

# 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋 采后衰老的影响

涂宝军

(徐州工程学院食品工程学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:**以空气为对照,研究不同体积分数的高氧和高二氧化碳(20%)气调处理对绿芦笋嫩茎在 $(4 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ 贮藏期间感官品质、可溶性固形物含量、SOD、CAT、PPO活性和总酚含量的影响。结果表明:60%以上高氧结合20%高二氧化碳处理可延缓贮藏过程中感官品质和可溶性固形物含量的下降,抑制PPO活性上升,保持了SOD、CAT的活性,抑制总酚含量的下降,而尤以80%高氧加20%高二氧化碳处理效果最好。因此,该条件在延缓绿芦笋采后贮藏衰老方面具有潜在的应用前景。

**关键词:**绿芦笋;高氧处理;高二氧化碳;气调包装;衰老

## Effect of High Oxygen and High Carbon Dioxide Atmosphere Treatment on Senescence of Postharvest Green Asparagus

TU Bao-jun

(College of Food Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The effect of modified atmosphere package (MAP) with high oxygen at different concentrations and high carbon dioxide (20%) on the sensory quality, lignin content, the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and polyphenol oxidase (PPO) and total phenol content of green asparagus spears during storage at  $(4 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  were studied using ambient atmosphere as a control. Results indicated that package with oxygen at concentrations of over 60% and 20% carbon dioxide could delay the deterioration of sensory quality, the decline of total soluble solid and total polyphenol content, keep the activities of SOD and CAT and inhibit the increase of PPO activity. The green asparagus packaged in 80%  $\text{O}_2 + 20\% \text{CO}_2$  showed the best storage quality. As a conclusion, the atmospheric condition will have potential application prospects in delaying the postharvest senescence of green asparagus.

**Key words:** green asparagus; high oxygen treatment; high carbon dioxide; modified atmosphere package (MAP); senescence  
中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1002-6630(2011)02-0305-05

芦笋(*Asparagus officinalis* L.)又名石刁柏,是一种雌雄异株的多年生宿根草本植物,有绿芦笋和白芦笋之分,对刚出土的嫩茎不进行培土,经阳光照射产生叶绿素而变成绿色的即为绿芦笋。芦笋贮藏期较短,是典型的不耐藏蔬菜<sup>[1]</sup>,采后受温度影响较大,在常温下不易贮藏<sup>[2-3]</sup>,在 $20^{\circ}\text{C}$ 条件下只能贮藏1d<sup>[4]</sup>。

芦笋采后由于纤维素含量和组织内自由基的增加,细胞发生膜脂过氧化,木质化进程加快,导致衰老,商品率和食用性迅速下降。国内外抑制芦笋衰老的方法,主要集中在冷藏、气调保鲜、化学试剂处理等几个方面。高氧结合高二氧化碳处理已在果蔬贮藏中发挥了重要作用<sup>[5]</sup>,用于对多种果蔬采后成熟、衰老指标影响的

研究,但有关高氧对绿芦笋采后衰老影响的研究却未见报道。本实验以高氧和高二氧化碳气调包装绿芦笋,测定其对绿芦笋贮藏期间衰老的影响并初步探讨影响机制,以期能有效延缓绿芦笋的采后衰老进程,延长其贮藏保鲜期,为高氧在果蔬采后贮运中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

供试绿芦笋采自江苏省铜山县三堡镇,并于当天运回实验室。选择无虫害、无机械损伤、同一批次且成熟度一致,去根后长度为15~20cm、直径1~1.5cm的

收稿日期: 2010-03-12

基金项目: 徐州工程学院科研基金项目(XKY2008229)

作者简介: 涂宝军(1981—),男,讲师,硕士,研究方向为农产品加工与贮藏。E-mail: bjtu@xzit.edu.cn

嫩茎, 预冷至 5℃, 擦去表面浮灰及明显污物, 去根部, 称量, 放置于气调包装盒中。每盒 3~4 根, 75g 左右。

磷酸、30% 双氧水、聚乙烯吡咯烷酮、甲硫氨酸(Met)、氮蓝四唑(NBT)、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na<sub>2</sub>)、三氯乙酸、Folin 试剂、焦性没食子酸(均为分析纯)。

## 1.2 仪器与设备

MAP-380 气调包装机 张家港市德顺机械有限公司; TU-1810PC 紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司; 723C 型可见分光光度计 上海欣茂仪器有限公司; FA2104N 电子天平 上海精密科学仪器有限公司; HH-4 数字恒温水浴锅 常州国华电器有限公司; 2WAJ 阿贝折射仪 上海光学仪器五厂; FCD-185SC 卧式对折门冷藏冷冻柜 青岛海尔特种电冰柜有限公司; SQ2008 多功能食品加工机 上海帅佳电子科技有限公司; TGL-20M 高速台式冷冻离心机 长沙湘仪离心机有限公司; 干燥箱。

## 1.3 包装方式

### 1.3.1 气体组成

按表 1 的比例预混合气体进行包装, 以空气为对照(CK)。

表 1 MAP 气体组成及比例

Table 1 Gas composition of modified atmosphere packaging

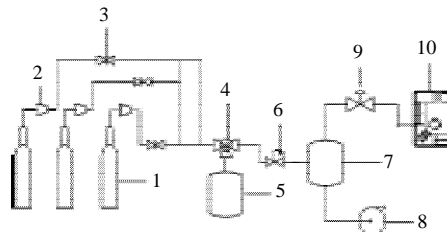
处理分组	体积分数/%		
	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
MAP <sub>1</sub>	40	20	40
MAP <sub>2</sub>	60	20	20
MAP <sub>3</sub>	80	20	0
MAP <sub>4</sub>	100	0	0

### 1.3.2 包装及贮藏

聚苯乙烯包装盒(polystyrene, PS; O<sub>2</sub> 的透性为 0.054mL/(m<sup>2</sup>·d·atm), CO<sub>2</sub> 在 3℃ 时的透性为 0.216mL/(m<sup>2</sup>·d·atm)](长 20cm, 宽 13cm, 高 2.5cm, 厚度 0.3mm), 包装膜为 35 μm 厚的聚丙烯(polypropylene, PP; O<sub>2</sub> 的透性为 0.026mL/(m<sup>2</sup>·d·atm), CO<sub>2</sub> 在 3℃ 时的透性为 0.104mL/(m<sup>2</sup>·d·atm)]。抽气时间: 1.5s; 充气时间: 1.5s; 热封时间: 1.2s。封口后的料盒, 封膜高于包装盒 2~3mm。包装后置于冷柜中, 贮藏温度为(4±1)℃, 包装盒堆叠层数小于 5 层, 与冰柜壁距

离大于 10cm, 贮藏中每天观测一次贮藏温度, 每 4d 测定一次指标。

### 1.3.3 气调包装系统示意图



1.CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 钢瓶; 2.减压阀; 3.电磁阀; 4.三通阀; 5.调节罐; 6.充气阀; 7.气体混合罐; 8.真空泵; 9.充气阀; 10.包装工作台。

图 1 气调包装系统

Fig.1 Schematic diagram of modified atmosphere packaging system

## 1.4 测定项目

### 1.4.1 感官评定

参照 Li 等<sup>[6]</sup>的 10 分制评定方法并稍做修改, 评分标准见表 2。分别于贮藏的第 8、16、24、32 天对绿芦笋的外观质量、萎蔫程度及风味等指标, 分 4 级标准打分, 各级分值分别为 2.0、1.5、1.0、0, 最后汇总分值, 10 分为产品极好, 整株鲜绿, 头部鳞片紧包茎身直立, 无失水、老化及腐烂现象, 有产品特有的清香味; 7 分以上产品尚好, 新鲜稍有缺陷; 5 分为差, 颜色发黄, 茎身较软, 外表出现皱褶, 头部开伞, 有轻度异味, 失去商品价值; 3 分以下极差, 不可食用。

### 1.4.2 其他指标

可溶性固形物含量: 采用阿贝折光仪法<sup>[7]</sup>进行测定; SOD 活性: 参考邹琦<sup>[8]</sup>和 Giannopolitis 等<sup>[9]</sup>的方法并稍做修改; CAT 活性: 参照李仕飞等<sup>[10]</sup>的方法并稍作修改; PPO 活性: 参照朱广廉等<sup>[11]</sup>的方法并稍作修改; 总酚含量: 参照刘尊英等<sup>[12]</sup>和 Singleton 等<sup>[13]</sup>的方法并稍作修改。

## 2 结果与分析

### 2.1 高氧和高二氧化碳处理对感官品质的影响

绿芦笋贮藏过程中色、香、味及其鲜嫩程度是衡量其保鲜效果的重要因素。高氧处理对绿芦笋贮藏过程

表 2 各项指标评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for green asparagus

等级	指标			总分值
	外观质量	萎蔫程度	风味	
1	整株鲜绿、头部紧包、茎直立	非常饱满, 无失水、无腐烂	有产品特有的清香味	10
2	头部深绿、茎部浅绿, 约质量分数 5% 散头或茎部弯曲	较饱满, 茎部轻度失水, 头部约质量分数 5% 水渍状	口味淡而无异味	7
3	整株浅绿, 约质量分数 10% 散头或茎弯曲	质地软, 整株轻度失水或茎部老化达 3.5cm, 头部约质量分数 10% 水渍状或生霉	轻度异味	5
4	整株黄绿, 质量分数 15% 以上散头或茎弯曲	质地极软, 整株萎蔫、茎部老化 > 5.0cm, 约质量分数 15% 茎部或头部水渍状或生霉	有异味	3

中感官质量的影响见表3。贮藏至16d时, CK、MAP<sub>1</sub>处理茎部略有弯曲, 头部鳞片部分开伞, 表皮发生轻微皱纹, 切口处产生褐色, 略有异味; 而60%以上高氧处理组要好于对照。贮藏至24d时, 各处理感官品质下降很快, 但高氧处理组整体仍好于对照。在整个贮藏过程中, 对照组芦笋感官品质下降迅速, 到第32天时已完全失去商品价值, 结果表明, 80% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub>和100% O<sub>2</sub>处理可在长时间内保持绿芦笋的感官品质, 60% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 20% N<sub>2</sub>其他两种气体的比例写出处理对绿芦笋的感官品质稍好于对照, 而40% O<sub>2</sub> + 20% CO<sub>2</sub> + 40% N<sub>2</sub>其他两种气体的比例写出处理对其影响不大。

表3 绿芦笋感官评价结果(总分10分)

Table 3 Sensory evaluation scores of green asparagus after storage under different conditions (total score 10)

处理	贮藏时间/d			
	8	16	24	32
CK	9.0	7.0	6.0	3.5
MAP <sub>1</sub>	9.5	7.5	6.5	5.0
MAP <sub>2</sub>	9.5	8.0	6.0	6.0
MAP <sub>3</sub>	10	9.0	7.5	7.0
MAP <sub>4</sub>	10	8.5	7.5	6.5

## 2.2 高氧和高二氧化碳处理对可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物含量是决定绿芦笋衰老程度的重要因素。可溶性固形物含量高, 可提高细胞渗透压, 防止水分渗透到细胞壁以外, 因而保水能力强, 这对防止果蔬采后水分损失有重要意义。不同气体组成条件下可溶性固形物含量的变化见图2。绿芦笋嫩茎在贮藏前期(前8~12d)可溶性固形物含量略有上升, 但MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>处理组达到最大值的时间较CK、MAP<sub>1</sub>组略晚, 随后各处理整体都呈下降趋势, 其中CK和MAP<sub>1</sub>处理组下降速度最快, MAP<sub>2</sub>、MAP<sub>3</sub>次之, MAP<sub>4</sub>最慢。可见, 60%以上高氧能显著抑制绿芦笋贮藏期间可溶性固形物含量的下降( $P < 0.05$ ), 而40% O<sub>2</sub>对绿芦笋可溶性固形物含量的影响不明显。

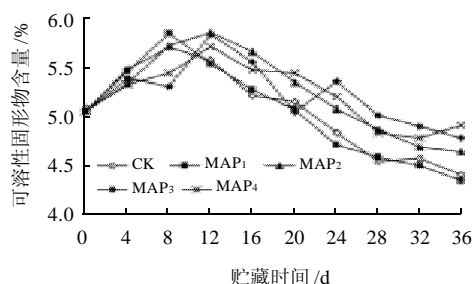


图2 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋可溶性固形物含量的影响  
Fig.2 Effect of high concentration O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> treatment on total soluble solid content in asparagus

## 2.3 高氧和高二氧化碳处理对SOD活性的影响

SOD是植物体内活性氧清除酶系统的重要保护酶, 其活性下降是生物体衰老的标志之一。随着膜透性和脂质过氧化产物MDA的增加, SOD活性下降。

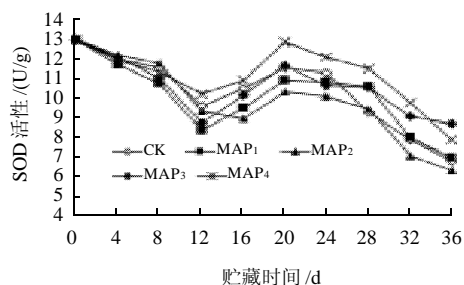


图3 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋SOD活性的影响  
Fig.3 Effect of high concentration O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> treatment on SOD activity in asparagus

图3显示的是高氧与对照贮藏的绿芦笋SOD活性随贮藏时间的变化, 随着贮藏时间的延长, SOD活性整体呈下降趋势。在贮藏前期, 各处理组绿芦笋的SOD活性均下降且相互间差异不显著; 第12天, MAP<sub>1</sub>、MAP<sub>2</sub>、MAP<sub>3</sub>处理组SOD活性均低于CK, 而MAP<sub>4</sub>处理组活性高于对照; 之后, MAP<sub>1</sub>、MAP<sub>3</sub>和MAP<sub>4</sub>处理组SOD活性呈上升趋势, 而MAP<sub>2</sub>处理组仍呈下降趋势; 16d之后, MAP<sub>2</sub>处理组SOD活性呈上升趋势; 各组SOD活性在贮藏至20d时达到最大值, 随后呈下降趋势。MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>处理组SOD活性均显著高于CK ( $P < 0.05$ )。可见, 80%~100%高氧处理可有效延缓绿芦笋SOD活性下降, 从而抑制O<sub>2</sub><sup>-</sup>的大量积累, 保护机体细胞, 延缓衰老。

## 2.4 高氧和高二氧化碳处理对CAT活性的影响

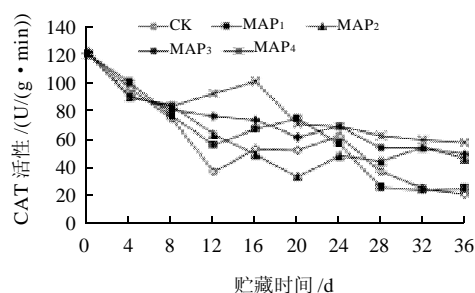


图4 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋中过氧化氢酶活性的影响  
Fig.4 Effect of high concentration O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> treatment on CAT activity in asparagus

CAT能有效延缓植物体内过氧化氢对细胞的氧化作用, 是保护自身免受活性氧自由基毒害的重要酶类。由图4可知, 在贮藏前期(前8d), 高氧气调包装处理组CAT

活性与对照组差异不显著( $P > 0.05$ ); 第8~12天, MAP<sub>4</sub>处理组CAT活性呈上升趋势, 而其他各组仍继续下降, 且高氧气调包装处理组CAT活性高于对照; 12d之后, MAP<sub>1</sub>处理组CAT活性逐渐上升, 而MAP<sub>2</sub>、MAP<sub>3</sub>处理组仍继续下降; 第16天, MAP<sub>4</sub>处理组出现峰值, 且MAP<sub>1</sub>、MAP<sub>3</sub>和MAP<sub>4</sub>处理组CAT活性高于CK, 而MAP<sub>2</sub>处理组低于对照; 之后, 各处理组均呈下降趋势。在整个贮藏期间, MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>处理组CAT活性均显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 可见, 80%以上高氧处理能使绿芦笋在其贮藏期保持较高的CAT活性。

## 2.5 高氧和高二氧化碳处理对PPO活性的影响

PPO在果蔬贮藏或加工过程中, 会催化引起果蔬变色的反应, 被认为是对绿芦笋采后衰老和木质化关系较大的酶类<sup>[14]</sup>。如图5所示, 鲜切绿芦笋贮藏期间PPO活性整体呈“先升后降”的趋势。在贮藏前4d, PPO活性略有下降, 这可能是由于贮藏初期预冷的原因, 说明温度是影响PPO活性的重要因素之一。贮藏至第12天, 各组PPO活性逐渐上升, 各体积分数高氧处理对PPO活性的影响不显著。各组分别于16~24d达PPO活性最大值, 且60%以上高氧处理达最大值时间较晚。达到峰值后逐渐下降, 贮藏后期(12d后)MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>高氧处理组PPO活性一直显著低于对照( $P < 0.01$ ), MAP<sub>2</sub>处理组显著低于对照( $P < 0.05$ )。可知, 60%~100% O<sub>2</sub>处理可有效抑制PPO酶活性的上升。

## 2.6 高氧和高二氧化碳处理对总酚含量的影响

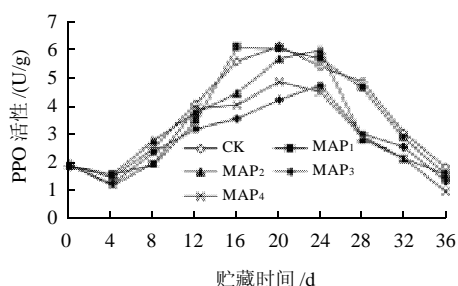


图5 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋PPO活性的影响

Fig.5 Effect of high concentration O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> treatment on PPO activity in asparagus

酚类物质在具有较强的抗氧化能力的同时, 也是合成木质素的前体。高氧处理对绿芦笋采后总酚含量的影响见图6。在贮藏期间, 总酚含量整体呈“先升后降”的变化趋势, 在贮藏初期(前8d), MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>处理组总酚含量高于对照, 但8~12d达到峰值后, 各处理组总酚含量逐渐下降, MAP<sub>3</sub>、MAP<sub>4</sub>处理下降幅度相对较大, 而MAP<sub>2</sub>处理组总酚含量最高。数据分析结果显示, 在整个贮藏过程中, 60% O<sub>2</sub>处理能显著抑制总酚含量的下降( $P < 0.05$ ), MAP<sub>1</sub>、MAP<sub>3</sub>及MAP<sub>4</sub>处理

组对总酚含量无显著影响。

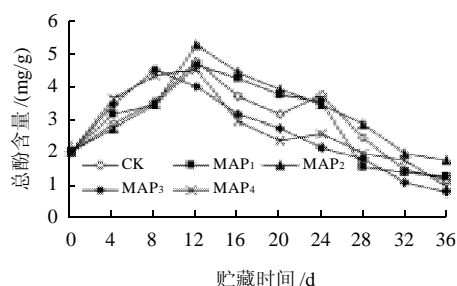


图6 高氧和高二氧化碳处理对绿芦笋总酚含量的影响

Fig.6 Effect of high concentration O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> treatment on total phenol content in asparagus

## 3 讨论与结论

3.1 果蔬的衰老与呼吸作用紧密相关, 果蔬采后正常的呼吸作用是一个需氧过程, 因此高氧和高二氧化碳包装有可能增强果蔬的呼吸速率, 促进果蔬的衰老。但有研究表明, 当O<sub>2</sub>体积分数高于某一临界水平时, 高氧反而起抑制作用。在(4 ± 1)℃贮藏条件下, 80%以上高氧处理可在长时间内保持绿芦笋的感官品质。这与高氧气调能提高鲜切土豆和鲜切梨的贮藏后的感官品质的研究结论基本相似<sup>[15]</sup>。本实验测得绿芦笋贮藏期间可溶性固形物“先升后降”的变化规律, 与Li等<sup>[6]</sup>采用三阶段真空减压法保鲜绿芦笋的报道基本相符, 而高氧包装能延缓绿芦笋贮藏过程中可溶性固形物的下降, 这一结论与吴颖等<sup>[16]</sup>在巨峰葡萄高氧处理上的检测结果基本一致; 但郑永华等<sup>[17]</sup>研究认为, 纯氧处理可防止冷藏枇杷中可溶性固形物的下降, 但不影响冷藏草莓中可溶性固形物的下降, 而绿芦笋中可溶性固形物含量在贮藏一段时间后开始下降, 则可能是由于绿芦笋中营养成分在贮藏过程中逐渐被分解消耗造成的。高氧贮藏绿芦笋的SOD活性比对照高, 活性下降时间延迟, 速度慢, 表明高氧贮藏方式下, 绿芦笋的抗氧化能力和忍受不良环境的能力比对照强、衰老速度更缓慢, 这一结果与陈学红等<sup>[18]</sup>在高氧处理草莓上的研究结论基本相似。80%以上的高O<sub>2</sub>处理绿芦笋能使其在贮藏期保持较高的CAT活性, Duan等<sup>[19]</sup>研究表明, 纯氧诱导了荔枝果皮组织CAT活性, 而刘海<sup>[20]</sup>认为, 高氧处理加速了香蕉采后的果肉细胞膜脂的过氧化, 这可能是由于原料种类和试验选取的原料部位差异所致。Nourian等<sup>[21]</sup>研究表明, 呼吸作用的快速上升与可溶性固形物的快速下降存在明显的对应关系, 呼吸作用是导致可溶性固形物下降的主要因素, 本实验中可溶性固形物的“先升后降”

是否与呼吸作用存在对应关系,有待进一步研究。许多研究都认为,在抗氧化系统中,CAT与SOD是协同作用的,结合图3、4分析也发现,SOD与CAT的活性变化在一定程度上具有一致性,初步证实了他们的协同性。Heimdal等<sup>[22]</sup>报道,80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub> MAP显著抑制5℃条件下贮藏10d的鲜切莴苣中PPO活性,Day等<sup>[23]</sup>在研究高氧对果蔬褐变的抑制作用时推测,高氧对果蔬PPO具有抑制作用,本实验结论与Heimdal的报道和Day的推测基本一致。本实验中,60%高O<sub>2</sub>处理能显著抑制总酚含量的下降,这一结论与Zheng等<sup>[24]</sup>用高氧处理越桔的结论有相似之处;而80%~100% O<sub>2</sub>处理对总酚含量无显著影响,这与杨震峰<sup>[25]</sup>用高氧处理杨梅的结论不完全相同,他认为80%~100% O<sub>2</sub>处理显著提高总酚含量,这可能是由于原料品种不同所致。

3.2 综上所述,在(4±1)℃贮藏条件下,不同体积分数高氧结合高二氧化碳处理对绿芦笋采后衰老具有不同的影响。60%以上高氧结合20%的高二氧化碳处理可延缓贮藏过程中绿芦笋感官品质和可溶性固形物含量的下降,抑制PPO活性上升,保持了活性氧清除酶SOD、CAT的活性,抑制贮藏过程中总酚含量的下降。结果明确了高氧处理可在一定程度上抑制绿芦笋贮藏过程中的衰老变化,而尤以80% O<sub>2</sub>+20% CO<sub>2</sub>的处理效果最好。因此,80%以上O<sub>2</sub>处理在延缓绿芦笋采后贮藏衰老方面具有潜在的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] RYALL A L, LIPTON W J. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables. V.1: vegetables and melons[M]. Conn: AVI, 1979: 1110-1121.
- [2] GARIÉPY Y, RAGHAVAN G S V. Precooling and modified atmosphere storage of green asparagus[J]. Food Proc Preserv, 1991, 15: 215-224.
- [3] 陈益忠. 芦笋芦荖高产栽培与加工[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [4] 金同铭. CA贮藏对新鲜石刁柏的影响[J]. 华北农学报, 1992, 7(3): 117-122.
- [5] KADER A A, BEN Y S. Effects of super atmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20: 1-13.
- [6] LI Wenxiang, ZHANG Min, YU Hanqing. Study on hypobaric storage of green asparagus[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 73: 225-230.
- [7] 杨增军, 张华云. 果蔬贮藏学实验指导[M]. 莱阳: 莱阳农学院, 2000: 9-46.
- [8] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [9] GINNOLITIS C N, RIES S K. Superoxide dismutases. I. Occurrence in higher plants[J]. Plant Physiol, 1977, 59: 309-314.
- [10] 李仕飞, 刘世同, 周建平, 等. 分光光度法测定植物过氧化氢酶活性的研究[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(2): 72-73.
- [11] 朱广廉, 钟海文, 张爱琴. 植物生理学实验[M]. 北京: 北京大学出版社, 1990.
- [12] 刘尊英, 姜微波. 乙醇处理对采后绿芦笋木质化的影响[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(1): 89-91.
- [13] SINGLETON V L, ORTHOFER R, LAMUELA R M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidant by means of Folin-Ciocalteu reagent[J]. Methods Enzymol, 1999, 299: 152-198.
- [14] JOHN R, RONALD D H, JOEL P, et al. NMR characterization of altered lignins extracted from tobacco plants down regulated for lignification enzyme cinnamyl alcohol dehydrogenase and cinnamoyl-CoA reductase [J]. Process Natl Academic Science USA, 1998, 95(22): 12803-12808.
- [15] 梁小玲. 高氧气调包装对鲜切果蔬品质的影响[D]. 无锡: 江南大学, 2007.
- [16] 吴颖, 邓云, 李云飞. 高氧对巨峰葡萄冷藏和货价期品质的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 184-186.
- [17] 郑永华, WANG C Y. 超大气氧与果蔬采后生理[J]. 植物生理学通讯, 2002, 38(1): 92-97.
- [18] 陈学红, 郑永华, 杨震峰, 等. 高氧处理对草莓采后腐烂和品质的影响[J]. 农业工程学报, 2004, 20(5): 200-202.
- [19] DUAN Xuewu, JIANG Yueming, SU Xinguo, et al. Effects of pure oxygen on enzymatic browning and quality of postharvest litchi fruit[J]. J Hort Sci Biotech, 2004, 79(6): 859-862.
- [20] 刘海. 高氧处理对香蕉采后呼吸代谢的影响[D]. 广州: 华南师范大学, 2003.
- [21] NOURIAN F, RAMASWAMYA H S, KUSHALAPPA A C. Kinetics of quality change associated with potatoes stored at different temperatures [J]. LWT-Food Science and Technology, 2003, 36: 49-65.
- [22] HEIMDAL H, KUHN B F, POLL L. Biochemical changes and sensory quality of shredded and MA-packaged iceberg lettuce[J]. Journal Food Science, 1995, 60: 1265-1268.
- [23] DAY B P F. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce[J]. Postharvest News Information, 1996, 7(3): 31N-34N.
- [24] ZHENG Yonghua, WANG C Y, WANG S Y, et al. Effect of high oxygen atmospheres on blueberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity[J]. J Agri Food Chem, 2003, 51(24): 7162-7169.
- [25] 杨震峰. 杨梅果实抗氧化特性及保鲜技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2007.