

DOI:10.11937/bfyy.201619037

# 保鲜液的制备及其对苹果贮藏期间多酚含量的影响

付瑞敏<sup>1,2</sup>, 邢文会<sup>1</sup>, 常慧萍<sup>1</sup>, 张红<sup>1</sup>, 陈五岭<sup>2</sup>

(1. 河南教育学院 生命科学系, 河南 郑州 450046; 2. 西北大学 生命科学学院, 陕西 西安 710069)

**摘要:**以“红富士”苹果为试材,以水杨酸、氯化钙、茉莉酸甲酯复配配制保鲜液,室温下将“红富士”苹果进行涂膜处理,研究了该保鲜液对苹果贮藏期间多酚含量的影响。结果表明:与对照组相比,试验组表现出了较好的保鲜效果。200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  水杨酸、2%  $\text{CaCl}_2$  和 0.05  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$  茉莉酸甲酯复配溶液保鲜效果最好;试验中备选的 5 种用于吸附苹果多酚的大孔树脂中,HPD-100 的吸附效果最好;采用该树脂进行多酚吸附的最佳工艺条件是流速为 2.5  $\text{BV} \cdot \text{h}^{-1}$ , 吸附浓度为 1.12  $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ , pH 2.13。采用该工艺,可使吸附率上升至 95.273 2%。

**关键词:**苹果;保鲜;多酚;大孔树脂;响应面

**中图分类号:**S 661.109<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)19-0146-06

当前,我国苹果产量逐年增加,但鲜销的比例仍较小,这就需要大量的果实在采收后进行贮藏<sup>[1]</sup>。苹果贮藏期间,若管理不到位,就很容易感染病原菌,从而导致果实腐烂并造成经济损失。据悉,由于水果贮藏过程中染菌而致腐烂造成的损失在发展中国家高达 35%,即使是采后保藏技术相对先进的发达国家,也占据 5%。为提高果实采后品质,目前大都采用低温、热激、辐射等物理方法和二氧化硫、碳酸氢钠等化学方法或拮抗菌、诱导子等生物方法对苹果进行保鲜处理<sup>[2-5]</sup>,其中,诱导子就是可作用于果实,并传递活化信号,最终诱导果实获得系统获得性抗性的小分子物质。大多数诱导子如水杨酸、茉莉酸甲酯等都是植物体内天然存在的内源生长素,外源补给可诱导果实产生一系列防御反应并产生诸如多酚类物质等具有抗性作用的次生产物,从而使果实的抗病性得以提高。此外,钙离子也是果蔬保鲜中常用的诱导子,它可参与果胶构成,强化果实组织细胞壁,并作为第二信使诱导植物产生抗性物质。将水杨酸、茉莉

酸甲酯及钙离子等诱导子应用于果实的采后保鲜,可有效增强果实的抗病能力,保证果实品质,并降低防治成本,故成为采后生物防治的研究热点<sup>[6-8]</sup>。

果蔬中广泛存在多元酚类物质,苹果中所含多元酚类物质通称为苹果多酚。苹果从采摘后,伴随其成熟直至衰老的过程,果实中所含多酚含量会由于 ROS 等作用而不断下降,因此可将多酚的含量作为衡量苹果成熟度和果实品质的指标<sup>[9-10]</sup>。

课题组前期从苹果表面分离选育出 1 株高效拮抗 *Penicillium expansum* 的解淀粉芽孢杆菌,并对其抑菌机制进行了系统研究,为更好地发挥该菌株的生防作用<sup>[11]</sup>,现以多酚类化合物作为衡量苹果果实品质的指标,采用大孔树脂吸附苹果多酚<sup>[12]</sup>,通过对比各处理下苹果多酚的含量,检测各处理的保鲜效果,以期得到保鲜效果最好的溶液配比,为苹果采后的保鲜技术研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**供试材料:**供试“红富士”苹果购于陕西省洛川县一管理良好的果园,果实大小均匀,成熟度一致,无机械损伤和病害,采后立即运回实验室,处理前 0℃冷藏。

**供试试剂:**无水乙醇、水杨酸、茉莉酸甲酯、 $\text{CaCl}_2$ 、HCL、柠檬酸-磷酸氢二钠等,所有试剂皆为国产分析纯。

**供试仪器:**冷库,电子天平(万分之一),HHW-21CU600 型恒温水浴锅、粉碎器、振荡搅拌器、DC1212

**第一作者简介:**付瑞敏(1981-),女,河南郑州人,博士研究生,讲师,现主要从事农业及食品微生物等研究工作。E-mail:angel-aminmin@163.com.

**基金项目:**农业部科技成果与转化资助项目(2012GB2G000451);河南省科技攻关重点资助项目(122102310171);陕西省重大科技创新资助项目(2009ZKC04-16);河南省高等学校重点科研资助项目(15B180002);河南教育学院青年科研课题资助项目(20100103);河南省基础与前沿技术研究资助项目(152300410092)。

**收稿日期:**2016-06-23

型高速冷冻离心机、离心管、试管、微量移液器(5、2、1 mL等)。

## 1.2 试验方法

1.2.1 样品制备 挑选大小成熟度一致的“红富士”苹果,随机分成8组(即8个处理),处理1:50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水杨酸+0.5%  $\text{CaCl}_2$ +0.05  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的茉莉酸甲酯;处理2:50  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水杨酸+2%  $\text{CaCl}_2$ +0.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 茉莉酸甲酯;处理3:200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水杨酸+0.5%  $\text{CaCl}_2$ +0.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的茉莉酸甲酯;处理4:200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水杨酸+2%  $\text{CaCl}_2$ +0.05  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的茉莉酸甲酯;处理5:200  $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 水杨酸;处理6:2%  $\text{CaCl}_2$ ;处理7:0.2  $\mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的茉莉酸甲酯;以无菌水为对照。每处理20个苹果,将每组处理液分别均匀喷洒相应组的果实表面,晾干后做好标记,置于塑料盒中,保温25  $^{\circ}\text{C}$ ,保湿95%,每5 d取样1次,每次每处理各取3个苹果,将所取苹果样本的果皮取下并进行冷冻干燥,粉碎后待用。

1.2.2 苹果多酚的提取纯化工艺 5 g苹果冻干粉加入含100 mL的酸性乙醇溶液(0.01%  $\text{HCl}$ )浸提2 h,所得溶液经抽滤、离心得到苹果多酚的提取液,经旋转蒸发浓缩去除乙醇,用pH为3的柠檬酸-磷酸氢二钠缓冲液定容至100 mL,每毫升所得多酚量相当于0.05 g样本所含多酚含量。

1.2.3 静态吸附筛选树脂 静态吸附试验:树脂在使用前要置于4倍体积的乙醇中浸泡5 d,混合液经过滤弃滤液,大孔树脂用纯乙醇清洗至无沉淀。加入3倍体积的水,采用无水乙醇清洗大孔树脂并使用吸滤器将其干燥制得活化树脂。各取5 g活化后的树脂AB-8,LSA-20,LSA-21,HPD-100,HPD-300置于三角瓶中,然后分别向其中加入200 mL的 $A_{720\text{nm}}$ 值为0.819的溶液,避光密封,30  $^{\circ}\text{C}$ ,70  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,吸附12 h,期间定时取样测定多酚含量,并采用下列公式计算吸附率,其中 $A_0$ 代表吸附前多酚吸光值, $A_t$ 代表吸附后多酚吸光值。吸附率(%)=( $A_0 - A_t$ )/ $A_0 \times 100$ 。解吸试验:经过对比5种树脂的吸附率,其中3种树脂吸附率较强,它们分别是LSA-20,LSA-21,HPD-100,取已经吸附过多酚的3种树脂进行过滤,蒸馏水洗后,将其置于100 mL的浓度为80%的酸性乙醇(pH=3)中避光密封,30  $^{\circ}\text{C}$ ,70  $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ ,解吸12 h,期间定时取样,测吸光值,比较解吸量。

1.2.4 单因素试验 对影响吸附率的各个因素如吸附浓度、pH、流速、洗脱溶剂、洗脱溶剂的浓度进行单因素试验,通过试验确定影响吸附率的主要因素。

1.2.5 响应面设计 依据单因素试验结果,结合Box-Behnken中心组合试验的设计原理以吸附浓度、pH、流速作为影响吸附率的关键因素,采用三因素三水平的

表1 Box-Behnken 设计试验因素与水平

Table 1 Independent variables and their levels of

Box-Behnken design

因素 Factor	水平 Level		
	-1	0	1
流速 Flow rate/( $\text{BV} \cdot \text{h}^{-1}$ )(A)	2.5	3.0	3.5
浓度 Concentration/( $\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ )(B)	0.5	1.0	1.5
pH (C)	2.13	2.53	3.05

RSA法进行响应面试验(表1)。

1.2.6 RSA法优化 RSA方案及结果:流速(A)、浓度(B)、pH(C)为变量,以大孔树脂的吸附率为响应值进行RSA试验;多元二次响应面回归模型的建立与分析:采用Expert 8.0软件对RSA试验结果进行二次回归分析,构建出多元二次方程,并根据方程对各个因素进行方差分析,从而验证模型的显著性;响应面曲线图的制备:根据回归方程,制作流速(A)、浓度(B)和pH(C)彼此间两两交互对大孔树脂吸附率的响应面图,通过各个条件的优化,以期得出最佳反应条件。

## 1.3 项目测定

1.3.1 苹果多酚最大吸收波长的测定 参照文献[13],以Folin-Ciocalteus (FC)法测定总酚含量,取上述制备好的溶液1 mL,加入福林试剂1 mL,充分振荡后静置3 min,加入1 mL浓度为10%的碳酸钠溶液25  $^{\circ}\text{C}$ 恒温水浴反应2 h,测定该溶液在各个波长的吸光谱,从而确定其最大吸收波长。

1.3.2 各处理对苹果在贮藏期间的多酚含量测定 根据响应面优化所得的大孔树脂提取多酚的参数,采用大孔树脂吸附各个处理样本中的多酚并测定其在720 nm的吸光值,对比不同处理下苹果在贮藏期间多酚的变化情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果多酚提取纯化工艺

2.1.1 最大吸收波长的确定 苹果多酚经福林试剂处理后在各波段的吸光值见图1。该液体在720 nm吸光值最高,为0.891。

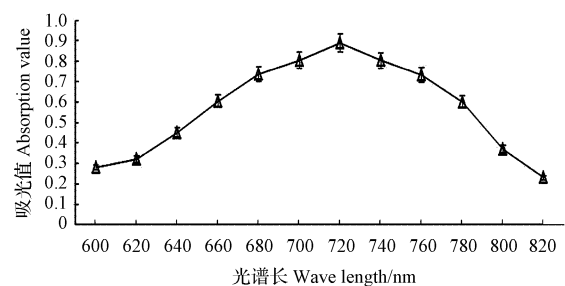


图1 苹果多酚的吸收光谱

Fig.1 Absorb spectrum of the apple polyphenol

2.1.2 不同树脂的吸附和解吸性能 吸附性能:由图 2 可知,5 种树脂的吸附率随时间延长而下降,最终趋向饱和,在 3 h 基本达到平衡状态;此外,还可看出 HPD-100 的吸附率最好,LSA-20 和 LSA-21 次之,故选择这 3 种树脂进行解吸试验。解析性能比较:选取 HPD-100 等 3 种树脂进行解吸试验。由图 3 可知,HPD-100 树脂的解吸能力最强,吸附速度也最快。综合吸附试验和解吸试验,可以得出,HPD-100 大孔树脂对多酚有较强的选择性,易吸附也易解吸,故选择 HPD-100 树脂进行后续试验。

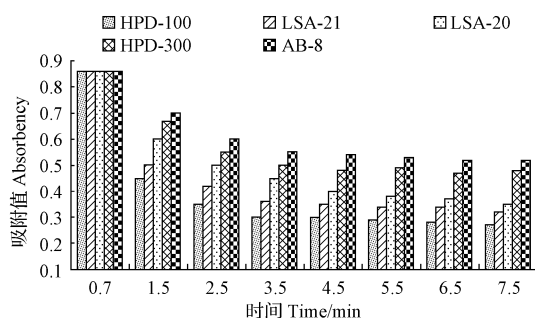


图 2 静态吸附随时间的变化趋势

Fig. 2 Change of static adsorption with time

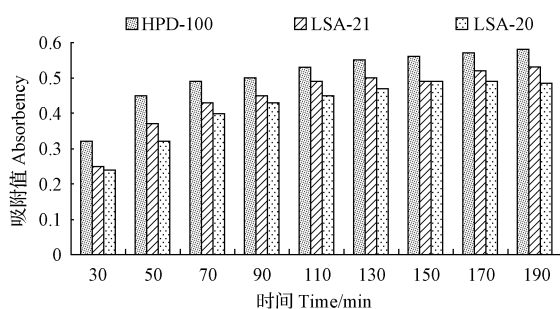


图 3 静态解吸随时间的变化趋势

Fig. 3 Change of static deadsorption with time

2.1.3 吸附条件单因素试验 1) 料液浓度对吸附的影响。图 4 反映了不同浓度的苹果多酚液对吸附率的影响情况。图 4 显示,随苹果多酚浓度增加,大孔树脂吸附多酚的能力却逐渐下降,其原因可能是多酚浓度的提高导致与其竞争的杂质质量也增加,这影响了多酚在大孔树脂中的扩散,通过对比,将该试验的多酚溶液的浓度控制在  $1 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  左右。2) 流速对吸附的影响。由图 5 流速对吸附的影响可知,树脂对多酚的吸附率随着流速的增加而降低,综合看流速为  $3 \text{ BV} \cdot \text{h}^{-1}$  时,吸附率达到最大,故选择流速为  $3 \text{ BV} \cdot \text{h}^{-1}$  的流速进行上柱。3) pH 对吸附的影响。由图 6 可知,pH 对多酚的吸附率影响较大,随 pH 的增大,树脂吸附多酚的吸附率显著降低。当 pH 在 1.5 时,吸附率达到最大,由于此时过酸不

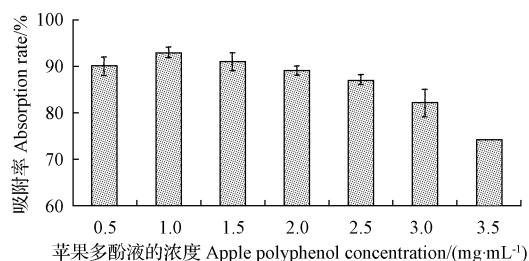


图 4 苹果多酚浓度对吸附率的影响

Fig. 4 Effect of apple polyphenol concentration on adsorption

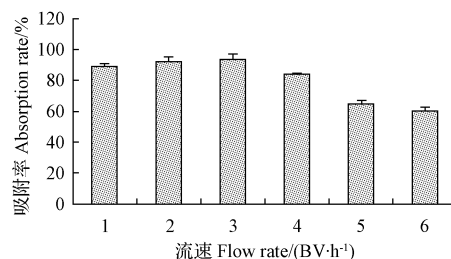


图 5 流速对吸附的影响

Fig. 5 Relation of flow rate and adsorption

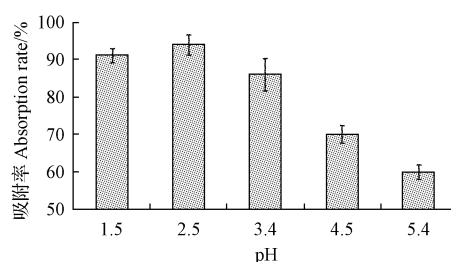


图 6 pH 对吸附的影响

Fig. 6 Effect of pH on adsorption

宜用于吸附,故选 2.5 作为适宜 pH 进行上柱吸附。

2.1.4 吸附条件的响应面优化 RSA 方案及结果:以流速(A)、浓度(B)、pH(C)为变量,以大孔树脂的吸附率为响应值进行 RSA 试验<sup>[14-15]</sup>,试验结果见表 2。多元二次响应面回归模型的建立与分析:使用 Expert 8.0 软件对表 2 的试验结果数据进行二次回归分析,构建出多元二次方程: $R1 = 94.32 - 0.31 \times A - 0.97 \times B - 2.14 \times C + 0.54 \times A \times B + 0.045 \times A \times C - 1.15 \times B \times C - 1.30 \times A^2 - 5.13 \times B^2 - 1.80 \times C^2 + 0.48 \times A^2 \times B - 1.55 \times A^2 \times C$ 。由表 3 可以看出,模型的 P 值为 0.005 6,小于 0.05,说明该模型是显著的,将该模型用于预测和分析预测、分析大孔树脂吸附苹果多酚的吸附率,结果准确。方差分析是一种用模型参数来检验假设的统计手段,该研究中树脂吸附苹果多酚的 ANOVA 分析结果如表 4 所示,表中显示 F 值为 204.46,这表明该模型是显

表 2 Box-Behnken 试验设计及结果

Table 2 Design and results of Box-Behnken experiment

运行 Operdtion	A 流速 Flow rate	B 吸附浓度 Adsorption concentration	C pH	吸附率 Adsorption rate/%	
				Y 理论值 Theoretical value	Y 实际值 Actual value
1	-1	-1	0	89.38	89.62
2	0	0	0	93.82	94.32
3	-1	1	0	87.32	87.08
4	-1	0	-1	95.12	95.12
5	1	0	1	87.42	87.42
6	1	1	0	87.48	87.42
7	0	1	-1	89.72	89.96
8	0	0	0	94.45	94.32
9	0	0	0	94.42	94.32
10	1	0	-1	94.72	94.72
11	0	-1	1	87.36	87.12
12	1	-1	0	87.38	87.62
13	0	1	1	83.13	83.37
14	0	-1	-1	89.35	89.11
15	0	0	0	94.45	94.32
16	0	0	0	94.47	94.32
17	-1	0	1	87.64	87.64

表 3 模型回归分析

Table 3 Adequacy of the model tested

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均值 Mean square	F 值 F value	Prob>F
Quadratic	141.03	3	47.01	57.15	<0.000 1a
Cubic	5.44	3	1.81	22.94	0.005 6

表 4 模型参数的方差分析

Table 4 ANOVA analysis and statistical parameters of the model

来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 df	均值 Mean square	F 值 F value	Prob>F
Model	225.96	11	20.54	204.46	<0.000 1a
A	0.76	1	0.76	7.53	0.040 6
B	3.72	1	3.72	37.08	0.001 7
C	18.40	1	18.40	183.19	<0.000 1a
A <sup>2</sup>	7.10	1	7.10	70.66	0.000 4
B <sup>2</sup>	110.96	1	110.96	1 104.45	<0.000 1a
C <sup>2</sup>	13.62	1	13.62	135.56	<0.000 1a
失拟 Lack of fit	0.19	1	0.19	2.35	0.919 8

著且高度可靠的。由表 4 可知,一次项(A,B,C)和二次项(B<sup>2</sup>,C<sup>2</sup>)都是显著的,失拟项不显著,这些结论都表明该模型与试验数据是拟合的,其中,R<sup>2</sup> 是 0.992 9,这暗示试验值与预测值高度相关。为确定最佳吸附条件,根据回归方程,获得流速(A)、浓度(B)和 pH(C)彼此间两两交互对多酚吸附率的影响和响应面图。由图 7~9 可以看出,响应面和等高线显示了当其中 1 个变量保持不变,另外 2 个变量彼此间的相互影响。采用模型所得的二次多项式来研究每个响应面,结果表明,浓度和 pH 可显著影响多酚吸附值。因此,pH 应该是影响大孔树脂吸附苹果多酚吸附率的最重要因素,其次是浓度,再次是流速。最佳条件的选择:流速为 2.5~3.5 BV·h<sup>-1</sup> 吸附浓度为 0.5~1.5 mg·mL<sup>-1</sup>,pH 为 2.13~3.05。通过该方法获得大孔树脂提取评估多酚的最优参数是流速为 2.5 BV·h<sup>-1</sup>,浓度为 1.12 mg·mL<sup>-1</sup>,pH 为 2.13,在该条件下,吸附率最大可增至 95.273 2%。

2.2 各处理对苹果贮藏期间总多酚含量的影响

在流速为 2.5 BV·h<sup>-1</sup>,浓度为 0.44 Abs,pH

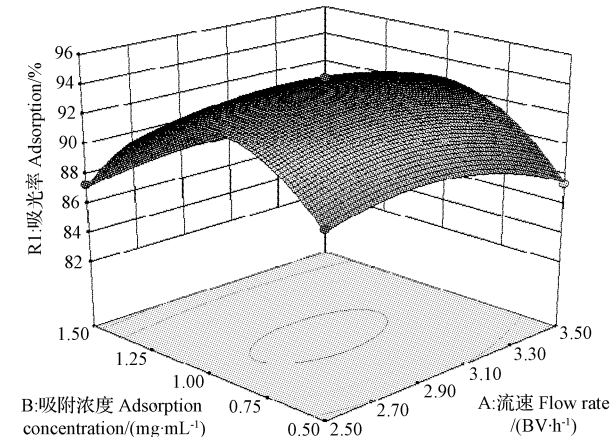


图 7 流速和吸附浓度的交互作用对苹果多酚吸附率的响应面分析

Fig. 7 The interaction of flow rate and adsorption concentration on apple polyphenol adsorption rate

为 2.13 的条件下,采用大孔树脂吸附法,吸附各处理果皮中的多酚,并以其在 720 nm 处的吸光值为标准检测



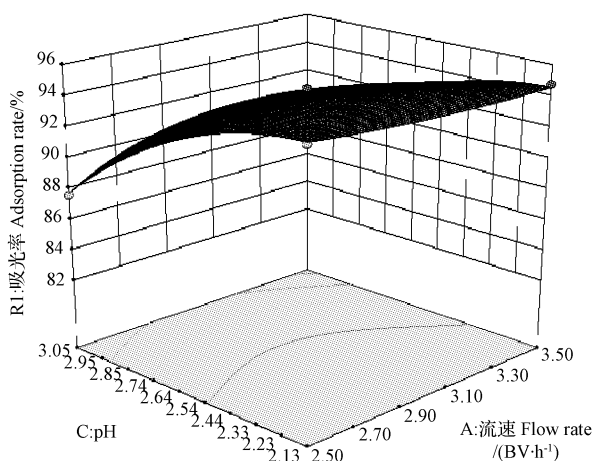


图 8 流速和 pH 的交互作用对苹果多酚吸附率的响应面分析

Fig. 8 The interaction of flow rate and pH on apple polyphenol adsorption rate

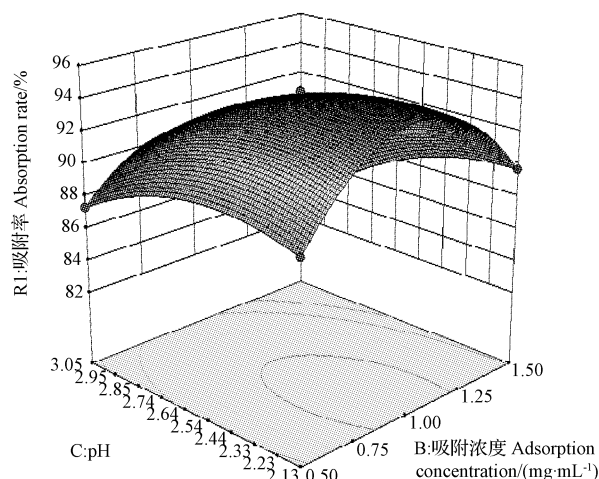


图 9 吸附浓度和 pH 的交互作用对苹果多酚吸附率的响应面分析

Fig. 9 The interaction of adsorption concentration and pH on apple polyphenol adsorption rate

各处理的苹果多酚含量变化情况。由表 5 可知,各处理的“红富士”苹果其果皮中多酚含量均随贮藏时间的延长而有不同程度的降低。其中,处理 4 ( $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  水杨酸 +  $2\%$   $\text{CaCl}_2$  +  $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$  茉莉酸甲酯)苹果的多酚含量变化很小,且与对照相比差异极为显著。此外,水杨酸、 $\text{CaCl}_2$  茉莉酸甲酯

单一处理的多酚含量下降幅度大于复合处理,说明复合处理的保鲜效果要强于单一处理。其中根据多酚变化幅度来看,各处理中,保鲜效果最好的是  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  水杨酸、 $2\%$   $\text{CaCl}_2$  和  $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$  茉莉酸甲酯的复配溶液,因此该配比将用于后续研究。

表 5 果皮中的多酚含量

Table 5 Polyphenol content in the fruit peel

处理 Treatment	贮藏天数 Storage days/d					
	5	10	15	20	25	30
处理 1	$0.838 \pm 0.013\text{b}$	$0.820 \pm 0.056\text{b}$	$0.814 \pm 0.112\text{b}$	$0.809 \pm 0.234\text{b}$	$0.803 \pm 0.156\text{b}$	$0.800 \pm 0.342\text{b}$
处理 2	$0.832 \pm 0.237\text{b}$	$0.812 \pm 0.168\text{b}$	$0.804 \pm 0.176\text{b}$	$0.800 \pm 0.198\text{b}$	$0.797 \pm 0.224\text{c}$	$0.792 \pm 0.134\text{c}$
处理 3	$0.822 \pm 0.145\text{b}$	$0.801 \pm 0.257\text{b}$	$0.790 \pm 0.164\text{c}$	$0.781 \pm 0.215\text{c}$	$0.772 \pm 0.187\text{c}$	$0.766 \pm 0.165\text{c}$
处理 4	$0.938 \pm 0.166\text{a}$	$0.922 \pm 0.156\text{a}$	$0.915 \pm 0.197\text{a}$	$0.911 \pm 0.111\text{a}$	$0.898 \pm 0.001\text{b}$	$0.896 \pm 0.027\text{b}$
处理 5	$0.816 \pm 0.008\text{b}$	$0.794 \pm 0.016\text{c}$	$0.786 \pm 0.019\text{c}$	$0.778 \pm 0.015\text{c}$	$0.766 \pm 0.019\text{c}$	$0.753 \pm 0.014\text{c}$
处理 6	$0.812 \pm 0.013\text{b}$	$0.784 \pm 0.017\text{c}$	$0.771 \pm 0.014\text{c}$	$0.760 \pm 0.034\text{c}$	$0.751 \pm 0.029\text{c}$	$0.741 \pm 0.041\text{c}$
处理 7	$0.808 \pm 0.009\text{b}$	$0.775 \pm 0.002\text{c}$	$0.762 \pm 0.007\text{c}$	$0.752 \pm 0.012\text{c}$	$0.736 \pm 0.032\text{c}$	$0.736 \pm 0.011\text{c}$
处理 8	$0.725 \pm 0.017\text{c}$	$0.611 \pm 0.256\text{d}$	$0.531 \pm 0.164\text{e}$	$0.412 \pm 0.145\text{f}$	$0.311 \pm 0.236\text{g}$	$0.244 \pm 0.338\text{h}$

注:同列数字后相同小写字母表示  $P=0.05$  水平上差异不显著。

### 3 讨论与结论

水杨酸、茉莉酸甲酯和氯化钙等诱导子作用于采后果蔬,不仅可诱导后者产生各种防御蛋白,而且可延缓其生理代谢进程,延长货架期并保证其品质,故而对果蔬的采后保鲜具有重要应用价值。苹果多酚作为苹果果实内具有生物活性的天然化合物,其含量高低与果实的抗性及其成熟度密切相关,故可用其作为保鲜效果的评价指标。

此外,苹果多酚兼具强抗氧化性、防癌、减肥、美容和预防心血管疾病等生理功效,因而市场前景极为广

阔<sup>[16]</sup>。然而目前市面上的多酚类产品大都纯度不高,这不仅严重影响产品效果,而且制约了产品的市场定位及推广。因而,开发高纯度的多酚制品具有重要的现实意义。基于此,课题组以水杨酸、茉莉酸甲酯和氯化钙为原料,在预试验的基础上确定各物质的最适浓度范围,将其组合成不同的保鲜液并处理“红富士”苹果。通过对比各处理的苹果中多酚含量在贮藏时的变化程度来衡量其保鲜效果。为得到高纯度的多酚制品,采用大孔树脂吸附法来纯化苹果多酚<sup>[17-18]</sup>,根据吸附率找出最适宜于纯化苹果多酚的树脂,并选用响应面法优化该树脂

吸附多酚的工艺条件。最终,选出 HPD-100 用于吸附纯化苹果多酚,经优化,最佳吸附条件为流速为  $2.5 \text{ BV} \cdot \text{h}^{-1}$ ,浓度为  $1.12 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ ,pH 为 2.13,在该条件下,吸附率最大可增至 95.273 2%。

将该条件用于监测各处理下苹果多酚的含量,发现除了无菌水对照,其余各组处理均可有效延缓苹果多酚的下降速率,且 3 组液体的混合液保鲜效果均优于单个保鲜效果,其中,尤其以  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  水杨酸、2%  $\text{CaCl}_2$  和  $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$  茉莉酸甲酯的复配溶液最好。该研究结果不仅延长了苹果的贮藏期,保证了果实的品质,而且纯化了多酚提取工艺,使苹果加工产业链得以进一步延伸,其产品还可促进人体健康,故具有重要的经济效益和社会效益。

### 参考文献

- [1] 张晓晓,周会玲,田蓉,等. 短波紫外线照射对苹果采后灰霉病抗性诱导作用[J]. 食品科学,2015(2):54.
- [2] 张国超,张红印,陈克平,等. 甜菜碱诱导卡利比克毕赤酵母对苹果灰霉病控制效果的影响[J]. 食品科技,2015(8):6-11.
- [3] 葛永红,李灿婴,朱丹实,等. 采后 BTH 处理对苹果果实苯丙烷代谢和病程相关蛋白积累的增强作用[J]. 食品工业科技,2015,36(5):306-310.
- [4] 马素娟,汪开拓. 采后热空气处理对杨梅果实冷藏期间品质及生理的影响[J]. 食品科技,2015(8):344-349.
- [5] MAHUNU G K, ZHANG H, YANG Q, et al. Improving the biocontrol efficacy of *Pichia caribbica* with phytic acid against postharvest blue mold and natural decay in apples[J]. Biological Control, 2016, 92:172-180.
- [6] ZHAO Y, WANG C. Effect of calcium chloride in combination with salicylic acid on post-harvest freshness of apples[J]. Food Science and Biotechnology, 2015, 24(3):1139-1146.
- [7] DUAN X, JING G, FAN F, et al. Control of postharvest green and blue molds of citrus fruit by application of sodium dehydroacetate[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 113:17-19.
- [8] PENG X, YANG J, CUI P, et al. Influence of allixin on quality and volatile compounds of fresh-cut stem lettuce during cold storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 60(1):300-307.
- [9] WU H, XUE N, HOU C, et al. Microcapsule preparation of allyl isothiocyanate and its application on mature green tomato preservation[J]. Food Chemistry, 2015, 175:344-349.
- [10] JIANG L, FENG W, LI F, et al. Effect of One-methylcyclopropene (1-MCP) and chlorine dioxide ( $\text{ClO}_2$ ) on preservation of green walnut fruit and kernel traits[J]. Journal of Food Science and Technology, 2015, 52(1):267-275.
- [11] 付瑞敏,邢文会,谷亚楠,等. 苹果采后青霉病拮抗菌株的分离、鉴定和低能  $\text{N}^+$  注入诱变[J]. 北方园艺,2015(21):116-120.
- [12] WANG Z, CHEN L, YANG H, et al. Effect of exogenous glycine betaine on qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage[J]. European Food Research and Technology, 2015, 240(1):41-48.
- [13] WRUSS J, LANZERSTORFER P, HUEMER S, et al. Differences in pharmacokinetics of apple polyphenols after standardized oral consumption of unprocessed apple juice[J]. Nutrition Journal, 2015, 14(1):32.
- [14] 付瑞敏,韩鸿鹏,郑珂,等. 响应面分析法优化野木瓜多糖的提取工艺研究[J]. 北方园艺,2013(18):121-124.
- [15] LIU X, MU T, SUN H, et al. Optimisation of aqueous two-phase extraction of anthocyanins from purple sweet potatoes by response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2013, 141(3):3034-3041.
- [16] CONIDI C, RODRIGUEZ-LOPEZ A D, GARCIA-CASTELLO E M, et al. Purification of artichoke polyphenols by using membrane filtration and polymeric resins[J]. Separation and Purification Technology, 2015, 144:153-161.
- [17] YI J, WANG Z, BAI H, et al. Optimization of purification, identification and evaluation of the *in vitro* antitumor activity of polyphenols from *Pinus Koraiensis* Pinecones[J]. Molecules, 2015, 20(6):10450-10467.
- [18] DOU J, MENG Y, LIU L, et al. Purification, characterization and antioxidant activities of polysaccharides from thinned-young apple[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2015, 72:31-40.

## Preparation of Fresh-keeping Agents and Its Effect on Apple Polyphenols Content During Postharvest Storage

FU Ruimin<sup>1,2</sup>, XING Wenhui<sup>1</sup>, CHANG Huiping<sup>1</sup>, ZHANG Hong<sup>1</sup>, CHEN Wuling<sup>2</sup>

(1. Department of Life Science, Henan Normal of Education, Zhengzhou, Henan 450046; 2. College of Life Science, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069)

**Abstract:** The 'Fuji' apple was used as material, salicylic acid, calcium chloride, methyl jasmonate complex configuration preservation solution were conducted, the 'Fuji' apples were coated at room temperature, the preservation was studied during storage of apple polyphenol content impact. The results showed that the experimental group showed better preservation effect compared with the control group; the solution made up of  $200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  SA, 2%  $\text{CaCl}_2$  and  $0.05 \mu\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$  MeJA exhibited the most fresh-keeping effect. The optimum apple polyphenols purification conditions were as follows: HPD-100 macroporous resin,  $2.5 \text{ BV} \cdot \text{h}^{-1}$  flow rate,  $1.12 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$  concentration of apple polyphenol adsorption concentration, and pH 2.13. Under these conditions, the adsorption rate could increase to 95.273 2%. To sum up, compared with control group, the treatment groups all indicated better fresh-keeping effect.

**Keywords:** apple; fresh-keeping; polyphenols; macroporous resin adsorption; response surface methodology