

文章编号:1673-1689(2008)04-0043-06

加压 CO₂/Xe/O₂ 混合气体对芦笋贮藏特性的影响

单良¹, 单美², 田瑛¹, 张慤¹, 詹仲刚¹

(1. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122; 2. 泰山学院 旅游与资源环境系, 山东 泰安 271021)

摘 要: 惰性气体产生笼形水合物的保鲜技术是一种极具开发前景的高新技术, 而气调贮藏是当今最先进的果蔬保鲜贮藏方法之一。就低氧条件下加压 CO₂/Xe/O₂ 混合气体对芦笋的保鲜效果进行研究, 优化了保鲜条件, 并进一步对其保鲜机制进行了初步探讨。

关键词: 芦笋; 笼形水合物; 气调保鲜

中图分类号: TS 205.9; TS 255.3

文献标识码: A

Effects of Pressurized CO₂/Xe/O₂ Mixture on the Storage Quality of Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Spear

SHAN Liang¹, SHAN Mei², TIAN Ying¹, ZHANG Min¹, ZHAN Zhong-gang¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Department of Tourism, Resources and Environment, Taishan College, Taian 271021, China)

Abstract: Clathrate hydrate-based preservation is an emerging high-tech that deserves profound development in storage of fresh agricultural products, and the modified air preservation is the most advanced methods for storage of fruits and vegetables. This study evaluated the preservation effects on green asparagus (*Asparagus officinalis* L.) spear of CO₂/Xe/O₂ mixture containing a low fraction of O₂, then optimized the relevant parameters furtherore, the mechanisms was elucidected.

Key words: Asparagus (*Asparagus officinalis* L.) Spear; Clathrate Hydrate; Modified Air Preservation

某些惰性气体在一定的压力条件下, 可与游离水结合而形成笼形水合物结构。通过笼形水合物技术可使果蔬组织细胞间水分参与形成结构化水, 使整个体系中的溶液黏度升高, 从而产生2个效应: 1) 酶促反应速率将会减慢, 可望实现对有机体生理活动的控制; 2) 果蔬水分蒸发过程受抑制, 这就为植物的短期保鲜贮藏提供了一种全新的原理和方法。惰性气体产生笼形水合物的保鲜技术^[1]

是一种极具开发前景的高新技术, 目前国内外在笼形水合物方面的基础研究较多, 但是关于利用该技术进行农副产品保鲜的研究报道却非常少。国外仅有少量用氙气(Xe)笼形水合物技术对园艺产品进行保鲜的报道^[2-3], 国内对 Ar/Xe 混合气体、Xe 在芦笋保鲜中的效果进行了初步探索^[4-5]。气调贮藏是当今最先进的果蔬保鲜贮藏方法之一, 其实质是在冷藏的基础上增加气体成分调节。气调贮藏

收稿日期: 2007-07-03.

基金项目: 江苏省自然科学基金项目(BK2002070); 江南大学青年科学基金项目(2004LQN011).

作者简介: 单良(1969-), 男, 山东新泰人, 工学博士, 副教授. 主要从事农产品加工与贮藏工程研究. Email: jackls-han@yahoo.com.cn

在低氧(O_2)、适当的二氧化碳(CO_2)体积分数的条件下,可以大大抑制果蔬呼吸,抑制有害菌繁殖生存,保持果蔬优良的风味和芳香气味,抑制水分蒸发,而且还可抑制酶的活性,延缓后熟和衰老过程,保持果实硬度和新鲜。惰性气体中Xe在水中的溶解性最高,最容易形成笼形水合物^[6]。研究中就低氧条件下加压 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体对易腐烂的高值蔬菜芦笋的保鲜效果进行探讨,优化了笼形水合物与气调技术联合保鲜的工艺条件,并进一步对其保鲜机制进行了初步探讨。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 实验材料 新鲜芦笋(*Asparagus officinalis* L.),购于本地超市,挑选直径大小基本一致、无弯曲、无明显损伤、无病害斑点的原料洗净沥干,整理至长度20 cm进行试验;Xe,纯度99.99%,广东省南海市华特气体有限公司提供; CO_2 、 O_2 ,纯度99%,无锡华晶微电子集团股份有限公司提供。

1.1.2 试剂 蛋白质、活性氧、总抗氧化能力、过氧化氢酶活性、超氧化物歧化酶活性测定,均采用南京建成生物工程研究所试剂盒。NaOH、质量分数5%的三氯乙酸、丙酮,均为分析纯。

1.1.3 仪器与设备 可视加压保鲜罐(允许压力:0~1.1 MPa),利用小型工业油水分离器改制;气体比例混合器及加压装置,自制;SHHW1型电热恒温水箱,上海浦东荣丰科学仪器有限公司产品;鼓风电热恒温干燥箱,浙江嘉兴新滕电器厂产品;FA1104型电子分析天平、752型紫外可见分光光度计,上海精密科学仪器有限公司产品;TDL-60B型离心机,上海安亭科学仪器厂产品;折光仪,上海申光仪器厂产品;漩涡式混匀器,上海彭氏事业有限公司产品。

1.2 工艺与方法

1.2.1 工艺流程 芦笋→原料预处理→放入可视加压保鲜罐→充入混合气体→冷藏

1.2.2 CO_2/Xe 体积分数配比和 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体压力对芦笋保鲜的影响 根据报道,选取 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体中 O_2 的体积分数为固定值5%^[7]。将新鲜芦笋置于可视加压保鲜罐中,充入混合气体,然后置于4℃冰箱中贮藏7 d作为试验组;新鲜芦笋置于4℃冰箱中贮藏7 d,作为对照组。测定贮藏前后芦笋的品质指标,优化混合气体体积分数配比及压力。

1.2.3 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体对芦笋的中长期保鲜

特性及其机理 采用1.2.2得出的 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体对于芦笋保鲜的优化参数,对新鲜芦笋进行更长时间的贮藏试验;新鲜芦笋置于4℃冰箱中作为对照组。定期取样进行测定,探索混合气体对芦笋的保鲜规律。

1.2.4 理化指标测定方法及感官品质观察 失重率测定,重量法^[8];总酸测定,酸碱中和法^[8];叶绿素质量分数测定,分光光度法^[9];可溶性糖质量分数测定,折光法^[9];蛋白质质量分数、活性氧、总抗氧化能力,以及过氧化氢酶、超氧化物歧化酶活性测定,均按试剂盒使用说明进行。

以上每个处理3次重复,每次重复约取50 g芦笋,结果取其平均值。

2 结果与讨论

2.1 CO_2/Xe 体积分数配比和 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体压力对芦笋保鲜品质的影响

2.1.1 对芦笋失重率的影响 果蔬采收后仍进行一系列的生理活动,其中水分蒸腾作用是影响果蔬新鲜的一个重要因素,抑制芦笋的蒸腾作用,保持一定的水分是芦笋保鲜的关键因素之一。在 $V(CO_2):V(Xe)$ 为50:50时,不同压力下的芦笋失重率均处于较低水平,其中在压力为0.6 MPa时,芦笋失重率最低(见图1)。其原因可能是Xe溶解在芦笋细胞间水中,一定程度上限制了水分子的活动; CO_2 限制了呼吸代谢,从而减少了水分的散失。

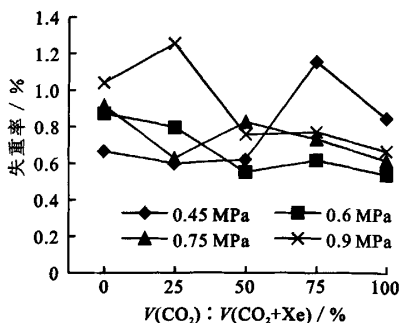


图1 CO_2/Xe 体积分数配比和 $CO_2/Xe/O_2$ 混合气体压力对芦笋失重率的影响

Fig. 1. Influence of CO_2/Xe volumetric ratio and $CO_2/Xe/O_2$ mixture pressure on weight loss of asparagus spear

2.1.2 对总酸的影响 总酸是影响果蔬风味品质的重要因素之一,对芦笋的特征风味具有较大贡献。同时,总酸也在一定程度上反映了组织内部新陈代谢的状况。在 $V(CO_2):V(Xe)$ 为25:75或

75 : 25 时,不同压力下的总酸均处于较低水平。而当 $V(\text{CO}_2) : V(\text{Xe})$ 为 100 : 0 时,不同压力下的总酸均达到最大值(见图 2)。这可能是由于 CO_2 对芦笋呼吸作用产生抑制,导致组织内代谢产生酸性产物;另外, CO_2 也是一种酸性气体。过高的 CO_2 体积分数会促进芦笋总酸显著上升,不利于芦笋的贮藏。

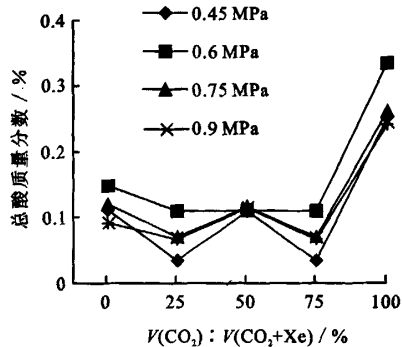


图 2 CO_2/Xe 体积分数配比和 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体压力对总酸的影响

Fig. 2 Influence of CO_2/Xe volumetric ratio and $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ mixture pressure on total acidity of asparagus spear

2.1.3 对叶绿素质量分数的影响 芦笋的外表呈绿色,是其重要的感官指标。叶绿素质量分数和果蔬采后的生理活动直接相关,采后的新陈代谢导致叶绿素的逐渐分解。在不同压力条件下,芦笋中叶绿素质量分数都在 Xe 比例较高的情况下保持较好(见图 3),可见 Xe 对于叶绿素的保持效果整体上优于 CO_2 。

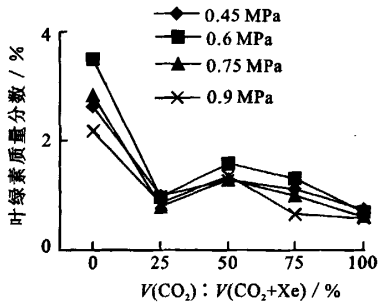


图 3 CO_2/Xe 体积分数配比和 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体压力对叶绿素质量分数的影响

Fig. 3 Influence of CO_2/Xe volumetric ratio and $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ mixture pressure on the chlorophyll contents of asparagus spear

2.1.4 对可溶性糖质量分数的影响 植物体内的碳素营养状况以及农产品的品质性状,常以糖质量分数作为重要指标。植物为了适应逆境条件,如干旱、低温,也会主动积累一些可溶性糖,降低渗透压和冰点,以适应外界环境条件的变化。在不同

$\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体压力下, $V(\text{Xe}) : V(\text{CO}_2)$ 为 50 : 50 时可溶性糖质量分数最高,营养价值较好;其中又以混合气体压力为 0.45 MPa, $V(\text{Xe}) : V(\text{CO}_2)$ 为 50 : 50 时可溶性糖质量分数最高(见图 4),但这也可能与芦笋在逆境条件下的应急代谢有关。考虑到此条件下失重率较高(见图 1),应避免采用此条件。

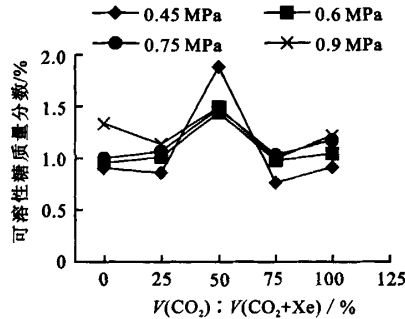


图 4 CO_2/Xe 体积分数配比和 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体压力对可溶性糖质量分数的影响

Fig. 4 Influence of CO_2/Xe volumetric ratio and $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ mixture pressure on the soluble sugar contents of asparagus spear

综合以上研究结果,确定 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体对于芦笋保鲜的优化参数: O_2 体积分数为 5%, $V(\text{CO}_2) : V(\text{Xe})$ 为 50 : 50,混合气体压力为 0.6 MPa。

2.2 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体对芦笋中长期保鲜的特性

采用 2.1 中确定的 $\text{CO}_2/\text{Xe}/\text{O}_2$ 混合气体对芦笋保鲜的优化参数,进行更长时间的贮藏试验,进一步研究了芦笋品质的变化规律。

2.2.1 对芦笋感官品质的影响 试验组到 6 d 仍然保持新鲜品质,到 14 d 基本保持商品价值;但是对照组在 7 d 品质已有一定损失,10 d 已基本丧失食用价值(见表 1)。

表 1 芦笋在贮藏过程中的感官品质变化

Tab. 1 Changes of sensory attributes of asparagus spear in storage

储藏 时间/d	色 泽		外 观		气 味	
	试验组	对照组	试验组	对照组	试验组	对照组
2	绿	绿	硬	较硬	正常	正常
6	绿	淡绿	较硬	较软	正常	稍有 腐烂味
10	绿	淡黄	少量组织 液渗出	腐烂	正常	稍有 腐烂味
14	绿	黄	微软	—	稍有 腐烂味	有腐 烂味

2.2.2 对芦笋失重率的影响 果蔬采收后会出现水分蒸腾作用。抑制芦笋的蒸腾作用,保持一定的水分是芦笋保鲜的关键之一,试验组的失重率低于

对照组,在贮藏10 d后试验组失重率升高较为平缓,而对照组的则急剧上升(见图5),这可能是由Xe对水分子活动的限制和CO₂对呼吸作用的抑制引起的。

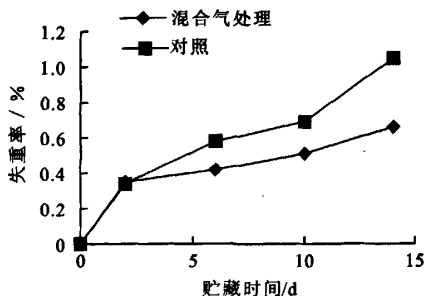


图5 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋失重率的影响

Fig. 5 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on the weight loss of asparagus spear

2.2.3 对芦笋叶绿素质量分数的影响 两组样品在贮藏过程中叶绿素质量分数都呈下降趋势,其中试验组的叶绿素质量分数较高,下降趋势比对照组的缓和(见图6)。表明CO₂/Xe/O₂混合气体可以减缓叶绿素的损失,有利于芦笋品质的保持。

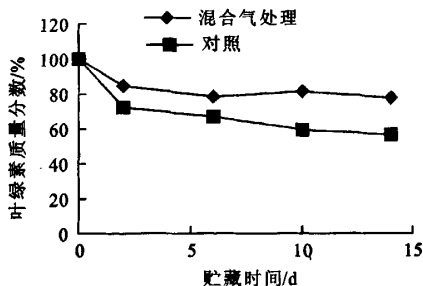


图6 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋叶绿素质量分数的影响

Fig. 6 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on the chlorophyll contents of asparagus spear

2.2.4 对芦笋蛋白质质量分数的影响 蛋白质质量分数是芦笋的一个重要营养指标,同时也能反映芦笋生理活动的情况。样品蛋白质质量分数下降,和芦笋采后生理活动旺盛、消耗大量营养成分有关。两组样品在贮藏最初期的蛋白质质量分数都明显下降,和芦笋采后生理活动旺盛,消耗大量营养成分有关。但试验组在第2天起蛋白质质量分数只是缓慢下降。而对照组的蛋白质质量分数的下降很快,特别在6 d后这种趋势更加明显(见图7)。可见CO₂/Xe/O₂混合气体可以抑制芦笋的新陈代谢,从而延缓芦笋营养成分的损失。

2.3 CO₂/Xe/O₂混合气体保鲜芦笋的机理初探

2.3.1 对芦笋活性氧自由基、总抗氧化能力的影响

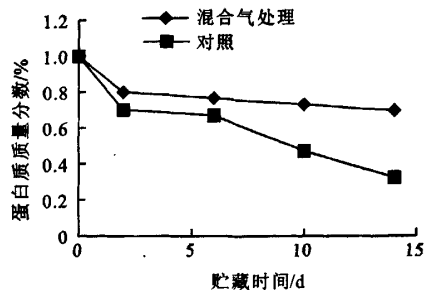


图7 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋蛋白质质量分数的影响

Fig. 7 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on the protein contents of asparagus spear

响 果蔬在生长过程中由于氧化胁迫而产生的自由基与体内自由基清除剂在正常情况下保持动态平衡,采后的果蔬是一个活的有机体,其生命代谢活动仍在有序地进行,它们对自由基造成的损伤作用具有一定的防卫能力^[10],并且当自由基的产生超过体内防御系统的清除能力时,可诱导体内新的抗氧化防御系统的产生。但随着衰老的不断进行,自由基不断累积,果蔬体内新的抗氧化物质的合成能力下降,抗氧化能力也因不断耗竭而下降,当自由基的累积超过某一“阈值”后,就会加速果蔬的衰老与死亡。在贮藏前期,两组样品的活性氧的质量分数都缓慢下降,试验组的活性氧质量分数比对照组的稍低。10 d后,两组样品的活性氧质量分数都明显升高,但试验组的上升趋势比较缓和,后期的活性氧质量分数也比对照组的低得多(见图8)。

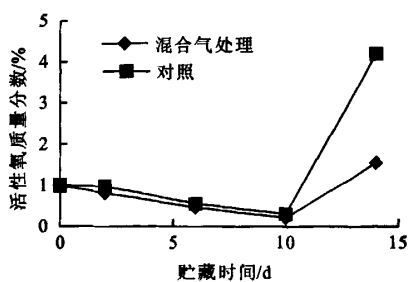


图8 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋活性氧质量分数的影响

Fig. 8 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on active oxygen amounts in asparagus spear

在整个贮藏期内,试验组的总抗氧化能力虽有上升但幅度较小,表明此时芦笋受到的环境胁迫较轻微,机体的防御系统较完善,产生的自由基能够被机体的防御系统所清除。对照组在10 d内的总抗氧化能力有上升但幅度较小,但是10 d后大幅度升高(见图9)。

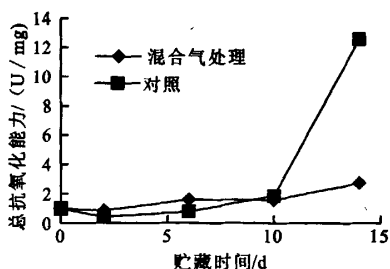


图9 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋总抗氧化能力的影响

Fig. 9 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on the total antioxidant capacity of asparagus spear

贮藏后期芦笋试验组活性氧和总抗氧化能力的数值及升高速度远远低于对照组,可能是由于CO₂/Xe/O₂混合气体处理可以提高抗逆性,组织内产生的自由基水平较低,未超过原有抗氧化物质的清除能力,无需诱导机体内新的抗氧化物质的合成。

2.3.2 对芦笋过氧化氢酶、超氧化物歧化酶的影响 酶与植物的生长发育和生理特性均有联系,尤其在一定的逆境胁迫下,保护性酶系统会发生许多变化。过氧化氢酶和超氧化物歧化酶等是植物细胞膜的保护酶,酶活性越高消除氧自由基的能力越强,植物抗逆能力亦越强^[10]。在贮藏初期(6 d内),试验组和对照组的过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性保持恒定或缓慢升高,此后对照组保护酶的活性急剧升高,而试验组保护酶的活性升高速率远远低于对照组的(见图10、11)。

贮藏后期芦笋试验组的保护酶的数值及升高速度远远低于对照组的,这可能是由于Xe气体溶解到水中形成笼形水合物,导致水的活度降低,甚至在一定程度上影响到呼吸作用相关酶的空间结构,而CO₂也在一定程度上抑制了呼吸作用,从而限制了芦笋的代谢行为,无需诱导机体内保护酶的活性提高即可消除机体内产生的自由基。

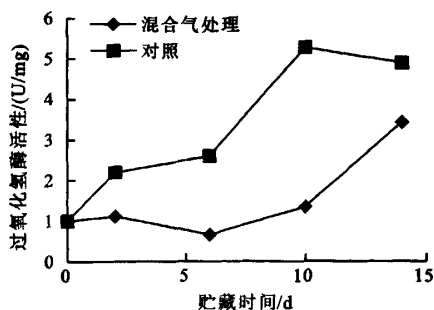


图10 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋过氧化氢酶活性的影响

Fig. 10 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on catalase activity in asparagus spear

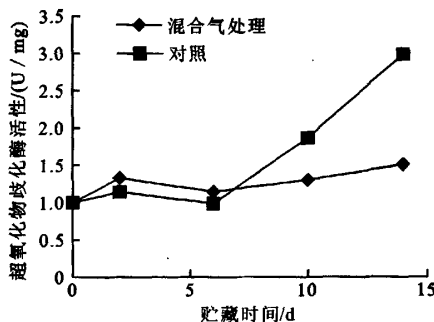


图11 CO₂/Xe/O₂混合气体对芦笋超氧化物歧化酶活性的影响

Fig. 11 Influence of CO₂/Xe/O₂ mixture on superoxide dismutase activity in asparagus spear

3 结 语

与传统的气调(比如CO₂/O₂)保鲜及直接冷藏相比,CO₂/Xe/O₂混合气体保鲜更有利于延缓芦笋衰老,保持芦笋的营养价值及商品价值,其作用机制似与控制自由基的增加、降低代谢相关酶的活性、提高机体的抗逆性有关。

参考文献(References):

- [1] 张懋, 范柳萍, 王秀伟. 国内外水果保鲜技术发展状况及趋势分析[J]. 保鲜与加工, 2003(1): 3-6.
ZHANG Min, FAN Liu-ping, WANG Xiu-wei. Global developments and trends in fruits preservation technology[J]. *Preservation and Processing*, 2003(1): 3-6. (in Chinese)
- [2] Makino Y, Kawahashi M, Kuroki S, et al. Respiratory depression of shredded cabbage using xenon at atmospheric pressure[J]. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*, 2006(8): 1-11.
- [3] Rahman M A, Khair A, Bala B K, et al. Influence of intracellular structured water formed by xe gas on the shelf life of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.)[J]. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2001, 4(12): 1543-1546.

- [4] 詹仲刚, 张慤, 安健申. 氩氙混合气体处理对芦笋的保鲜作用[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(2): 69-72.
ZHAN Zong-gang, ZHANG Min, AN Jian-shen. Effects of mixture of argon and xenon treatments on preservation of asparagus spear[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005, 24(2): 69-72. (in Chinese)
- [5] 詹仲刚, 张慤. 惰性气体对黄瓜酶活和呼吸强度的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2005, 24(3): 16-18.
ZHAN Zong-gan, ZHANG Min. Effect of inert gases on enzyme activity and inspiration of cucumber[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2005, 24(3): 16-18. (in Chinese)
- [6] Ohgaki K, Sugahara T, Suzuki M, et al. Phase behavior of xenon hydrate system[J]. *Fluid Phase Equilibria*, 2000, 175: 1-6.
- [7] 沈莲清, 黄光荣. 芦笋 MAP 气调保鲜研究[J]. 浙江农业学报, 2004, 16(1): 42-46.
SHEN Lian-qin, HUANG Guang-rong. Study on modified atmosphere packaging of asparagus (*Asparagus officinalis* L.)[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2004, 16(1): 42-46. (in Chinese)
- [8] 冯双庆, 赵玉梅. 果蔬保鲜技术及常规测试方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [9] 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, 2002.
- [10] 史海水, 廖祥儒, 吴立峰, 等. 黄瓜组织培养与蛋白含量及抗氧化酶活性的变化史[J]. 河北大学学报: 自然科学版, 2004 (11): 629-634.
SHI Hai-shui, LIAO Xiang-ru, WU Li-feng, et al. Tissue culture of cucumber and changes in protein content and activity of antioxidases[J]. *Journal of Hebei University: Natural Science Edition*, 2004 (11): 629-634. (in Chinese)

(责任编辑: 秦和平, 朱明)

《食品与生物技术学报》征稿征订启事

《食品与生物技术学报》(双月刊)是教育部主管、江南大学主办的有关食品、生物工程及其相关研究的专业性学术期刊, 为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊, 目前被美国化学文摘(CA)等国内外 10 余家著名检索系统收录。主要刊发食品科学与工程, 食品营养学, 粮食、油脂及植物蛋白工程, 制糖工程, 农产品及水产品加工与贮藏, 动物营养与饲料工程, 微生物发酵, 生物制药工程, 环境生物技术等专业最新科研成果(新理论、新方法、新技术)的学术论文, 以及反映学科前沿研究动态的高质量综述文章等, 供相关领域的高等院校、科研院所、企事业单位的教学、科研等专业技术人员、专业管理人员以及有关院校师生阅读, 热忱欢迎广大读者订阅。

《食品与生物技术学报》为 A4(大 16K)开本, 128 页, 全年 6 期, 每册定价 15.00 元, 邮发代号: 28-79, 全国各地邮局均可订阅。

《食品与生物技术学报》编辑部