

高氧气调包装抑制菜心木质化关键酶 苯丙氨酸酶的研究

罗政, 郭媛媛, 陈飞平, 宫晓波, 陈于陇*

(广东省农业科学研究院蚕业与农产品加工研究所, 广东 广州 510610)

摘要:探究高氧气调包装对影响鲜切菜心木质化的苯丙氨酸酶(phenylalaninammonio-lyase, PAL)的影响。采用高氧(氧含量大于90%)气调包装对鲜切菜心进行处理,以空气包装鲜切菜心作对照,置于25℃下贮藏,然后检测其木质素含量、PAL活性,并通过反转录PCR(reverse transcription-PCR, RT-PCR)技术分析菜心PAL基因转录表达差异。鲜切菜心木质素含量随着贮藏时间增长呈上升趋势,在贮藏5d后与对照组相比降低;PAL活性及其基因转录表达均呈现先下降后升高的趋势,在3d时高氧组要低于对照组,5d后差异不大。高氧气调包装能一定程度上抑制PAL基因的转录表达,降低PAL的活性,减少木质素的含量。

关键词:2-苯乙醇;微胶囊;复凝聚法;稳定性;吸水性能

Study on the Effect of High Oxygen Modified Packaging (HOMP) on Inhibiting the Activity of Key Enzyme Phenylalaninammonio-lyase of Cabbage Lignification

LUO Zheng, GUO Yuan-yuan, CHEN Fei-ping, GONG Xiao-bo, CHEN Yu-long*

(Sericultural & Agri-food Research Institute GAAS, Guangzhou 510610, Guangdong, China)

Abstract: Explore the effect of high oxygen modified packaging (HOMP) on fresh cut cabbage lignified Phenylalaninammonio-lyase (PAL). HOMP (oxygen>90%) was used to pack the fresh-cut Chinese cabbage with air packaged as control. The treated cabbage was stored at 25℃, then the lignin content and PAL activity of the cabbage were detected every day during five days of storage, and the transcriptional expression of PAL gene by reverse transcription-polymerase chain reaction (RT-PCR) was also analyzed in chinese cabbage. The experimental results showed that, fresh-cut cabbage lignin content increased with storage time, with the HOMP lower than the control at the end of storage. The activity of PAL and its gene transcriptional expression showed that a tendency was found to decrease first and then increase. At 3 days, the HOMP was lower than the control, but there was not much difference at the end of storage. Therefore, the HOMP could inhibit the transcriptional expression of PAL gene, and reduce the activity of PAL and the lignin content of fresh-cut cabbage.

Key words: high oxygen modified packaging; lignification; phenylalaninammonio-lyase; express the differences; enzymatic activity

引文格式:

罗政, 郭媛媛, 陈飞平, 等. 高氧气调包装抑制菜心木质化关键酶Phenylalaninammonio-lyase的研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 27-31

LUO Zheng, GUO Yuanyuan, CHEN Feiping, et al. Study on the Effect of High Oxygen Modified Packaging (HOMP) on Inhibiting the Activity of Key Enzyme Phenylalaninammonio-lyase of Cabbage Lignification[J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 27-31

基金项目: 国家自然科学基金(31671912); 科技部“十二五”农村领域国家科技支撑计划(2015BAD16B0901); 广州市科技计划项目(201508020032)
作者简介: 罗政(1991—), 男(汉), 硕士, 研究方向: 农产品保鲜物流方向。

* 通信作者: 陈于陇(1968—), 男(汉), 研究员, 博士, 研究方向: 从事农产品物流保鲜研究。

菜心(*Brassica parachinensis*)是广东地区主要栽培的特色蔬菜之一,其营养丰富,质嫩味佳,风味可口^[1]。但是菜心采摘后,菜心的木质化严重影响菜心品质和口感。木质素的生物合成需要一系列酶类地催化,其单体合成由苯丙氨酸开始,通过氧化和聚合反应将这些结构单元直接羟化聚合为木质素^[2]。而苯丙氨酸解氨酶(phenylalaninammonio-lyase, PAL)是苯丙烷类代谢途径的第一步反应的限速酶和关键酶^[3-6],在植物木质素代谢过程中起着重要作用。当今,国内外针对高氧气调对蔬菜中酶活的影响的研究逐渐增加。王贵禧等^[7]在研究中发现采用100%O₂处理后的冬枣中超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)和过氧化氢酶(catalase, CAT)活性要低于采用70%O₂处理后的冬枣,说明高氧可以有效的减缓冬枣货架期的衰老。郑永华等^[8]用90%O₂处理枇杷,可有效抑制多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性,降低果肉褐变程度及木质素的生物合成。Day^[9]也指出高氧能够抑制PPO的活性。高氧气调包装对鲜切菜心木质化PAL的研究鲜有报道,研究大多集中在PAL在植物抗病反应过程中的作用。本试验采用高氧气调包装和空气包装鲜切菜心在25℃条件下贮藏,研究其木质化程度与调控关键酶PAL活性及其基因转录表达间的关系,为高氧气调包装处理抑制菜心木质化提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

菜心:广州市天河区粤垦农贸市场。

TRIzol 试剂盒、第一链 cDNA 合成试剂盒(TaKaRa PrimeScript™ II 1st Strand cDNA Synthesis Kit 逆转录试剂盒)、2×Taq PCR MasterMix PCR 反应试剂盒、PCR 引物:天根生化科技(北京)有限公司;

氯仿、异丙醇、75%乙醇、氯化钡(均为分析纯):天津市富于精细化工有限公司;DEPC 水:焦碳酸二乙酯(diethyl pyrocarbonate, DEPC)(98%);1×TAE 缓冲液:三羟甲基氨基甲烷(Tris base)、乙酸(acetic acid);乙二胺四乙酸(ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA)(≥99.9% titration);聚乙烯吡咯烷酮(polyvinyl pyrrolidone, PVP)(分子量:55 000 Da);20 mmol/L L-苯丙氨酸 BR(99%):上海源叶生物科技有限公司;Biowest 琼脂糖:广东环凯微生物科技有限公司;液氮:佛山市禅城区普雷克丝气体配套设备贸易部;72%的浓硫酸(分析纯):珠海市化成达化工有限公司;0.1 mol/L pH 8.8 硼酸缓冲液(分析纯):天津市福晨化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

S1000 型快速 PCR 仪、164-5050 型核酸电泳仪及

电泳槽、ChemiDoc™ XRS 凝胶成像系统:美国 Bio-Rad 公司;MAP-1D400 型盒式气调包装机:上海炬钢机械制造有限公司;SHZ-D(Ⅲ)型予华牌循环水式真空泵:巩义市予华仪器有限公司;UV1800 型紫外可见分光光度计:日本岛津公司;CARY Eclipse 荧光分光光度计:美国 VARIAN 公司;Sorvall Stratos 冷冻高速离心机:美国 ThermoFisher 公司;

1.3 试验方法

1.3.1 材料的预处理

将新鲜菜心整理、分级、洗净,甩干表面水分后,选取新鲜未木质化、长度均匀(约 18 cm)且无机械损伤的新鲜菜心 400 g 为一袋进行包装,5 组用高氧气调包装,其中 O₂ 浓度固定比例大于 90%,CO₂ 浓度低于 1%,其它 N₂ 补充。另外 5 组空气包装(记作 CK)。包装袋材质为 PE,每个包装中注入气体总体积约为 200 mL。试验时样品用液氮研磨成粉末置于-20℃贮藏待用。还有一组作为 0 d 对照处理,贮藏于 25℃,以上分别设置 3 个重复,每隔 1 d 取样一次,共取样 5 次。

1.3.2 ribonucleic acid(RNA)的提取及检测

采用 TRIzol 试剂盒的方法加以改进。取 0.5 g 用液氮研磨好的菜心于离心管中,加入 1.0 mL Trizol 试剂,将研磨液充分摇匀,室温静置 10 min 后,在 12 000 r/min 4℃离心 5 min;去除沉淀后加入 0.2 mL 氯仿,盖紧离心管,用手剧烈摇荡离心管 15 s;室温静置 15 min,12 000 r/min,4℃离心 15 min;吸取上清液置于一新的离心管中,加入 0.5 mL 预冷的异丙醇,混匀后于室温静置 5 min,12 000 r/min,4℃离心 10 min,弃去上清液,RNA 沉淀用 1 mL 75%乙醇溶液洗,8 000 r/min 4℃离心 5 min;弃去上清液,加入 DEPC 水充分溶解。提取的 RNA 浓度及纯度由分光光度计测定其 OD 值。

1.3.3 逆转录合成第一链 complementary deoxyribonucleic acid(cDNA)

参照 TaKaRa PrimeScript™ II 1st Strand cDNA Synthesis Kit 逆转录试剂盒说明书进行。反应条件为:65℃保温 5 min 后冰上迅速冷却(目的使模板 RNA 变性,提高反转录效率),之后加入逆转录酶,30℃保温 10 min 后再 95℃保温 5 min(使酶失活),拿出后在冰上迅速冷却。

1.3.4 PCR 扩增反应

以逆转录得到的 cDNA 为反应模板,参照 2×Taq PCR MasterMix PCR 反应试剂盒说明书进行 PCR 扩增反应。按下列体系加样:2 μL 模板 cDNA,上游引物 1 μL,下游引物 1 μL,12.5 μL 的 2×MasterMix,最后用 ddH₂O 补足至 25 μL。PCR 反应循环的设置如下:94℃ 3 min;94℃ 30 s,55℃ 30 s,72℃ 1 min,30 个循环;

72 ℃ 5 min。

1.3.5 PCR 反应产物的检测

反应结束后取 1 μL 6×LoadingBuffer 和 5 μL 产物均匀混合,加入含 1 μL DNAGreen 的 3.0 %琼脂糖凝胶中,150 V 电泳 45 min。电泳结果用 Bio-Rad 公司的凝胶成像系统进行紫外成像和光密度扫描分析。

1.3.6 苯丙氨酸解氨酶(PAL)的测定

参考 Koukol 等^[10]的方法测定并加以改进。称取 3 g 用液氮研磨过的鲜样,之后加 pH 8.8,0.05 mol/L 硼酸缓冲液(内含 5 mmol/L 巯基乙醇)7 mL 及 PVP 0.4 g,冰浴研磨,研钵应该提前预冷,将研磨充分的样液在 4 ℃下 12 000 r/min 离心 20 min,取上清液用于酶活性测定。反应液系统包括:0.1 mL 酶液,1.9 mL 0.1 mol/L pH 8.8 的硼酸缓冲液和 1 mL 20 mmol/L 苯丙氨酸溶液,反应液在 37 ℃水浴中保温 1 h 后,立即加入 0.1 mL 1 % HCl 溶液终止反应,测定保温前后酶液在 290 nm 下的 OD 值,以每小时在 290 nm 处吸值收变化 0.01 所需酶量为一个酶活力单位。测定 3 次重复。

1.3.7 木质素测定

参考 Kirk,T.K.等^[11]方法并加以改进。称取 5 g 用液氮磨碎的菜心,移入 100 mL 烧杯中,加入 30 mL 质量分数为 72 %的浓硫酸,充分搅拌混匀后,在 35 ℃恒温水浴 1 h,之后用蒸馏水润洗,将洗涤液移入 1 000 mL 烧杯中,将体积定容到 700 mL。将该稀酸液煮沸 2 h,这个过程要保持液体体积不变。待其冷却后,用烘干过的恒重 G4 砂芯漏斗抽吸过滤,洗涤至洗液与 10 % BaCl₂ 溶液反应无白色沉淀为止,于 80 ℃烘干至恒重称量,测定 3 次重复。

$$\omega/\% = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \times 100$$

式中:ω 为木质素含量,%;m₀ 为样品质量,g;m₁ 为砂芯漏斗净重,g;m₂ 为干燥后砂芯漏斗质量,g。

1.3.8 数据处理

每个试验重复 3 次,其结果表示为平均值。利用 Origin, 9.0 生成图表分析木质素含量及酶活力变化的趋势。电泳结果采用专业软件 Quantity One V4.5 处理。

2 结果与分析

2.1 高氧气调包装对木质素含量的影响

鲜切菜心在 25 ℃下,5 d 内木质素含量的变化规律如图 1 所示。

在植物体中,木质素含量在 15 %~36 %之间,是地球上仅次于纤维素的大分子有机物^[12],是构成细胞壁

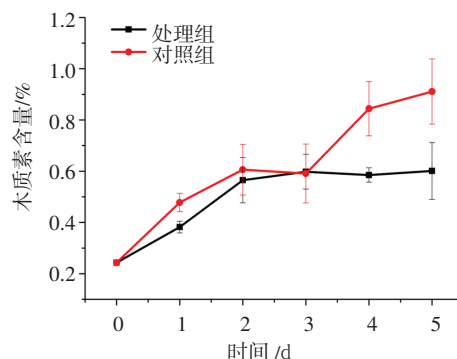


图 1 鲜切菜心在 25 ℃下木质素含量的变化规律

Fig.1 The changes of lignin content of fresh-cut cabbage under 25 °C

次生结构的主要成分,有硬化细胞壁的作用,但果蔬中过高的木质素含量会影响其食用品质^[13]。陈学红等^[14]对绿芦笋采用了 80 %浓度的高氧包装处理,贮藏期间 PAL 和过氧化物酶(peroxidase, POD)活性均受到抑制,木质素的合成量与空气处理相比显著降低。

本试验中采用氧浓度 90 %以上的高氧处理,由图 1 可知,鲜切菜心木质素含量随贮藏时间逐渐增加,并且随贮藏期的延长增加速度变缓。且处理组的木质素含量均低于对照组,到第 3 天时,两种处理下的木质素含量接近。总体增长速度处理组要低于对照组,说明高氧气调包装可延缓鲜切菜心木质素含量的增加。

2.2 高氧气调包装对苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响

鲜切菜心在 25 ℃下,5 d 内 PAL 活性的变化规律如图 2 所示。

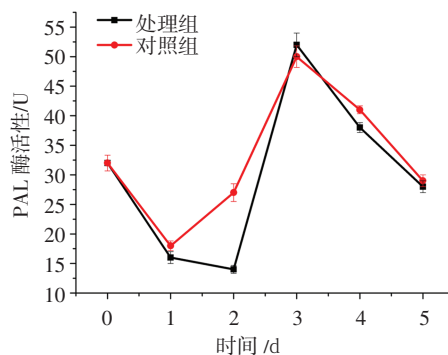


图 2 鲜切菜心在 25 ℃下 PAL 活性的变化规律

Fig.2 The Change of PAL activity of fresh-cut cabbage under 25 °C

PAL 是木质素合成途径的第一个酶,其酶活性能够直接影响植物的木质素合成,在多种植物中发现在木质化组织中含有较高的 PAL 活性,而在这些植物的非木质化组织中不能检测到 PAL 活性^[15]。PAL 酶基因的转录表达极易受到外界各种刺激因子的诱导^[16]。如,

光、温度、机械伤害、病原微生物侵染、外源植物激素和气体成分等均对 PAL 基因在转录水平有诱导作用^[17-20]。

高氧气调抑制酶活的机理主要是通过抑制呼吸从而降低果蔬木质素合成的相关酶活达到的。在贮藏过程中,高氧气调包装的鲜切菜心的 PAL 活要低于对照组。Tucker 和 Laties^[21]认为氧气浓度超过呼吸链末端氧化酶的饱和浓度时,其对呼吸有负反馈抑制作用。Limbo 等^[22]用高氧气调包装处理马铃薯,发现其贮藏期间挥发性物质的显著减少,呼吸作用受到抑制。

陈学红等^[23]对鲜切茼蒿进行高氧处理也得到了同样的结果,在贮藏一定时间后,呼吸作用会达到高峰同时 PAL 活也会达到高峰,后持续降低。贮藏期间对照组的 PAL 活性要低于对照组,因此高氧处理对 PAL 活有抑制作用。

在 An Jianshen 等^[24]研究采用高浓度臭氧对芦笋进行处理,发现其 PAL 活性受到明显抑制,而且抑制作用与臭氧浓度正相关,这说明高浓度的氧处理对果蔬产品 PAL 活性有抑制作用。

2.3 高氧气调包装对木质素 PAL 在转录水平表达的影响

鲜切菜心在 25℃下,5 d 内 PAL 的 DNA 转录水平表达如图 3 所示。

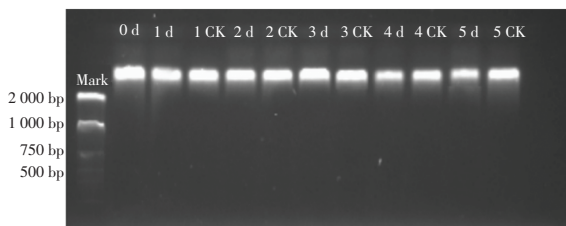


图 3 鲜切菜心在 25℃下 PAL 基因的表达差异

Fig.3 The difference of PAL enzyme gene expression of fresh-cut cabbage under 25℃

由图中可得知,每个样品的 PAL 的基因都发生转录水平的表达。结果显示,从 0 d 到第 2 天条带亮度在逐渐减弱,到了第 3 天条带又变亮,之后又逐渐减弱;说明 0 d 与 3 d 的酶基因表达较多,与之前测定的 PAL 活性结果一致,在第 3 天时出现了 PAL 活性高峰。贮藏到第 4 天时,可以发现,处理组条带的亮度比对照的要弱。

试验结果表明,PAL 基因在高氧气调和空气包装两种不同处理方式下均有表达,前期差异不明显,到后期空气包装处理后的 PAL 基因的转录表达水平高于采用高氧气调处理,高氧气调包装在一定程度上降低了 PAL 基因的转录表达。孙涵等^[25]采用高氧动态气调处理双孢蘑菇后,发现除了 PAL,高氧气调还能有效抑

制 4-香豆酸-辅酶 A 连接酶(4-coumarate: coenzyme A ligase, 4CL)和肉桂醇脱氢酶(cinnamyl alcohol dehydrogenase, CAD),3 种酶活都在贮藏过程中呈现先上升后下降的趋势,同时其活性与木质素含量呈显著正相关。而 4CL 与 CAD 的相关性要大于 PAL。

因此,在研究木质素合成的苯丙烷代谢途径时,还要考虑 PAL 以外有很多酶的参与作用,包括:甲基化酶[包括咖啡酸-3-O-甲基转移酶(caffeic acid-3-O-methyltransferase, COMT)和咖啡酰辅酶 A-O-甲基转移酶(caffeoyl-CoA O-methyltransferase, CCoAOMT)],羟基化酶[香豆酸-3-羟基化酶(coumarate 3-hydroxylase, C3H)和阿魏酸-5-羟基化酶, Ferulate-5-hydroxylase, F5H],连接酶(4CL),还原酶[肉桂酰辅酶 A 还原酶, (cinnamoyl-coA reductase, CCR)和 CAD]以及聚合酶, Ran 等^[26]在对甘蓝型黄黑籽油菜种皮发育过程木质素含量变化研究中发现,4CL、F5H 和 CAD 酶活力与木质素的含量在前期呈显著或极显著关系。所以,通过研究高氧气调包装对其他关键酶活性的抑制作用,能更有效的提高保鲜效果,减少蔬菜木质化。

3 结论

采后果蔬硬度增加主要是由于组织纤维化,甚至逐步产生木质素的积累,导致组织发生木质化,木质化后的叶菜细胞壁变厚,皮质变韧,口感也会严重下降。

本试验中,鲜切菜心在高氧包装下,其木质素增长速度随贮藏期的延长增加速度变缓,但普通包装下,鲜切菜心木质素合成速度在 3 d 后会再次加快;同时 PAL 活性及转录水平表达均在 3 d 时达到高峰,后持续降低,其中 3 d 后空气包装处理的 PAL 基因的转录表达水平高于高氧气调处理;因此认为抑制 PAL 的活性及其基因的转录表达与鲜切菜心木质素的合成速度变缓是相关的。结合前人的研究,朱海英等^[27]研究丝瓜发育过程的木质素的积累趋势,发现 PAL 和 CAD 的活性高峰出现在木质素大量合成之前。吴晓丽等^[28]研究发现竹笋在贮藏过程中木质素含量增加与 PAL、POD 活性呈正相关,说明竹笋的采后老化和木质化是 PAL、POD 活性增高引起的。吴锦程等^[29]研究得出枇杷果实的木质素合成与 PAL 活性之间具有较高的相关性,PAL 活性差异是导致不同成熟度冷藏枇杷果实产生不同程度木质化的主要因素。

本试验采用高氧包装处理,通过抑制鲜切菜心的呼吸作用,进而抑制了鲜切菜心在贮藏过程中的 PAL 基因的转录表达及其活性。结合前人研究,周涛等^[30]经研究通过气调包装抑制了轻加工茭白中 PAL 和 POD

酶的活性,进而抑制了其木质素的合成,延缓了茭白的老化速率。李伟丽等^[31]利用 80 %高氧处理雪莲果,吴绪敏等^[32]利用高氧气调包装鲜切洋葱,均能有效抑制相关酶活性。

本试验结果认为,高氧气调包装可以在一定程度上抑制鲜切菜心 PAL 基因的转录表达及其活性,从而降低其木质素含量,减缓鲜切菜心木质化进程,从而延长其货架期。

参考文献:

- [1] 耿安静,于秀荣,王富华.菜心食品的深加工研究进展[J]. 中国调味品, 2012,37(2): 83-85
- [2] 李凤玲,徐培洲,肖伟,等.植物凝集素及其在抗虫基因工程中的应用[J].安徽农业科学,2006,34(3): 430-432,439
- [3] Freudenberg K. Constitution and Biosynthesis of Lignin[J]. Quarterly Review of Biology, 1968, 46(2): 171-175
- [4] Boerjan W, Ralph J, Baucher M. Lignin Biosynthesis [J]. Annual review of plant biology, 2003, 54(1): 519-546
- [5] Douglas C J. Phenylpropanoid metabolism and lignin biosynthesis: From weeds to trees[J]. Trends in Plant Science, 1996, 1(6): 171-178
- [6] Humphreys J M, Chapple C. Rewriting the lignin roadmap[J]. Curr Opin Plant Biol, 2002, 5(3): 224-229
- [7] 王贵禧,李鹏霞,梁丽松,等.高氧处理对冬枣货架期间膜脂过氧化和保护酶活性的影响[J].园艺学报,2006,33(3): 609-612
- [8] 郑永华,苏新国,李欠盛,等.高氧对枇杷果实贮藏期间呼吸速率和多酚氧化酶活性及品质的影响 (简报)[J]. 植物生理学通讯, 2000,36(4): 318-320
- [9] Day B P F. High oxygen modified atmosphere packaging for fresh prepared produce[J]. Postharv News info, 1996, 7(3): 31-34
- [10] Koukol J, Conn E E. The Metabolism of Aromatic Compounds in Higher Plants IV. PURIFICATION AND PROPERTIES OF THE PHENYLALANINE DEAMINASE OF HORDEUM VULGARE [J]. Journal of Biological Chemistry, 1961, 236(10): 12692
- [11] Kirk T K, Obst J R. Lignin determination[J]. Methods in enzymology, 1988, 161C: 87-101
- [12] Zhong R. Essential Role of Caffeoyl Coenzyme A O-Methyltransferase in Lignin Biosynthesis in Woody Poplar Plants [J]. PLANT PHYSIOLOGY, 2000, 124(2): 563-578
- [13] Bate N J, Orr J, Ni W, et al. Quantitative relationship between phenylalanine ammonia-lyase levels and phenylpropanoid accumulation in transgenic tobacco identifies a rate-determining step in natural product synthesis[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1994, 91(16): 7608-7612
- [14] 陈学红,秦卫东,马利华,等.高氧气调包装对绿芦笋木质化的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(22): 350-353
- [15] 杜欣谊. 苯丙氨酸解氨酶的研究进展[J]. 现代化农业,2016(7): 24-26
- [16] DIXON R A, PAIVA N L. Stress-Induced Phenylpropanoid Metabolism [J]. The Plant cell, 1995, 7(7): 1085-1097
- [17] Northcote K D H. Regulation of Induction of Phenylalanine Ammonia-Lyase in Suspension Cultures of Phaseolus vulgaris [J]. Planta, 1979, 146(4): 433-440
- [18] Bolwell G P, Cramer C L, Lamb C J, et al. L-Phenylalanine ammonia-lyase from Phaseolus vulgaris: Modulation of the levels of active enzyme by trans-cinnamic acid[J]. Planta, 1986, 169(1): 97-107
- [19] LEYVA A. Low temperature induces the accumulation of Phenylalanine ammonia lyase and chalcone synthase mRNA of Arabidopsis thaliana in a light dependent manner[J]. Plant Physiology, 1995, 108(1): 39-46
- [20] 刘卫红,程水源.光照及机械损伤对银杏叶苯丙氨酸解氨酶活性的影响[J].湖北农业科学,2003(3): 73-74
- [21] Tucker M L, Laties G G. The dual role of oxygen in avocado fruit respiration: Kinetic analysis and computer modeling of diffusion-affected respiratory oxygen isotherms[J]. Plant Cell Environ, 1995(8): 117-127
- [22] Limbo S, Piergiovanni L. Minimally processed potatoes: part 2. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acid on loss of some quality traits [J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(2): 221-229
- [23] 陈学红,秦卫东,马利华,等.高氧气调包装对鲜切茼蒿呼吸和酶活性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011,37(12): 208-212
- [24] An Jianshen, Zhang Min, Lu Qirui. Changes in some quality indexes in fresh-cut green asparagus pretreated with aqueous ozone and subsequent modified atmosphere packaging [J]. Journal of Food Engineering, 2007,78(2): 340-344
- [25] 孙涵,王相友,李玲.高氧动态气调对双孢蘑菇细胞壁代谢及木质化进程的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 255-262
- [26] RAN Xiu-zhi, LIANG Ying, LI Jia-na. Analysis of the Lignin Contents and Related Enzymes Activities in Seed Coat Between Black-Seeded and Yellow-Seeded Rapeseeds (*Brassica napus* L.) [J]. 中国农业科学: 英文版, 2005, 4(12): 890-897
- [27] 朱海英,李人圭,王隆华,等.丝瓜果实发育中木质素代谢及有关导管分化的生理生化研究[J].华东师范大学学报(自然科学版), 1997(1): 87-94
- [28] 吴晓丽,顾小平,苏梦云,等.离体毛竹笋纤维素和木质素含量及 POD 和 PAL 活性研究[J]. 林业科学研究, 2008, 21(5): 697-701
- [29] 吴锦程,梁杰,陈建琴,等.采收成熟度与冷藏枇杷果实木质化关系研究[J]. 食品科学, 2010, 31(2): 255-259
- [30] 周涛,许时婴. MAP 对轻度加工茭白贮藏过程中生理变化的影响[J]. 食品科学, 2006, 27(10): 564-567
- [31] 李伟丽,李喜宏,张培培,等.高氧处理对鲜切雪莲果货架寿命的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(20): 72-75
- [32] 吴绪敏,周颖越,欧阳杰.高氧气调包装鲜切洋葱的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(9): 564-567

收稿日期:2018-10-18