

壳聚糖和海藻酸钠涂膜 对鲜切荸荠褐变、腐烂和品质的影响

彭勇^{1,2}, 李云飞^{1,*}

(1.上海交通大学农业与生物学院,上海 200240;2.菏泽学院园林工程系,山东菏泽 274000)

摘要:为了防止鲜切荸荠的失水、褐变和腐烂,本实验通过比较壳聚糖和海藻酸钠两种膜的物理性能,涂膜应用于鲜切荸荠并进行各项生理指标的测定。结果表明壳聚糖膜的性能优于海藻酸钠,壳聚糖膜有较高的表现黏度和机械性能。两种涂膜处理均抑制了鲜切荸荠贮藏过程中褐变的发生,延缓了类黄酮含量的增加,维持了较高的水分和可溶性固形物含量,壳聚糖涂膜处理在防止鲜切荸荠褐变时的效果好于海藻酸钠,但海藻酸钠涂膜处理较好的抑制了腐烂的发生。

关键词:鲜切荸荠,褐变,腐烂,壳聚糖,海藻酸钠

Effect of chitosan and sodium alginate coating on the browning, decay and quality of fresh-cut Chinese water chestnut

PENG Yong^{1,2}, LI Yun-fei^{1,*}

(1.School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2.Department of Garden Engineering, Heze University, Heze 274000, China)

Abstract: In order to prevent the weight loss, browning and decay of fresh-cut Chinese water chestnut, chitosan and sodium alginate coating were used in this work. The film performances were determined by comparing the physical properties of two films. The results showed that chitosan film was better than sodium alginate in some performances such as apparent viscosity and mechanical properties. In addition, both the two coatings decreased the browning and flavonoid content of fresh-cut Chinese water chestnut, and maintained the higher moisture and soluble solids content during storage. In general, chitosan coating had better effect than sodium alginate on preventing the browning, but had little effects on the rotting rate.

Key words: fresh-cut Chinese water chestnut; browning; decay; chitosan; sodium alginate

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2013)17-0334-05

荸荠 (*Eleocharis tuberosa*) 对于中国人来说是最流行的食品之一,因其质地味甜多汁、脆滑爽口,鲜食和药用效果好,在中国自古就有“地下雪梨”、“江南人参”等美誉^[1]。但荸荠外皮无法食用,生产鲜切荸荠有着潜在的市场^[2]。然而,荸荠在鲜切加工过程中会受到机械损伤,诱发一系列相关酶活性的增加,导致生理生化变化过程加快,极易引起变色和腐烂,影响鲜切荸荠的价值和货架期^[3]。因此,开发新的保藏手段对于鲜切荸荠保鲜是很有必要的。可食性涂膜保鲜被认为是维持鲜切果蔬品质和货架期的最有效方法之一^[4-5]。可食性包装膜主要是由天然可食性材料(如淀粉、壳聚糖、海藻酸钠、脂质等)组成,在这些可食性材料中,壳聚糖由于其安全无毒,良好的抗氧化、物理和机械性能,被广泛应用于果蔬贮藏保鲜和食品工业^[6-9]。研究表明壳聚糖可以有效抑制鲜切番木瓜^[10]、莲藕^[3]、山药^[11]等的呼吸作用,防止变色,延长货架期。海藻酸钠主要来源于海洋褐藻,

由于其独特的胶体性质和生物相容性,也广泛应用于食品和医学领域。贾慧敏等研究表明 1.5% 的海藻酸钠可以抑制鲜切桃多酚氧化酶活性和褐变的发生^[12]。Rojas-Grau 等也表明海藻酸钠可以抑制鲜切苹果的腐烂,维持较低的呼吸强度^[5]。然而,还未有海藻酸钠应用于鲜切荸荠的研究报道。本文主要比较壳聚糖和海藻酸钠两种海洋生物多糖的性能和保鲜荸荠的效果,把膜的性能指标测定和涂膜应用结合起来研究,以期可为可食性包装膜的开发利用及鲜切荸荠的保鲜提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

荸荠 购于上海闵行农贸市场,用于实验的荸荠要求大小均匀,颜色和成熟度一致,无病虫害且没有机械损伤;壳聚糖(脱乙酰度:90.2%) 购于山东奥康生物科技有限公司;冰乙酸,甘油,海藻酸钠 购于国药集团化学试剂有限公司。

HWS28 型恒温水浴锅 上海一恒科技有限公司;JA2002 型电子天平 上海精天电子仪器有限公司;90-3 型磁力搅拌器 上海沪西分析仪器有限公司

收稿日期:2013-01-24 * 通讯联系人

作者简介:彭勇(1980-),男,博士,讲师,主要从事食品贮藏加工研究。

司;SHZ-D 型循环水式真空抽气泵 上海差强仪器设备有限公司;FE-20 型 pH 计 上海梅特勒-托利多公司;R/S plus 流变仪 美国 Brookfield 仪器公司;TA-XT2i 质构分析仪 英国 Stable Micro Systems 有限公司;WSC-S 色差仪 上海精密科学仪器有限公司;UV-2100 型紫外可见分光光度计 上海尤尼柯仪器有限公司;WYT-J 型手持折光仪 成都光学仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 涂膜溶液的配制方法 壳聚糖溶液的配制参照岳晓华和沈月新等^[13]的方法并略有修改:2%的壳聚糖(2g 壳聚糖溶于 100mL 含 1% 的乙酸溶液中)磁力搅拌 4h 直至完全溶解,加入 30% 的甘油(g/g 壳聚糖)再次搅拌 1h,真空泵抽气去除气泡。海藻酸钠溶液的配制参照庞凌云等^[11]的方法:1.5% 的海藻酸钠溶于蒸馏水中,在 80℃ 恒温水浴锅中搅拌 30min 直至溶解,30% 的甘油(g/g 海藻酸钠)作为增塑剂加入再次搅拌 1h,真空泵抽气去除气泡。膜溶液一部分做涂膜实验,另一部分(200g)采用延流法倒在玻璃板(25cm×25cm)上成膜备用,用于测定膜的性能指标。

1.2.2 处理方法 选择新鲜无损伤的荸荠去皮清洗,切成 3mm 左右的薄片,分成三组,每组三次重复。第一组用蒸馏水处理做对照组,第二组用 2% 壳聚糖溶液处理,第三组用 1.5% 海藻酸钠处理。每组浸泡时间均为 2min,所有膜溶液均用 NaOH 或 HCl 调 pH 至 6.5。处理后的鲜切荸荠室温下 6h 充分晾干后,放入塑料盘中,覆盖聚乙烯保鲜膜,置于 4℃ 和 85% 相对湿度的冷库中贮藏,每隔 4d 取样分析。

1.2.3 膜溶液表观黏度的测定 使用 R/S plus 流变仪测定壳聚糖和海藻酸钠溶液的表观黏度^[14]。参数设定为 25℃,剪切速率变化为 5min 内 0~512s⁻¹,转子采用 CC25,每个样品平行做三次。使用 Ostwald 模型来拟合实验数据,按下式计算:

$$\sigma = k\gamma^n$$

式中, σ 为剪切应力(Pa), k 为稠度系数(Pa·sⁿ), γ 为剪切速率,n 为流动系数。

1.2.4 膜的机械性能测定 根据 GB13022-91 的方法并对其改进,采用 TA-XT2i 质构仪进行测量。测定前先将膜在 53% 的相对湿度下平衡 48h,将膜裁成大小为 20×80mm 的长条,固定在拉伸夹具(A/TG)上,夹距设定为 50mm,拉伸速度设定为 0.8mm/s,分别测定膜的抗拉强度(MPa)和延伸率(%)。每个样品做 8 个平行。

1.2.5 膜的水蒸气透过率测定 根据 GB1037-70 方法,采用拟杯子法并略有改进,在 25℃ 下,于测试杯(1384.74mm²×25mm)中放入无水氯化钙(粒径小于 2mm),氯化钙与杯口距离小于 6mm,用膜样品封住测试杯口并用胶带固定。将称重后的测试杯放入装有饱和氯化钠溶液(25℃,RH 75%,)的干燥器中,使膜内外两侧保持一定的蒸汽压差,每隔 1d 取出称重,直到质量变化小于 0.001g,每个样品做 3 个平行。按下式计算:

$$WVP = mL / (At\Delta P)$$

式中, m 为透过膜的水分的质量(g), L 为膜的厚度(m), A 为透过水分的膜面积(m²), t 为水分透过时间(s), ΔP 为膜两侧水分蒸汽压差(Pa)。

1.2.6 颜色测定 参照 CIELAB 表色系统来表示颜色,用 WSC-S 色差仪测定。将荸荠片放在白色校正板上测定,记录颜色值。颜色指数从 L=0(黑色)到 L=100(白色),-a(绿色)到 +a(红色),-b(蓝色)到 +b(黄色)。每个样品做 5 个平行,总色差(ΔE)用如下公式计算:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

1.2.7 类黄酮含量的测定 参照潘永贵的方^[3],取鲜切荸荠组织 2g,冰浴研磨,用 1% 盐酸-甲醇溶液 40mL 室温下浸提 2h,然后定容至 50mL,325nm 下比色测定类黄酮含量。

1.2.8 其他指标的测定 失重率采用称重法,腐烂率以表面有明显真菌生长或者细菌腐烂的切片占总切片的百分数表示,可溶性固形物含量的测定采用手持式折光仪。

1.2.9 数据统计 全部数据用 Microsoft Excel 2003 进行统计处理,计算标准偏差,并使用 SPSS 17.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 膜溶液剪切应力随剪切速率的变化

溶液黏度的高低反映分子间作用力的强弱,与膜的物理和机械性能密切相关^[14]。如图 1 所示,壳聚糖和海藻酸钠溶液均表现出假塑性流体的性质,随剪切速率的增加溶液逐渐变稀,符合 Ostwald 模型,比较两种膜溶液的性能,可知壳聚糖溶液在整个剪切过程中剪切应力高于海藻酸钠,表 1 也显示了 100s⁻¹ 下壳聚糖的表观黏度显著高于海藻酸钠,这可能由于壳聚糖分子中的羟基和氨基易形成分子间的氢键所致^[9]。

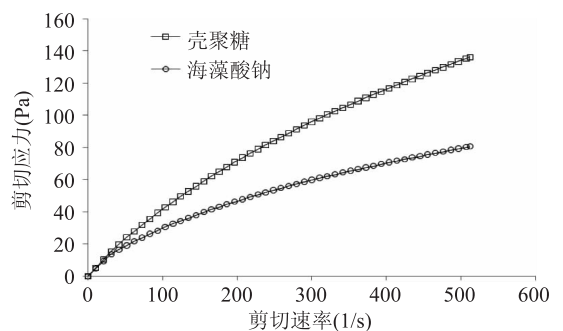


图1 剪切应力随剪切速率变化趋势

Fig.1 The changes of shear stress against shear rate

2.2 膜的物理性能指标

从表 1 可以看出,壳聚糖膜的各种性能指标优于海藻酸钠,壳聚糖膜的水蒸气透过率仅是海藻酸钠膜的 81.1%,比海藻酸钠膜有较好的阻水性。并且,壳聚糖膜的抗拉强度和延伸率分别是海藻酸钠膜的 2.1 和 3.2 倍,这可能由于所制备的壳聚糖膜的厚度高于海藻酸钠,增强了膜的抗拉强度,而延伸率的差异可能不仅归因于膜中甘油和膜体相互作用的

表1 壳聚糖和海藻酸钠膜物理和机械性能的差异比较

Table 1 The differences in physical and mechanical properties between chitosan and sodium alginate

处理	表观黏度 $100\text{s}^{-1} (\text{mPa}\cdot\text{s}^{-1})$	膜厚度 (μm)	水蒸气透过率 $\times 10^{-10} (\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1})$	抗拉强度 (MPa)	延伸率 (%)
壳聚糖	414.1 ± 7.9^a	74.3 ± 2.1^a	1.03 ± 0.14^a	46.75 ± 5.89^a	56.27 ± 5.45^a
海藻酸钠	296.2 ± 2.8^b	54.6 ± 3.2^b	1.27 ± 0.01^b	22.35 ± 4.16^b	17.52 ± 2.74^b

注:同一列中标有不同字母表示数据间差异显著($p < 0.05$),表2同。

表2 壳聚糖和海藻酸钠涂膜处理对鲜切荸荠颜色指数的影响

Table 2 Effect of chitosan and sodium alginate coating on the color values of fresh-cut Chinese water chestnut

贮藏时间(d)	处理	L值	a值	b值	ΔE
0	对照	81.82 ± 0.86^a	-1.92 ± 1.50^a	16.89 ± 1.19^a	24.49 ± 0.89^a
	壳聚糖	81.21 ± 1.20^a	-0.54 ± 0.57^c	18.07 ± 0.78^a	25.07 ± 1.24^a
	海藻酸钠	80.67 ± 0.50^b	-1.13 ± 0.57^a	22.79 ± 0.75^b	29.01 ± 0.82^b
4	对照	80.65 ± 1.16^a	-0.19 ± 0.64^a	17.46 ± 2.38^a	25.03 ± 0.98^a
	壳聚糖	82.01 ± 1.48^b	-1.37 ± 0.86^b	17.96 ± 1.51^a	24.66 ± 1.58^a
	海藻酸钠	82.07 ± 0.82^b	-3.26 ± 0.39^c	21.01 ± 1.21^b	27.14 ± 1.23^b
8	对照	80.44 ± 1.18^a	-1.11 ± 0.66^b	24.49 ± 3.49^a	29.67 ± 2.80^a
	壳聚糖	81.73 ± 1.10^b	-0.80 ± 1.07^c	18.16 ± 0.63^b	24.71 ± 1.21^b
	海藻酸钠	80.80 ± 1.12^{ab}	-3.38 ± 0.46^a	25.75 ± 2.32^a	31.07 ± 2.11^a
12	对照	80.34 ± 1.69^{ab}	-0.96 ± 1.33^a	31.03 ± 4.10^a	34.44 ± 3.53^a
	壳聚糖	80.89 ± 1.42^a	0.84 ± 0.80^c	16.01 ± 1.24^c	23.66 ± 1.46^c
	海藻酸钠	79.35 ± 1.60^b	-0.20 ± 1.83^b	28.01 ± 1.78^b	32.55 ± 1.35^b
16	对照	76.48 ± 2.77^a	-1.38 ± 1.12^a	39.04 ± 3.61^a	43.14 ± 2.35^a
	壳聚糖	81.19 ± 1.03^b	-1.09 ± 0.82^a	16.98 ± 1.31^c	24.15 ± 1.13^c
	海藻酸钠	75.49 ± 1.54^a	1.09 ± 1.63^b	32.74 ± 2.99^b	38.15 ± 2.44^b

差异,而且也可能由于两种膜厚度的不同^[13]。

2.3 涂膜处理对鲜切荸荠颜色的影响

从表2可以看出,涂膜后0天测定的颜色值差异不大,海藻酸钠涂膜的荸荠组黄色(b值)较深,可能由于海藻酸钠膜自身的颜色引起。处理后的第8d开始,对照组颜色开始发黄,b值和 ΔE 值明显增加,至第16d,壳聚糖和海藻酸钠处理的b值分别是对照组的40.9%和83.9%, ΔE 值分别是对照组的56.0%和88.4%,这表明壳聚糖和海藻酸钠都能延迟鲜切荸荠的褐变,经过壳聚糖涂膜的荸荠鲜切片,在整个贮藏过程中都保持着较高的亮度(L值)和较低的b值,可以有效预防鲜切荸荠褐变的发生,而海藻酸钠抑制荸荠褐变的效果不佳。壳聚糖分子中的氨基具有一定的还原性,在一定程度上,对果蔬体内的活性氧自由基可起到清除作用,从而减少采后果蔬细胞的膜脂过氧化程度,延缓果蔬组织和结构的衰老,预防变色^[7]。庞凌云等^[11]研究也表明壳聚糖可以抑制鲜切山药中多酚氧化酶和过氧化物酶活性的变化,从而抑制褐变的发生。

2.4 涂膜处理对鲜切荸荠类黄酮含量的影响

从图2可以看出,鲜切荸荠在贮藏过程中类黄酮含量明显增加,这与颜色b值和E值变化趋势基本一致。类黄酮是植物次生代谢的产物,泛指两个具有酚羟基的苯环通过中央三碳原子相互连接的一系列化合物。鲜切荸荠在褐变的过程中,可能触发了类黄酮合成的反应链,导致了类黄酮含量的增加^[3]。两种涂膜处理都可以抑制荸荠黄化的进程,尤

其以壳聚糖效果最为明显,壳聚糖处理的荸荠在整个贮藏期间类黄酮含量都很低,这可能与壳聚糖自身有着较强的抗氧化能力有关^[9]。

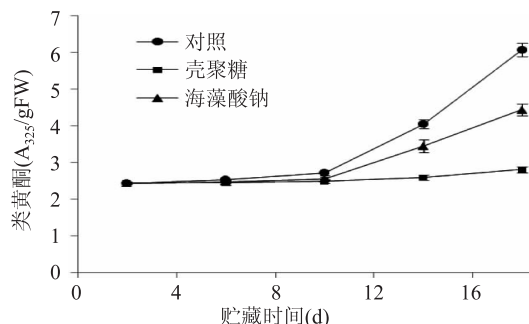


图2 壳聚糖和海藻酸钠涂膜处理对鲜切荸荠类黄酮含量的影响

Fig.2 Effect of chitosan and sodium alginate coating on flavonoid contents of fresh-cut Chinese water chestnut

2.5 涂膜处理对鲜切荸荠贮藏期间腐烂率的影响

从图3可以看出,随着贮藏时间的延长,鲜切荸荠从第8d开始腐烂,至第16d腐烂率最高,可达30%。从不同处理来看,海藻酸钠涂膜处理对预防鲜切荸荠的腐烂有较好的效果,而壳聚糖涂膜处理对荸荠的腐烂影响不大。李海燕等^[15]研究表明壳聚糖具有一定的抑菌作用,能抑制草莓的腐烂,邱松山等^[16]研究也表明,壳聚糖结合纳米二氧化钛可以抑制鲜切荸荠的腐烂,然而,潘永贵^[3]研究表明壳聚糖对防止鲜切藕的腐烂效果不佳,推测可能是壳聚糖

中乙酸的影响。而在本研究中,采用壳聚糖涂膜处理对预防鲜切荸荠腐烂的效果不理想,这一方面可能是由于壳聚糖溶液中乙酸的影响,另一方面也可能与壳聚糖膜自身特性有关,实验中制备的壳聚糖膜厚度在 80 μm 左右,这可能抑制了鲜切荸荠的呼吸,增加了厌氧微生物的生长。

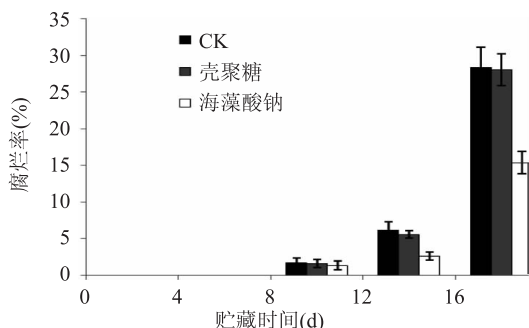


图3 壳聚糖和海藻酸钠涂膜处理对鲜切荸荠腐烂率的影响

Fig.3 Effect of chitosan and sodium alginate coating on rotting rate of fresh-cut Chinese water chestnut

2.6 涂膜处理对鲜切荸荠贮藏期间失重率的影响

如图4所示,随着贮藏时间的延长,涂膜处理的鲜切荸荠在贮藏过程中失重率均呈上升趋势,以对照失水最为严重,贮藏16d后,失重率可达3.3%,涂膜处理显著降低了鲜切荸荠的失重率,两种涂膜处理相比,壳聚糖在贮藏后期失重率略高于海藻酸钠处理。实验中也发现海藻酸钠涂膜荸荠后表面干燥较快,而壳聚糖表面干燥时间较长,这可能由于壳聚糖膜的亲水性高于海藻酸钠,从而使得壳聚糖处理的荸荠表面湿润,容易滋生微生物的生长,导致失重的增加。

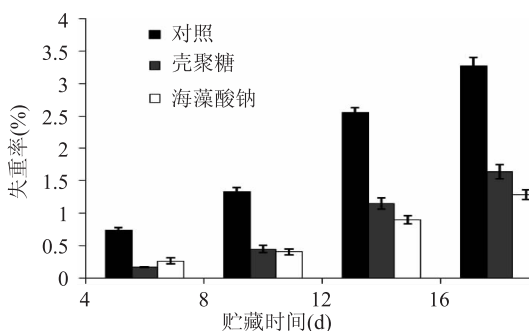


图4 壳聚糖和海藻酸钠涂膜处理对鲜切荸荠失重的影响

Fig.4 Effect of chitosan and sodium alginate coating on weight loss of fresh-cut Chinese water chestnut

2.7 涂膜处理对鲜切荸荠贮藏期间可溶性固形物含量的影响

从图5可以看出,鲜切荸荠贮藏期间可溶性固形物含量逐渐下降,以对照下降最为显著,在贮藏16d后,鲜切荸荠的可溶性固形物含量仅为7.77%,是贮藏初期的64.5%,荸荠在鲜切过程中受到机械损伤,是造成体内可溶性固形物含量下降的主要因素。而涂膜处理后,延缓了鲜切荸荠可溶性固形物含量的下降,这与Rojas-Graü等^[5]在鲜切苹果、庞凌云等^[11]在鲜切山药上的研究是一致的。表明壳聚糖

或海藻酸钠处理都可以维持鲜切荸荠较高的品质,延长货架期。

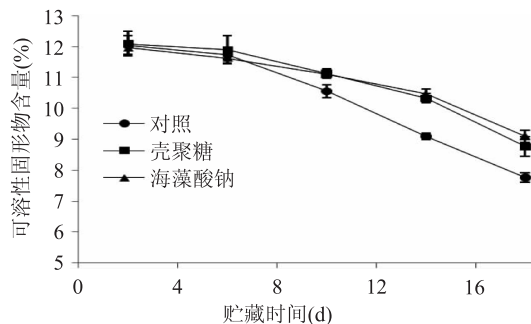


图5 壳聚糖和海藻酸钠涂膜处理对鲜切荸荠可溶性固形物含量的影响

Fig.5 Effect of chitosan and sodium alginate coating on total soluble solids of fresh-cut Chinese water chestnut

3 结论

3.1 可食性包装膜如壳聚糖和海藻酸钠均有较好的物理性能,可用于果蔬涂膜保鲜,保鲜效果依赖于可食性包装膜的性能。

3.2 相比于海藻酸钠膜,壳聚糖涂膜可以有效抑制鲜切荸荠褐变的发生,维持鲜切荸荠较高的水分和可溶性固形物的含量,但是对鲜切荸荠腐烂的抑制效果不佳。

3.3 海藻酸钠涂膜处理同样抑制了鲜切荸荠褐变的发生,但效果不如壳聚糖明显,并且类黄酮含量在贮藏期间逐渐增加,但荸荠的腐烂率和失重率较低,能维持较高的可溶性固形物含量,延长货架期。

参考文献

[1] 王薇.荸荠的保健功能及加工利用[J].食品与药品,2005,7(4):45-48.
 [2] Klockeman D M, Pressey R, Jen J J. Characterization of cell wall polysaccharides of jicama (*Pachyrhizus erosus*) and Chinese water chestnut (*Eleocharis dulcis*) [J]. Journal of Food Biochemistry, 1991, 15(5): 317-329.
 [3] 潘永贵.鲜切荸荠/莲藕特异性变色机理及其控制研究[D].广州:华南农业大学,2006.
 [4] 李超,李梦琴,赵秋艳.可食性膜的研究进展[J].食品科学,2005,26(2):264-269.
 [5] Rojas - Graü M A, Tapia M S, Martín - Belloso O. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples[J]. LWT-Food Science and Technology, 2008, 41(1): 139-147.
 [6] Ghaouth A E, Ponnampalam R, Castaigne F, et al. Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes [J]. Hortscience, 1992, 27(9): 1016-1018.
 [7] No H K, Meyers S P, Prinyawitkul W, et al. Applications of chitosan for improvement of quality and shelf life of foods: a review [J]. Journal of Food Science, 2007, 72(5): 87-100.
 [8] Zhang D, Quantick P C. Effects of chitosan coating on enzymatic browning and decay during postharvest storage of litchi

(下转第341页)

APX 的活性高峰提前至鲜切 1h, 高峰值也高于对照 (图 6)。鲜切 1h 差异达到最大, 高出对照 3.44 倍。

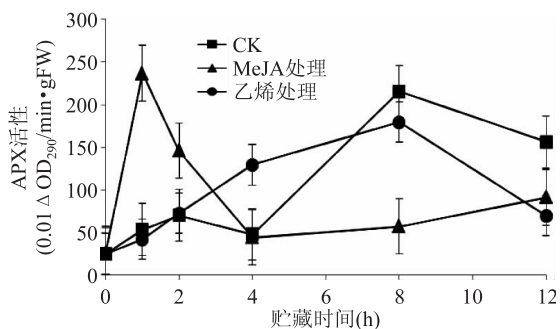


图 6 乙烯和 MeJA 处理对鲜切莴苣 APX 活性的影响
Fig.6 Effect of ethylene and MeJA on APX activity of fresh-cut lettuce

3 结论

鲜切处理诱导果蔬产生活性氧突发, 加速膜脂过氧化, 最终使果蔬发生氧化伤害。探究控制鲜切果蔬中的活性氧含量, 减缓活性氧突发对鲜切果蔬造成的伤害, 对于延缓鲜切果蔬货架期具有良好的意义。You 等^[13]向鲜切莲子充入纯 N₂ 可有效降低鲜切莲子中的 H₂O₂ 含量, 4℃ 的低温贮藏使鲜切果蔬中 O₂⁻ 的高峰时间延迟, 鲜切果蔬的氧化损伤大大减轻^[14]。除此之外, 外源抗坏血酸可聚集到伤口附近阻止黑色素的形成, 降低 MDA 的含量抑制膜脂过氧化作用^[15-16]。乙烯、MeJA 可通过诱导挥发性信号分子的释放, 提高 PPO、POD、LOX 等防御蛋白酶的活性, 促进多酚类物质等抗氧化物质的积累, 从而增强组织的抗性。本研究利用乙烯、MeJA 处理鲜切莴苣得到的结果表明, 处理前期鲜切莴苣的 POD、SOD、CAT 和 APX 等防御蛋白酶的活性显著提高, 但两处理后 8h 莴苣中 POD、APX 活性均升高, SOD、CAT 活性发生不同程度的升高, 诱导莴苣在鲜切 8h H₂O₂ 含量的升高, 抑制 O₂⁻ 的生长速率的上升, 同时, 组织的抗氧化活性大大增强。在两种处理中, MeJA 对鲜切莴苣活性氧代谢影响更大, 更有利于延长鲜切莴苣的货架期。

参考文献

[1] 田密霞, 胡文忠, 朱蓓薇, 等. 不同浓度的乳酸钙处理对鲜切皇冠梨生理变化的影响[J]. 食品科技, 2008, 6: 226-230.
 [2] 田密霞, 胡文忠, 朱蓓薇, 等. 抗坏血酸处理对鲜切水晶梨营养成分及褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(1): (上接第 336 页)
 (Litchi chinensis Sonn.) fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 1997, 12(2): 195-202.
 [9] 胡晓亮, 周国燕. 壳聚糖及其衍生物在果蔬贮藏保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(3): 146-150.
 [10] Ali A, Muhammad M T M, Sijam K, et al. Potential of chitosan coating in delaying the postharvest anthracnose (Colletotrichum gloeosporioides Penz.) of Eksotika II papaya[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(10): 2134-2140.
 [11] 庞凌云, 祝美云, 李瑜, 等. 不同涂膜处理对鲜切铁棍山药品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(6): 225-228.

156-159.

[3] 胡位荣, 刘顺枝, 黄惠娟, 等. 抗坏血酸与壳聚糖处理对鲜切香芋贮藏效果的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 436-439.
 [4] 郑亚男, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 外源乙烯对鲜切甘薯伤害生理效应的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(17): 346-349.
 [5] 王爱国, 罗广华. 植物的超氧化物自由基与羟胺反应的定量关系[J]. 植物生理学通讯, 1990, 6: 55-57.
 [6] Prochazkova D, Sairam R K, Srivastava G C, et al. Oxidative stress and antioxidant activity as the basis of senescence in maize leaves[J]. Plant Sci, 2001, 161: 765-771.
 [7] Oberley L, Spitz D. Nitroblue tetrazolium. In: Greenwald W.A. (ed.). Handbook of methods of oxygen radical research [M]. CRC press, Boca Raton, 1985, 5: 217-220.
 [8] Venisse J S, Malnoy M, Faize M, et al. Modulation of defenses of Malus spp. during compatible and incompatible interactions with Erwinia amylovora [J]. Mol. Plant-Microbe Inter, 2002, 15: 1204-1212.
 [9] Clairbone A. Catalase activity. In: Greenwald W.A. (ed.) Handbook of methods of oxygen radical research [M]. CRC press, Boca Raton, 1985, 5: 283-284.
 [10] Nakano Y, Asada K. Hydrogen peroxidase is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. Plant Cell Physiol, 1981, 22: 867-880.
 [11] 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 1-7; 91-98.
 [12] 于焯, 姜爱丽, 胡文忠, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切紫薯生理生化及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(15): 331-334.
 [13] You Y L, Jiang Y M, Sun J, et al. Effects of short-term anoxia treatment on browning of fresh-cut Chinese water chestnut in relation to antioxidant activity [J]. Food Chemistry, 2011, 11: 73.
 [14] 申琳, 王茜, 陈海荣, 等. 低温贮藏对鲜切石榴籽粒品质及活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(12): 4336-4340.
 [15] Nicolas J J, Tichard G F C, Goupy P M, et al. Enzymatic browning reactions in apple and apple products [J]. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 1994, 34: 109-157.
 [16] 耶兴元, 范宏伟, 汪新娥. 抗坏血酸对高温胁迫下猕猴桃苗抗热相关生理指标的影响[J]. 植物生理学通讯, 2009, 45(3): 267-269.
 [12] 贾慧敏, 韩涛, 李丽萍, 等. 可食性涂膜对鲜切桃褐变的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 282-286.
 [13] 岳晓华, 沈月新. 可食性壳聚糖膜性能的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(8): 62-67.
 [14] 唐嘉丽, 周家斌, 高山俊. 离子型壳聚糖凝胶的制备及流变性能[J]. 武汉大学学报(理学版), 2009, 55(3): 300-304.
 [15] 李海燕, 刘桂萍, 刘蕾. 壳聚糖复合涂膜常温保鲜草莓的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(1): 359-362.
 [16] 邱松山, 李喜宏, 胡云峰, 等. 壳聚糖/纳米 TiO₂ 复合涂膜对鲜切芋艿保鲜作用研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(1): 149-151.