研究论文

膜稳定剂–曲酸负压渗透处理对双孢蘑菇采后生理和品质的影响

杨 慧[1]， 王赵改[*1]， 梁万平[2]， 陈丽娟[1]

（1. 河南省农科院 农副产品加工研究所，河南 郑州 450008；2. 驻马店市农业科学院 资源环境研究所，河南 驻马店 463000）

摘要： 以双孢蘑菇为对象，基于单一和正交试验，研究了不同膜稳定剂（乳酸钙和精胺）–酶抑制剂（曲酸）负压渗透处理对双孢蘑菇采后生理生化及品质的协同调控影响。结果表明：与对照、乳酸钙–曲酸和乳酸钙–精胺–曲酸3组相比，精胺–曲酸大大降低双孢蘑菇失重率，延缓菇体表面腐烂，抑制其品质劣变的发生；降低抗坏血酸（VC）及总多酚的降解速率及膜脂过氧化程度，抑制呼吸强度和多酚氧化酶（PPO）活性的同时提升了过氧化氢酶（CAT）和过氧化物酶（POD）活性，减轻了活性氧对菇体的伤害。

关键词： 双孢蘑菇；负压渗透；膜稳定剂；曲酸；生理；品质

中图分类号：S 646.9　**文献标志码：**A　**文章编号：**1673—1689(2014)10—1063—07

Effects of Membrane Stabilizers and Kojic Acid Complex by Valumm Infiltrationon on Postharvest Physiology and Quality of *Agaricus bisporus*

YANG Hui[1]， *WANG Zhaogai*[*1]， *LIANG Wanping*[2]， *CHEN Lijuan*[1]

（1. Institute of Agricultural Products Processing，Henan Academy of Agricultural Sciences，Zhengzhou 450008，China；2. Institute of Resources and Environment，Zhumadian City of Agricultural Sciences，Zhumadian 463000，China）

Abstract: Synergistic effects of different membrane stabilizers （calcium lactate and spermine） and enzyme inhibitor–kojic acid complex by valumm infiltration on postharvest physiology and quality of *Agaricus bisporus* were studied，which was meaningful to prevent browning and prolong shelf life. Results indicated that the complex of spermine and kojic acid greatly reduced weight loss rate，delayed rot of mushroom surface，inhibited quality deterioration；Degradation rate of nutritional ingredients such as ascorbic acid （VC）、total polyphenol and membrane lipid peroxidation were inhibited significantly. The respiratory intensity and polyphenol oxidase（PPO） were inhibited，while activity of catalase （CAT） and peroxidase （POD） were enhanced，which played positive effect on reducing the damage by active oxygen and maintaining excellent quality of *Agaricus bisporus*.

Keywords: *Agaricus bisporus*，valumm infiltration，membrane stabilizer，kojic acid，physiology，quality

收稿日期： 2014–03–15

基金项目： 国家自然科学基金项目（31101373）；河南省科技成果转化计划项目（132201110030）。

* **通信作者：** 王赵改（1980—），女，河南驻马店人，工学博士，副研究员，主要从事农产品保鲜与加工研究。E–mail：zgwang1999@126.com

双孢蘑菇采后褐变衰老主要是由酪氨酸酶、细胞膜等共同作用复杂生理生化过程[1],当其采摘受到切面机械损伤和衰老时，加剧了膜脂过氧化进程,膜选择透性逐渐丧失,为原本处于区域化分布的酪氨酸酶和酚类底物的接触创造很有利的条件,加剧褐变的发生,这可能也是在双孢蘑菇子实体贮藏保鲜时仅通过抑制剂降低酶的活性往往很难达到较好抑制效果的原因。因此,采后防褐变保鲜成为双孢蘑菇保鲜和加工领域亟待解决的难题。

研究表明,乳酸钙和精胺有维持细胞壁、细胞膜的结构及功能,保持果实营养成分,延缓衰老等多种生理功能[2],已经广泛应用于果蔬采后保鲜方面,如西瓜[3]、葡萄柚[4]、葡萄[5]、凯特杏[6]等,且最近试验结果表明,乳酸钙、精胺处理能明显延缓双孢蘑菇子实体褐变的发生进程,但对离体状态酪氨酸酶无任何抑制能力。近期研究结果还表明,曲酸可以显著抑制离体情况下双孢蘑菇褐变的发生,其作为酶抑制剂已经应用于食品防腐及保鲜等领域[7-8]。作者前期曾将质量分数 1.5%乳酸钙结合质量分数 0.05%曲酸共同处理双孢蘑菇，发现复合体系对双孢蘑菇采后品质起着一定的协同调控作用,但未对该复合体系的最佳条件进行优化筛选。目前,将保鲜剂负载于双孢蘑菇子实体内常用的方法为常压浸渍法,而保鲜剂组分会因其相对分子质量大小和电荷性质的不同使其对菇体组织的渗透特性存在较大差异，有效成分难以快速均匀的到达组织内部,一定程度上制约了其保鲜效果。基于此,试验在不破坏细胞膜结构乳酸钙与精胺)联合曲酸负压渗透处理对双孢蘑菇生理生化及品质的影响,以期得到最佳膜稳定剂-曲酸复合体系,旨在为双孢蘑菇采后防褐变保鲜提供新的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

双孢蘑菇:采自河南省西平县双孢蘑菇示范基地,品种为 As2796,采收后分层放入自制的双孢蘑菇专用贮运保鲜箱并立即运回实验室预冷 20 h。选取大小、成熟度一致、颜色洁白、无开伞、无病虫害和机械损伤的蘑菇进行试验。

1.2 试验设计

在单一因素和正交实验的基础上,试验设置对照组(蒸馏水处理)、质量分数分别为 2.5%乳酸钙溶液、5.0%曲酸溶液组、2.0%精胺溶液以及 5.0%曲酸溶液组,同时为了考察不同膜稳定剂之间是否存在增效作用，试验另外设置质量分数 2.5%乳酸钙溶+2.0%精胺溶液+5.0%曲酸溶液处理组，共计 4 个处理组合。将挑选好的双孢蘑菇放入相应的溶液中,启动真空泵抽真空,使真空度达到 0.05 MPa,保持 1.0 min,然后将双孢蘑菇捞出于低温下晾干,转入(2±1) ℃环境中进行贮藏,每隔 2 d 测一次指标,共测 7 次。

1.3 指标的测定

失重率参照 Jiang[9]方法;感官指标评定参照石启[10]等方法,等级标准见表 1 所示。呼吸强度、丙二醛(MDA)含量及电导率的测定参照 Fei 等[11]方法;VC 和多酚含量测定参照 Gao[12]等方法;PPO 和 POD 活性的测定参照温明霞等[13]方法,CAT 活性的测定参照周莎莎[14]等方法,略有修改。

表 1 双孢蘑菇的贮藏效果感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of storage effect on *Agaricus bisporus*

级别	评分	色泽	开伞	表面是否发粘	异味	质地
1	8~10	色泽洁白	无	无	无	丰满有弹性
2	6~8	色泽洁白	轻微开伞	稍发粘	稍微异味	稍软,稍失弹性
3	4~6	稍褐变	明显开伞	发粘	明显异味	变软
4	<4	褐变严重	严重开伞	粘度大	严重异味	严重软烂

1.4 数据处理

数据采用 Origin8.6 进行作图,Excel 和 SPSS 11.5 进行相关分析和显著性差异分析。

2 结果与讨论

2.1 负压渗透处理对双孢蘑菇失重率影响

图 1 显示,随着贮藏时间的延长双孢蘑菇的失重率均呈逐渐上升趋势,试验结果显示,复合体系处理组延缓双孢蘑菇失重率降低的作用。在整个贮藏期间,复合体系处理组失重率始终低于对照组。在贮藏第 18 d,对照组失重率竟高达 10.87%,分别比乳酸钙-曲酸、精胺-曲酸和乳酸钙-精胺-曲酸 3 组高了 1.98%、3.51%和 1.53%。显著性分析结果表明,复合体系 3 组与对照组存在极显著差异($p<0.01$),乳酸钙-曲酸与精胺-曲酸亦存在显著差异($p<0.05$),但乳酸钙-曲酸与乳酸钙-精胺-曲酸无显著差异($p>0.05$)。表明精胺-曲酸复合体系负压渗透处理较其他处理可以显著延缓双孢蘑菇失重率下降,较好保持双孢蘑菇的新鲜度和品质。

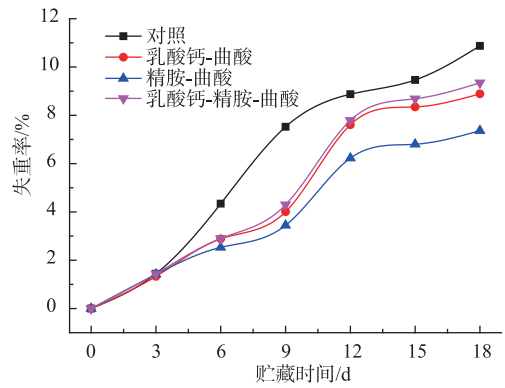


图 1 不同处理双孢蘑菇贮藏期间失重率的变化

Fig. 1 Changes of weight loss ratio of Agaricus bisporus by different treatments during storage

2.2 负压渗透处理对感官指标的影响

感官评价作为一个宏观的定性评价方法,具有综合性,可以对双孢蘑菇商业价值进行更为全面的评估。复合体系负压渗透处理对双孢蘑菇感官指标的影响如表 2 所示。

由表 2 可知,随着贮藏时间的延长,4 处理双孢蘑菇的感官评分均呈逐渐下降趋势。方差分析显示,贮藏第 3 d 时,3 处理组之间与对照组存在极显著差异($p<0.01$),而处理组之间差异不显著($p>0.05$);贮藏第 6 d 时,对照组与乳酸钙-精胺-曲酸组双孢蘑菇品质劣变比其它 2 组严重,并存在极显著差异($p<0.01$);在随后的贮藏过程中,对照组双孢蘑菇品质下降最严重,其次是乳酸钙-精胺-曲酸组,接着是乳酸钙-曲酸组,精胺-曲酸组整体品质最好,评分最高,且 4 组之间存在极显著差异($p<0.01$)。

2.3 负压渗透处理对双孢蘑菇抗坏血酸的影响

VC 兼具有酸性及较强的抗氧化特性,极易氧化分解,可与游离氨基酸反应生成红色素及黄色素。研究表明,果蔬在贮藏过程中发生褐变,抗坏血酸含量随之改变。由此推测,果蔬非酶褐变可能与抗坏血酸褐变有关[15]。双孢蘑菇在贮藏过程中,VC 质量分数呈先增大后减小的变化趋势(见图 2),在贮藏第 3 d,VC 质量分数达到高峰值,随后逐渐下降。可能果实采摘时未达到成熟,采摘后蘑菇在贮藏前期逐渐成熟,表现出 VC 质量分数逐渐升高,而后伴随着菇体衰老和抗氧化性逐渐减弱,VC 质量分数逐渐下降。贮藏后期对照组 VC 质量分数下降迅速,从贮藏第 3 d 峰值的 192.74 μg/g 到贮藏末期的 104.37 μg/g,下降了 45.85%,而乳酸钙-曲酸、精胺-曲酸和乳酸钙-精胺-曲酸 3 组则延缓了 VC 质量分数的下降,分别下降了 35.19%、29.56%和 38.80%。显著性分析显示,从贮藏第 6 d,处理组与对照组均存在极显著差异($p<0.01$),且精胺-曲酸组与乳酸钙-曲酸和乳酸钙-精胺-曲酸与也存在显著差异($p<0.01$),表明处理组中精胺-曲酸的 VC 保留率最高。

表 2 不同处理对双孢蘑菇感官指标的影响

Table 2 Sensory evaluation standard of *Agaricus bisporus* by different treatments

处理方法	贮藏时间/d						
	0	3	6	9	12	15	18
对照	10^{aA}	8.9^{bB}	8.0^{bB}	6.8^{dD}	5.6^{dD}	4.3^{dC}	3.0^{dD}
乳酸钙-曲酸	10^{aA}	9.4^{aA}	8.9^{aA}	7.9^{bB}	6.8^{bB}	6.3^{bB}	5.9^{bB}
精胺-曲酸	10^{aA}	9.5^{aA}	9.0^{aA}	8.5^{aA}	8.2^{aA}	7.3^{aA}	6.8^{aA}
乳酸钙-精胺-曲酸	10^{aA}	9.4^{aA}	8.6^{bB}	7.4^{cC}	6.5^{cC}	6.1^{cB}	5.4^{cC}

注:同一栏内标有不同小写字母表示差异显著($p<0.05$),标有不同大写字母表示差异极显著($p<0.01$)。

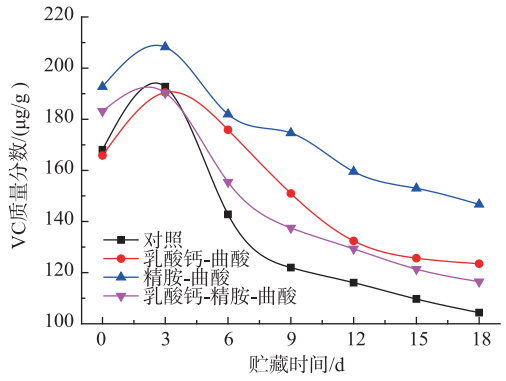


图 2　不同处理双孢蘑菇贮藏期间 VC 质量分数的变化

Fig. 2　Changes of ascorbic acid content of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.4　负压渗透处理对双孢蘑菇总多酚质量分数的影响

研究表明,多酚类物质不仅与风味、抗病性等密切相关,且可作为酶促反应的底物,其质量分数与双孢蘑菇的褐变有直接关联[16]。贮藏过程中 4 组的总多酚质量分数均呈升高再降低变化趋势（图 3),对照组上升的幅度较低,而乳酸钙–曲酸、精胺–曲酸和乳酸钙–精胺–曲酸 3 组迅速上升，均第 6 d 达到峰值,分别为 885.30,1 017.37,1 128.35,932.35 μg/g。精胺–曲酸处理组在整个贮藏过程中总多酚质量分数高于其它组,并达到显著差异(p<0.05)。

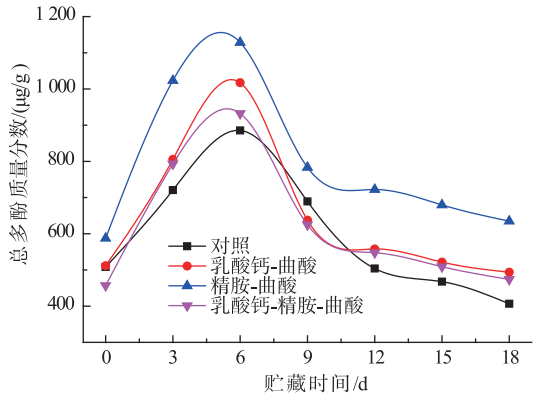


图 3　不同处理双孢蘑菇贮藏期间总多酚质量分数的变化

Fig. 3　Changes of total phenols content of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.5　负压渗透处理对双孢蘑菇呼吸强度的影响

双孢蘑菇作为高呼吸强度食用菌类,其大小直接影响双孢蘑菇的耐贮性和抗病性,图 4 中,4 组双孢蘑菇整个贮藏期间呼吸强度整体呈“升高–下降–升高–下降”的“双 S”型变化趋势。对照组呼吸强度整体维持在较高水平,并在第 3 d 达到呼吸高峰,为 150.01 mg/(kg·h),而乳酸钙–曲酸、精胺–曲酸和乳酸钙–精胺–曲酸 3 组均在第 6d 达到呼吸高峰,分别为 137.0,130.23,141.75 mg/(kg·h)，比对照组延迟了 3 d,且明显低于对照组(p<0.05),这与孙娅等[17]研究的结果相一致。试验用贮藏过程中呼吸强度均值衡量双孢蘑菇呼吸强度的大小,结果表明,4 组蘑菇呼吸强度均值分别为 139.91,123.47,120.93,124.70 mg/(kg·h),且精胺–曲酸组始终维持在较低水平,对双孢蘑菇的呼吸有着更强的抑制作用。

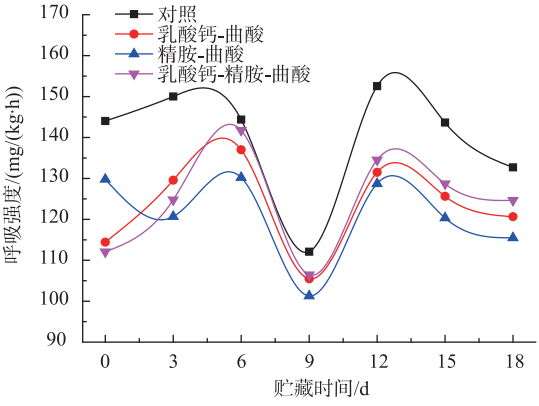


图 4　不同处理双孢蘑菇贮藏期间呼吸强度的变化

Fig. 4　Changes of respiration intensity of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.6　负压渗透处理对双孢蘑菇丙二醛含量的影响

MDA 作为膜脂过氧化作用的主要产物之一,其含量的高低代表着细胞膜脂过氧化的程度。图 5 显示,丙二醛含量随着贮藏时间的延长整体呈上升趋势,对照组贮藏初期丙二醛含量降低可能是因为菇体离开营养基质后,水分和营养被切断,蘑菇受到胁迫造成菇体内积累一定量的 MDA[18],随着菇体的衰老 MDA 含量逐渐上升，在第 6 d 时丙二醛含量竟高达 7.84 nmol/g,随后亦明显高于其它 3 组(p<0.05)。整体乳酸钙–曲酸、精胺–曲酸和乳酸钙–精胺–曲酸 3 组整体 MDA 含量比对照组低,但在贮藏后期精胺–曲酸组与其它 2 处理组达到极显著水平(p<0.01)，表明处理组均降低了蘑菇细胞膜脂过氧化,这可能是乳酸钙、精胺与曲酸存在一定的协同效应,共同延缓细胞质膜过氧化。贮藏过程中发现有 MDA 有下降趋势可能是因为 MDA 与其它物质作用所致[19]。

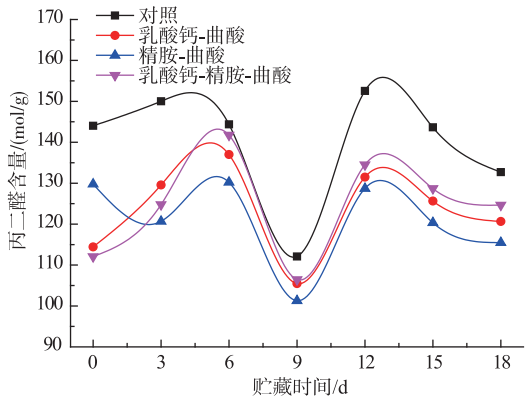


图 5 不同处理双孢蘑菇贮藏期间丙二醛含量的变化

Fig. 5 Changes of malondialdehyde content of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.7 负压渗透处理对双孢蘑菇细胞膜透性的影响

双孢蘑菇采摘后受到机械损伤和衰老等双重逆境条件下,细胞膜的结构和功能首先受到破坏,其表现往往为细胞膜透性增大,细胞内部分电解质外渗,外液电导率增大。

由图 6 可知,蘑菇贮藏过程中细胞膜脂透性逐渐升高,对照组始终高于其它 3 处理组,精胺–曲酸组整体处于较低水平,这与对丙二醛质量分数的影响效果相一致。贮藏第 18 d,乳酸钙–曲酸组、精胺–曲酸组和乳酸钙–精胺–曲酸组细胞膜脂透性分别比对照组低了 1.05%、1.40%和 0.63%,精胺–曲酸组在贮藏后期与其它组均达到极显著水平 ($p<0.01$)。表明乳酸钙、精胺的稳定和修复细胞膜的功能大大降低了蘑菇采后膜脂过氧化的发生,减少酶及底物的区域化的破坏,酶促褐变有效的得到控制;同时曲酸对 PPO 活性有着较强的抑制作用,对酶促褐变的发生有着较强抑制作用,共同控制蘑菇褐变,延缓衰老。

2.8 负压渗透处理对双孢蘑菇多酚氧化酶(PPO)的影响

从图 7 可以看出,对照、乳酸钙–精胺和乳酸钙–曲酸–精胺 3 组双孢蘑菇在贮藏期间 PPO 活性变化趋势基本一致,整体呈升高趋势,且在贮藏前 6 d,乳酸钙–精胺–曲酸组与对照、乳酸钙–曲酸存在显著性($p<0.05$),但对照组与乳酸钙–曲酸 2 组 PPO 活性无显著差异($p>0.05$),随后对照组在第 9 d 达到高峰,为 226.33 U/g,与其它 3 组均达到显著水平($p<0.05$)。精胺–曲酸组 PPO 活性呈下降趋势,前 3 d PPO 活性明显高于其它 3 组($p<0.01$),随后贮藏后期又明显低于其它组($p<0.05$)。以上分析结果表明,乳酸钙–曲酸和乳酸钙–精胺–曲酸不能改变 PPO 活性的变化趋势,有效的降低 PPO 活性,而精胺–曲酸组对 PPO 活性的抑制效果较好。

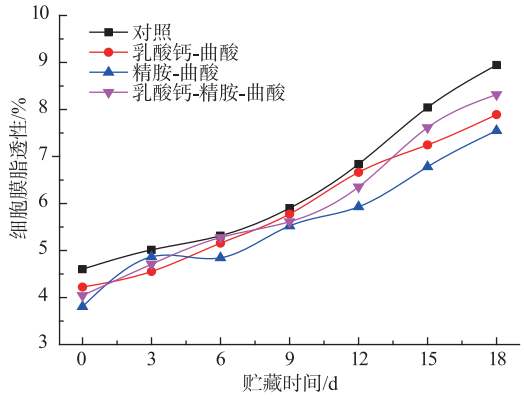


图 6 不同处理双孢蘑菇贮藏期间细胞膜透性的变化

Fig. 6 Changes of cell membrane permeability of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

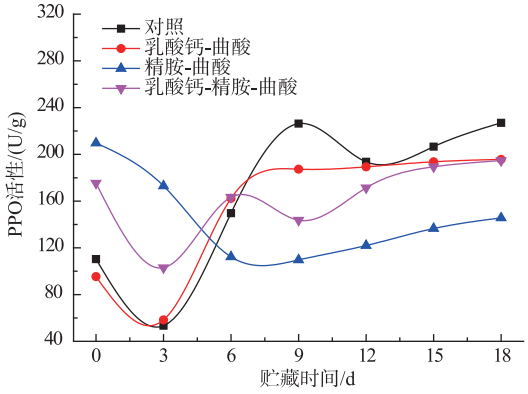


图 7 不同处理双孢蘑菇贮藏期间 PPO 活性的变化

Fig. 7 Changes of PPO activity of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.9 负压渗透处理对双孢蘑菇过氧化氢酶(CAT)的影响

随着贮藏时间的延长,不同处理下双孢蘑菇的 CAT 活性总体呈上升趋势(见图 8),且 3 个处理组在整个贮藏期间整体上 CAT 活性高于对照组。精胺–曲酸组在第 3 d 是对照组的 1.92 倍,在第 18 d 高于对照组 107.54%;乳酸钙–曲酸组在第 3 d 为对照组的 1.95 倍,在第 18 d 高于对照组 73.24%;乳酸钙–精胺–曲酸组第 3 d 为对照组的 1.41 倍,在第 18 d 高于对照组 15.06%;其中 3 处理组出现第一次最大值的时间比对照组提前了 6 d,且均在第 3、12 d 与

对照组、乳酸钙-精胺-曲酸达到显著水平($p<0.05$)，精胺-曲酸组与乳酸钙-曲酸组在第 9、12、15、18 d 均达到显著水平($p<0.05$)。以上分析可知，精胺-曲酸组在整个贮藏期间 CAT 活性增长幅度最大，且在贮藏后期优势更明显，表明精胺-曲酸可以维持较高水平的 CAT 活性，进而清除 H_2O_2 的积累，对双孢蘑菇细胞膜内自由基代谢的稳定性有着较好积极作用[17]。

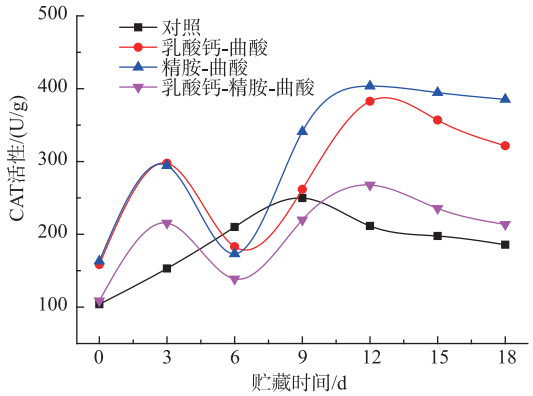


图 8　不同处理双孢蘑菇贮藏期间 CAT 活性的变化

Fig. 8　Changes of CAT activity of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

2.10　负压渗透处理对双孢蘑菇过氧化物酶(POD)的影响

如图 9 所示，不同处理下双孢蘑菇 POD 活性变化趋势基本一致，与第 0 d 相比，不同处理组整体呈下降的趋势。其中乳酸钙-曲酸、精胺-曲酸和乳酸钙-精胺-曲酸 3 组 POD 活性始终比对照组高，乳酸钙-曲酸组在第 6 d 出现高峰值，POD 活性达到 39.5 U/g，为对照组的 1.19 倍，随后下降，整个贮藏期间与对照组均达到极显著水平($p<0.01$)；乳酸钙-精胺-曲酸组在贮藏前期高于对照和乳酸钙-曲酸 2 组，第 3 d 分别高了 28.73%和 21.33%，随后贮藏后期明显低于精胺-曲酸组($p<0.01$)；精胺-曲酸组第 3d 分别是对照、乳酸钙-曲酸组、乳酸钙-曲酸-精胺的 1.53 倍、1.44 倍和 1.19 倍，第 6、9 d 与乳酸钙-曲酸组达不到显著水平($p>0.05$)，但明显高于对照组和乳酸钙-精胺-曲酸组($p<0.01$)，随后第 18 d 分别高于对照、乳酸钙-曲酸和乳酸钙-精胺-曲酸的 89.58%、55.03%和 49.18%($p<0.01$)，且精胺-曲酸组在整个贮藏期间与对照组达到极显著水平($p<0.01$)。可知，精胺-曲酸可以显著提高 POD 活性，进而消除过氧化物，减少活性氧对菇体的伤害，保持较好的菇体品质。

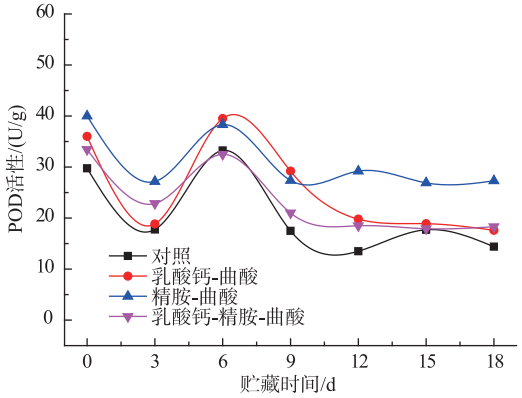


图 9　不同处理双孢蘑菇贮藏期间 POD 活性的变化

Fig. 9　Changes of POD activity of *Agaricus bisporus* by different treatments during storage

3　结　语

双孢蘑菇采后后熟衰老是一种复杂的生理生化过程，试验基于真空促渗技术，以乳酸钙、精胺为膜稳定剂，曲酸为酶抑制剂，对不同膜稳定剂协同曲酸共同调控双孢蘑菇的采后生理及品质进行研究。实验结果显示，与对照组相比，3 组复合体系对双孢蘑菇采后生理及贮藏品质起着积极作用，其中精胺-曲酸组明显延缓双孢蘑菇失重率的降低，保持蘑菇子实体外观品质，有效降低其内部褐变程度；同时精胺-曲酸复合体系强烈抑制了双孢蘑菇的呼吸作用，这与延缓双孢蘑菇采后营养成分等降解速率、菇体衰老、菇体品质的保持等密切相关；从双孢蘑菇的营养成分物质分析结果看，精胺-曲酸组更明显降低 VC 及总多酚等物质的降解，较好地保持了蘑菇品质；同时大大降低了双孢蘑菇细胞膜脂过氧化，更好的抑制 PPO 活性，提升了抗氧化酶如 CAT 和 POD 活性，清除活性氧自由基，促进氧自由基保护酶和抗氧化剂发生作用，进而延缓菇体衰老。这些表明了精胺与曲酸起到了更好的协同效应，可大大提高双孢蘑菇的贮藏品质，延长货架期，为双孢蘑菇采后贮藏保鲜提供了新的思路，但试验结果并没有达到预想的复合膜存在增效作用，这可能是因为所选的乳酸钙-精胺-曲酸复合体系的条件并不是最优，有待进一步研究。

参考文献:

[1] LIU Ying,HUANG Fan,YANG Hong,et al. Effects of preservation methods on amino acids and 5′-nucleotides of *Agaricus bisporus* mushrooms[J]. **Food Chemistry**,2014,149(15):221-225.

[2] Carlos R,Figueroa,María C. Opazoc,et al. Effect of postharvest treatment of calcium and auxin on cell wall composition and expression of cell wall-modifying genes in the Chilean strawberry(*Fragaria chiloensis*) fruit[J]. **Food Chemistry**,2012,132(4):2014-2022.

[3] 焦艳,李武,张超,等. 乳酸钙处理对鲜切西瓜品质特征的影响[J]. 食品工业科技,2011,32(9):372-374.
JIAO Yan,LI Wu,ZHANG Chao,et al. Effect of calcium lactate treatment on qualities of fresh-cut watermelon [J]. **Science and Technology of Food Industry**,2011,32(9):372-374.(in Chinese)

[4] Moraga M J,Moraga G,Fito P J,et al. Effect of vacuum impregnation with calcium lactate on the osmotic dehydration kinetics and quality of osmodehydrated grapefruit[J]. **Journal of Food Engineering**,2009,90(3):372-379.

[5] Harindra Champaa W A,Gilla M I S,Mahajanb B V C,et al. Postharvest treatment of polyamines maintains quality and extends shelf-life of table grapes(Vitis vinifera L.) cv. Flame Seedless[J]. **Postharvest Biology and Technology**,2014,91(5):57-63.

[6] 刘宾,王学君,毛江胜,等. 精胺处理对凯特杏低温贮藏期间生理特性的影响[J]. 食品科学,2009,30(22):358-360.
LIU Bing,WANG Xuejun,MAO Jiangsheng,et al. Effect of spermine treatment on physiological characteristics of Katy fruits (*Prunus armeniaca* L.) during low temperature storage[J]. **Food Science**,2009,30(22):358-360.(in Chinese)

[7] Niwa Y,Akamasu H. Kojic acid scavenges free radical while potentiating leukocyte function including free radical generation[J]. **Inflammation**,1991,15(4):303-315.

[8] Wei C I,Huang S Y,Chang K T. Mutagenicity studies of kojic acid[J]. **Toxicol Letters**,1991,59(1-3):213-220.

[9] JIANG Tianjia,ZHENG Xiaolin,LI Jianrong,et al. Integrated application of nitric oxide and modified atmosphere packaging to improve quality retention of button mushroom(*Agaricus bisporus*)[J]. **Journal of Food Chemistry**,2011,126(4):1693-1699.

[10] 石启龙,王相友,王娟,等. 包装材料对双孢蘑菇贮藏保鲜效果的影响[J]. 食品科学,2005,6(6):253-256.
SHI Qilong,WANG Xiangyou,WANG Juan,et al. Effect of different package material on keeping quality on *Agaricus bisporus*[J]. **Food Science**,2005,6(6):253-256.(in Chinese)

[11] TAO Fei,ZHENG Min,YU Hangqing,et al. Effects of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling[J]. **Journal of Food Engineering**,2006,77(3):545-549.

[12] GAO Mengsha,FENG Lifang,JIANG Tianjia. Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment[J]. **Food Chemistry**,2014,149(15):107-113.

[13] 温明霞,石孝均. 生长期喷钙提高锦橙果实品质及延长贮藏期[J]. 农业工程学报,2013,29(5):274-279.
WEN Mingxia,SHI Xiaojun. Improve fruit quality and prolong storage time of Jincheng orange by calcium sprayed in growth period[J]. **Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**,2013,29(5):274-279.(in Chinese)

[14] 周莎莎,岳本芳,李文香,等. 微真空贮藏条件对莱阳梨果实膜脂过氧化的影响[J]. 食品与生物技术学报,2012,31(4):423-428.
ZHOU Shasha,YUE Benfang,LI Wenxiang,et al.Effects of micro-vacuum storage conditions on the membrane lipid peroxidation of Laiyang Pear[J]. **Journal of Food Science and Biotechnology**,2012,31(4):423-428.(in Chinese)

[15] 刘吟. 双孢蘑菇采后褐变的相关生理生化变化及其保鲜技术研究[M]. 武汉:华中农业大学,2010.

[16] 孟德梅,申琳,陆军,等. 双孢菇采后感官品质变化的因素分析与保鲜技术研究进展[J]. 食品科学,2010,31(15):283-287.
MENG Demei,SHEN Lin,LU jun,et al. Research progress in analysis of factors affecting sensory quality and preservation techniques for post-harvested *Agaricus bisporus*[J]. **Food Science**,2010,31(15):283-287.(in Chinese)

[17] 孙娅,李志强,王毓宁,等. 采后钙处理对双孢菇贮藏生理的影响[J]. 食品工业科技,2013,34(2):322-326.
SUN Ya,LI Zhiqiang,WANG Yuning,et al. Effects of Post-harvest calcium treatment on storage physiology of button mushroom (*Agaricus bisporus*)[J]. **Science and Technology of Food Industry**,2013,34(2):322-326.(in Chinese)

[18] 白吉刚,许培磊,宗成顺,等. 外源钙对唐菖蒲切花的保鲜效果和生理效应[J]. 中国农业科学,2008,41(10):3229-3239.
BAI Jigang,XU Peileng,ZONG Chengshun,et al. Effects of exogenous calcium on vase life and some physiological characteristics of cut gladiolus[J]. **Scientia Agricultura Sinica**,2008,41(10):3229-3239.(in Chinese)

[19] 阮燕晔, 胡美荣, 樊金娟, 等. 浸钙处理对切分哈密瓜保鲜的影响及其生理机制的研究 [J]. 安徽农业科学,2006,34(24):6434-6435.
RUAN Yanye,HU Meirong,FAN Jinjuan,et al. Effect of the cantaloupe-cutting soaked with calcium chlorine on its fresh-keeping[J]. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**,2006,34(24):6434-6435.(in Chinese)