

复合生物源保鲜剂对樱桃番茄“绿宝石”保鲜效果的影响

李 蒙, 陆兆新, 周 翔, 郁志芳*
(南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要: 以转色期“绿宝石”樱桃番茄为材料, 采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计并于 $(8 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下贮藏30d, 研究不同质量浓度葡萄糖酸内酯、壳聚糖和抗菌肽对樱桃番茄保鲜效果的影响, 并以模糊综合评定法分析贮藏末期樱桃番茄相关指标的变化, 以筛选适宜“绿宝石”贮藏用的生物源保鲜剂。结果表明, 最优处理组合为0.5g/100mL葡萄糖酸内酯+4g/100mL壳聚糖+抗菌肽原液, 在此条件下樱桃番茄的外部感官综合评定指数和内部品质综合评定指数值均为最高; 显著性分析结果表明, 该处理能够有效降低果实的腐烂率和质量损失率, 延缓果肉硬度的下降和色泽的上升, 降低番茄果实的呼吸强度, 减少VC、可溶性固形物和可滴定酸的损失, 从而延缓果实衰老, 具有良好的保鲜效果。

关键词: 樱桃番茄; 保鲜; 正交试验设计; 模糊综合评定法

Preservation of “Green Gem” Cherry Tomatoes by Combined Use of Biopreservatives

LI Meng, LU Zhao-xin, ZHOU Xiang, YU Zhi-fang*
(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: This study investigated the combined application of gluconolactone, chitosan and antimicrobial peptides produced by *Bacillus amyloliquefaciens* ES-24 to preserve “Green Gem” cherry tomatoes harvested at the color-turning stage during storage at $(8 \pm 1)^\circ\text{C}$. An orthogonal array design with 9 experiments of 3 variables at 4 levels combined with fuzzy comprehensive evaluation was employed to determine the optimum concentrations of the biopreservatives for their combined use: 0.5 g/100 mL *D*-glucono- δ -lactone (GDL)+4 g/100 mL chitosan (CTS)+the original solution of antimicrobial peptides without dilution. Under this condition, the highest external sensory evaluation score and the highest internal quality evaluation score were simultaneously obtained. The results of statistical analysis showed that the optimized treatment substantially decreased the decay index and weight loss rate of cherry tomatoes, retarded the decrease of pulp firmness and the increase of color, reduced the respiration intensity and lowered the losses of VC, soluble solid contents and titratable acids, thereby delaying fruit senescence and preserving fruit quality.

Key words: cherry tomato; preservation; orthogonal array design; fuzzy comprehensive evaluation

中图分类号: TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)18-0301-06

doi:10.7506/spkx1002-6630-201318062

樱桃番茄又名微型番茄、迷你番茄、小番茄等, 属茄科番茄属, 一年生草本。樱桃番茄味道可口, 富含多种维生素及矿物质, 其VC含量约为普通番茄的2倍, 营养价值很高, 故而深受人们喜爱。但是由于樱桃番茄属呼吸跃变型浆果, 果皮薄, 不耐贮运, 贮藏期间易受微生物污染发生腐烂变质^[1], 易造成较大的经济损失, 因此, 解决樱桃番茄的采后保鲜对提高农民增收具有重要的指导意义。樱桃番茄的贮藏保鲜方法主要有低温贮

藏、防腐保鲜剂处理、辐射保鲜及气调保鲜等^[2]。常用的冷藏、辐照、气调等技术, 往往生产中一次性投资较多、设备复杂、能耗高; 化学保鲜剂残留不利于人体健康。从动植物体中提取无毒、高效且经济的天然食品保鲜剂, 具有优良的分散性、保湿性、抗菌性等诸多优点, 正日益成为食品贮藏保鲜研究的热点^[3]。

壳聚糖(chitosan, CTS)是甲壳素经过脱乙酰化反应转化而成的天然高分子化合物, 具有安全、无毒、可食

收稿日期: 2012-07-18

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(10)229); 农业部公益性行业农业科研专项(201303132)

作者简介: 李蒙(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为采后生物学。E-mail: limeng868@126.com

*通信作者: 郁志芳(1960—), 男, 教授, 博士, 研究方向为采后生物学。E-mail: yuzhi88@yahoo.com.cn

用、可降解等多种特性^[4],可以在果蔬表面形成半透性膜,使果蔬组织内CO₂含量增加,O₂含量降低,能够有效地降低果实呼吸,减少果皮蒸腾作用,维持果实硬度和色泽,抑制微生物的生长^[5],减少贮藏病害的发生,从而有效地延缓果实衰老^[6],延长贮藏周期。李西进^[7]研究表明1.5%的壳聚糖醋酸溶液涂膜处理能够明显降低樱桃番茄的腐烂率,延缓果实硬度、总糖和VC含量的下降。葡萄糖酸内酯(D-glucono-delta-lactone, GDL),全称D-葡萄糖酸- δ -内酯,是一种新型无毒的多功能食品添加剂,主要用作牛奶蛋白和大豆蛋白的凝固剂,鱼、禽畜的肉中的保鲜剂,午餐肉和香肠等肉制品的色素稳定剂,也可作为糕点面包的疏松剂,此外它还是螯合剂、酸味剂、pH值降低剂^[8],但GDL用于果蔬保鲜未见报道。抗菌肽(anti-bacterial peptide, AMPs)又叫抗微生物肽(anti-microbial peptide),是由多种生物细胞特定基因编码经外界条件诱导产生的一类具有广谱抗细菌、真菌、病毒、原虫、抑杀肿瘤细胞等活性作用的多肽^[9]。抗菌肽可以破坏微生物膜结构或者穿越质膜到达细胞质中作用,杀死病原菌,从而降低腐烂率的发生,但AMPs用于樱桃番茄的保鲜未见报道。复合保鲜剂可以有效地发挥各种保鲜剂的优势,对于抑制微生物生长,降低腐烂率,保持果蔬品质具有良好的效果。Ramos-García等^[10]研究表明采用1%壳聚糖+0.1%蜂蜡+0.1%酸橙精油涂膜保鲜番茄可以有效地抑制葡枝根霉(*Rhizopus stolonifer*)和大肠杆菌(*E.coli* DH5 α)的生长,降低腐烂率的发生。Neetoo等^[11]将Nisin和其他有机酸联合使用成功控制了李斯特菌对烟熏大马哈鱼的危害,在保持其风味的同时也有效延长了其保质期。

目前,壳聚糖已在樱桃番茄保鲜上取得了较好的保鲜效果,葡萄糖酸内酯以及抗菌肽在肉类、奶类、蛋类保鲜上效果显著,但在樱桃番茄的研究方面未见报道,本实验在不同质量浓度葡萄糖酸内酯、壳聚糖和抗菌肽单因素试验的基础上,采用正交试验L₉(3⁴)优化转色期樱桃番茄的保鲜条件,在低温(8 \pm 1) $^{\circ}$ C条件下贮藏30d,以腐烂率、质量损失率、硬度、色泽、呼吸强度、VC、可溶性固形物(TSS)和可滴定酸(TA)含量等作为保鲜效果的评价指标,综合评定不同质量浓度配比天然保鲜剂的保鲜效果,筛选可供实用的优化配比,以期为樱桃番茄的贮藏和天然保鲜剂的应用提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

樱桃番茄采摘自山东省,以转色期樱桃番茄品种“绿宝石”为实验材料,于2012年5月18日采收,采收后

立即运回实验室,选取大小基本一致、形状规则、无病虫害、无机械损伤的果实。

葡萄糖酸内酯(GDL,纯度 \geq 99.0%)购自上海绿宙食品添加剂有限公司,发酵法生产配制成质量浓度分别为0.2、0.5、0.8g/100mL的溶液待用;壳聚糖(CTS)由江苏省农业科学院原子能利用研究所提供,分子量30000~50000D,配制成质量浓度分别为1、2、4g/100mL的溶液待用;抗菌肽(AMPs)由南京农业大学食品科技学院酶工程研究室提供,为淀粉液化芽孢杆菌ES-2-4产抗菌肽,取原液以蒸馏水按照体积比进行5倍和10倍稀释,原液效价为15129.83U/mL,5倍稀释液效价为4918.18U/mL,10倍稀释液效价为2063.34U/mL。

1.2 仪器与设备

DJ300精密电子天平 北京赛多利斯仪器系统有限公司;GL-20G-II高速冷冻离心机 上海安亭科学仪器厂;HH-6数显恒温水浴锅 常州国华电器有限公司;WFJ UV-2802 PC紫外-可见分光光度计 尤尼柯(上海)仪器有限公司;CR-200手持色差仪 日本美能达公司;TA.XT.Plus物性分析仪 英国Stable Micro Systems有限公司;GXH-3010/3011AE便携式红外线CO/CO₂分析仪 北京华云分析仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 单因素试验

选取不同质量浓度的3种保鲜剂,另设一个空白对照,分别浸泡樱桃番茄8min,每个处理用果240个,重复3次,取出自然晾干,用PE袋敞口包装后在低温(8 \pm 1) $^{\circ}$ C条件下贮藏。贮藏期间每隔10d测定其腐烂率,每处理重复3次。

1.3.2 正交试验设计

表1 正交试验设计
Table 1 Orthogonal array design

试验号	因素		
	A 葡萄糖酸内酯 质量浓度/(g/100mL)	B 壳聚糖质量 浓度/(g/100mL)	C 抗菌肽 稀释倍数
CK	0	0	0
1	1(0.2)	1(1)	1(0)
2	1	2(2)	2(5)
3	1	3(4)	3(10)
4	2(0.5)	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3(0.8)	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

选择葡萄糖酸内酯、壳聚糖、抗菌肽3个因素,每因素3水平。按照正交试验方案设置9个处理,另设一个空白对照(表1),每个处理用果240个,同时浸泡在含有此3种物质的溶液里,每个处理重复3次。分别用不同处理浸

泡樱桃番茄果实浸泡8min,取出自然晾干,用PE袋敞口包装后在低温(8±1)℃条件下贮藏。贮藏期间每10d测定一次品质指标和生理生化指标,每处理重复3次。

1.3.3 测定指标及方法

质量损失率/%=(入贮前番茄的质量-入贮后番茄的质量)/入贮前番茄的质量×100;腐烂率/%=腐烂果粒数/果粒总数×100(出现斑点、软烂即视为腐烂);色泽:采用手持色差仪测量樱桃番茄的颜色变化,记录a*、b*值。重复取果测定20次,记录数据,统计色泽比a*/b*值^[12];硬度:参照文献[13]并修改,采用直径50mm探头(P/50),速度为1mm/s,预负载5g后下压40%测定番茄腰部的硬度(g/cm)。取果实10个在每果的腰部各测定1次,记录数据,计算其平均值;可溶性固形物含量:用手持糖度计进行测定。每样品取果实10个,每果分别测定1次可溶性固形物含量,记录数据,计算其平均值;VC含量:采用钼蓝比色分光光度法^[14](单位mg/100g);可滴定酸含量:采用中和滴定法^[15]测定;呼吸强度:采用便携式红外线CO/CO₂分析仪测定(以鲜质量计,单位为CO₂ mg/(h·kg))。

1.3.4 综合评定指数计算方法

对于多个指标正交试验,试验中各个指标之间具有矛盾性,使得评价各个处理方案变得复杂,为了消除各个指标单位和量纲的不同,采用模糊综合评定法^[16]综合分析贮藏末期樱桃番茄相关指标的变化。按照模糊数学的观点,“优”为一模糊概念,如果以数值“1”表示最优,则数值“0”表示最劣。那么某种配方的保鲜剂贮藏效果的优良度可在闭区间(0, 1)上连续取值。基于这一原则,模糊权重法对樱桃番茄保鲜效果的评语值(即优良度)必须隶属于区间(0, 1),其评语值越大,则樱桃番茄的贮藏效果就越好。

樱桃番茄的外部感官的评定因素有4个,即腐烂率、硬度、质量损失率和色泽,根据它们对贮藏效果的影响,加权系数分别是0.3、0.3、0.2和0.2;樱桃番茄的内部品质评定的因素也有4个,即呼吸强度、VC、可溶性固形物和可滴定酸,根据它们对贮藏效果的影响,加权系数分别是0.3、0.3、0.2和0.2。

樱桃番茄的外部感官综合评定指数=0.3×腐烂指数+0.3×硬度指数+0.2×质量损失指数+0.2×色泽指数

樱桃番茄的内部品质综合评定指数=0.3×呼吸强度指数+0.3×VC指数+0.2×可溶性固形物指数+0.2×可滴定酸指数。

腐烂指数、质量损失指数、色泽指数、呼吸强度指数的计算如公式(1)所示:

$$\text{评定指数 } X_{ij} = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

硬度指数、VC指数、可溶性固形物指数和可滴定酸指数的计算如公式(2)所示:

$$\text{评定指数 } X_{ij} = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

式中: X_{ij}为第i组樱桃番茄的第j个指标的评定指数; \bar{X} 为第i组樱桃番茄的第j个指标的实测平均值; X_{min}为试验中第j个指标实测值中的最小值; X_{max}为试验中第j个指标实测值中的最大值。

若第i组樱桃番茄的第j个因素的评定指数是X_{ij},且第j个因素数的加权系数为a_j,那么第i组樱桃番茄内部感官品质的综合评定指数(R_i)为:

$$R_i = \sum_{j=1}^4 X_{ij} \cdot a_j \quad (3)$$

根据公式(3)分别计算各处理组的外部感官综合评定指数R_i和内部品质综合评定指数R_i,R_i值越大,说明樱桃番茄贮藏效果越好,以综合指标R_i作为评判标准,通过极差分析得出最优的复合保鲜液处理组合。

1.4 数据处理及分析

取平行测定的数据均值,并借助Excel、SPSS和正交设计助手II等软件对数据进行统计处理,并采用ANOVA进行邓肯氏多重差异分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 葡萄糖内酯对樱桃番茄质量损失率的影响

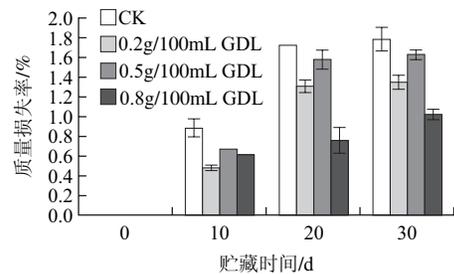


图1 葡萄糖内酯处理对樱桃番茄贮藏期间质量损失率的影响(n=3)
Fig.1 Effect of GDL treatment on the weight loss of cherry tomatoes during storagee (n=3)

由图1可见,随着贮藏时间的延长,樱桃番茄的质量损失率逐渐上升,GDL处理可以有效地降低质量损失率,其中0.8g/100mL GDL的效果最好,在贮藏末期第30天,0.8g/100mL GDL处理组的质量损失率为1.01%,显著低于其他处理组(P<0.01)。

2.1.2 壳聚糖对樱桃番茄质量损失率的影响

由图2可见,CTS处理均可以有效地控制樱桃番茄贮藏期间的质量损失率。壳聚糖可以在果蔬表面形成一层

膜,抑制果蔬水分的蒸发。其中4g/100mL CTS的效果最好,在贮藏末期第30天,显著低于其他处理组($P<0.01$)。

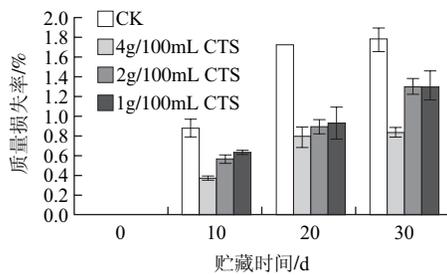


图2 壳聚糖处理对樱桃番茄贮藏期间质量损失率的影响($n=3$)

Fig.2 Effect of CTS treatment on the weight loss of cherry tomatoes during storage ($n=3$)

2.1.3 抗菌肽对樱桃番茄质量损失率的影响

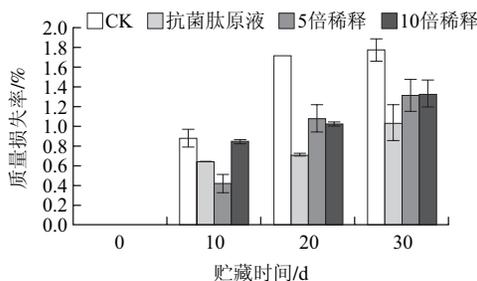


图3 抗菌肽处理对樱桃番茄贮藏期间质量损失率的影响($n=3$)

Fig.3 Effect of antimicrobial peptides treatment on the weight loss of cherry tomatoes during storage ($n=3$)

由图3可见,AMPs处理均可以有效地控制樱桃番茄贮藏期间的质量损失率。其中抗菌肽原液的效果最好,在贮藏末期第30天,质量损失率显著低于其他处理组($P<0.05$)。

2.2 正交试验

2.2.1 樱桃番茄贮藏30d后外部感官和内部品质的评定

采后的樱桃番茄在后熟过程中会发生一系列的生理变化,颜色逐步由绿色转为黄色,呼吸作用越趋旺盛,各种生理生化过程进行得越快,营养物质损失得越多,质量损失率和腐烂率上升,果胶酶活性的上升导致果实硬度下降,加之活性氧含量增加和清除活性氧的酶活性下降,番茄抵抗微生物侵染的能力下降,果实逐步衰老。樱桃番茄绿宝石贮藏30d后外部感官和内部品质的综合评定结果见表2、3。贮藏30d后对照组硬度最小、质量损失率最大,处理7的腐烂率和色泽比最高,处理1和处理6的呼吸强度较低,对照组、处理8和处理9的VC含量较低,对照组、处理3和处理7的TSS含量较低,处理1和处理2的TA含量最低,以上结果表明试验各处理间存在差异且表现不一致,故单一指标不能全面反映贮藏情况,应采用综合评定指数评价总体效果,避免单个因素引起较大的偏差。

表2和表3的数据显示,以综合评定指数评价各处理间的效果均以处理6效果最好,樱桃番茄贮藏30d后外部感官和内部品质的综合指数分别为0.959和0.844,表明与贮藏开始时十分接近。从处理6保鲜剂的组成来看,0.5g/100mL葡萄糖酸内酯+4g/100mL壳聚糖+抗菌肽原液组合最优。

表2 贮藏30d后樱桃番茄外部感官评定结果

Table 2 Sensory quality analysis of cherry tomatoes after 30 days of storage

试验号	因素			外部感官评定项目				外部感官综合评定指数
	A葡萄糖酸内酯质量浓度	B壳聚糖质量浓度	C抗菌肽稀释倍数	腐烂率/%	硬度/(g/cm)	质量损失率/%	色泽比(a^*/b^*)	
CK	0	0	0	42.00 ^{bb}	3008.67 ^c	4.94 ^{aa}	-0.52 ^{bb}	0.197
1	1	1	1	10.67 ^{dd}	5169.57 ^{aa}	4.34 ^{bb}	-0.59 ^{aa}	0.910
2	1	2	2	35.33 ^{bc}	4172.44 ^{bb}	4.45 ^{bb}	-0.62 ^{aa}	0.603
3	1	3	3	25.00 ^{cc}	4734.74 ^{aa}	4.30 ^{bc}	-0.56 ^{ab}	0.734
4	2	1	2	42.50 ^{bb}	4708.31 ^{aa}	4.52 ^{bb}	-0.59 ^{aa}	0.586
5	2	2	3	25.00 ^{cc}	4884.33 ^{aa}	4.50 ^{bb}	-0.62 ^{aa}	0.762
6	2	3	1	11.11 ^{dd}	5018.59 ^{aa}	4.06 ^c	-0.60 ^{aa}	0.959
7	3	1	3	54.17 ^{aa}	4101.50 ^{bb}	4.39 ^{bb}	-0.39 ^{cc}	0.277
8	3	2	1	36.67 ^{bc}	4759.81 ^{aa}	4.16 ^c	-0.59 ^{aa}	0.715
9	3	3	2	25.33 ^{cc}	4881.67 ^{aa}	4.36 ^{bb}	-0.62 ^{aa}	0.791
K_1	2.247	1.773	2.584					
K_2	2.306	2.079	1.979					
K_3	1.782	2.483	1.772					
k_1	0.749	0.591	0.861					
k_2	0.769	0.693	0.660					
k_3	0.594	0.828	0.591					
R	0.175	0.237	0.270					
较优水平	A_2	B_3	C_1					
因素主次				$C>B>A$				

注: 同列数据肩标不同小写和大写字母分别表示差异达到0.05和0.01显著水平。下同。

表3 贮藏30d后樱桃番茄果实内部品质评定结果

Table 3 Internal quality analysis of cherry tomatoes after 30 days of storage

试验号	因素			内部品质评定项目				内部品质综合评定指数
	A葡萄糖酸内酯质量浓度	B壳聚糖质量浓度	C抗菌肽稀释倍数	呼吸强度/(CO_2 mg/(h·kg))	VC/(mg/100g)	可溶性固形物/%	可滴定酸/%	
CK	0	0	0	57.91 ^{aa}	27.95 ^{cc}	4.66 ^{cc}	0.76 ^{aa}	0.299
1	1	1	1	52.37 ^b	29.22 ^{bb}	5.00 ^{aa}	0.50 ^{cc}	0.543
2	1	2	2	54.43 ^{bb}	28.90 ^{ab}	4.83 ^{bb}	0.50 ^{cc}	0.375
3	1	3	3	56.06 ^{ba}	31.06 ^a	4.72 ^{bc}	0.52 ^{bc}	0.502
4	2	1	2	57.93 ^{aa}	29.29 ^b	4.80 ^{bb}	0.57 ^{ab}	0.333
5	2	2	3	60.71 ^{aa}	29.29 ^b	5.10 ^{aa}	0.62 ^{ab}	0.385
6	2	3	1	52.22 ^b	30.00 ^a	5.20 ^{aa}	0.69 ^a	0.844
7	3	1	3	57.52 ^{aa}	30.70 ^a	4.70 ^{bc}	0.53 ^{bc}	0.416
8	3	2	1	56.07 ^{ba}	28.09 ^{bc}	5.15 ^{aa}	0.61 ^{ab}	0.444
9	3	3	2	58.63 ^{aa}	28.27 ^c	4.90 ^{ab}	0.73 ^{aa}	0.370
K_1	1.420	1.292	1.831					
K_2	1.562	1.203	1.078					
K_3	1.230	1.716	1.302					
k_1	0.473	0.431	0.610					
k_2	0.521	0.401	0.359					
k_3	0.410	0.572	0.434					
R	0.111	0.171	0.251					
较优水平	A_2	B_3	C_1					
因素主次				$C>B>A$				

2.2.2 复合处理保鲜剂配方的优化筛选

对表2、3数据进行保鲜剂各组分作用大小分析,确定的较优水平和因素主次顺序。外部感官综合评定指数越大,则贮藏效果越好。由表2和图4可知,樱桃番茄贮藏30d后,3因素中以抗菌肽浓度对樱桃番茄外部感官影响最为显著;比较极差 R 显示,3因素对樱桃番茄外部感官影响的主次顺序为抗菌肽>壳聚糖>葡萄糖酸内酯。GDL质量浓度为0.5g/100mL、CTS质量浓度为4g/100mL、AMPs为原液时,感官评定的综合指数最高,表明该复合处理可有效地保持樱桃番茄的外部感官。

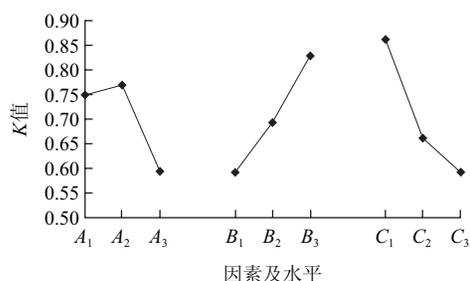


图4 因素水平与平均外部感官指标的关系

Fig.4 Relationship between each variable at three different levels and average sensory quality score

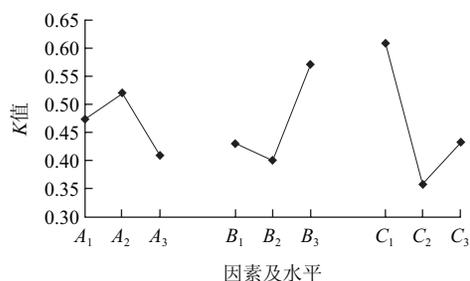


图5 因素水平与平均内部品质指标的关系

Fig.5 Relationship between each variable at three different levels and average internal quality score

果蔬腐烂是由于微生物侵染以及自身衰老引起的,腐烂率的高低决定了果蔬贮藏周期的长短。由表2可知,所有外部感官指标中,不同处理组之间腐烂率相差较大。抗菌肽对樱桃番茄外部感官影响最为显著的原因与其可以有效抑制樱桃番茄果实的腐烂率有关。邱芳萍等^[17]也已证实了应用林蛙(*Rana temporaria*)干皮中提取的抗菌肽在控制草莓腐烂病菌上的显著效果。由于抗菌肽分子的 α -2螺旋是亲、疏水两亲性的,当抗菌肽分子相互聚集在一起时可在细菌膜表面形成离子通道,导致阳离子外流,最后细菌失去保护,不能保持正常的渗透压而死亡^[18]。试验表明处理1和处理6的腐烂率最低,抗菌肽均为原液,表明抗菌肽质量浓度越高,抗菌能力越强,这与Lucas等^[19]在果蔬罐头以及Muñoz等^[20]在牛奶和奶酪上的研究相一致。就壳聚糖而言,比较处理1和处理

6发现4g/100mL的壳聚糖可以更好地抑制樱桃番茄的腐烂率,质量浓度较高,这与韦明肯等^[6]得出的中等质量浓度壳聚糖保鲜效果最优的结论不一致,分析原因可能与壳聚糖的分子质量有关系。本实验采用的壳聚糖属于低分子质量壳聚糖(30000~50000D),低分子质量壳聚糖可以抑制渗入病菌体内与病菌的细胞壁初生组织结合,阻碍细胞壁的发育或者与病菌的细胞核带负电荷的DNA相互作用影响RNA转录和DNA复制,并且低分子质量壳聚糖浓度越大,进入病原菌的壳聚糖小分子越多,能更有效地抑制病原菌的生长^[21]。因此,壳聚糖浓度越高,樱桃番茄的腐烂率越低。葡萄糖酸内酯在水溶液中能够缓慢水解产生葡萄糖酸,抑制微生物的生长,0.5g/100mL质量浓度的GDL可以较好地保持樱桃番茄的外部感官。

内部感官综合评定指数越大,则贮藏效果越好。由表3和图5可知,樱桃番茄贮藏30d后,3因素中以抗菌肽质量浓度对樱桃番茄外部感官影响最为显著;比较极差 R 显示,3因素对樱桃番茄外部感官影响的主次顺序同样为抗菌肽>壳聚糖>葡萄糖酸内酯。GDL质量浓度为0.5g/100mL、CTS质量浓度为4g/100mL、AMPs为原液时,感官评定的综合指数最高,表明该复合处理可有效的保持樱桃番茄的内部品质。

樱桃番茄采后贮藏期间,由于没有营养供给,只能依靠自身的营养物质进行新陈代谢,贮藏期间较低的呼吸强度可以抑制番茄果实的后熟作用,减少营养物质的损耗,有利于维持番茄的内部品质。由表3可知,抗菌肽对樱桃番茄内部品质影响最为显著的原因与其保持较低的呼吸强度(处理1和处理6)、较高的TSS(处理1、处理6和处理8)和较高的TA(处理6和处理9)有关。报道指出,抗菌肽还具有清除自由基^[22],抑制脂质过氧化^[23]以及螯合金属离子^[24]等抗氧化作用,阻止过氧化物对细胞的毒性损伤,从而延缓果实衰老,保持较高的内部品质。就壳聚糖而言,比较处理1和处理6发现4g/100mL壳聚糖溶液可以更好地保持樱桃番茄的内部品质,显著高于颜海燕等^[25]得出的最优质量分数0.75%,分析原因可能与壳聚糖分子质量较低有关。壳聚糖分子质量和质量浓度越小,形成的保鲜膜越疏,它对果蔬体内与空气交换的阻力就越小,从而导致果内的O₂体积分数升高,呼吸作用增强,糖酵解-三羧酸(EMP-TCA)循环加速,营养成分消耗过快,果蔬品质下降较快。因此,采用高浓度即4g/100mL壳聚糖溶液可以形成较好的半透性膜,延缓TSS和TA的损耗。

3 结论

本研究以樱桃番茄为材料,应用葡萄糖酸内酯、壳聚糖和抗菌肽对樱桃番茄进行正交试验以筛选最佳复配保

鲜组合。结果表明, 0.5g/100mL葡萄糖酸内酯+4g/100mL壳聚糖+抗菌肽原液的复合处理保鲜效果最好, 在此条件下, 樱桃番茄贮藏30d后外部感官综合评定指数为0.959, 内部品质综合评定指数为0.844, 复配保鲜剂可有效地减少贮藏期间腐烂率和质量损失率, 降低番茄果实的呼吸强度, 延缓果肉硬度的下降和色泽的上升, 减少VC、可溶性固形物和可滴定酸的损失, 较好地保持樱桃番茄外部感官和内部品质, 从而延缓果实的衰老。

参考文献:

- [1] TIAN Jun, BAN Xiaoquan, ZENG Hong, et al. *In vitro* and *in vivo* activity of essential oil from dill (*Anethum graveolens* L.) against fungal spoilage of cherry tomatoes[J]. *Food Control*, 2011, 22(12): 1992-1999.
- [2] 杨绍兰, 张新富, 郭春丽, 等. 1-MCP对樱桃番茄采收后贮藏特性的影响[J]. *北方园艺*, 2009(3): 219-221.
- [3] ALI A, MAQHOOL M, RAMACHANDRAN S, 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.
- [4] CASARIEGO A, SOUZA B W S, VICENTE A A, et al. Chitosan coating surface properties as affected by plasticizer, surfactant and polymer concentrations in relation to the surface properties of tomato and carrot[J]. *Food Hydrocolloids*, 2008, 22(8): 1452-1459.
- [5] 王丽霞, 钟海雁, 赵红梅, 等. 天草果实壳聚糖涂膜保鲜贮藏效果的研究[J]. *食品科学*, 2006, 27(12): 757-760.
- [6] 韦明肯, 赖洁玲, 钟武, 等. 壳聚糖和二氧化氯对樱桃番茄联合保鲜效果研究[J]. *广东农业科学*, 2012, 39(5): 80-84.
- [7] 李西进. 壳聚糖涂膜对樱桃番茄贮藏品质的影响[J]. *湖北农业科学*, 2011, 50(21): 4454-4456.
- [8] 陈建文, 朱友亮, 丁凤兰, 等. 食品添加剂D-葡萄糖酸- δ -内酯含量的测定方法研究[J]. *预防医学论坛*, 2009, 15(5): 434-436.
- [9] 韩文瑜, 孙长江. 抗菌肽的研究现状与展望[J]. *中国兽药杂志*, 2009, 43(10): 11-19.
- [10] RAMOS-GARCÍA M, BOSQUEZ-MOLINA E, HERNÁNDEZ-ROMANO J, et al. Use of chitosan-based edible coatings in combination with other natural compounds, to control *Rhizopus stolonifer* and *Escherichia coli* DH5 α in fresh tomatoes[J]. *Crop Protection*, 2012, 38: 1-6.
- [11] NEETOO H, YE M, CHEN H. Potential antimicrobials to control *Listeria monocytogenes* in vacuum-packaged cold-smoked salmon pâté and fillets[J]. *Journal of Food Microbiology*, 2008, 123(3): 220-227.
- [12] 王玥. 不同温度、包装及挤压处理对采后番茄品质的影响[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [13] 刘亚平, 李红波. 壳聚糖对樱桃番茄质地的影响[J]. *山西农业大学学报: 自然科学版*, 2011, 31(2): 176-178.
- [14] 马占玲, 马占彪, 夏云生, 等. 青椒中还原型维生素C含量的测定[J]. *渤海大学学报*, 2006, 27(2): 111-113.
- [15] 岳喜庆, 李健, 赵中胜, 等. 卵白蛋白涂膜保鲜樱桃番茄[J]. *食品科技*, 2011, 36(4): 41-44.
- [16] 彭湘莲, 李忠海, 钟海雁, 等. 壳聚糖在金丹金柑保鲜中的应用研究[J]. *食品与机械*, 2007, 23(3): 103-105.
- [17] 邱芳萍, 周杰, 李向晖, 等. 天然食品保鲜防腐剂: 林蛙皮抗菌肽[J]. *食品科学*, 2002, 23(8): 279-282.
- [18] 潘秋冬, 夏明. 抗菌肽的研究现状及应用前景[J]. *农产品加工: 学刊*, 2011(2): 81-83.
- [19] LUCAS R, GRANDE M J, ABRIQUEL H, et al. Application of the broad-spectrum bacteriocin enterocin AS-48 to inhibit *Bacillus coagulans* in canned fruit and vegetable foods[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 2006, 44(10): 1774-1781.
- [20] MUÑOZ A, ANANOU S, GÁLVEZ A, et al. Inhibition of *Staphylococcus aureus* in dairy products by enterocin AS-48 produced *in situ* and *ex situ*: bactericidal synergism with heat[J]. *International Dairy Journal*, 2007, 17(7): 760-769.
- [21] 刘峥颖, 吴广臣, 王庭欣. 壳聚糖保鲜食品的机理及其应用的研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(8): 533-537.
- [22] WANG Chen, CHEN Taoyong, ZHANG Ning, et al. Melittin, a major component of bee venom, sensitizes human hepatocellular carcinoma cells to tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (TRAIL)-induced apoptosis by activating CaMKII-TAK1-JNK/p38 and inhibiting IkappaBalpha kinase-NFkappaB[J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 2009, 284(6): 3804-3813.
- [23] LI Weifen, MA Guoxia, ZHOU Xuxia. Apidaecin-type peptides: Biodiversity, structure-function relationships and mode of action[J]. *Peptides*, 2006, 27(9): 2350-2359.
- [24] BAKERA E N, BAKER H M. A structural framework for understanding the multifunctional character of lactoferrin[J]. *Biochimie*, 2009, 91(1): 3-10.
- [25] 颜海燕, 童军茂. 壳聚糖涂膜保鲜樱桃番茄的研究[J]. *食品工业*, 2010(6): 60-62.