

热破碎番茄浆贮藏期间非酶褐变动力学分析

刘凤霞¹, 张燕¹, 汪厚银², 廖小军^{1,*}

(1. 中国农业大学食品科学与营养工程学院, 农业部果蔬加工重点开放实验室, 国家果蔬加工工程技术研究中心, 北京 100083; 2. 中国标准化研究院, 北京 100088)

摘要: 探讨热破碎番茄浆在贮藏过程中非酶褐变的规律, 以为番茄浆的贮藏提供指导。在 0、25℃ 和 37℃ 条件对其进行了 5 个月的贮藏研究, 并对产品中与非酶褐变相关的指标总氨基酸、总糖、维生素 C(VC)、5-羟甲基糠醛(HMF) 和褐变度(BD) 的变化分别应用零级、一级、联合动力学模型进行了拟合分析。结果表明: 联合动力学模型较零级、一级动力学模型能更好地解释热破碎番茄浆贮藏过程中非酶褐变的动态变化。25℃ 和 37℃ 贮藏过程中, 热破碎番茄浆中 HMF 含量和 BD 的变化呈线性关系, 同时颜色指标亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* 是 HMF 的函数, 可用联合动力学方程表示。较高的贮藏温度(25℃ 和 37℃) 对热破碎番茄浆中总氨基酸、总糖、VC、HMF 含量、BD 以及颜色指标(亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^*) 影响显著($P < 0.05$), 较低温度(0℃) 贮藏条件下, HMF 含量、褐变度 BD 及颜色指标变化不明显($P > 0.05$)。表明高温贮藏显著降低热破碎番茄浆的品质, 而低温贮藏可有效保护热破碎番茄浆的品质。

关键词: 贮藏; 非酶褐变; 动力学; 热破碎番茄浆

Kinetic Analysis of Non-enzymatic Browning in Hot Break Tomato Paste during Storage

LIU Feng-xia¹, ZHANG Yan¹, WANG Hou-yin², LIAO Xiao-jun^{1,*}

(1. Key Laboratory of Fruit and Vegetable Processing, Ministry of Agriculture, National Research Centre for Fruits and Vegetable Processing Engineering and Technology, College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. China National Institute of Standardization, Beijing 100088, China)

Abstract: Changes of qualities related to non-enzymatic browning in hot break tomato paste (HBTP) at different storage temperatures (0, 25 °C and 37 °C) for 5 months were evaluated in this study, in order to guide the storage of HBTP. Changes of free amino acids, total sugar, vitamin C, 5-hydroxymethylfurfural (HMF) and browning degree (BD) were fitted with zero-, first-order and combined models, respectively, and it was found that the combined model could better explain the kinetic changes of non-enzymatic browning in HBTP during storage. At 25 °C or 37 °C, a good correlation between HMF formation and BD was observed, and color parameters (lightness L^* , redness a^* and yellowness b^*) could be expressed by combined equations as functions of HMF. Higher storage temperatures (25 °C and 37 °C) had significant effects ($P < 0.05$) on changes of total amino acids, total sugar, vitamin C, HMF, BD and color parameters in HBTP. When stored at 0 °C, changes of HMF, BD and color parameters in HBTP were not significant ($P > 0.05$). All the results indicated that the quality of HBTP was deteriorated significantly during higher temperature storage, but could be protected well during lower temperature storage.

Key words: storage; non-enzymatic browning; kinetics; hot break tomato paste (HBTP)

中图分类号: TS255.3; S641.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2011)10-0260-06

番茄是许多加工食品非常宝贵的原料, 全球食品工业对于番茄的需求量一直居高不下, 据 FAO 统计, 全世界每年用于加工的番茄达 3000 多万吨, 而在番茄加工制品中产量最高的是番茄浆, 占番茄制品总量的 60%^[1]。

以番茄为原料加工成番茄浆, 由于加工过程中脱除了大部分水分, 与新鲜番茄和番茄汁相比, 其贮藏、运输、包装等成本大大降低, 因此具有明显的优势。破碎工艺是番茄浆加工中的重要步骤, 其中热破碎是一种常用

收稿日期: 2010-08-23

基金项目: “十五” 国家重大科技攻关项目(2001BA501A23)

作者简介: 刘凤霞(1987—), 女, 博士研究生, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: xia870529@163.com

* 通信作者: 廖小军(1966—), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工与贮藏工程。E-mail: liaoxjun@hotmail.com

的破碎方法,即将番茄破碎后迅速加热到 80℃以上保持 15s,使其中的果胶酶失活,保证果胶不被破坏,因此热破碎番茄浆有较高的黏度^[2]。但是在热破碎番茄浆加工和贮藏过程中,常由于化学及生理生化反应而发生褐变,使加工品变色,降低食品营养品质和风味。非酶褐变是番茄浆在加工及贮藏过程中变色的主要原因,其反应的机制一般包括焦糖化反应、美拉德(Maillard)反应、VC氧化分解等^[3]。焦糖化反应需要在高温 150~200℃条件下才能发生,本研究的温度(低于 40℃)条件下其发生的可能性很小,因此,热破碎番茄浆在贮藏过程中发生的非酶褐变主要是由糖和氨基酸之间的 Maillard 反应以及 VC 的氧化分解引起的。近年来有关果蔬制品在贮藏加工过程中非酶褐变的动力学研究在国内外报道较多^[4-9],然而未见关于热破碎番茄浆在贮藏过程中褐变动力学分析的研究报道,本实验在 0、25℃及 37℃三种温度条件下,对热破碎番茄浆中与非酶褐变相关指标变化进行观察研究,探讨热破碎番茄浆在贮藏期间发生褐变的主要原因,应用相关动力学模型分析热破碎番茄浆贮藏过程中的非酶褐变,以指导番茄浆的贮藏、保证产品品质。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与处理

热破番茄浆(36.8°Brix)中粮新疆屯河股份有限公司。番茄浆以铝箔袋(100g/包)密封,分别置于 0、25℃和 37℃贮藏 150d,各项指标每 30d 测定 1 次,每组 3 次重复。番茄浆在做指标检测前,加超纯水还原至 4.0°Brix 后于 10000r/min 离心 30min,上清液经 0.45 μm 的纤维素膜过滤,收集滤液待测。

1.2 试剂与仪器

氨基酸、蔗糖、葡萄糖、果糖、HMF、VC 标样(色谱纯) 美国 Sigma 公司;甲醇、乙腈(色谱纯) 德国 Merck 公司;其他试剂(均为分析纯) 北京化学试剂公司。

高效液相色谱仪 德国诺尔仪器有限公司;SC-80C 全自动色差仪 北京康光仪器厂;UV-762 型分光光度计 上海陵光有限公司;868 型 pH 计 美国奥立龙公司;WAY-2S 型数字阿贝折射仪 上海精密科学仪器有限公司;EY-300A 分析天平 日本松下电器公司;TDL-5-A 型高速离心机 上海一恒科技有限公司;恒温水浴锅 北京医疗设备厂。

1.3 方法

1.3.1 品质动力学理论

近年来有关食品在贮藏加工过程中的动力学研究在国内外报道了很多,大多都从动力学变化的角度研究食

品品质的损失。品质因子 C (如氨基酸、糖、VC、褐变度等)的变化速率可以表示为:

$$\frac{dC}{dt} = -k(C)^n \quad (1)$$

式中: C 为测定指标在任意时间的值; t 为时间; k 为动力学常数; n 为级数。从前人的研究来看,大多数食品的质量变化与时间关系表现出零级或一级的反应,即 $n=0$ 或 $n=1$ 。Garza 等^[4]对桃浆在热加工过程中非酶褐变的研究、王素雅等^[5]对香蕉汁、Burburly 等^[6]对浓缩苹果汁在贮藏过程非酶褐变的研究中,认为其非酶褐变都符合零级动力学模型;Johnson 等^[7]认为橙汁贮藏过程中的非酶褐变符合一级动力学模型。零级和一级动力学方程分别如下:

$$\text{零级反应: } C=C_0 - kt \quad (2)$$

$$\text{一级反应: } C=C_0 \exp(-kt) \quad (3)$$

González 等^[8]认为对于大部分的果蔬制品,如果其褐变度值不是很高,用零级和一级动力学模型可以达到很好的拟合效果;但当褐变度较高时用零级和一级动力学模型都不能达到很好的拟合效果,于是 González 等^[8]于 1988 年提出了联合动力学模型,表达式如下:

$$C = k_0/k_1 - [k_0/k_1 - C_0] \exp(-k_1 t) \quad (4)$$

Wang 等^[9]用上述 3 种动力学模型比较分析了胡萝卜浓缩汁在贮藏过程中褐变度(BD)、5-羟甲基糠醛(HMF)和氨基酸的变化,发现用联合动力学模型分析时拟合程度最高。

式(2)~(4)中: C 为测定指标在任意时间的值; C_0 为测定指标的起始值; t 为时间; k 、 k_1 、 k_2 为动力学常数。

1.3.2 指标测定方法

热破番茄浆中 HMF 含量的测定:采用高效液相色谱法^[10]进行;褐变度(brown degree, BD)的测定:采用分光光度法^[11]进行;氨基酸的测定:采用高效液相色谱法^[12]进行;总糖、蔗糖、果糖、葡萄糖的测定:采用高效液相色谱法^[9]进行;VC 的测定:采用高效液相色谱法^[13]进行;色泽变化的测定:采用全自动色差仪,样品摇匀后在反射模式下测定亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* (L^* 值表示亮度,范围在 0~100 之间, L^* 值越高表明样品表面越白, $a^* > 0$ 表示红值、 $a^* < 0$ 表示绿值, $b^* > 0$ 表示黄值、 $b^* < 0$ 表示蓝值); pH 值测定:采用 pH 计进行测定;可滴定酸的测定:参照 Rodrigod 等^[14]的方法,采用 0.02mol/L NaOH 溶液滴定至终点 pH8.1;可溶性固形物含量:采用阿贝折射仪,连接水浴使设备温度控制在(20 ± 2)℃后测定;番茄红素的测定:参照 Athanasia 等^[15]的方法,用含有 0.025% BHT 的氯仿作为提取溶剂,在避光避氧的情况下,少量多

次添加氯仿来提取番茄浆中的番茄红素,直到番茄汁成无色为止,在505nm测定吸光度。

1.3.3 数据处理

试验数据采用统计软件 Microcal Origin 8.0(Microcal Software, Inc., Northampton USA)进行方差分析,显著水平为0.05;同时对相关指标的变化进行动力学分析或回归分析,并计算相关系数 R^2 (R^2 范围在0~1之间, R^2 越接近于1,表明拟合度越高),所有的指标做3个重复。

2 结果与分析

2.1 贮藏过程中总氨基酸、总糖、VC的变化及动力学分析

研究发现,热破番茄浆中的主要氨基酸为天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸、脯氨酸、缬氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸。贮藏过程中不同氨基酸的变化趋势非常相似,即随贮藏时间的延长不同氨基酸的含量均有一定程度的下降,因此引起总氨基酸含量的下降(图1a)。番茄浆中氨基酸的损失主要是由贮藏过程中氨基酸与还原糖(如果糖等)发生美拉德反应造成的^[16-17]。热破番茄浆在37℃经5个月贮藏,总氨基酸损失约96.55%,其中谷氨酸、脯氨酸、天冬氨酸、苯丙氨酸、亮氨酸、丝氨酸、缬氨酸的损失率分别为99.46%、97.77%、92.70%、91.95%、99.13%、96.55%、87.76%。在贮藏过程中每种氨基酸的消耗量不同,其中谷氨酸的损失最大,但是不同氨基酸对番茄浆褐变的影响程度并不取决于其消耗量,因为不同的氨基酸在反应过程中会产生具有不同吸光特性的显色物质^[18]。

热破番茄浆中的糖主要为蔗糖和果糖,而葡萄糖含量很少(小于100mg/kg),在贮藏过程中热破番茄浆中的蔗糖、果糖和葡萄糖均呈下降趋势,导致总糖含量的下降(图1b)。在贮藏期间,与番茄浆中主要糖变化有关的反应主要有两条途径:一是低pH值条件下蔗糖易转化为果糖和葡萄糖导致还原糖含量的升高;二是还原糖和氨基酸之间发生的Maillard反应导致还原糖含量的下降^[9]。在本研究中果糖的含量在贮藏的过程中有不同程度的下降,表明果糖参与Maillard反应的速率略大于蔗糖转化为果糖和葡萄糖的速率。

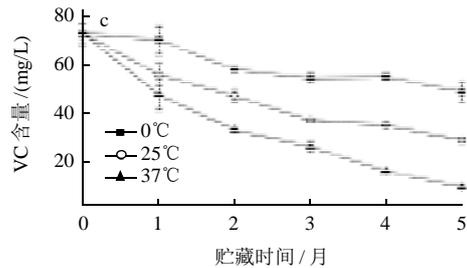
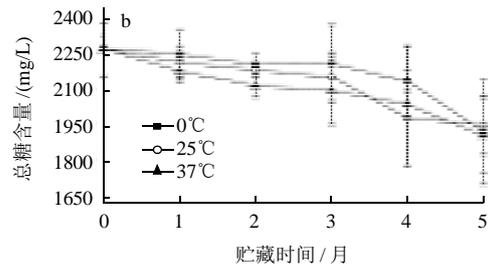
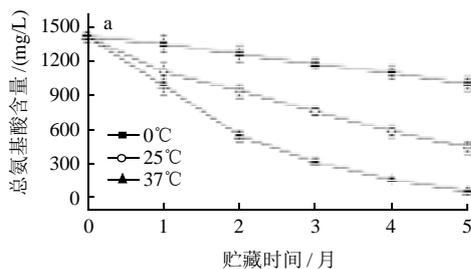


图1 热破番茄浆贮藏期间总氨基酸(a)、总糖(b)、VC(c)含量的变化

Fig.1 Changes of total free amino acids (a), total sugar (b), and vitamin C content (c) in HBTP during storage

如图1c所示,贮藏过程中,热破番茄浆中的VC含量随贮藏时间的延长显著下降($P < 0.05$),同时VC的损耗具有很强的温度依赖性,在0、25℃和37℃贮藏过程中,损失量分别为33.31%、60.97%、87.49%,即高温条件会促进VC的氧化降解。VC的氧化在食品的非酶褐变中起着非常重要的作用,其氧化过程中首先形成脱氢抗坏血酸^[19],后者易与氨基酸经过一系列的反应生成深色物质,贮藏过程中VC的氧化降解速率往往取决于加工形式、贮藏条件及包装材料的不同^[20]。

如前所述,食品的品质变化可以用零级动力学模型和一级动力学模型^[4-7]以及联合动力学模型^[8-9]进行分析。图1中的总氨基酸、总糖、VC含量变化趋势用这三种模型进行拟合分析,其反应常数如表1所示。用零级反应模型分析所得的相关系数 R^2 在0.556~0.997之间,用一级反应模型分析所得的相关系数 R^2 在0.578~0.994之间,用联合模型分析所得的相关系数 R^2 在0.607~0.998之间,表明热破碎番茄浆贮藏过程中的总氨基酸、总糖、VC含量变化可以用零级或一级或联合模型进行拟合,且除了总糖外,联合动力学模型的拟合程度均优于一级模型和零级模型,用联合模型能更好解释热破碎番茄浆贮藏过程中总氨基酸、总糖、VC的动态变化。在零级和一级反应模型中,热破番茄浆的总氨基酸、总糖、VC的反应常数随着温度的增加而增加,表明热破番茄浆贮藏过程中总氨基酸、总糖、VC损失的速度与温度有很大的相关性。

表1 热破碎番茄浆贮藏过程中各指标变化的速率常数和相关系数
Table 1 Reaction rate constants and correlation coefficients of different indices for HBTP during storage

指标	温度 / $^{\circ}\text{C}$	零级模型		一级模型		联合动力学模型		
		k_a (mg/月)	R^{2a}	k_b /月 $^{-1}$	R^{2b}	k_0 (mg/月)	k_1 /月 $^{-1}$	R^{2c}
总氨基酸	0	82.647	0.997	0.068	0.990	-128.107	-0.038	0.998
	25	190.372	0.980	0.220	0.994	-61.380	0.151	0.996
	37	197.830	0.849	0.597	0.962	-66.420	0.402	0.998
VC	0	2.387	0.556	0.044	0.578	-3.678	-2.407	0.607
	25	5.807	0.806	0.157	0.868	0.372	8.505	0.874
	37	7.780	0.937	0.402	0.976	0.274	-2.773	0.989
总糖	0	47.498	0.693	0.021	0.679	-1425.274	-0.631	0.843
	25	60.936	0.853	0.028	0.834	-60.203	0.257×10^{-4}	0.804
	37	64.442	0.919	0.036	0.923	-55.325	4.227×10^{-4}	0.893
HMF	0	-0.077	0.522	-0.493	0.885	-0.116	-0.981	0.999
	25	-0.224	0.636	-0.717	0.956	0.034	-0.662	0.957
	37	-0.354	0.187	-0.958	0.929	0.033	-0.915	0.951
BD	0	-0.002	0.422	-0.019	0.411	0.297	2.466	0.706
	25	-0.011	0.893	-0.088	0.917	0.011	2.459×10^{-4}	0.928
	37	-0.068	0.871	-0.362	0.959	0.074	-0.731	0.996

注： k_a 、 k_b 、 k_0 、 k_1 为反应常数。

2.2 HMF与BD的变化及动力学分析

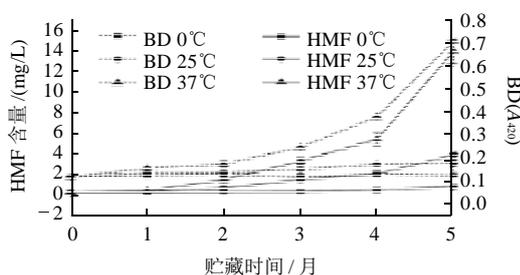


图2 热破碎番茄浆贮藏期间HMF含量和BD的变化
Fig.2 Changes of HMF content and BD in HBTP during storage

图2为热破碎番茄浆在0、25 $^{\circ}\text{C}$ 和37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏5个月过程中HMF含量和BD的变化，0 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏5个月过程中热破碎番茄浆中HMF含量和BD没有显著变化($P > 0.05$)，而25 $^{\circ}\text{C}$ 和37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中HMF含量和BD随着贮藏时间的延长而显著增加($P < 0.05$)，表明较高温度能够促进番茄浆HMF的形成及褐变反应。另外，Ajandouz等^[21]报道，HMF的主要形成途径发生在较低pH值条件，本研究发现，热破碎番茄浆中可滴定酸含量随贮藏时间的增加和贮藏温度的升高有增加的趋势，而pH值则有下降的趋势，这种变化主要是由Maillard反应中糖和羰氨反应的中间产物分解为糖醛酸等酸性物质，以及Maillard反应引起氨基酸中碱性集团的消失导致其酸性增加^[22]，酸性增加对贮藏过程中HMF的形成起促进作用，这一点与本研究中番茄浆HMF含量的变化是相一致的。图

2中HMF和BD的变化趋势分别用零级、一级、联合动力学模型进行拟合分析，其反应常数如表1所示。用零级反应模型分析所得的相关系数 R^2 在0.187~0.893之间，用一级反应模型分析所得的相关系数 R^2 在0.411~0.959之间，用联合模型分析所得的相关系数 R^2 在0.706~0.999之间。从HMF和BD的模型拟合情况来看，相同条件下，联合模型的拟合程度均优于一级模型和零级模型，表明用联合模型能更好解释热破碎番茄浆贮藏过程中HMF和BD的动态变化。

HMF和BD是果蔬及其制品的两个重要品质指标，同时HMF的含量可反映果蔬产品加工和贮藏过程中的褐变度。图2中可见在贮藏过程中，热破碎番茄浆中的HMF含量和BD随贮藏时间和贮藏温度的变化趋势非常相似。25 $^{\circ}\text{C}$ 和37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中，热破碎番茄浆HMF和BD的变化存在线性关系，相应的线性回归方程如表2所示，相关系数 R^2 分别是0.802和0.992。Wang等^[9]在研究胡萝卜汁贮藏过程中非酶褐变时得出相同结论，即在25 $^{\circ}\text{C}$ 和37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏温度下，HMF和BD的变化存在线性关系。

2.3 贮藏过程中颜色的变化

颜色是果蔬制品的重要品质指标，它通常能够影响消费者对产品的可接受性。亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* 是观测果蔬制品颜色变化的常用参数。如前所述，在贮藏期间热破碎番茄浆中的还原糖和氨基酸之间的Maillard反应及VC的氧化降解使番茄浆中褐变度增加，这必然导致产品颜色发生变化。热破碎番茄浆在贮藏过程中的颜色的变化如图3所示，从图3可以看出，贮藏期间番茄浆的亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* 呈下降趋势，表明番茄浆在贮藏期间随贮藏时间的延长颜色变暗。0 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏5个月，番茄浆的亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* 均有下降，但变化不显著($P > 0.05$)，而25、37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏时各颜色指标值随贮藏时间延长显著下降($P < 0.05$)，尤其以37 $^{\circ}\text{C}$ 时下降最为明显，表明在较高温度条件下番茄浆的颜色褐变加剧，这一结论和BD的变化趋势是一致的。另外，在研究中发现，不同贮藏条件下，热破碎番茄浆中的番茄红素含量有一定波动，但变化不显著($P > 0.05$)，Ordonez-Santos等^[23]也发现，贮藏6个月后的番茄浆番茄红素的变化不明显。颜色的变化不仅来自Maillard反应及VC的氧化降解，同时还受番茄红素变化的影响^[24]，本研究中，番茄红素变化不显著($P > 0.05$)，表明贮藏过程中的颜色变化主要是由Maillard反应及VC的氧化降解引起的，这一结论与氨基酸、糖及VC的变化相符的。

贮藏过程中产品颜色的变化与非酶褐变过程中产生的HMF有很大关系，本实验研究发现，在较高的贮藏温度25 $^{\circ}\text{C}$ 和37 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏过程中番茄浆的颜色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 的变化是HMF的函数，可用表2中所示的联合动力学方程表示，回归方程的相关系数均在0.822以上，表

明 HMF 与颜色指标亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^* 呈现很好的相关性, 贮藏过程中可通过抑制 HMF 形成来防止产品颜色的褐变。

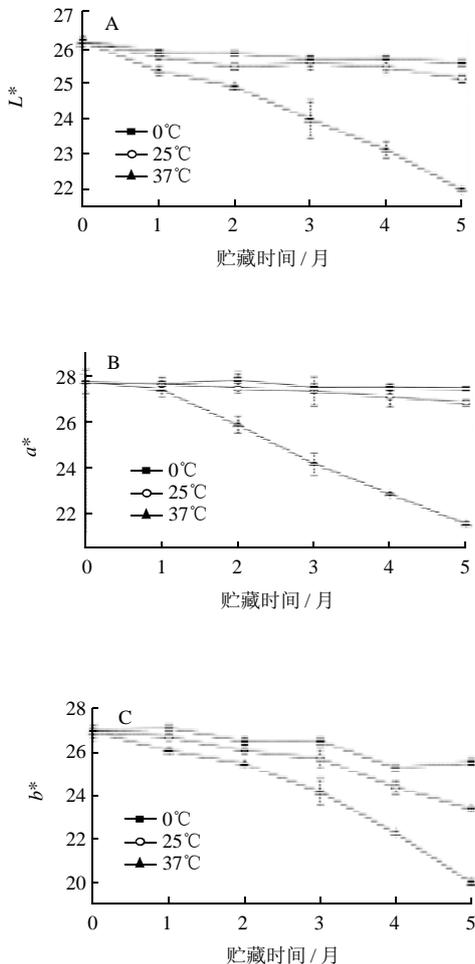


图3 热破番茄浆贮藏过程中 L^* (A)、 a^* (B)、 b^* (C) 值的变化
Fig.3 Changes of L^* , a^* and b^* in HBTP during storage

表2 热破碎番茄浆贮藏过程中 HMF 含量与 BD、 L^* 、 a^* 、 b^* 的相关性

Table 2 Correlations between HMF and BD, L^* , a^* , b^* for HBTP during storage

变量	温度/°C	回归方程	R^2
HMF、BD	25	[HMF]= - 6.158 + 52.451[BD]	0.802
	37	[HMF]= - 2.783 + 23.343[BD]	0.992
HMF、 L^*	25	$L^*=25.086 + 0.987\exp(-1.340[\text{HMF}])$	0.822
	37	$L^*=21.686 + 4.170\exp(-0.212[\text{HMF}])$	0.962
HMF、 a^*	25	$a^*=26.517 + 1.175\exp(-0.411[\text{HMF}])$	0.962
	37	$a^*=21.335 + 6.512\exp(-0.279[\text{HMF}])$	0.999
HMF、 b^*	25	$b^*=21.237 + 5.684\exp(-0.275[\text{HMF}])$	0.936
	37	$b^*=18.862 + 7.822\exp(-0.147[\text{HMF}])$	0.978

注: 方括号表示各指标的含量。

3 结论

热破碎番茄浆中的主要氨基酸为天冬氨酸、谷氨

酸、丝氨酸、脯氨酸、缬氨酸、亮氨酸和苯丙氨酸; 主要糖为蔗糖和果糖, 葡萄糖含量很少。25°C 和 37°C 贮藏 5 个月过程中, 总氨基酸、总糖、VC 含量、颜色指标(亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^*)均显著下降($P < 0.05$), HMF 和 BD 显著增加($P < 0.05$); 0°C 贮藏条件下, 总氨基酸、总糖、VC 含量亦明显下降($P < 0.05$), 但 HMF、BD 及颜色变化不明显($P > 0.05$)。热破碎番茄浆贮藏过程中的总氨基酸、总糖、VC、HMF、BD 变化可以用零级或一级或联合模型进行拟合, 且除了总糖外, 联合模型的拟合程度均优于一级模型和零级模型, 用联合模型能更好解释热破碎番茄浆贮藏过程中非酶褐变的动态变化。25°C 和 37°C 贮藏条件下, 番茄浆的 HMF 与 BD 变化存在线性关系; 同时感官颜色指标(亮度 L^* 、红值 a^* 、黄值 b^*)和 HMF 也具有很好相关性, 可用联合动力学方程表示, 表明一定程度上可通过控制 HMF 的形成来防止番茄浆在贮藏过程中发生颜色的褐变, 保护产品的品质。

另外, 番茄浆在加工和贮藏过程中品质变化普遍存在, 本实验只研究了其贮藏过程中的品质变化, 并未对加工过程中番茄浆的品质变化进行研究。尽管有关番茄浆的加工技术已较为成熟, 但是加工因素对其品质的影响仍需要进一步具体研究, 以指导番茄浆的生产。

参考文献:

- [1] 司瑞敬. 关键工艺步骤对番茄汁品质的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [2] GOODMAN C L, FAWCETT S, BARRINGER S A. Flavor, viscosity, and color analyses of hot and cold break tomato juices[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(1): 404-408.
- [3] HUSEYIN B, FAHRETTIN G, SAMI E. Non-enzymic browning reactions in boiled grape juice and its models during storage[J]. Food Chemistry, 1999, 64 (2): 89-93.
- [4] GARZA S, IBARZ A, PAGAN J, et al. Non-enzymic browning in peach puree during heating[J]. Food research international, 1999, 32(5): 335-343.
- [5] 王素雅, 王璋. 香蕉汁储藏过程中非酶褐变的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(12): 81-85.
- [6] BURDURLU H S, KARADENIZ F. Effect of storage on non-enzymic browning of apple juice concentrates[J]. Food Chemistry, 2003, 80(1): 91-97.
- [7] JOHNSON J R, BRADDOCK R J, CHEN C S. Kinetics of ascorbic acid loss and non-enzymic browning in orange juice serum: Experimental rate constants [J]. Journal of Food Science, 1995, 60(2): 502-505.
- [8] GONZALEZ C, IBARZ A, ESPLUGA S, et al. Cinética de pardeamiento no enzimático en zumos de frutas[J]. Alimentaria, 1988, 198(2): 53-60.
- [9] WANG Houyin, HU Xiaosong, CHEN Fang, et al. Kinetic analysis of non-enzymic browning in carrot juice concentrate during storage [J]. European Food Research and Technology, 2006, 223(2): 282-289.
- [10] RADA-MENDOZA M, OLANO A, VILLAMIEL M. Determination of hydroxymethylfurfural in commercial jams and in fruit-based infant foods [J]. Food Chemistry, 2002, 79(4): 513-516.

- [11] LIU S C, CHANG H M, WU J S B. A study on the mechanism of browning in Mei liqueur using model solutions[J]. *Food Research International*, 2003, 36(6): 579-585.
- [12] VAN EIJK H M H, SUYLEN D P L, DEJONG C H C, et al. Measurement of amino acid isotope enrichment by liquid chromatography mass spectroscopy after derivatization with 9-fluorenylmethylchloroformate [J]. *Journal of Chromatography B*, 2007, 856(1/2): 48-56.
- [13] RODRIGUEZ-BERNALDO A, LOPEZ-HEMANDEZ J, SIRNAI-LOZANO J. Determination of Vitamin C in Sea Urchin: Comparison of Two HPLC Methods[J]. *Chromatographia*, 2001, 53(2): 246-249.
- [14] RODRIGO D, ARRANZ J I, KOCH S, et al. Physico-chemical characteristics and quality of refrigerated Spanish orange-carrot juices and influence of storage conditions[J]. *Journal of Food Science*, 2003, 68(4): 2111-2116.
- [15] ATHANASIA M G, KONSTANTINOS G A, PARIS C C, et al. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 74(1): 37-46.
- [16] BUEDO A P, ELUSTONDO M P, URBICAIN M J. Amino acid loss in peach juice concentrate during storage[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2001, 1(4): 255-260.
- [17] WANG Houyin, NI Yuaning, HU Xiaosong, et al. Kinetics of amino acid loss in carrot juice concentrate during storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 40(5): 785-792.
- [18] GARCIA-BANOS J L, DEL CASTILLO M D, SANZ M L, et al. Maillard reaction during storage of powder enteral formulas[J]. *Food Chemistry*, 2005, 89(4): 555-560.
- [19] CERNISEV S. Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 96(1): 114-118.
- [20] DAVEY M W, VAN MONTAGU M, INZE D, et al. Plant *L*-ascorbic: chemistry, function, metabolism, bioavailable and effects of processing [J]. *Journal of Food Science and Agricultural*, 2000, 80(2): 825-860.
- [21] AJANDOUZ E H, DESSEAUX V, TAZI S, et al. Effects of temperature and pH on the kinetics of caramelisation, protein cross-linking and Maillard reactions in aqueous model systems[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(3): 1244-1252.
- [22] LIU S C, YANG D J, JIN S Y, et al. Kinetics of color development, pH decreasing, and anti-oxidative activity reduction of Maillard reaction in galactose/glycine model systems[J]. *Food Chemistry*, 2008, 108(2): 533-541.
- [23] ORDONEZ-SANTOS L E, VAZQUEZ-ODERIZ L, ARBONES-MACINEIRA E, et al. The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp[J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(1): 146-149.
- [24] DAVOODI M G, VIJAYANAND P, KULKAMI S G, et al. Effect of different pre-treatments and dehydration methods on quality characteristics and storage stability of tomato powder[J]. *LWT*, 2007, 40(10): 1832-1840.