

# O<sub>2</sub>联合CO<sub>2</sub>气调对西兰花活性氧代谢及保鲜效果的影响

郭衍银<sup>1</sup>, 李 玲<sup>1</sup>, 陈 东<sup>2</sup>, 王媛媛<sup>1</sup>, 庞 芳<sup>2</sup>

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255049; 2. 山东经贸职业学院, 山东 潍坊 261011)

**摘 要:** 设置100% O<sub>2</sub>、80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>、60% O<sub>2</sub>+40% CO<sub>2</sub>、40% O<sub>2</sub>+60% CO<sub>2</sub>、20% O<sub>2</sub>+80% CO<sub>2</sub>气体组合, 以自然大气为对照(CK), 对15℃贮藏过程中西兰花的活性氧代谢及品质指标进行测定。结果表明: 100% O<sub>2</sub>处理促进西兰花呼吸和乙烯释放, 加速过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)和超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>·)产生以及丙二醛(MDA)积累, 促进叶绿素和VC含量的降低, 缩短了保鲜期; 而20% O<sub>2</sub>+80% CO<sub>2</sub>处理虽能很好的维持叶绿素含量, 但易导致西兰花VC的迅速丧失并产生异味现象; 40% O<sub>2</sub>+60% CO<sub>2</sub>处理显著降低呼吸速率和乙烯释放量, 减少H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>和O<sub>2</sub><sup>-</sup>·产生, 抑制MDA的积累, 并较好的维持了叶绿素和VC含量, 表现出很好的保鲜效果。

**关键词:** 西兰花; 气调; 保鲜; 活性氧; 高氧; 高二氧化碳

Effects of O<sub>2</sub> Combined with CO<sub>2</sub> Controlled Atmospheres on Reactive Oxygen Species Metabolism and Quality Preservation of Broccoli (*Brassica oleracea* L.)

GUO Yan-yin<sup>1</sup>, LI Ling<sup>1</sup>, CHEN Dong<sup>2</sup>, WANG Yuan-yuan<sup>1</sup>, PANG Fang<sup>2</sup>

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China;

2. Shandong Vocational College of Economics and Business, Weifang 261011, China)

**Abstract:** This study was done to investigate the effects of controlled atmospheres with different levels of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>: 100% O<sub>2</sub>, 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>, 60% O<sub>2</sub> + 40% CO<sub>2</sub>, 40% O<sub>2</sub> + 60% CO<sub>2</sub> and 20% O<sub>2</sub> + 80% CO<sub>2</sub> on reactive oxygen metabolism and quality preservation of broccoli (*Brassica oleracea* L.) during storage at 15 °C in comparison to natural air as a control. Results showed that the 100% O<sub>2</sub> treatment increased the respiration rate and ethylene production, promoted the production of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) and superoxide anion radical (O<sub>2</sub><sup>-</sup>·) and the accumulation of malondialdehyde (MDA) content, accelerated the losses of chlorophyll and vitamin C (VC) content, and shortened the shelf life of broccoli. Although chlorophyll content was well maintained, the 20% O<sub>2</sub> + 80% CO<sub>2</sub> treatment promoted the loss of VC content and led to off-flavor whereas the 40% O<sub>2</sub> + 60% CO<sub>2</sub> treatment exhibited excellent storage characteristics, which dramatically decreased the respiration rate and ethylene production, reduced the production of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>2</sub><sup>-</sup>·, delayed the accumulation of MDA, and maintained higher contents of VC and chlorophyll. These observations demonstrate that treatment with a combination of O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> in proper concentration ratio could have good effects on the maintenance of broccoli quality during storage.

**Key words:** broccoli; controlled atmospheres; storage; active oxygen; high O<sub>2</sub>; high CO<sub>2</sub>

中图分类号: S635.3; TS205.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)24-0304-05

doi:10.7506/spkx1002-6630-201324063

西兰花(*Brassica oleracea* L.)含有丰富的机体所需的维生素、抗氧化物质及多种抗癌成分, 日益受到消费者青睐。但是, 西兰花是一种不耐贮藏的蔬菜, 在常温条件下2~3d即出现花球黄化, 营养物质减少, 丧失经济价值和食用价值<sup>[1]</sup>。为此, 国内外对西兰花保鲜进行了大量研究。如张怡等<sup>[2]</sup>就不同温度对西兰花保鲜效果进行了

研究, 指出西兰花在0、10、20℃条件下其保鲜期分别为35、12、3d; Fernandez-Leon<sup>[3]</sup>、郭衍银<sup>[4]</sup>等证实1-甲基环丙烯(1-methylcyclopropene, 1-MCP)对西兰花也有很好的保鲜效果。鉴于气调贮藏在果蔬保鲜方面具有其他方法无可比拟的优势<sup>[5-7]</sup>, 也涌现出很多西兰花气调保鲜的报道。如Hidemi等<sup>[8]</sup>研究指出, 西兰花贮藏的适宜气调条件

收稿日期: 2012-11-18

基金项目: 山东经贸职业学院2012黄河三角洲地区第二批引进急需人才项目

作者简介: 郭衍银(1976—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为农产品贮藏与加工。E-mail: guoyy@sdut.edu.cn

在5℃时是0.5% O<sub>2</sub>+10% CO<sub>2</sub>(保鲜期28d), 10℃时为1% O<sub>2</sub>+10% CO<sub>2</sub>(保鲜期14d); Paradis等<sup>[9]</sup>也指出, 4℃条件下, 2% O<sub>2</sub>+6% CO<sub>2</sub>能保存西兰花35d。

但是, 目前的气调保鲜大部分是采用适当的低O<sub>2</sub>、高CO<sub>2</sub>方式进行, 虽能在一定程度上降低果蔬的呼吸速率和乙烯释放量、提高果蔬贮藏品质, 但贮藏果蔬容易出现CO<sub>2</sub>伤害、异味等现象<sup>[10-11]</sup>。有研究指出, 气调过程中O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>比例具有明显的交互作用<sup>[12-13]</sup>。能否在提高CO<sub>2</sub>含量的同时, 增加O<sub>2</sub>含量, 既利用CO<sub>2</sub>对果蔬生理生化活动的抑制作用又避免产生CO<sub>2</sub>伤害, 从而达到果蔬保鲜的目的, 目前尚未见相关研究报道。

为此, 本实验采用O<sub>2</sub>联合CO<sub>2</sub>气调处理, 通过测定西兰花活性氧代谢及贮藏品质等指标, 探讨西兰花的高O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>气调保鲜理论, 也为下一步的西兰花高O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>气调保鲜提供研究依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

西兰花采自山东省寿光市高科技蔬菜示范园, 品种为‘优秀’。于2012年3月2日上午8~9点进行采收, 采收时选取花球直径13~15cm、花球紧实、各小花蕾尚未松开的鲜绿色花球, 且保留花球下部花茎5~8cm。采摘后立即运回山东理工大学农业工程与食品科学学院农产品贮藏实验室冷库内, 4℃条件预冷5h后, 选取形态一致、无病虫害、无机械损伤的西兰花, 进行气调处理。

盐酸羟胺、氯化三苯基四氮唑、愈创木酚、2,6-二氯酚、丙酮、磷酸氢二钠 北京化学试剂厂; 核黄素、过氧化氢、EDTA-Na<sub>2</sub>、对氨基苯磺酸、Triton-X100、聚乙烯吡咯烷酮 天津化学试剂厂; 氮蓝四唑、 $\alpha$ -萘胺、二氯化钛 美国Aldrich公司; 所有试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

GL-20G-2型高速冷冻离心机 上海安亭仪器制造厂; UV-1750紫外-可见分光光度计 日本岛津公司; GXZ-260B型光照培养箱 宁波江南仪器厂; AL-1D4型分析天平 梅特勒-托利多(中国)仪器有限公司; XMTD-4000型电热恒温水浴锅 北京市永光明医疗仪器厂; MR-07825-00型O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>测定仪 美国FBI-Dansensor公司; Varian CP-3800型气相色谱 美国安捷伦科技公司。

### 1.3 方 法

#### 1.3.1 样品处理

将预冷后的西兰花分成6个处理, 每处理50个, 然后分别将每处理的西兰花放到2个0.5m<sup>3</sup>的气调箱内, 即每

个气调箱放置25个西兰花。西兰花放入气调箱后, 将气调箱放入(15±0.5)℃冷库内进行贮藏。贮藏期间, 6个处理分别通入100% O<sub>2</sub>、80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>、60% O<sub>2</sub>+40% CO<sub>2</sub>、40% O<sub>2</sub>+60% CO<sub>2</sub>、20% O<sub>2</sub>+80% CO<sub>2</sub>的组合气体, 用自然空气为对照(CK), 通气速率0.05m<sup>3</sup>/min。通入的气体定期用O<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>测定仪进行校正。在放入西兰花之前, 气调箱下部定期注入自来水, 以保证整个气调过程中90%以上的湿度。每隔2d取样进行相关指标的测定, 取样时, 从每个处理的每个气调箱内随机取出2个西兰花, 即每处理取4个西兰花。取出的西兰花先进行呼吸强度、乙烯释放量的测定, 然后再进行其他指标的测定。西兰花保鲜期判断标准为: 当西兰花30%出现黄化或腐烂或异味时, 即终止贮藏<sup>[3,6]</sup>。

### 1.3.2 指标测定

超氧化物歧化酶(SOD)活性和叶绿素含量参照邹琦<sup>[14]</sup>介绍的方法, 过氧化物酶(POD)活性和丙二醛(MDA)含量参照李合生<sup>[15]</sup>方法测定, 超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>·)和过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)含量采用文献[16]方法测定, VC含量采用2,4-二硝基苯肼比色法<sup>[17]</sup>进行测定。各指标测定时, 分别将每处理的4个西兰花花球剪碎混合后测定, 每个指标3次重复。

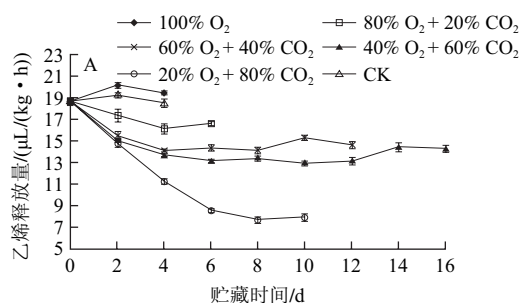
乙烯释放量和呼吸强度采用气相色谱法测定, 具体测定如下: 每处理取4个西兰花花球, 在15℃条件下的空气中放置20~30min以利于处理气体的挥发, 然后分别将单个花球放入1.8L的塑料桶内封口, 在15℃条件下放置40~60min后进行CO<sub>2</sub>和乙烯含量的测定; 测定时, 柱温、热导检测器TCD和氢火焰检测器FID分别设置为50、100、150℃; 每个处理重复4次。

### 1.4 数据分析所得数据

使用SPSS 13.0软件进行LSD显著性分析,  $P \leq 0.05$ 为显著水平, 并用Excel作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 O<sub>2</sub>联合CO<sub>2</sub>气调对西兰花乙烯释放量和呼吸强度的影响



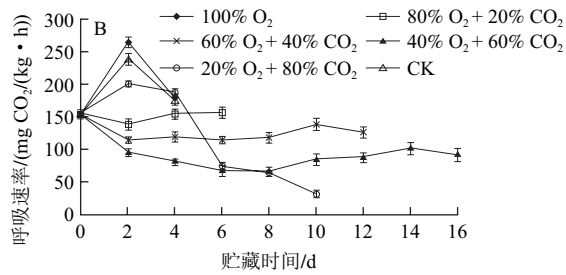


图1 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花乙烯释放量(A)和呼吸速率(B)的影响  
Fig.1 Effects of high  $O_2/CO_2$ -controlled atmospheres on ethylene production (A) and respiration rate (B) of broccoli

由图1A可以看出, CK和100%  $O_2$ 处理的乙烯释放在2d内达到最高值, 分别为19.2、20.1 $\mu L/(kg \cdot h)$ , 之后稍有下降, 但100%  $O_2$ 处理的乙烯释放量明显高于CK。所有 $O_2$ 和 $CO_2$ 的气调组合均不同程度的抑制了西兰花的乙烯释放量, 其中, 20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理抑制最为强烈, 然后依次为40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 、60%  $O_2$ +40%  $CO_2$ 、80% $O_2$ +20%  $CO_2$ , 如在贮藏的前6d中, 这4个处理的平均乙烯释放量分别为13.30、15.13、15.65、17.18 $\mu L/(kg \cdot h)$ 。同时可以看出, 20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理与CK(20%  $O_2$ +80%  $N_2$ )相比, 前者的乙烯释放量明显低于后者, 表明提高 $CO_2$ 具有抑制乙烯释放的作用。

由图1B可知, 各处理对西兰花呼吸速率的影响趋势与乙烯释放量大体相似, 只是20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理变化不同, 其在贮藏第2天达到最高值201.44 $mg CO_2/(kg \cdot h)$ , 之后直线下降到第10天的32.21 $mg CO_2/(kg \cdot h)$ , 为各处理的最低值。总的来说, 40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理的呼吸速率则在整个贮藏期间均保持相对较低而平稳的态势, 且在贮藏后期还稍有上升趋势, 表明具有良好的生理机能。其他 $O_2$ 和 $CO_2$ 的组合处理均随着 $O_2$ 质量分数的升高, 抑制呼吸速率的程度减弱。

高 $O_2$ 对果蔬呼吸速率和乙烯释放量存在降低、促进或不产生影响, 依果实种类、成熟期、温度、 $O_2$ 和 $CO_2$ 含量而定<sup>[13]</sup>。本实验中, 100%  $O_2$ 显著刺激了西兰花呼吸速率和乙烯释放量的升高, 高 $O_2$ 的这种促进作用同样在甜椒<sup>[18]</sup>和马铃薯<sup>[19]</sup>上也有体现, 表明西兰花不适于高氧贮藏。Yasutaka等<sup>[20]</sup>研究指出, 20%  $O_2$ +60%  $CO_2$ +20%  $N_2$ 处理24h可显著降低桃、西红柿和西兰花的呼吸速率和乙烯释放量, 但贮藏5~8d会出现不良反应; 同样, 在5℃条件下, 利用60%  $CO_2$ +40%  $N_2$ 处理西兰花6d就出现了 $CO_2$ 伤害<sup>[21]</sup>。表明过高的 $O_2$ 或过高的 $CO_2$ 均不利于西兰花贮藏。

需要指出的是, 很多处理在贮藏后期缺乏数据, CK、100%  $O_2$ 、80%  $O_2$ +20%  $CO_2$ 处理只到4、4、6d, 而40% $O_2$ +60%  $CO_2$ 、60%  $O_2$ +40%  $CO_2$ 、20% $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理分别为16、12、10d, 主要到该时间之后西兰花已到保鲜期, 不宜再贮藏之故。前3个处理主要变现为西兰花的黄化, 后3个处理主要表现为西兰花的异味和腐烂。

## 2.2 $O_2$ 联合 $CO_2$ 气调对西兰花 $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 含量的影响

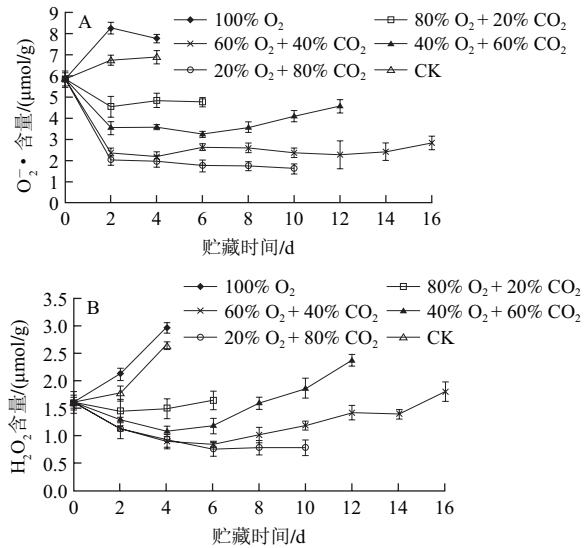


图2 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花 $O_2^- \cdot$  (A)和 $H_2O_2$  (B)含量的影响  
Fig.2 Effects of high  $O_2/CO_2$ -controlled atmospheres on the contents of  $O_2^- \cdot$  (A) and  $H_2O_2$  (B) in broccoli

由图2可知, 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花 $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 含量的影响基本相同, 均是随着 $CO_2$ 含量的升高其含量呈下降趋势。100%  $O_2$ 处理表现为最高, 其次为CK, 而20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理最低。同时可以看出, 除20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理的 $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 含量持续降低外, 其他高 $CO_2$ 处理在贮藏后期有一个上升现象, 如40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理的 $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 含量10~16d期间分别上升了24.62%和52.54%, 表明40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理的西兰花即使在贮藏后期也呈现出旺盛的生理生化活动。

## 2.3 $O_2$ 联合 $CO_2$ 气调对西兰花SOD和POD活性的影响

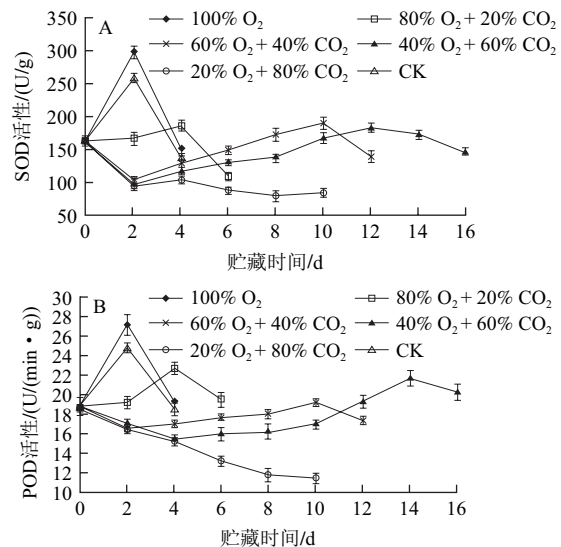


图3 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花SOD(A)和POD(B)活性的影响  
Fig.3 Effects of high  $O_2/CO_2$ -controlled atmospheres on the activities of SOD (A) and POD (B) in broccoli

SOD和POD是消除植物体内活性氧的关键酶类, SOD可催化 $O_2^- \cdot$ 转化为 $H_2O_2$ , 产生的 $H_2O_2$ 可由POD催化生成 $O_2$ 和 $H_2O$ <sup>[15]</sup>。由图3可知, 100%  $O_2$ 处理明显促进了西兰花SOD和POD活性, 其活性在第2天分别为298.67U/g和27.14U/(min·g), 分别比CK高14.87%和9.38%。随着 $CO_2$ 质量分数的增高, 西兰花SOD、POD含量呈现下降趋势, 表现出强烈的抑制现象, 以20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理下降最为剧烈, 在贮藏的10d内, 分别下降了48.17%和38.11%。40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 和60%  $O_2$ +40%  $CO_2$ 处理在贮藏前期(0~4d)对SOD、POD活性表现出抑制作用, 但贮藏中后期SOD(4~10d)、POD活性(8~14d)却稍有上升, 表现出一定的环境适应性。

## 2.4 $O_2$ 联合 $CO_2$ 气调对西兰花MDA含量的影响

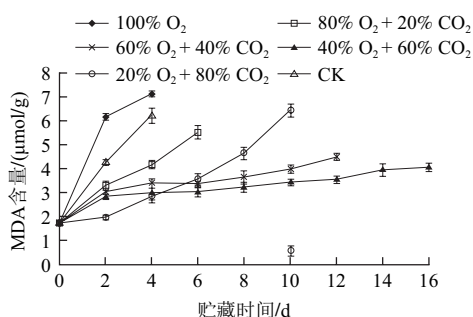


图4 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花MDA含量的影响

Fig.4 Effects of high  $O_2/CO_2$  controlled atmospheres on MDA content in broccoli

由图4可知, 各处理西兰花的MDA含量均呈上升趋势, 其中100%  $O_2$ 处理上升最快, 其次为CK和80%  $O_2$ +20%  $CO_2$ 处理, 其每天上升量分别为3.76、3.07 $\mu$ mol/g和2.46 $\mu$ mol/g。60%  $O_2$ +40%  $CO_2$ 和40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理的MDA含量则呈现缓慢上升趋势, 其中以40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理上升最慢, 整个贮藏期其上升含量仅为1.81 $\mu$ mol/g。虽然20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理的 $O_2^- \cdot$ 和 $H_2O_2$ 含量显著低于其他处理, 但其MDA含量却呈较快上升趋势, 上升含量达2.13 $\mu$ mol/g, 表现出较强的脂质过氧化作用。

## 2.5 $O_2$ 联合 $CO_2$ 气调对西兰花叶绿素和VC含量的影响

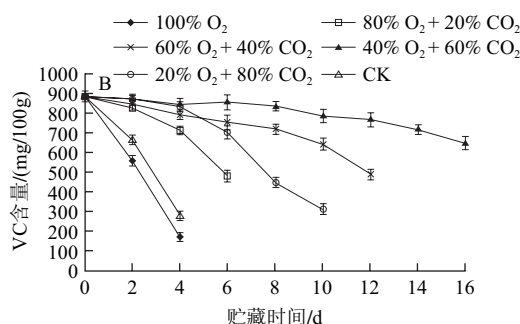
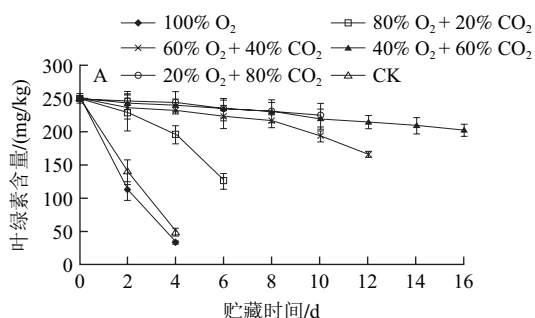


图5 高 $O_2/CO_2$ 气调对西兰花叶绿素(A)和VC(B)含量的影响

Fig.5 Effects of high  $O_2/CO_2$  controlled atmospheres on the contents of chlorophyll (A) and VC (B) in broccoli

由图5A可知, 随着贮藏时间的延长, 各处理叶绿素含量均呈现下降趋势。同时表明, 高 $CO_2$ 具有显著抑制叶绿素含量下降的作用。比如, 100%  $O_2$ 和CK下降最快, 4d内分别下降了86.76%和80.67%; 而80%  $O_2$ +20%  $CO_2$ 处理6d内下降了50.01%; 其余3个高 $CO_2$ 处理则下降趋势较缓, 以20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理下降最慢, 整个贮藏期间仅下降了9.82%。

由图5B可知, 与叶绿素含量变化趋势相似, 各处理西兰花VC含量也呈下降趋势, 其中以100%  $O_2$ 下降最快, CK和80%  $O_2$ +20%  $CO_2$ 处理次之。与叶绿素变化不同的是, 20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理的VC含量在贮藏前4d基本未下降, 之后却迅速下降, 在4~10d下降了64.59%。40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理的VC含量下降最慢, 整个贮藏期间(16d)仅下降了26.68%。

## 3 结论

结果表明, 15℃贮藏条件下, 40%  $O_2$ +60%  $CO_2$ 处理表现出最好的保鲜效果, 该处理显著降低呼吸速率和乙烯释放量, 减少 $H_2O_2$ 和 $O_2^- \cdot$ 产生, 抑制了MDA的生成, 并较好的维持了叶绿素和VC含量, 延长西兰花保鲜期达16d; 100%  $O_2$ 处理显著提高西兰花呼吸速率和乙烯释放量, 促进了 $H_2O_2$ 和 $O_2^- \cdot$ 产生和MDA的积累, 加速了叶绿素和VC含量的降低, 表明西兰花不适于高氧保鲜; 20%  $O_2$ +80%  $CO_2$ 处理虽然显著降低了西兰花的呼吸速率和乙烯释放量, 并减少了 $H_2O_2$ 和 $O_2^- \cdot$ 产生, 但容易导致VC的迅速丧失并产生异味, 这与 $CO_2$ 比例过高有关。

## 参考文献:

- [1] 郭衍银, 张楠, 朱艳红, 等. 赤霉素处理对青花菜花球矿物质元素含量及保鲜效果的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1): 274-278.
- [2] 张怡, 关文强, 张娜, 等. 温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响[J]. 食品研究与开发, 2011, 32(8): 156-161.
- [3] FEMANDEZ-LEON M F, FERNANDEZ-LEON A M, LOZANO M, et al. Different postharvest strategies to preserve broccoli quality

- during storage and shelf life: controlled atmosphere and 1-MCP[J]. Food Chemistry, 2013, 138(1): 564-573.
- [4] 郭衍银, 姜颜, 彭楠, 等. 1-甲基环丙烯和壳聚糖对鲜切西兰花活性氧代谢及保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 270-274.
- [5] JONES R B, FARAHGER J D, WINKLER S. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads[J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41(1): 1-8.
- [6] 薛伟, 王悦. 气调保鲜包装对松茸生理特性的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 327-330.
- [7] 刘颖, 邬志敏, 刘云飞, 等. 果蔬气调贮藏国内外研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4): 94-97.
- [8] HIDEKI I, ALLEY E W, WILLARD D. Optimum O<sub>2</sub> or CO<sub>2</sub> atmospheres for storing broccoli florets at various temperatures[J]. Journal of America Society of Horticulture Science, 1996, 121(1): 127-131.
- [9] PARADIS C, CASTAIGNE F, DESROSIERS T, et al. Sensory, nutrient and chlorophyll changes in broccoli florets during controlled atmosphere storage[J]. Journal of Food Quality, 1996, 19(4): 303-316.
- [10] MONTESINOS-HERRERO C, RIO M A, ROJAS-ARGUDO C, et al. Short exposure to high CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> at curing temperature to control postharvest diseases of citrus fruit[J]. Plant Disease, 2012, 96(3): 423-430.
- [11] OEHME V, HOGY P, CLAUS P W, et al. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations on phloem sap composition of spring crops and aphid performance[J]. Journal of Plant Interactions, 2013, 8(1): 74-84.
- [12] THOMPSON A K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables[M]. Wallingford: CABI Head Office, 2010.
- [13] 刘战丽, 王相友, 朱继英, 等. 高氧气调对果蔬采后生理和品质影响研究进展[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 112-118.
- [14] 邹琦. 植物生理生化试验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 36-39; 97-99.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 164-165; 260-260.
- [16] 中国科学院上海植物生理研究所, 上海市植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 308-309.
- [17] 金邦荃. 营养学实验与指导[M]. 南京: 东南大学出版社, 2006: 9-11.
- [18] ANDRES C, BERT E V, FRANCISCO A H, et al. Respiration rates of fresh-cut bell peppers under superatmospheric and low oxygen with or without carbon dioxide[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 45(1): 81-88.
- [19] XINGGUO S, YUEMING J, XUEWU D, et al. Effects of pure oxygen on the rate of skin browning and energy status in Longan fruit[J]. Food Technology and Biotechnology, 2005, 43(4): 359-365.
- [20] YASUTAKA K, AKITSUGU I, REINOSUKE N. Respiration and C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> production in various harvested crops held in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres[J]. Journal of American Society for Horticultural Science, 1990, 115(6): 975-978.
- [21] WANG C Y. Effect of short-term high CO<sub>2</sub> treatment on the market quality of stored broccoli[J]. Journal of Food Science, 1979, 44(5): 1478-1482.