

食品包装

冷藏条件下气调包装对油菜生理生化特性的影响

张琪^{1,2,3}, 陈湘宁^{1,2,3}, 杜斌^{1,2,3}(1.北京农学院, 北京 102206; 2.食品质量与安全北京实验室, 北京 102206;
3.农产品有害微生物及农残安全检测与控制北京市重点实验室, 北京 102206)

摘要: **目的** 延长油菜贮藏保鲜期。**方法** 以油菜为试材, 以聚乙烯(PE)为包装薄膜, 研究在 5 种不同体积分数的气体配比下油菜各项生理生化指标变化。**结果** 在 4 °C 下, 初始气体 O₂, CO₂, N₂ 的体积分数为 5%, 8%, 87% 时, 可有效抑制 POD 和 PPO 活性, 电导率上升, 降低呼吸强度、失重率、维生素 C 的损失, 减缓叶绿素的降解, 贮藏时间可延长至 35 d, 具有良好保鲜效果。

关键词: 油菜; 气体比例; 保鲜; 贮藏

中图分类号: TB485.2; S609⁺.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2016)13-0086-06

Effect of Inflatable Packaging with Different Concentrations on Physiological and Biochemical Changes of Brassica Campestris L

ZHANG Qi^{1,2,3}, CHEN Xiang-ning^{1,2,3}, DU Bin^{1,2,3}

(1. Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 102206, China; 3. Beijing Key Laboratory of Agricultural Product Detection and Control of Spoilage Organisms and Pesticide Residue, Beijing 102206, China)

ABSTRACT: This work aimed to prolong the preservation time of Brassica campestris L. The effect of five different proportional gas concentrations on physiological and biochemical changes of Brassica campestris L at 4 °C were investigated using PE as packaging materials in this paper. The results showed that the treatment with O₂ 5%, CO₂ 8%, N₂ 87% could effectively inhibit the activity of peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO), enhance the conductivity, and decrease respiration rate, weight loss rate, loss of vitamin C and degradation of chlorophyll. The preservation time was extended to 35 days and it had a better preservation effect.

KEY WORDS: Brassica campestris L; gas proportion; preservation; storage

油菜, 又称为油白菜、苦菜, 它是我国常见的绿叶蔬菜品种, 其典型特点是营养价值丰富、含水量高、表面积大, 采收之后呼吸作用和蒸腾作用相对于根茎类蔬菜强, 油菜一旦保存不当, 由于呼吸代谢旺盛在短时间内将出现失水萎蔫, 色泽易褪绿黄化, 营养下降并且感官品质下降等, 严重的甚至

会发生腐烂变质, 从而失去食用价值。研究表明, 油菜常温货架期为 2~3 d, 在 0~4 °C 条件下保藏时间仅为 8 d^[1]。气调包装(MAP)贮藏是一种新型果蔬保鲜技术^[2], 其原理是将不同比例的 O₂, CO₂ 和 N₂ 充入食品包装容器内, 通过冷藏、控制湿度等手段有效地降低植物组织呼吸强度、延缓养分分解, 保

收稿日期: 2015-11-25

基金项目: 北京市属高等学校高层次人才引进与培养计划 (CIT & TCD20150315)

作者简介: 张琪 (1991—), 女, 北京人, 北京农学院硕士生, 主攻农产品贮藏与保鲜。

通讯作者: 陈湘宁 (1972—), 女, 湖南人, 博士, 北京农学院教授, 主要研究方向为果蔬加工及保鲜。

持原有的形态、色泽、风味和质地^[3]。同其他贮藏技术及气调库保鲜相比,气调包装保鲜可以在包装的微环境中实现对气体组成及比例的调节和控制,操作方便,尤其是它可以满足运输过程中的保鲜要求,实现从生产基地到餐桌供应新鲜蔬菜,在未来的蔬菜产业中将会有很好的发展趋势,因此是很有前景的果蔬保鲜方法^[4]。聚乙烯包装可以维持果蔬高湿度的环境,减少水分的蒸腾作用,延长正常的生理活动,降低干耗,同时聚乙烯封闭包装还可以使包装内形成低浓度 O₂ 和高浓度 CO₂ 的气体环境,从而抑制果蔬的呼吸作用及酶的活性,降低果蔬酶促褐变,降低呼吸基质的消耗,延缓细胞的衰老和死亡^[5]。目前,关于油菜贮藏保鲜的研究主要涉及低温冷藏保鲜、保鲜剂保鲜^[6]、涂膜保鲜^[7]及气调包装保鲜^[8]。近几年来,国内一些学者也已经针对油菜进行了气调包装保鲜研究,比如魏宝东^[9]研究了不同 CO₂ 浓度对油菜保鲜效果影响,试验表明在常温下 CO₂ 浓度过高会对油菜产生生理伤害;黄新红^[10]研究了在空气中,使用不同包装膜包覆油菜的保鲜效果,研究表明在 0 °C 下能达到 36 d 保鲜期。这些研究均未涉及用塑料密封袋及不同初始气体成分的情况。这里以油菜为试材,以聚乙烯为包装材料,研究在 4 °C 下,不同初始气体比例对油菜保鲜品质的影响。

1 实验

1.1 材料与仪器

材料:新鲜的油菜,购于北京市裕农优质农产品种植公司,手工采收,预冷后,挑选大小适宜、色泽翠绿的油菜为实验对象,剔除具有机械损伤、黄化叶片等残次油菜;包装材料为 0.037 mm×235 mm×245 mm(厚度×长度×宽度)的聚乙烯薄膜袋。

主要试剂:无水乙醇、丙酮、正己烷、抗坏血酸、草酸、2,6-二氯酚靛酚、硫代巴比妥酸、三氯乙酸、氯化钠,均为国产分析纯。

主要仪器:多功能气调包装机,AVS 500 型,北京盛耀轩有限公司;O₂ 和 CO₂ 分析仪,丹麦 Dansensor 公司;紫外分光光度计,TU-1810 型,北京普析通用仪器有限公司;雷磁电导率仪,DDS-307A 型,上海雷磁仪器厂;电子天平,BSA223S 型,赛多利斯科学仪器北京有限公司;台式低速离心机,L530 型,湖南赫西仪器装备有

限公司;电冰箱,BCD-215DF 型,青岛海尔股份有限公司;超纯水系统,AWL-1002-U 型,美国艾科浦国际公司;电热恒温水浴锅,HWS24 型,上海一恒科学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 处理方法

将挑选出成熟度一致、大小均匀、无机械损伤的 150 g 新鲜油菜放入 PE 包装袋内进行充气后,密封于 4 °C 冷库中冷藏,每隔 5 d 取样,每处理组重复 3 次,测定其失重率、相对电导率、维生素 C 含量、叶绿素含量、丙二醛(MDA)含量、可溶性固形物、过氧化物酶(POD)及多酚氧化酶活性(PPO)活性变化趋势,每组重复 3 次;试验根据油菜主要适宜气调贮藏环境,且在不产生 CO₂ 伤害的基础上设置 5 组气体组分:O₂, CO₂, N₂ 的体积分数分别为 2%, 5%, 93%, 此为 A 组;O₂, CO₂, N₂ 的体积分数分别为 5%, 8%, 87%, 此为 B 组;O₂, CO₂, N₂ 的体积分数分别为 8%, 11%, 81%, 此为 C 组;O₂, CO₂, N₂ 的体积分数分别为 11%, 14%, 75%, 此为 D 组;E 组则为空气对照组。

1.2.2 指标测定方法

1) 失重率。失重率(%)采用称量法^[11]:

$$\text{失重率} = \frac{\text{初始鲜重} - \text{贮后鲜重}}{\text{初始鲜重}} \times 100\%$$

2) 相对电导率。参照 Gomez^[12]的方法进行测定,从油菜的 10 片叶子上取 10 个圆孔(直径 10 mm),加 20 mL 蒸馏水,于 25 °C 放置 30 min,搅拌均匀后测定浸出液的电导率(P₁),沸水浴 10 min 后冷却静置,搅拌均匀后测定油菜电导率(P₂),P₀ 为空白电导率。用相对渗透率表示油菜细胞膜透性大小,每个样品重复测定 3 次。相对电导率(%)计算:

$$\text{相对电导率} = \frac{P_1 - P_0}{P_2 - P_0} \times 100\%$$

3) 维生素 C 含量。采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^[13],每个样品重复 3 次。

4) 叶绿素含量。参照张志良^[14]的方法测定,每个样品重复 3 次。

5) 酶活性。POD 及 PPO 活性的测定参照段云青^[15]的方法,称取油菜叶片 2 g 加入 pH 值为 6 的磷酸缓冲液研磨成匀浆后在 4 °C 下以 5500 r/min 匀浆 1 min,一共离心 2 次,每次间隔 3 min,从而避免样本过热,将上清液移入 25 mL 容量瓶保存至

低温处,残渣再重复提取2次,上清液并入容量瓶定容,即酶提取液。将反应混合液经37℃水浴预热,加入酶提取液0.1 mL,立即用秒表记录时间。POD在470 nm波长下测OD值。1个酶活力单位定义为每分钟0.1吸收增量。PPO活性以于525 nm波长下测OD值,每隔1 min读数1次,1个酶活力单位定义为每分钟0.1吸收增量,以失活的酶液为对照,以每克样品吸光度变化值增加1为1个酶活性单位U,酶活性可以表示为U/(min·g),每个样品重复3次。

1.3 数据统计

实验数据应用Microsoft Excel 2007和SPSS软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 MAP处理对油菜失重率的影响

在叶类蔬菜中,由于油菜含水量较高,在采后贮藏期间持续进行呼吸作用及蒸腾作用,从而导致失重率的增加,因此失重率可以表明油菜的贮藏品质情况。图1a表明,随着时间的延长,油菜失重率呈逐渐上升趋势,在贮藏前10 d时,各处理组间差异不显著($P<0.05$),但随着贮藏时间的延长,不同的气体比例对油菜失重率影响不同,对照组在贮藏第25天失重率已经达到7%左右,而B组在贮藏第25天时失重率只有2.54%。Aarten L^[16]等研究表明,较低氧气浓度可以有效抑制菜的蒸腾作用和呼吸作用,减少失重率。从整体看,油菜失重率变化相对较小,主要由于实验采用透水率较低的PE包装材料进行包装,它可能使油菜储存在相对较高的湿度环境内,从而减少水分蒸发,使油菜保持较高的水分含量。与其他实验组相比,B组在贮藏第35天时,失重率最低。

2.2 MAP处理对油菜相对电导率的影响

蔬菜细胞膜对维持细胞的微环境和正常代谢起着至关重要的作用。当新鲜果蔬衰老后,细胞质膜功能缓慢下降,导致膜透性增加^[17],果蔬受到的损害程度也就越大。如图1b所示,在油菜贮藏前15 d内,除对照组E组外,油菜相对电导率变化并不显著,而E组在贮藏第10 d后相对电导率明显

升高;在贮藏第25天时已经高达76.32%。B组在贮藏第35天时,仅为23.24%,而D组在贮藏第35天时,电导率已经超过40%。这表明当油菜处于较低浓度氧气含量时,有助于减缓细胞膜透性增加趋势,从而延缓果蔬的衰老。B组效果最佳,为23.24%;A组相对次之,为29.27%,二者之间无显著差异($P<0.05$)。

2.3 MAP处理对油菜叶绿素含量的影响

叶绿素是衡量叶类蔬菜品质的重要指标,随着蔬菜的成熟衰老,叶绿素含量不断下降。如图1c所示,随着贮藏时间的延长,叶绿素含量整体下降趋势较为明显。通过气调包装处理的油菜相对E组的叶绿素含量要高。E组的叶绿素含量从最开始的62.24 mg/kg降低到第25天的14.75 mg/kg。在第35天时,D组的油菜叶绿素含量最低,叶绿素含量降解了76%,叶绿素含量最高的为B组,此组叶绿素含量波动相对较小且下降趋势较为缓慢,在贮藏第35天时叶绿素含量为29.19 mg/kg。在贮藏末期,油菜叶绿素含量大小依次为B组>A组>C组>D组>E组,经处理后的叶绿素含量显著高于E组($P<0.05$)。这一结果表明低浓度氧有利于抑制油菜贮藏期间叶绿素含量的降低,这是由于低浓度氧气和较高浓度二氧化碳条件下可以抑制油菜呼吸作用,从而减慢乙烯、醇类、醛类等催熟油菜成分从而延缓了油菜叶绿素的分解,使其叶绿素含量在贮藏35 d时仍具有相对较高的含量。高浓度氧加速油菜呼吸作用,使油菜叶绿素下降迅速,在贮藏25 d后失去商业价值。

2.4 MAP处理对油菜维生素C含量的影响

维生素C广泛存在于蔬菜中,它参与人体代谢活动,加强对病菌的抵抗力,维持胶原的正常发育,在毛细血管中帮助铁的吸收和保护结缔组织,加速伤口愈合,并且是生成骨蛋白的重要成分^[18]。维生素C是蔬菜组织中的一种抗氧化剂,它可以清除活性氧^[19]。油菜在贮藏期间,随着时间延长,维生素C含量呈下降趋势。原因可能由于维生素C是一种不稳定性物质,较易溶于水^[20]。如图1d所示,在贮藏期间,油菜维生素C含量主要呈下降趋势,且E组与其他处理组有显著差别,E组在贮藏第25天时,每100 g油菜中仅有7.32 mg的维生素C,其他处理组维生素C含量极显著高于对照组($P<$

0.05)。经不同气体比例包装后的油菜维生素 C 含量要明显高于 E 组。在贮藏前 20 d, A 组维生素 C 含量要高于 B 组, 贮藏 20 d 后, B 组维生素 C 含量始终处于最高, 在贮藏 35 d 后, 每 100 g 油菜中维生素 C 的质量为 17.99 mg。这与刘晓蓉^[21]气调包装对黄藤笋贮藏品质的影响结果一致。随着贮藏时间延长, 各处理组维生素 C 含量大小依次为: B 组>A 组>C 组>D 组。这表明, 适当低浓度氧气有助于减缓油菜呼吸速率, 同时也抑制了氧化酶的活性, 因此有利于保持油菜中维生素 C 的含量。

2.5 MAP 处理对油菜过氧化物酶活性的影响

过氧化物酶(POD)为果蔬体内广泛存在的一种重要的氧化物酶, 它的活性相对较高, 它与果蔬的呼吸作用有着较为密切的关系。如图 1e 所示, E 组 POD 活性在贮藏前 15 d 内逐渐升高, 随后又降低, 在第 20 天时又逐渐增高, 处理组油菜在贮藏前 5 d 内 POD 活性明显增高且其活性明显高于对照组, 随着时间延长, 在贮藏第 10 天后处理组 POD

活性均低于对照组 E 组。B 组除了在贮藏前 5 d 内活性高于对照组外, 在剩余时间内其活性均低于其他处理组以及对照组, 在贮藏 25 d 时, 不同处理组 POD 活性显著高于 E 组($P<0.05$)。这同 Barth 等在 MAP 的花椰菜室温贮藏过程中 POD 活性低于对照的研究结果一致。

2.6 MAP 处理对油菜多酚氧化酶活性的影响

多酚氧化酶(PPO)的活性强度与果蔬代谢关系密切, 当果蔬组织或细胞被破坏后, 空气中的氧气大量侵入, 在多酚氧化酶的作用下, 导致醌的生成和大量积累, 并进一步聚合成黑色素, 从而降低了果蔬营养价值和商品价值^[22]。如图 1f 所示, E 组和 D 组在前 10 d PPO 活性上升, 达到峰值, 然后在贮藏 15 d 时有所下降, 随之又缓慢升高, A 组, B 组, C 组分别在 15 d 时达到峰值, 随之降低, 在贮藏 35 d 后, A 组, B 组, C 组的 PPO 活性分别为 83, 71, 101 U/(min·g); B 组 PPO 活性最低, 与其他处理组差异显著($P<0.05$)。

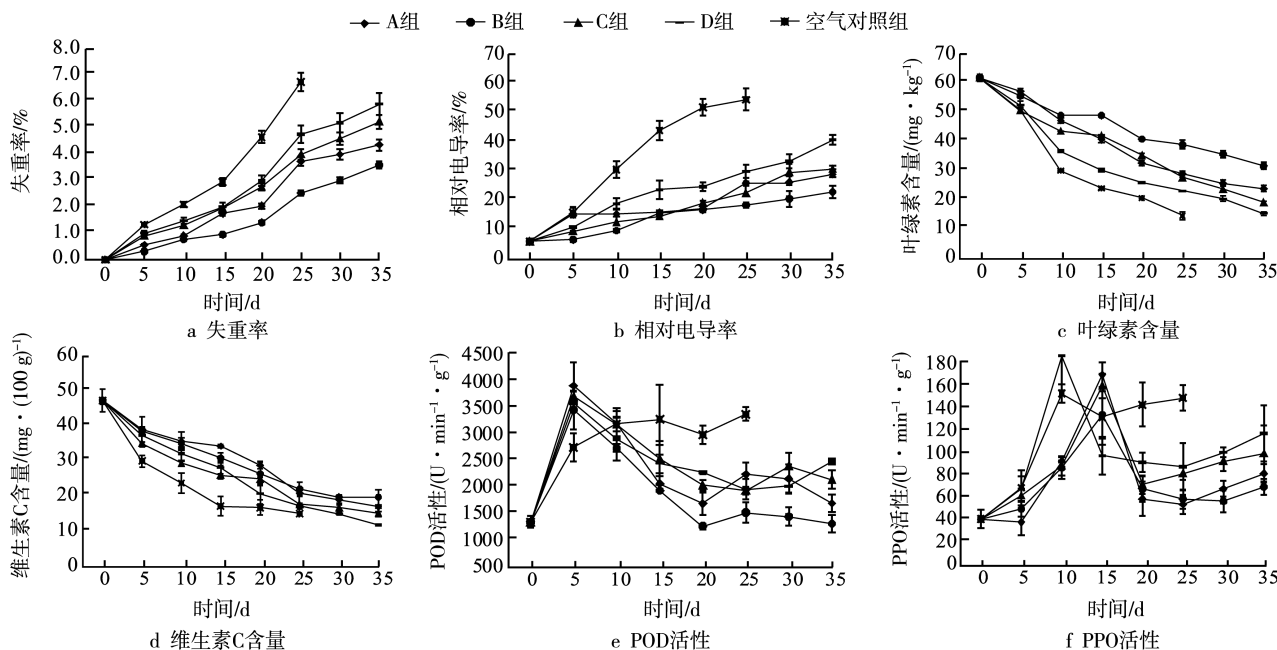


图 1 MAP 对油菜的影响
Fig.1 Effect of MAP on Brassica campestris L

3 结语

文中的研究表明, 在 4 °C 冷藏及气调贮藏条件下可以有效延长货架期, 这是由于在低温条件下, 可抑制油菜各种活动代谢的进行, 减慢其呼吸作用, 从而降低各种营养物质的降解及损耗的速度; 气调

包装保鲜则通过改变油菜贮藏环境中的 O₂, CO₂ 浓度, 抑制乙烯等有害气体的生成, 更加有效地减缓了油菜的呼吸强度、蒸腾作用及微生物生长速率, 延缓其衰老腐败进程及趋势。综合各项生理生化指标的变化趋势表明, 氧气浓度过高或者过低都不宜于油菜的保存, 其中油菜保藏效果最佳的气体比例

为 B 组, 即 O_2 , CO_2 , N_2 的体积分数分别为 5%, 8%, 87%, 在此气体比例条件下可有效抑制 POD 和 PPO 活性、电导率上升, 降低呼吸强度、失重率, 减少维生素 C 含量的损失以及延缓油菜叶绿素的降解, 贮藏时间可延长至 35 d, 具有良好保鲜效果; A 组, 即 O_2 , CO_2 , N_2 的体积分数分别为 2%, 5%, 93% 相对次之。与气调库相比, 小包装油菜气调可以满足运输过程中的保鲜特点, 为油菜保鲜提供一定理论依据, 为更好掌握油菜气调保鲜技术, 还需要在今后实验中进行分子及细胞水平上的深入研究。

参考文献:

- [1] 侯建设, 席任芳, 余挺. 温度、机械伤和采收期对小白菜采后生理的影响[J]. 食品与发酵工业, 2002, 28(10):40—44.
HOU Jian-she, XI Ren-fang, YU Ting. Temperature, Mechanical Injury, and Harvest Time Impact on Chinese Cabbage Postharvest Physiology[J]. Food and Fermentation Industries, 2002, 28(10):40—44.
- [2] 陈君然. 充气包装对切分青椒品质的影响及其作用机理研究[D]. 天津:天津科技大学, 2012.
CHEN Jun-ran. Study on Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality of Fresh-Cut Green Peppers and Its Mechanism[D]. Tianjin:Tianjin University of Science and Technology, 2012.
- [3] 梁洁玉, 朱丹实, 冯叙桥, 等. 果蔬气调贮藏保鲜技术研究现状与展望[J]. 食品安全质量检测学报, 2013, 4(6):1617—1625.
LIANG Jie-yu, ZHU Dan-shi, FENG Xu-qiao, et al. Status and Prospects on Modified Atmosphere Storage Technology of Fruits and Vegetables[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2013, 4(6):1617—1625.
- [4] RAHMAN M. Effect of Different Packaging Systems and Chlorination on the Quality and Shelf Life of Green Chili[J]. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 2013, 37(4):729—736.
- [5] 李灿. 薄膜包装在果蔬采后保鲜上的应用[J]. 北方园艺, 2010(3):162—165.
LI Can. Film Packaging Applications in Fruits and Vegetables Postharvest Fresh-Keeping[J]. Northern Horticulture, 2010(3):162—165.
- [6] 曹菲, 张蕾, 田春燕. 贮藏温度及包装薄膜对油菜品质的影响[J]. 包装工程, 2004, 25(6):33—35.
CAO Fei, ZHANG Lei, TIAN Chun-yan. Effect of Store Temperature and Kind of Film on Quality Change of Packaged Greengrocery[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(6):33—35.
- [7] 李中华, 侯建设, 江杰. 油菜的保鲜贮藏研究[J]. 海军医学杂志, 2002, 23(6):154—156.
LI Zhong-hua, HOU Jian-she, JIANG Jie. Study on the Preservation and Storage of Rape[J]. Journal of Navy Medicine, 2002, 23(6):154—156.
- [8] 刘晓丹, 谢晶, 徐世琼, 等. 预冷方式与贮藏温度对油菜品质变化的影响[J]. 保鲜与加工, 2005(4):32—34.
LIU Xiao-dan, XIE Jing, XU Shi-qiong, et al. Effect of Pre-Cooling Process and Storage Temperature on Quality of Greengrocery[J]. Storage and Process, 2005(4):32—34.
- [9] 魏宝东. 不同浓度 CO_2 对油菜常温下贮藏品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(8):212—215.
WEI Bao-dong. Different Concentrations of CO_2 Influence on Rape under Normal Temperature Storage Quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2013, 39(8):212—215.
- [10] 黄新红. 油菜不同包装膜保鲜效果的研究[J]. 食品工业科技, 2013(20):315—318.
HUANG Xin-hong. Study on the Effect of Preservation of Different Preservative Films in Poles[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013(20):315—318.
- [11] KIM K M. Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Shelf-Life of Coated, Whole and Sliced Mushrooms[J]. Swiss Society of Food Science and Technology, 2006, 39(4):365—372.
- [12] GOMEZ F, FERNANDEZ L. Heat Shock Increases Mitochondrial H_2O_2 Production and Extends Postharvest Life of Spinach Leaves[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008(49):229—234.
- [13] 王敏群, 刘清, 孙丽枫, 等. 蔬菜中抗坏血酸含量分析[J]. 中国卫生检验杂志, 2006, 16(7):845—845.
WANG Min-qun, LIU Qing, SUN Li-feng, et al. Content Analysis of Ascorbic Acid in Vegetables[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2006, 16(7):845—845.
- [14] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2009.
ZHANG Zhi-liang, QU Wei-jing, LI Xiao-fang. Plant Physiology Experiment Instruction[M]. Beijing:Higher Education Press, 2009.
- [15] 段云青. Cd 胁迫对油菜和小白菜苗 POD, PPO 和 SOD 活性的影响[J]. 山西农业大学学报, 2005(1):54—57.
DUAN Yun-qing. Effects of Cadmium Instress on the Activity of Peroxidase, Polyphenolox Idase and Superoxided Ismutase in Oilseed Rape and Pakchoi Seedlings[J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 2005(1):54—57.

- [16] AARTEN L A, HERTOOG T M, NICHOLSON S E, et al. Effect of Modified Atmosphere on the Ratio of Firmness Change in Braeburn Apple[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2001(23):175—184.
- [17] WANG C Y. The Approach of to Alleviate Chilling Injury of Fruits and Vegetables[J]. *Horticultural Reviews*, 1994, 15(6):63—95.
- [18] 陈维. 探究十种常见果蔬中维生素 C 含量的差异[J]. *生物学教学*, 2005(10):26—29.
CHEN Wei. Explore 10 Common Vitamin C Content in Fruits and Vegetables[J]. *Biology Teaching*, 2005(10): 26—29.
- [19] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen Peroxide is Scavenged by Ascorbate-Specific Peroxidase in Spinach Chloroplasts[J]. *Plant and Cell Physiology*, 1981(3): 18—23.
- [20] 周婧. 不同品种及贮运条件对生菜采后生理及保鲜效果影响的研究[D]. 北京:北京农学院.
ZHOU Jing. The Effects of the Different Varieties and Storage Conditions on the Lettuce Post-Harvest Physiology and Preservation[D]. Beijing:Beijing University of Agriculture.
- [21] 刘晓荣. 气调包装对黄藤笋贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2011, 32(15):9—13.
LIU Xiao-rong. Effects of Modified Atmosphere Package on Storage Quality of *Daemonorops Margaritae* Shoots[J]. *Packaging Engineering*, 2011, 32(15): 9—13.
- [22] ALLENDE A, A, LUO Y G, MCEVOY J L, et al. Microbial and Quality Changes in Minimally Processed Baby Spinach Leaves Stored under Super Atmospheric Oxygen and Modified Atmosphere Conditions[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2004, 33(1): 51—59.