

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.016400

引用格式:郑炯,汤婷,曾瑞琪,等.天然复合保鲜剂对麻竹笋贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2018,44(11):229-236.

ZHENG Jiong, TANG Ting, ZENG Rui-qi, et al. Effects of natural compound preservatives on storage quality of ma bamboo shoots[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(11): 229-236.

# 天然复合保鲜剂对麻竹笋贮藏品质的影响

郑炯<sup>1,2\*</sup>, 汤婷<sup>1,2</sup>, 曾瑞琪<sup>1,2</sup>, 张甫生<sup>1,2</sup>

1(西南大学 食品科学学院, 重庆, 400715) 2(食品科学与工程国家级实验教学示范中心(西南大学), 重庆, 400715)

**摘 要** 为探究天然复合保鲜剂对麻竹笋贮藏保鲜的影响,以麻竹笋为原料,对8种天然保鲜剂进行筛选和复配得到一种天然复合保鲜剂,然后用天然复合保鲜剂处理新鲜麻竹笋,考察麻竹笋在贮藏期间的品质变化。结果表明,质量分数为1.5%壳聚糖+0.05%纳他霉素+1.5%茶多酚可作为一种有效的天然复合保鲜剂,与空白对照组相比,天然复合保鲜剂可将麻竹笋的贮藏期限延长至36 d左右。天然复合保鲜剂处理组的麻竹笋在贮藏期间呼吸强度一直呈下降趋势,且始终低于实验对照组(1.5%壳聚糖处理组)。与空白对照组相比,贮藏期间实验对照组和天然复合保鲜剂组的麻竹笋苯丙氨酸解氨酶和过氧化物酶活性较低,并呈现出先上升后下降的趋势,酶活性峰值出现的时间延后至27 d。天然复合保鲜剂处理的麻竹笋在贮藏期间木质素含量最少,增加程度最小,在贮藏后期硬度下降、质地变软,仍具有良好的感官品质。同时,天然复合保鲜剂能延缓麻竹笋中Vc的降解,贮藏期间最大程度地保留了麻竹笋的营养成分。

**关键词** 麻竹笋;天然复合保鲜剂;酶活;感官品质;营养成分

麻竹笋是一种理想的绿色健康蔬菜,但因其属于生长旺盛的芽,采后如贮藏不当会导致其品质快速劣化<sup>[1]</sup>。目前麻竹笋的采后贮藏保鲜主要有物理和化学两种手段。低温贮藏是麻竹笋保鲜贮藏最常用的方法,能有效抑制麻竹笋中酶的活性,延长竹笋保鲜时间,降低竹笋老化速度<sup>[2]</sup>,但低温贮藏也只能将竹笋的保质期限延长至10~15 d左右,当贮藏时间继续延长后,竹笋品质仍然会出现快速劣变。气调贮藏也是一种重要的物理贮藏方式,虽然竹笋经气调包装可降低其褐变程度,减少水分散失<sup>[3-4]</sup>,但是麻竹笋对不同的气调处理反应不同,容易引起竹笋的气体伤害。麻竹笋的化学贮藏手段主要依托于化学保鲜剂和激素<sup>[5-10]</sup>,但化学保鲜剂和激素通常具有一定的毒性,消费者对其接受性较差<sup>[11]</sup>。因此,无毒健康的天然保鲜剂越来越受到研究人员的关注。

天然保鲜剂具有广谱、高效、无毒等特点,广泛使用在果蔬贮藏保鲜中,主要包括具有抗菌作用的天然植物提取物和微生物代谢产物,如壳聚糖、魔芋葡甘聚糖、纳他霉素及乳酸链球菌素等<sup>[12]</sup>。研究表明,使

用天然保鲜剂处理莲藕<sup>[13]</sup>、番茄<sup>[14]</sup>、葡萄<sup>[15]</sup>等果蔬后,在贮藏期间其失水率、氧化酶活性及腐烂率均显著下降,保质期限延长。天然保鲜剂除单独使用外,还可进行复配,而天然保鲜剂的复配使用往往具有增效作用,保鲜效果更好,同时还可降低贮藏成本。研究表明,使用复合天然保鲜剂处理双孢蘑菇<sup>[16]</sup>、板栗<sup>[17]</sup>等果蔬后,都具有较好的贮藏保鲜效果。

采用天然保鲜剂对竹笋进行保鲜处理不仅能够减少贮藏期间竹笋的失重率和木质化,使其保持良好的感官和营养品质,同时还能延长竹笋的贮藏期限,但目前的研究大多集中在单一保鲜剂的应用上<sup>[18]</sup>,而利用天然复合保鲜剂对竹笋进行贮藏保鲜的研究还鲜有报道。因此,本实验将通过筛选和复配得到一种天然复合保鲜剂,然后将麻竹笋用复配保鲜剂处理后观察其贮藏过程中的品质变化,从而探究天然复合保鲜剂对麻竹笋贮藏保鲜的影响,以期天然复合保鲜剂在果蔬贮藏中的应用提供实验支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料与试剂

新鲜麻竹笋,购于重庆市北碚区天生菜市场。

壳聚糖(脱乙酰度:95.54%,相对分子质量:300 kDa,食品级),河南通宇食品添加剂有限公司;魔芋葡甘聚糖(食品级),湖北科玛协力魔芋实业发展有

第一作者:博士,副教授(本文为通讯作者, E-mail: zhengjiong\_swu@126.com)。

基金项目:重庆市社会事业与民生保障科技创新专项(cstc2015shmszx80007);中央高校基本科研业务费(XDJK2016B035)

收稿日期:2017-12-01,改回日期:2017-01-02

限公司;乳酸链球菌素(食品级),洛阳奇泓生物科技有限公司;茶多酚(食品级),真滋味食品有限公司;纳他霉素(食品级),河南思远生物科技有限公司;乳酸钠(食品级),上海梦荷生物科技有限公司;海藻酸钠(食品级),河南思远生物科技有限公司;亚硫酸钠;苯甲酸钠;聚乙烯吡咯烷酮(PVP);巯基乙醇(PEG);愈创木酚;三氯乙酸;硫代巴比妥酸;2,6-二氯靛酚,草酸(试剂均为分析纯),成都市科龙化工试剂厂。

1.2 仪器与设备

752 型紫外可见分光光度计,上海精密科学仪器厂;UV-2450 型可见光分光光度计,日本岛津;5810 高速离心机,德国 Eppendorf 公司;BC/BD-272SE 电冰箱,青岛海尔特种冰箱有限公司;FA2004A 电子天平,上海精天电子仪器有限公司;101-3-5 型电热恒温鼓风干燥箱,上海跃进医疗器械厂;TA-XT2i 质构仪,英国 SMS 公司。

1.3 方法

1.3.1 天然保鲜剂的筛选

对壳聚糖、魔芋葡甘聚糖、乳酸链球菌素(Nisin)、茶多酚、纳他霉素、乳酸钠、抗坏血酸和海藻酸钠 8 种天然保鲜剂进行筛选。挑选无机械损伤、无病虫害、大小均匀的带壳竹笋,用清水冲洗晾干。根据前期预实验结果,将竹笋分别在质量分数 0.05% ~ 2% 的不同天然保鲜剂的水溶液中浸泡 3 min,未处理样品为空白对照组。每 3 支竹笋为 1 组,置于 4 ℃、相对湿度 90% 的环境下贮藏。以贮藏 10 d 后竹笋的硬度和木质素含量为评定指标,选择 3 种天然保鲜剂进行复配。

1.3.2 天然复合保鲜剂的复配

以竹笋为试验对象,选用不同质量分数的壳聚糖、纳他霉素、茶多酚(体积比为 1:1:1)为天然保鲜剂组分,采用 3 因素 3 水平  $L_9(3^4)$  进行正交试验(表 1)。以 4 ℃、相对湿度 90% 条件下贮藏 7 d 后硬度和木质素含量作为评定指标。根据分析结果得到复合保鲜剂的最佳配比。

表 1 正交试验因素水平表

Table 1 Design of orthogonal experiment

水平	壳聚糖质量 分数(A)/%	纳他霉素质量 分数(B)/%	茶多酚质量 分数(C)/%
1	1.0	0.01	0.5
2	1.5	0.05	1.0
3	2.0	0.10	1.5

1.3.3 麻竹笋的保鲜处理

将竹笋分别在 15 g/L 壳聚糖和复合保鲜剂水溶液(体积比为 1:1:1 的 1.5% 壳聚糖 + 0.05% 纳他霉素 + 1.5% 茶多酚)各 3 L 中浸泡 3 min,单独用 1.5% 壳聚糖处理样品为实验对照组,未处理样品为空白对照组。每 36 支竹笋为 1 组,置于 4 ℃、相对湿度 90% 的环境下贮藏。贮藏时间 40 d 为限,每 3 d 测定 1 次相关指标。

1.3.4 测定项目

1.3.4.1 呼吸强度的测定

参考张彩珍<sup>[19]</sup>的方法。呼吸强度以每千克竹笋每小时释放 CO<sub>2</sub> 的质量来表示,CO<sub>2</sub> · mg/(h · kg)。

呼吸强度 =  $\frac{(V_1 - V_2) \times c \times 22}{m \times t}$  (1)

式中:V<sub>1</sub>为空白滴定所用草酸体积,mL;V<sub>2</sub>为样品滴定所用草酸质量,mL;c表示草酸溶液的浓度,mol/L;m表示竹笋质量,kg;t表示时间,h;22表示测定中 NaOH 与 CO<sub>2</sub> 的质量转换数。

1.3.4.2 硬度的测定

参考杨月<sup>[20]</sup>的方法并有所改动,采用 TPA 测定模式,测定条件为:探头直径为 5 mm;测前速度 1.00 mm/s;测试速率 1.00 mm/s;返回速度 1.00 mm/s;触发力 20.0g;测试距离为 3 mm。每组样品测定 5 次,取平均值,硬度单位为 N。

1.3.4.3 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的测定

参考杨乐<sup>[21]</sup>的方法,并按方程(2)对 PAL 酶活性进行计算,以每小时每克果蔬组织酶促反应体系吸光度值增加 0.01 为 1 个 PAL 活性单位,表示为 0.01ΔOD<sub>290</sub>/(h · gmF)。

PAL 活性 =  $\frac{(OD_1 - OD_0) \times V}{0.01 \times V_s \times t \times m}$  (2)

式中:OD<sub>1</sub>,样品管的吸光值;OD<sub>0</sub>,对照管的吸光值;V,样品提取液总体积,mL;V<sub>s</sub>,测定时所用样品提取液体积,mL;t,酶促反应时间,h;m,样品质量,g。

1.3.4.4 过氧化物酶(POD)活性的测定

参考杨乐<sup>[21]</sup>的方法,按照方程(3)对 POD 酶活性进行计算,以每克果蔬组织每分钟吸光度值增加 1 时为 1 个过氧化物酶活性单位,表示为 ΔOD<sub>470</sub>/(min · g)。

POD 活性 =  $\frac{(OD_{470F} - OD_{470I}) \times V}{(t_F - t_I) \times V_s \times m}$  (3)

式中:ΔOD<sub>470</sub>,每分钟反应吸光度变化值;ΔOD<sub>470I</sub>反应混合液吸光度终止值;ΔOD<sub>470I</sub>,反应混合液吸光度初始值;t<sub>F</sub>,反应终止时间,min;t<sub>I</sub>,反应初始时间,min;

$V$ ,样品提取液总体积,mL; $V_s$ ,测定时所取样品提取液体积,mL; $m$ ,样品质量,g。

1.3.4.5 木质素含量的测定

参考申德省<sup>[22]</sup>的方法进行测定,木质素含量按照方程(4)进行计算。

木质素含量/[g·(100g)<sup>-1</sup>] =  $\frac{M_3 - M_2}{M_1} \times 100$  (4)

式中: $M_1$ ,样品质量,g; $M_2$ ,坩埚质量,g; $M_3$ ,烘干后样品与坩埚的质量,g。

1.3.4.6  $V_c$  含量的测定

称取5 g 竹笋,放入研钵中加入2% 草酸溶液10 mL,研磨匀浆后,转入100 mL 容量瓶中,冲洗研钵并将洗液一并转入,最后用2% 草酸定容。取滤液10 mL 于三角瓶中,用已标定过的2,6-二氯酚溶液滴定至粉红色,并在30 s 内不褪色为止,重复3 次,以2% 草酸作空白, $V_c$  含量按公式(5)计算。

$W = \frac{(V - V_0) \times A \times T_1 \times 100}{M \times T_2}$  (5)

式中: $W$ ,100 g 样品中  $V_c$  质量,mg; $V$ ,滴定样品时消耗2,6-二氯酚溶液的体积,mL; $V_0$ ,滴定空白时消耗2,6-二氯酚溶液的体积,mL; $A$ ,1 mL 2,6-二氯酚溶液溶液相当于抗坏血酸标准溶液的质量,mg; $M$ ,样品质量,g; $T_1$ ,样品溶液定容后的总体积,mL; $T_2$ ,滴定时吸取样品溶液的体积,mL。

1.3.4.7 感官评分

参考蒋益红<sup>[23]</sup>的方法并有所改动,将麻竹笋的感官品质分为4 个等级(如表2 所示)。经调查初选和测试筛选,考试与再培训后选出30 人(15 男,15 女)组成感官评价小组。将进行测试的麻竹笋进行

编号,每人独立对麻竹笋评分后取平均值,感官评分总分值在9 分(极新鲜)到0 分(完全腐败)之间。

表2 感官评分标准

Table 2 Evaluation criteria of sensory		
项目	评分标准	得分/分
色泽	笋体颜色洁白	3
	笋体颜色微白	2
	笋体颜色褐色	1
	笋体颜色黑褐色,有肉眼可见的菌斑	0
气味	具有笋体独特的清香味	3
	有轻微的笋香味	2
	有轻微的异味	1
	有浓烈的异臭味	0
可食性	可食,具有笋的正常味道	3
	可食,口感可接受	2
	有腐烂,基本可食	1
	腐烂严重,不可食	0

1.4 数据处理

所有实验均重复3 次,每次测试均需更换样品。文中所有图表均使用Origin 9.0 和 Microsoft Excel 进行绘制,利用SPSS 19.0 对数据进行分析,并利用邓肯式多重比较对差异显著性进行分析。

2 结果与分析

2.1 天然保鲜剂的筛选

竹笋采收后在贮藏过程中,极易发生木质化,从而影响竹笋的品质,其硬度及木质素含量的变化是竹笋木质化的直观表现,保鲜剂对硬度及木质素的影响直接决定了竹笋的贮藏品质和贮藏期。用8 种不同天然保鲜剂对麻竹笋进行处理后,观察4 ℃贮藏10 d 后竹笋的硬度和木质素含量,结果如表3 所示。

表3 天然保鲜剂的筛选结果

测定指标		天然保鲜剂							
		1.5% 壳聚糖	0.6% 魔芋 葡甘聚糖	0.4% Nisin	1% 茶多酚	0.05% 纳他霉素	2% 乳酸钠	0.8% 抗坏血酸	1.5% 海藻酸钠
硬度/N	3 622 ± 34	2 914 ± 27	3 602 ± 32	3 342 ± 30	3 307 ± 31	2 549 ± 23	3 335 ± 32	2 826 ± 27	3 364 ± 31
木质素/[g·(100g) <sup>-1</sup> ]	16.94 ± 0.15	10.12 ± 0.11	12.66 ± 0.12	12.37 ± 0.13	9.01 ± 0.10	7.07 ± 0.08	16.64 ± 0.15	14.56 ± 0.13	13.83 ± 0.12

纳他霉素对硬度升高的抑制效果最好,其次是抗坏血酸,壳聚糖、茶多酚也能抑制竹笋硬度升高;纳他霉素抑制竹笋木质化的效果也最佳,茶多酚和壳聚糖也能较好抑制竹笋木质素的积累,而抗坏血酸和乳酸钠抑制木质化的效果欠佳。因此,综合硬度和木质素的变化情况,选择纳他霉素、壳聚糖、茶多酚这3 种天

然保鲜剂进行复配。

2.2 天然复合保鲜剂的复配

将纳他霉素、壳聚糖、茶多酚进行复配,得到一种天然复合保鲜剂。从硬度的变化情况对天然复合保鲜剂的正交试验结果进行分析,如表4 所示。从表4 中的极差  $R$  可以得出  $R_A > R_B > R_C > R_D$ ,所以对麻竹

笋硬度升高的抑制效果大小顺序为: $A$ 、 $B$ 、 $C$ ,经方差分析, $A$ 因素(壳聚糖浓度)和 $B$ 因素(纳他霉素浓度)的 $F$ 值显著,说明壳聚糖和纳他霉素对麻竹笋硬度有显著的影响。

表 4 正交试验结果-硬度分析

处理号	因素				硬度/N
	壳聚糖	纳他霉	茶多	空列	
	糖浓度(A)	素浓度(B)	酚浓度(C)	(D)	
1	1(1.0)	1(0.01)	1(0.5)	1	41.60
2	1(1.0)	2(0.05)	2(1.0)	2	36.34
3	1(1.0)	3(0.10)	3(1.5)	3	31.87
4	2(1.5)	1(0.01)	2(1.0)	3	32.11
5	2(1.5)	2(0.05)	3(1.5)	1	28.11
6	2(1.5)	3(0.10)	1(0.5)	2	27.17
7	3(2.0)	1(0.01)	3(1.5)	2	31.34
8	3(2.0)	2(0.05)	1(0.5)	3	29.52
9	3(2.0)	3(0.10)	2(1.0)	1	26.94
$K_{1j}$	109.81	105.05	98.29	96.65	285.00
$K_{2j}$	87.39	93.97	95.39	94.85	
$K_{3j}$	87.80	85.98	91.32	93.50	
$\bar{K}_{1j}$	36.60	35.07	32.76	32.22	
$\bar{K}_{2j}$	29.13	31.32	31.80	31.67	
$\bar{K}_{3j}$	29.27	28.633	30.44	31.17	
$R_j$	7.5	6.44	2.32	1.05	

从木质素的变化情况对天然复合保鲜剂的正交试验结果进行分析,如表 5 所示。

表 5 正交试验结果-木质素分析

处理号	因素				木质素/ [g·(100g) <sup>-1</sup> ]
	壳聚糖	纳他霉	茶多酚	空列	
	浓度(A)	素浓度(B)	浓度(C)	(D)	
1	1(1.0)	1(0.01)	1(0.5)	1	10.58
2	1(1.0)	2(0.05)	2(1.0)	2	9.05
3	1(1.0)	3(0.10)	3(1.5)	3	7.46
4	2(1.5)	1(0.01)	2(1.0)	3	9.06
5	2(1.5)	2(0.05)	3(1.5)	1	7.01
6	2(1.5)	3(0.10)	1(0.5)	2	8.76
7	3(2.0)	1(0.01)	3(1.5)	2	6.75
8	3(2.0)	2(0.05)	1(0.5)	3	8.32
9	3(2.0)	3(0.10)	2(1.0)	1	7.86
$K_{1j}$	27.09	26.39	27.66	25.45	74.85
$K_{2j}$	24.83	24.38	25.97	24.56	
$K_{3j}$	22.93	24.08	21.22	24.84	
$\bar{K}_{1j}$	9.03	8.80	9.22	8.48	
$\bar{K}_{2j}$	8.28	8.13	8.66	8.19	
$\bar{K}_{3j}$	7.64	8.03	7.07	8.28	
$R_j$	1.39	0.77	2.15	0.29	

从表 5 中的极差  $R$  可以得出  $R_C > R_A > R_B > R_D$ ,所以对竹笋木质化抑制效果的大小顺序为: $C$ 、 $A$ 、 $B$ 、

经方差分析, $A$ 因素(壳聚糖浓度)和 $C$ 因素(茶多酚浓度)的 $F$ 值显著,说明壳聚糖和茶多酚对竹笋的木质素含量有显著的影响。综合正交实验结果,并结合实际生产考虑,选择  $A_2B_2C_3$  组合,即 1.5% 壳聚糖 + 0.05% 纳他霉素 + 1.5% 茶多酚为天然复合保鲜剂。

2.3 天然复合保鲜剂对麻竹笋贮藏品质的影响

2.3.1 对麻竹笋贮藏期间呼吸强度的影响

呼吸作用是果蔬采收后的重要生命活动,可以反映其生命活动的变化情况,其强弱与果蔬的耐贮藏性密切相关<sup>[24]</sup>。天然复合保鲜剂对麻竹笋呼吸强度的影响如图 1 所示。刚采收后的麻竹笋呼吸作用加强,呼吸强度较高,随后在贮藏初期因温度降低而下降,在贮藏 10 d 左右,对照组样品的呼吸强度又上升,而 1.5% 壳聚糖和天然复合保鲜剂处理组的呼吸强度在贮藏期间逐渐降低,后期基本保持稳定。天然复合保鲜剂组的呼吸强度在整个贮藏期间都低于其他组。在贮藏中后期,各处理组间存在显著差异( $p < 0.05$ )。可以看出,单独使用壳聚糖也具有良好的抑制呼吸作用的效果,因为涂膜处理阻隔了  $O_2$ 、 $CO_2$ 。而经复配后,各天然保鲜剂之间产生了一定的增效作用。

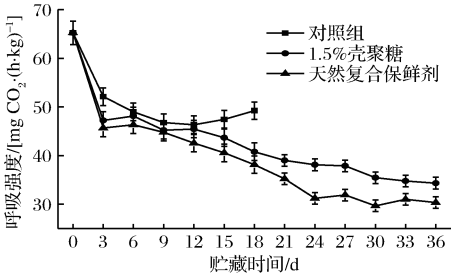


图 1 天然复合保鲜剂对麻竹笋呼吸强度的影响  
Fig. 1 Effects of natural compound preservative on respiration intensity of bamboo shoots

2.3.2 对麻竹笋贮藏期间 PAL 和 POD 活性的影响

竹笋采收后易发生纤维木质化,其中 PAL 起着关键作用,PAL 催化苯丙氨酸脱氢基形成肉桂酸,由肉桂酸在一系列酶促反应条件下最后形成了木质素前体物质。其中 PAL 是限速酶,其活性变化反映了竹笋木质化的速率。天然复合保鲜剂处理对麻竹笋 PAL 活性的影响如图 2 所示,对照组麻竹笋的 PAL 活性持续升高,在第 18 天达到最大值,而处理组呈先上升后缓慢下降的趋势,1.5% 壳聚糖处理组和天然复合保鲜剂处理组在第 27 天左右达到峰值。在整个贮藏期间,各处理组间的 PAL 活性存在显著差异( $p < 0.05$ ),且天然复合保鲜剂处理组的麻竹笋 PAL 活性在贮藏期间一直低于 1.5% 壳聚糖处理组,因

此,天然复合保鲜剂对 PAL 活性具有较好的抑制作用。

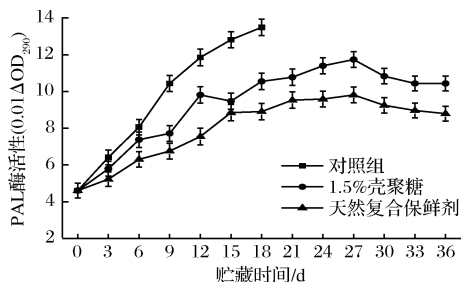


图2 天然复合保鲜剂对麻竹笋 PAL 活性的影响

Fig.2 Effects of natural compound preservative on the PAL activity of bamboo shoots

POD 在竹笋老化中也起到重要作用,木质素前体物质在 POD 作用下脱氢聚合,形成聚合物木质素,导致组织老化<sup>[25]</sup>。因此,贮藏期间 POD 的活性变化也可以反映竹笋老化的速度。天然复合保鲜剂处理组对麻竹笋 POD 活性的影响如图 3 所示。

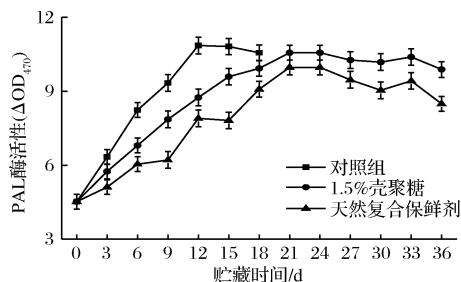


图3 天然复合保鲜剂对麻竹笋 POD 活性的影响

Fig.3 Effects of natural compound preservative on the POD activity of bamboo shoots

麻竹笋在贮藏期间的 POD 活性也呈先上升后缓慢下降趋势。在 0~12 d 内,对照组 POD 活性呈现较快的增长趋势,在第 12 天达到峰值,而 1.5% 壳聚糖处理组 POD 活性在初期的增长速率减慢,且达到最大值的时间延长。天然复合保鲜剂组的麻竹笋在 0~12 d 内,POD 的增长速度最慢,且在第 6~9 天和第 12~15 天保持相对稳定。天然复合保鲜剂组和 1.5% 壳聚糖处理组几乎都在 21 d 左右达到 POD 活性的峰值,此后 POD 活性呈现下降趋势。POD 存在的作用可能具有双重性,一种为在逆境或衰老初期表现为保护作用,另一种则是在衰老后期表达<sup>[26]</sup>,因此,在麻竹笋贮藏初期,为抵抗低温环境 POD 活性均表现出升高趋势。而在贮藏后期,麻竹笋开始衰老,对照组 POD 活性较高,而经过保鲜剂处理的麻竹笋,POD 活性则受到抑制。各处理组间存在显著差异

( $p < 0.05$ ),且天然复合保鲜剂处理组的麻竹笋 POD 活性在贮藏期间一直低于 1.5% 壳聚糖处理组。因此,天然复合保鲜剂可以有效抑制 POD 活性,延缓麻竹笋的老化进程。

### 2.3.3 对麻竹笋贮藏期间木质素含量和硬度的影响

植物木质化是木质素在细胞壁积累的结果,而竹笋采收后木质化加快,木质素的含量是竹笋木质化的直接表现,木质素含量高低直接影响到竹笋的营养品质及食用口感。天然复合保鲜剂对麻竹笋木质素含量的影响如图 4 所示。随着贮藏时间延长,麻竹笋的木质素含量也随之增加,其中对照组增加最快,天然复合保鲜剂处理组增加最慢,各处理组间存在显著差异( $p < 0.05$ )。木质素的变化趋势与 PAL 变化趋势几乎保持一致, PAL 是木质素生物合成过程中的关键酶,随着 PAL 含量的升高,木质素含量也不断增加,而经过保鲜处理后,麻竹笋的 PAL 活性受到抑制,使木质素的合成缺少前体物质<sup>[27]</sup>,POD 可在木质素合成的最后一步中通过分解  $H_2O_2$  促成木质素单体聚合形成木质素,保鲜处理降低了 POD 活性,聚合反应程度下降<sup>[28]</sup>,因而木质素含量与空白对照组相比有所下降。而单独使用壳聚糖也具有良好的抑制木质化效果,但经复配后,各天然保鲜剂之间具有一定的增效作用,具有更佳的抑制木质化效果。

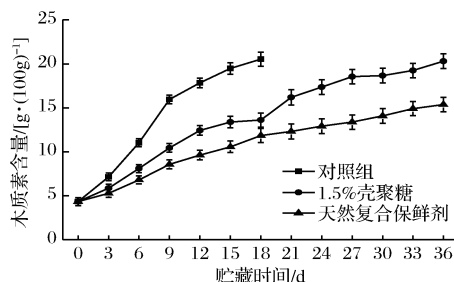


图4 天然复合保鲜剂对麻竹笋木质素含量的影响

Fig.4 Effects of natural compound preservative on lignin contents of bamboo shoots

果蔬的口感与其硬度密切相关,硬度常被作为评价果蔬品质的重要指标。麻竹笋在贮藏过程中,会因为呼吸作用和机械损伤而导致硬度上升,使竹笋丧失商品价值,同时,硬度的增加又与木质素含量的增加息息相关。因此,硬度的变化可以评价不同处理对竹笋的保鲜效果。天然复合保鲜剂对麻竹笋硬度的影响如图 5 所示。在贮藏前期,麻竹笋硬度迅速上升,对照组在第 15 天左右硬度达到最大值,1.5% 壳聚糖处理组在第 21 天左右达到最大值,而天然复合保鲜剂处理组在第 27 天左右达到最大值,随后硬度开始

下降。1.5%壳聚糖和天然复合保鲜剂处理组可以延迟麻竹笋硬度的升高,同时还可以降低硬度的峰值,且天然复合保鲜剂处理效果比单独使用壳聚糖的效果更好,说明天然复合保鲜剂可以在一定程度上抑制麻竹笋硬度的升高。这一结果与罗晓莉<sup>[29]</sup>研究的竹笋采后硬度变化的结果一致。

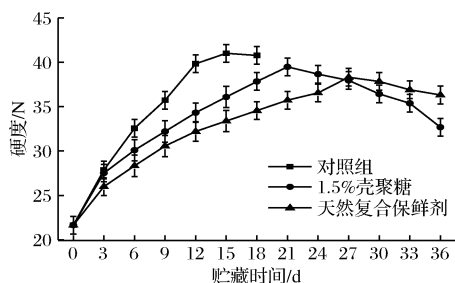


图5 天然复合保鲜剂对麻竹笋硬度的影响

Fig. 5 Effect of natural compound preservative on hardness of bamboo shoots

#### 2.3.4 对麻竹笋贮藏期间 $V_c$ 含量的影响

$V_c$  是一种水溶性维生素,具有较强的还原性,易被氧化。果蔬中  $V_c$  含量在成熟阶段增加,在贮藏阶段易被消耗氧化分解,因此  $V_c$  含量是衡量竹笋营养价值的重要指标,也是衡量贮藏保鲜效果的关键因素。天然复合保鲜剂对麻竹笋中  $V_c$  含量的影响如图6所示。

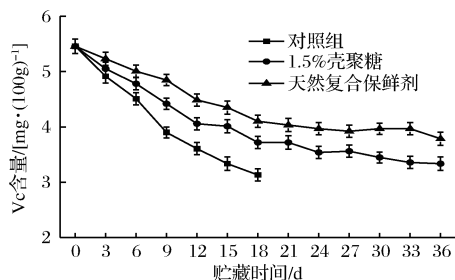


图6 天然复合保鲜剂对麻竹笋  $V_c$  含量的影响

Fig. 6 Effects of natural compound preservative on Vc contents of bamboo shoots

在贮藏期间,麻竹笋的  $V_c$  含量均呈下降趋势,前期下降得较快,贮藏后期下降得较慢。贮藏末期,对照组  $V_c$  含量下降了 42.56%、1.5%壳聚糖处理组下降了 39.26%、天然复合保鲜剂处理组下降了 29.91%。各处理组间存在显著差异 ( $p < 0.05$ ),说明天然复合保鲜剂比单独壳聚糖涂膜处理更能延缓  $V_c$  的降解,延长保鲜期。麻竹笋在贮藏期间中存在衰老的过程,而在此过程中机体会产生大量的活性氧,在不经保鲜处理的情况下,麻竹笋在贮藏前期

木质素大量形成,同时伴随  $H_2O_2$  的增加,因而活性氧含量升高导致  $V_c$  被氧化,保鲜处理降低了贮藏过程中活性氧的含量,使得  $V_c$  的氧化程度降低。

#### 2.3.5 对麻竹笋贮藏期间感官品质的影响

竹笋在贮藏过程中,可能发生褐变、腐败、变质、木质化等品质劣变,从而影响其感官品质。不同处理对麻竹笋的感官品质的影响如图7所示,随着贮藏时间的延长,各处理组麻竹笋的感官评分逐渐降低,表明随着贮藏时间的延长,麻竹笋的气味、色泽及可食用性逐渐恶化。经天然复合保鲜剂处理后的麻竹笋在整个贮藏期间,虽然品质也呈下降的趋势,但与对照组相比,天然复合保鲜剂能在较大程度上使麻竹笋保持较好的感官品质。在贮藏第6天时,空白组麻竹笋感官品质降低程度几乎为天然复合保鲜剂处理组的2倍,当贮藏6 d后,对照组麻竹笋的感官品质迅速下降。麻竹笋经1.5%壳聚糖和天然复合保鲜剂处理后,在整个贮藏期间,品质变化较为平缓,天然复合保鲜剂处理后的麻竹笋感官评分值始终高于6分,在贮藏末期仍具有良好的气味、色泽和可食用性。麻竹笋经1.5%壳聚糖处理后,在贮藏前12 d品质保持较好,与天然复合保鲜剂组的品质接近,当贮藏时间超过18 d后,该处理组的麻竹笋品质下降较天然复合保鲜剂组更为剧烈,在贮藏到24 d后,1.5%壳聚糖处理组与天然复合保鲜剂组的感官品质表现出显著性差异 ( $p < 0.05$ ),表明天然复合保鲜剂与单一天然保鲜剂相比具有更好的保鲜效果,能够最大程度保持麻竹笋的商品价值。

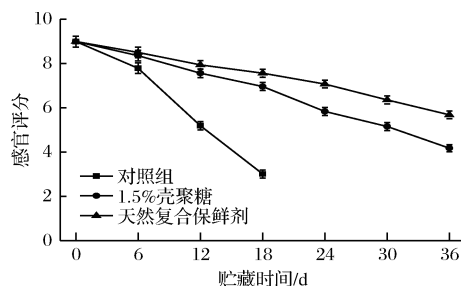


图7 天然复合保鲜剂对麻竹笋感官品质的影响

Fig. 7 Effects of natural compound preservative on sensory quality of bamboo shoots

### 3 结论

对8种天然保鲜剂筛选后进行复配,得到体积比为1:1:1的1.5%壳聚糖+0.05%纳他霉素+1.5%茶多酚作为一种天然复合保鲜剂。采用天然复合保

鲜剂对麻竹笋进行保鲜处理后,可将麻竹笋的贮藏期限延长至36 d。在贮藏期间,天然复合保鲜剂可有效降低麻竹笋的呼吸强度,并使麻竹笋的PAL和POD酶活性显著降低,延迟酶活性峰值出现的时间,延缓麻竹笋在贮藏过程中的木质化程度,抑制麻竹笋硬度的升高,保持麻竹笋的食用品质。同时,天然复合保鲜剂能有效减慢麻竹笋中Vc的降解,在最大程度上保留麻竹笋的营养和感官品质,较好地保持麻竹笋的商品价值。

### 参 考 文 献

- [1] 赵丹. 大叶麻竹笋采后品质劣化机理的研究[D]. 重庆:西南大学, 2007.
- [2] 余学军,裴贤龙. 不同储藏条件对绿竹笋酶活性与纤维化的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(3): 380-385.
- [3] SANDHYA. Modified atmosphere packaging of fresh produce: current status and future needs [J]. LWT-Food Science and Technology, 2010, 43(3): 381-392.
- [4] 王洪霞,张敏. 新鲜竹笋气调保鲜技术的研究[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 20-25.
- [5] 陈惠云,孙志栋,吴峰华,等. 乙烯及1-MCP处理对毛竹春笋木质化进程的影响[J]. 宁波农业科技, 2013(3): 11-13.
- [6] YANG Hui-qing, ZHOU Cun-shan, WU Feng-hua, et al. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(1): 72-76.
- [7] 沈玫,王琪,赵宇瑛,等. 外源草酸对冷藏绿竹笋的保鲜效果及其生理基础[J]. 园艺学报, 2013, 40(2): 355-362.
- [8] 汪开拓,唐利,李静,等. 茉莉酸甲酯处理对冷藏雷竹笋内源激素水平及木质素合成相关酶活性的影响[J]. 中国蔬菜, 2012, 9(2): 48-54.
- [9] 任邦来,靳文生. 赤霉素对番茄保鲜效果的影响[J]. 中国食物与营养, 2012, 18(4): 22-25.
- [10] 马龙传,张红印,姜松,等. 水杨酸用于水果采后贮藏保鲜的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(7): 141-143, 165.
- [11] SALA J M, LAFUENTE M T. Antioxidant enzymes activities and rind staining in 'Navelina' oranges as affected by storage relative humidity and ethylene conditioning [J]. Postharvest Biology and Technology, 2004, 37(3): 277-285.
- [12] 王杉,揭琴丰,邱伟华. 食品防腐剂的应用现状、问题及对策[J]. 中国食品添加剂, 2011(6): 163-166.
- [13] 杨霞,王大平. 天然生物保鲜剂 Nisin 不同处理对鲜切莲藕的保鲜效果[J]. 贵州农业科学, 2012, 40(12): 178-180.
- [14] ALI A, MEHDI M, SENTHIL R, et al. Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 58(1): 42-47.
- [15] MENG Xiang-hong, LI Bo-qiang, LIU Jia, et al. Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage [J]. Food Chemistry, 2008, 106(2): 501-508.
- [16] 杨明月. 双孢蘑菇天然保鲜剂筛选的试验研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2007.
- [17] 王继芝. 迁西板栗天然复合保鲜剂保鲜技术研究[J]. 河北工业科技, 2014, 31(6): 494-497.
- [18] 陈惠云. 竹笋绿色保鲜贮藏研究与应用[D]. 杭州:浙江农林大学, 2015.
- [19] 张彩珍. 采后处理对春笋贮藏品质的影响研究[D]. 福州:福建农林大学, 2008.
- [20] 杨月. 电磁辐照技术对竹笋活体保鲜的研究[D]. 重庆:西南大学, 2011.
- [21] 杨乐,王洪新. 不同可食性涂膜对方竹笋保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 305-308.
- [22] 申德省. 鲜切雷竹笋木质化和褐变的控制研究[D]. 杭州:浙江工商大学, 2015.
- [23] 蒋益虹,熊义勤. 竹笋 MA 冷藏保鲜技术的研究[J]. 中国食品学报, 2008, 8(1): 95-98.
- [24] WU Fu-wang, ZHANG Dan-dan, ZHANG Hai-yan, et al. Physiological and biochemical response of harvested plum fruit to oxalic acid during ripening or shelf-life [J]. Food Research International, 2011, 44(5): 1299-1305.
- [25] YINGSANGA P, SRILAONG V, KANLAYANARAT S, et al. Relationship between browning and related enzymes (PAL, PPO and POD) in rambutan fruit (*Nephelium lappaceum* Linn.) cvs. Rongrien and See-Chompoo [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 50(2/3): 164-168.
- [26] VALENTINESM C, VILAPLANA R, TORRES R, et al. Specific roles of enzymatic browning and lignification in apple disease resistance [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(3): 227-234.
- [27] YANG Shao-lan, SUN Chong-de, WANG Ping, et al. Expression of expansin genes during postharvest lignification and softening of 'Luoyangqing' and 'Baisha' loquat fruit under different storage conditions [J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 49(1): 46-53.

[28] YANG Wen-jian, DU Heng-jun, ALFRED M M, et al.  
Hot air drying process promotes lignification of *Lentinus*  
*edodes*[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017,

84: 726 – 732.

[29] 罗晓莉. 不同处理对竹笋采后木质化及品质的影响  
[D]. 重庆:西南大学, 2007.

## Effects of natural compound preservatives on storage quality of ma bamboo shoots

ZHENG Jiong<sup>1,2\*</sup>, TANG Ting<sup>1,2</sup>, ZENG Rui-qi<sup>1,2</sup>, ZHANG Fu-sheng<sup>1,2</sup>

1 (College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

2(National Demonstration Center for Experimental Food Science and Engineering Education (Southwest University),  
Chongqing 400715, China)

**ABSTRACT** In this paper, 8 kinds of natural preservatives were screened and best compound preservative on bamboo shoots was selected. Then the bamboo shoots were treated with the natural compound preservative and compared with the control (untreated bamboo). The results showed: +0.05% natamycin +1.5% tea polyphenols could be used as an effective natural compound preservative, compared with the control group, the storage period of treated bamboo shoots extended to 36 d. Respiration intensity of bamboo shoots with compound preservatives treated group showed a downward trend during storage and was lower than that of the experimental control group of 1.5% chitosan. During the storage, compared with the control group, PAL and POD activities were low in both 1.5% chitosan and compounded preservatives groups, and both showed a trend of first increasing and then decreasing. The peak time of enzyme activity was delayed to 27 d. Bamboo shoots during storage lignin content was the lowest and least increased during the storage time for natural compound preservative treatment group. During the late storage period, the bamboo hardness decreased, and texture soften, but still had a good sensory quality. At the same time, natural compound preservative could delay the degradation of Vc and retained the nutritional content of bamboo shoots to its maximum extent.

**Key words** ma bamboo shoots; natural compound preservatives; enzyme activity; sensory quality; nutrient content