[2]</sup>。同时其组织鲜嫩,叶片较大,采后呼吸作用旺盛,容易发生黄化、腐烂和脱帮等。杭白菜采后贮藏保鲜腐败率可高达20%~30%,这限制了杭白菜的销售,造成了一定的经济损失和资源浪费<sup>[4]</sup>。

低温是绿叶菜常用,也是最有效的保鲜方法。不同品种蔬菜最适宜的保鲜温度也不相同,前期研究表明绿叶菜的冰温为0.5~0.8℃,考虑冷库或冰箱温度存在一定的温度波动,选择了2℃贮藏杭白菜。在低温下贮藏可有效地减缓呼吸作用,抑制生理生化反应,延长保鲜期<sup>[26]</sup>。由于低温情况下,空气湿度较低,容易造成绿叶菜失水严重的问题。所以本研

究中采用了低温结合 PE 膜包装的方法,对杭白菜水分的保持发挥了较好的效果。李甜竹等<sup>[27]</sup>在果蔬贮藏保鲜的研究中也得出了类似的结论,在低温状态下 PE 膜包装平菇,保鲜效果明显优于敞口的保鲜效果,具有较低的失重率、白度值及较好的生理指标,延长了保鲜期。郑丽静等<sup>[28]</sup>的研究也表明在低温条件下,PE 保鲜袋或微孔保鲜袋包装,对于油麦菜的保鲜均具有较好的效果。

臭氧气体或臭氧水处理是一种在果蔬中应用广泛的保鲜方法,具有杀菌、抑制呼吸和后熟的作用。司徒满泉等<sup>[29]</sup>的研究表明臭氧水处理并冷藏,可降低菜心黄化率、腐烂率,抑制表面微生物的生长,延缓维生素 C 和可溶性固形物的损失。张慧杰等<sup>[30]</sup>开展了臭氧气体处理对西兰花采后品质影响的研究,实验结果表明一定浓度的臭氧处理可维持维生素、还原糖、叶绿素在较高水平,延缓西兰花的采后衰老。在  $20 \pm 1$  °C 下,臭氧处理菠菜结合 PE 包装有效地维持了菠菜的感官品质,延缓了水分、维生素 C 的流失和丙二醛含量的升高,提高了菠菜的生理品质,延长了菠菜货架期<sup>[6]</sup>。本研究也得到了类似的保鲜效果,采用不同浓度的臭氧(30、60、90 和 120  $\mu\text{g/L}$ )处理杭白菜 30 min,随后在低温条件下 PE 膜包装贮藏。实验结果表明在 2 °C 温度条件下,臭氧处理浓度为 60  $\mu\text{g/L}$  时,杭白菜的感官品质较好,可溶性固形物和叶绿素含量较高,色泽变化较小,水分含量也高于对照组,丙二醛含量低于对照组。这可能与臭氧处理降低了杭白菜的呼吸作用强度有关。呼吸强度减弱,各种营养物质的消耗也会变慢,所以臭氧处理过的杭白菜具有较好的护绿效果,可延缓杭白菜的衰老,延长贮藏期,本研究对杭白菜的贮藏研究具有一定的指导作用。

### 参考文献

- [1] 朱慧邗,陈峰,陆奕,等.杭白菜新品种比较试验[J].上海蔬菜,2017(4):20-21.
- [2] 李立.e-聚赖氨酸在鲜切杭白菜贮藏保鲜中的应用研究[J].蔬菜贮藏加工,2020(3):50-55.
- [3] 吴德慧,江洪,杨爽,等.真空预冷和贮藏温度对有机杭白菜品质的影响[J].贵州农业科学,2013,41(4):120-123.
- [4] 甄凤元,乔勇进,高春霞,等.二氧化氯气体处理对杭白菜贮藏品质的影响[J].核农学报,2017,31(7):1323-1329.
- [5] 赵晓丹,傅达奇,李莹.臭氧结合气调冷藏对草莓保鲜品质的影响[J].食品科技,2015(6):24-28.
- [6] 徐冬颖,史君彦,郑秋丽,等.臭氧处理对菠菜采后保鲜效果的影响[J].北方园艺.2018(12):125-130.
- [7] 徐春涛,王瑾.不同贮藏温度条件下臭氧水对鲜切花椰菜保鲜效果的研究[J].河北工业大学学报(自然科学版),2009,30(3):41-44.
- [8] 雷昊,谢晶,乔永祥,等.清洗杀菌方式对鲜切杭白菜保鲜效果的影响[J].食品与机械,2016,32(12):105-108.
- [9] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社.2007.
- [10] Aguero M V, Ponce A G, Moreira M R. Lettuce quality loss under conditions that favor the wilting phenomenon [J].

Postharvest Biology & Technology, 2011, 59(2):124-131.

- [11] 郑丽静,韦强,叶孟亮,等.不同贮藏温度与包装方式对油麦菜保鲜效果的影响[J].安徽农业科学,2019,47(14):192-196.
- [12] Yang C B, Zhang X F. Study on dynamic variations of soluble solids of seabuckthorn fruit juice from Qinghai-Tibet Plateau [J]. Food Science & Technology, 2004, 24(4):698-701.
- [13] 钟志友,张敏,杨乐,等.果蔬冰点与其生理生化指标关系的研究[J].食品工业科技,2011,32(2):76-78.
- [14] 张敏,钟志友,杨乐,等.果蔬比热容的影响因素[J].食品科学,2011,32(11):9-13.
- [15] Sadras V O, Collins M, Soar C J. Modeling variety-dependent dynamics of soluble solids and water in berries of *Vitis vinifera* [J]. Australian Journal of Grape and Wine Research, 2008, 14(3):250-259.
- [16] 张义才,李安妮,朱慧英,等.青花菜在不同处理和保藏温度下的营养变化与耐贮性[J].广州食品工业科技,1994(2):16-18.
- [17] 李长缨,简元才,杜广岑,等.青花菜耐贮性鉴定方法和标准[J].华北农学报,1999,14(4):134-136.
- [18] 杨冲,谢晶.贮藏温度对空心菜保鲜效果的影响[J].食品与机械,2018,32(2):138-143.
- [19] 古荣鑫,胡花丽,曹宏,等.不同薄膜包装对冷藏空心菜采后品质的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(3):237-243.
- [20] Sakuraba Y, Schelbert S, Park S Y, et al. STAY-GREEN and chlorophyll catabolic enzymes interact at light-harvesting complex II for chlorophyll detoxification during leaf senescence in arabidopsis [J]. The Plant Cell, 2012, 24:507-518.
- [21] 林永艳,谢晶,朱军伟,等.不同清洗方式对鲜切鸡毛菜保鲜效果的影响[J].食品工业科技,2012,33(20):306-308.
- [22] 王晓,乔勇进,甄凤元,等.聚乙烯袋包装结合乙烯吸收剂对德国小香葱低温保鲜效果[J].上海农业学报,2018,34(3):123-127.
- [23] 朱军伟,谢晶,林永艳,等.贮藏温度对薄膜包装菠菜品质的影响[J].食品与机械,2011,27(6):219-221.
- [24] Mothibe K J, Zhang M, Mujumdar A S, et al. Effects of ultrasound and microwave pretreatments of apple before spouted bed drying on rate of dehydration and physical properties [J]. Drying Technology, 2014, 32(15):1848-1856.
- [25] 邵婷婷,张敏,刘威,等.采后热水处理对青椒果实低温贮藏期间活性氧代谢及抗氧化物质的影响[J].食品与发酵工业,2019,45(12):133-139.
- [26] 乔勇进,高春霞.绿叶菜贮藏保鲜关键技术[J].农村新技术,2019(1):56-57.
- [27] 李甜竹,郝永胜,甘德芬,等.不同包装方式对低温贮藏平菇生理特性和细胞壁变化的影响[J].安徽农业大学学报,2019,46(6):1055-1061.
- [28] 郑丽静,韦强,叶孟亮,等.不同贮藏温度与包装方式对油麦菜保鲜效果的影响[J].安徽农业科学,2019,47(14):192-196.
- [29] 司徒满泉,赖健,范梅红,等.臭氧水处理结合冷藏对采后菜心保鲜效果的影响[J].食品科技,2017,42(10):60-64.
- [30] 张慧杰,纪海鹏,张晓军,等.臭氧处理对采后西兰花贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(23):9-14.