

## 新疆番茄酱在储藏期间色泽影响因素分析

雷用东, 李红敏, 罗志根, 张正红\* (新疆农垦科学院, 农业农村部食品质量监督检验测试中心, 新疆石河子 832000)

**摘要** [目的]探讨新疆番茄酱储藏期间的色泽变化。[方法]采用比色法测定新疆番茄酱储藏期间的番茄红素、色差值、5-羟甲基糠醛(5-HMF)、褐变指数等指标变化。[结果]随着储藏时间的延长和储藏温度的升高,5-HMF值、褐变度指标呈上升趋势,而番茄红素含量、色差中的 $\Delta E$ 值、 $a$ 值、 $L$ 值指标有明显的下降趋势。[结论]高温会加速番茄酱储藏期间色泽的变化,导致番茄红素降解和非酶褐变反应,低温储藏更有利于保持番茄酱产品色泽的稳定性及品质。

**关键词** 新疆番茄酱;非酶褐变;5-羟甲基糠醛;褐变度

中图分类号 TS255.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)21-0188-04

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.21.051



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Analysis on the Influencing Factors of Color of Xinjiang Tomato Paste during Storage

LEI Yong-dong, LI Hong-min, LUO Zhi-gen et al (Food Quality Supervision and Testing Center of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi, Xinjiang 832000)

**Abstract** [Objective] To explore the color changes of Xinjiang tomato paste during storage. [Method] The colorimetric method was used to determine the changes of lycopene, color difference, 5-hydroxymethylfurfural (5-HMF), browning index and other indicators of Xinjiang tomato paste during storage. [Result] With the extension of storage time and the increase of storage temperature, the 5-HMF value and browning index showed an upward trend, while the lycopene content,  $\Delta E$  value,  $a$  value, and  $L$  value index in color difference showed significant downward trends. [Conclusion] High temperature would accelerate the color change of ketchup during storage, leading to lycopene degradation and non-enzymatic browning. Low temperature storage is more conducive to maintaining the color stability and quality of ketchup products.

**Key words** Xinjiang tomato paste; Non-enzymatic browning; 5-hydroxymethylfurfural; Browning degree

番茄,又名西红柿、洋柿子,古名喜报三元、六月柿。番茄的果实植物水分含量高,具有特殊风味,含有丰富的番茄红素。番茄红素在防癌抗癌、抗氧化、预防心血管疾病、延缓动脉粥样硬化、抗衰老、保护皮肤等方面的生理功能<sup>[1]</sup>。由于新疆独特的光热资源和气候条件,新疆所产番茄的红色素、可溶性固形物含量高,霉菌、病害少,国际公认品质优于美国、意大利等主要产地国家,是世界三大番茄生产中心之一<sup>[2]</sup>。目前,番茄酱产业极大地带动了新疆红色产业,但番茄酱储藏过程中的色泽变暗始终是影响番茄酱产品品质最常见的质量问题<sup>[3]</sup>。色泽是评价品质的一项重要技术指标<sup>[4]</sup>,由于番茄酱生产中经受高温加热处理,酶促褐变受到抑制,其储藏阶段的色泽变化与色素降解及非酶促褐变有关<sup>[5-7]</sup>。因此,有必要充分了解番茄酱储藏期间色泽的变化规律,有助于提高番茄酱产品色泽稳定性、产品品质和延长货架期。笔者通过考察新疆番茄酱不同贮藏温度下,涉及影响产品色泽变化番茄红素、色差值、5-羟甲基糠醛(5-HMF)、褐变指数等指标,了解其色泽的变化规律,以期改进储藏方式、延长番茄酱货架期、提高商品价值提供理论和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

**1.1.1 原料与试剂。**袋装番茄酱购于新疆昌吉某番茄酱厂,分装为40 g/袋,一等品。甲醇、无水乙醇,均为分析纯,购自浙江省东阳市天宇化工有限公司;苯,分析纯,购自江都

市海辰化工有限公司;亚铁氰化钾,分析纯,购自河北智通化工有限责任公司;乙酸锌、亚硫酸氢钠,分析纯,购自山东格兰德生物科技有限公司。苏丹红1号标准品,购自西格玛奥德里奇贸易有限公司。

**1.1.2 主要仪器与设备。**色差仪,型号ISO-2813,为上海民桥精密科学仪器有限公司产品;紫外可见分光光度计,型号UV-1240,为日本岛津公司产品;电冰箱,型号BCD-268E,为Haier公司产品;恒温箱,型号GRX20,为上海精宏实验设备有限公司产品;万分之一电子秤,型号SL2002N,为上海民桥精密科学仪器有限公司产品;格美通风橱,为东台利达化学试剂有限公司产品。

### 1.2 方法

**1.2.1 试验设计。**将同一批次袋装番茄酱分别置于4、25、37、50℃储藏条件下避光保存。在不同储藏时间分别随机取样,测定番茄红素含量、色度( $L$ 、 $a$ 、 $b$ )、色差( $\Delta E$ )、5-HMF含量、褐变度( $A_{420\text{nm}}$ )的变化值。

#### 1.2.2 番茄红素含量的测定。

**1.2.2.1 标准曲线绘制(苏丹红1号色素代替番茄红素)**<sup>[8]</sup>。准确称取5 mg苏丹1号色素,无水乙醇溶解,定容至100 mL容量瓶,摇匀,吸取0.48、0.97、1.45、1.94、2.50 mL,分别注入100 mL容量瓶中,用无水乙醇稀释至刻度线,摇匀后即得1、2、3、4、5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 标准溶液。在487 nm波长处测定吸光值,绘制标准曲线。

**1.2.2.2 样品测定。**称取番茄酱0.1~0.2 g,加入少量无水乙醇,迅速调匀,抽提黄色素,过滤,反复用无水乙醇抽提,直至滤液为无色为止。换一个干燥的50 mL容量瓶承接,用甲苯洗涤残渣,直至残渣无色为止。滤液中加甲苯至刻度,摇匀。用甲苯作空白,在487 nm波长处测定,从标准曲线上查

**基金项目** 农业农村部农产品重点实验室开放课题(09)。

**作者简介** 雷用东(1988—),男,重庆人,实验师,硕士,从事农产品质量安全工作。\*通信作者,实验师,从事农业检验检测工作。

**收稿日期** 2020-04-30

得苏丹红 1 号色素的浓度,再计算出番茄红素的含量。

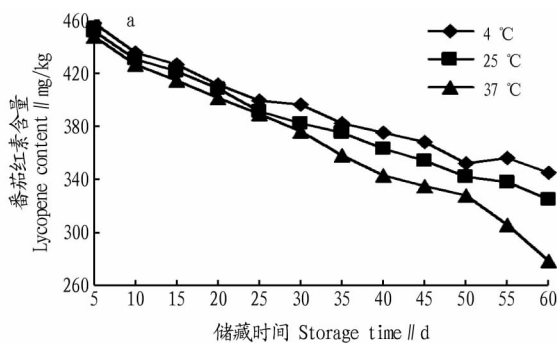
### 1.2.3 5-HMF 含量测定。

**1.2.3.1 标准曲线绘制。**准确吸取 1 mL 羟甲基糠醛标准溶液 0、0.5、1.0、1.5 和 2.0 mL,分别移入试管中,各加水至体积 10 mL。在 284 nm 波长处测定吸光值,绘制标准曲线。

**1.2.3.2 样液测定。**准确称样 10 g,用水移入 100 mL 容量瓶中,加入 2 mL 澄清剂再加水至刻度,摇匀,过滤,滤液备用。取制备液 5 mL 2 份,分别移入比色管中,向其中一个比色管加入 5 mL 0.2% 亚硫酸氢钠,混匀作为参比,另一个试管中加入水 5 mL,分别在 284 和 336 nm 波长处测定吸光值,同时做平行试验。

**1.2.4 褐变度的测定。**准确称样 0.5 g,加入 20 mL 无水乙醇,摇匀振荡 20 min,过滤,取滤液。以无水乙醇作为空白对照,于 420 nm 波长处测定吸光值,同时做平行试验。

**1.2.5 色差的测定。**采用色差仪中 CIE-LAB 颜色体系<sup>[9]</sup>测定色差。将待测番茄酱充分混匀后,用厚度 10 mm 玻璃皿



放置在样品池中测定。每次测定后将玻璃皿旋转 90°,做平行对照,测定 3 次,取平均值。

## 2 结果与分析

**2.1 番茄酱储藏期间番茄红素含量的变化** 番茄红素属于异戊二烯类化合物,是类胡萝卜素的一种。研究发现,番茄红素具有一定的抗癌抑癌功效,并对于预防动脉硬化、心血管疾病等疾病,增强人体免疫系统以及延缓衰老等都具有重要效果<sup>[10-11]</sup>,也是一种具有潜在开发的新型功能性天然色素。番茄酱储藏期间番茄红素含量会发生变化,使产品品质降低,通过测定储藏期内番茄红素含量的变化可为番茄酱储藏条件控制提供重要依据,也可揭示其品质质量状况。

由图 1 可知,番茄酱在储藏期间番茄红素含量有明显的下降趋势,且储藏温度越高,图 1b 显示温度为 50 °C 条件番茄红素含量的降解趋势尤为显著,这是因为番茄酱在储藏期间发生氧化反应,使得番茄红素含量下降,而且高温会加速反应速度。因此,高温储藏会严重影响番茄酱的品质。

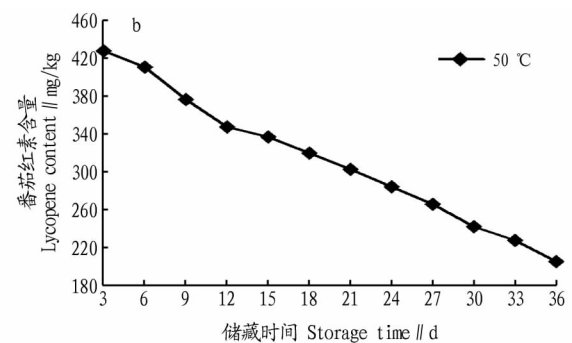


图 1 番茄酱在不同温度储藏期间番茄红素含量的变化

Fig. 1 The changes of lycopene content during storage of tomato paste at different temperatures

**2.2 番茄酱储藏期间 5-HMF 含量的变化** 果蔬褐变产生的羟甲基糠醛,主要是 5-HMF,它是在果蔬贮藏和加工过程中产生的,一般认为 5-HMF 是葡萄糖或果糖在酸性条件下脱水分解的产物。它的含量与果蔬的品种以及贮藏和加工条件有关,尤其是受加热和高温影响最大,因此常将其作为评价非酶褐变的指标之一。羟甲基糠醛与氨基酸等氨基化合物反应,可以生成褐色化合物,也是通常所说的果蔬褐变现象之一。据研究,番茄红素不是引起番茄酱色泽变化的主要原因,美拉德反应的主要产物是 5-HMF<sup>[12]</sup>。因此,对番茄酱储藏期间 5-HMF 含量的测定,可为番茄酱储藏条件控制提供重要依据,也可揭示其品质质量状况和褐变发生程度。

从图 2 可以看出,随着储藏时间的延长,4、25、37 和 50 °C 下储藏的番茄酱 5-HMF 含量均逐渐升高,因为高温可以加速化学反应,能产生更多的羟甲基糠醛。且羟甲基糠醛可以与氨基酸等氨基化合物反应,生成褐色化合物,使褐变情况明显。由此可见,在不同储藏温度下,羟甲基糠醛含量随着储藏时间的延长而逐渐上升,说明储藏时间越长,储藏温度越高,5-HMF 积累量越多,发生非酶促褐变更严重。

**2.3 番茄酱储藏期间褐变度的变化** 由于非酶褐变反应所产生的色素,可在波长 420 nm 处有非常强的吸光值,吸光值越大,表明褐变反应就越严重<sup>[6]</sup>。在番茄酱的  $A_{420\text{nm}}$  测定过

程中,因为除去了番茄酱的醇溶性色素物质,所以测定以水溶性褐色物质为主,对于酯溶性和醇溶性色素如类胡萝卜素等不能很好地体现,因此对于番茄酱的非酶褐变用颜色体系的色差  $\Delta E$  值表明应更为全面。此外,  $A_{420\text{nm}}$  的测定能很好地反映水溶性褐色物质的含量,将褐变指数与色差值结合起来分析,可以从不同方面体现番茄酱的非酶褐变程度。此外,用  $A_{420\text{nm}}$  表示番茄酱储藏期间的褐变状况在国内外已经非常普遍,它是果蔬非酶褐变的重要指标。

由图 3 可知,番茄酱储藏期间其吸光值(褐变度)随储藏时间的延长而增大,且 25 和 37 °C 下储藏的番茄酱褐变度远远高于 4 °C。因此,高温会加剧番茄酱的非酶褐变反应。番茄酱在 50 °C 储藏期间褐变度随时间的延长而剧增,且其褐变度远远高于 4、25 和 37 °C,番茄酱在高温条件下非酶褐变情况非常严重。

江英等<sup>[4]</sup>研究表明,在不同储藏温度下,番茄酱的褐变度随着储藏时间的延长而逐渐变大,说明储藏时间越长,储藏温度越高,番茄酱的褐变程度越严重。番茄酱在不同储藏温度下色泽稳定性差异很大。番茄酱在 4 °C 下储藏 60 d 后非酶褐变指数变化较慢。随着储藏温度的升高,均加剧番茄酱的非酶褐变程度,25 °C 下储藏 60 d 后非酶褐变指数变化较快,37 和 50 °C 下储藏其褐变指数的变化速率非常大,由此

可见高温储藏对番茄酱非酶褐变的影响更大,进一步说明番

茄酱的褐变速率受温度的影响很大,褐变活性较高。

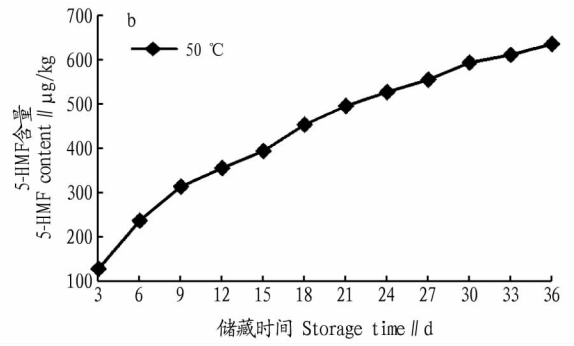
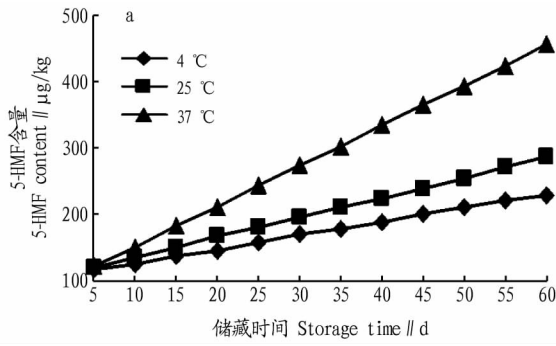


图2 番茄酱在不同温度储藏期间5-HMF含量的变化

Fig. 2 Changes of 5-HMF content during storage of tomato paste at different temperatures

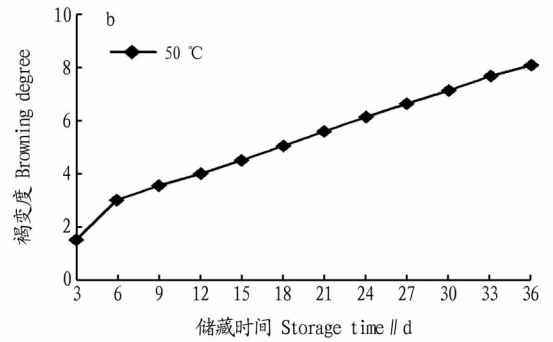
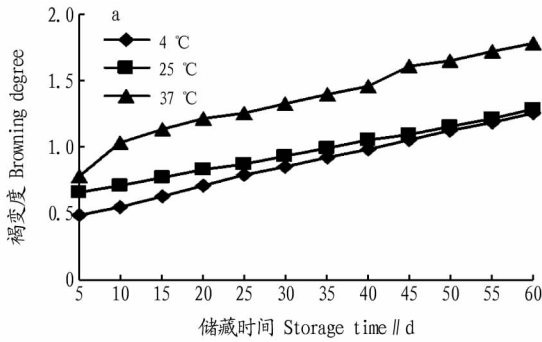


图3 番茄酱在不同温度储藏期间褐变度的变化

Fig. 3 Changes of browning degree of tomato paste during storage at different temperatures

**2.4 色差的变化** 颜色变化可以用不同的方法表达,与化学分析方法相比色度测量是更简单直接的方法<sup>[9]</sup>。已证实颜色体系 CIELAB 体系 [*L* (亮度)、*a* (红度和绿度)、*b* (黄度和蓝度)、 $\Delta E$  (色差值)]能很好地描述不同水果产品可见的颜色变化,CIELAB 色差值表色体系可精确表示各种色调,也为色差的表示带来了方便,尤其在研究和测定近似颜色的差别程度或食品的变色程度时,CIELAB 体系上两点间的距离就可以表示两对应颜色的差值, $\Delta E$  值表示番茄酱其储藏过程中的颜色值与校零白板颜色值的差距。

**2.4.1 *L* 值的变化。**由图 4 可知,番茄酱储藏期间 *L* 值随储藏时间的延长呈下降趋势。番茄酱在 50 °C 储藏条件下 *L* 值随储藏时间的延长呈下降趋势,且下降幅度比 4、25 和 37 °C 更大。随着储藏温度和时间的延长,番茄酱颜色变暗与 *L* 值降低相对应。4 °C 储藏条件下番茄酱 *L* 值变化较缓,亮度没有发生显著变化;25 °C 储藏条件下的番茄酱 *L* 值的变化显著;37 °C 储藏条件下,番茄酱 *L* 值的变化幅度较大;50 °C 储藏条件下,番茄酱 *L* 值的变化幅度最大。由此可见,高温储藏会加快番茄酱颜色变暗。

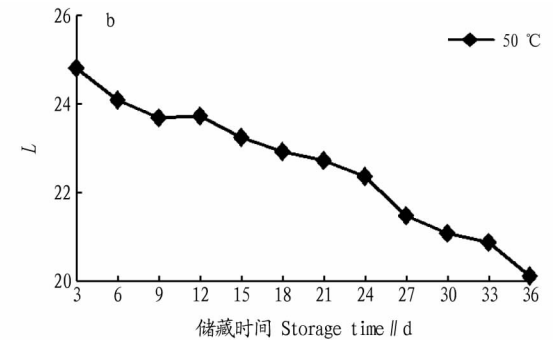
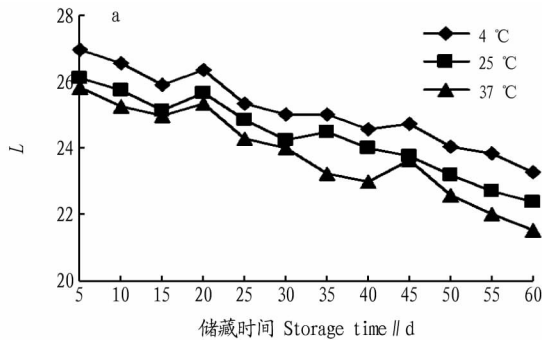
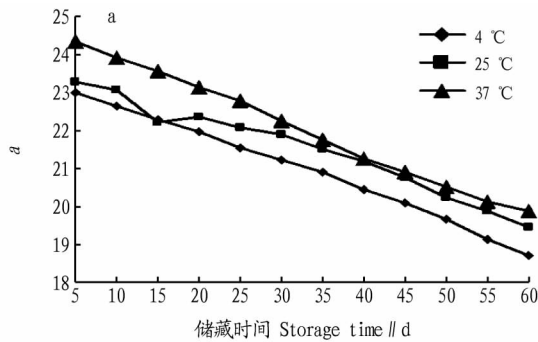


图4 番茄酱在不同温度储藏期间色度 L 值的变化

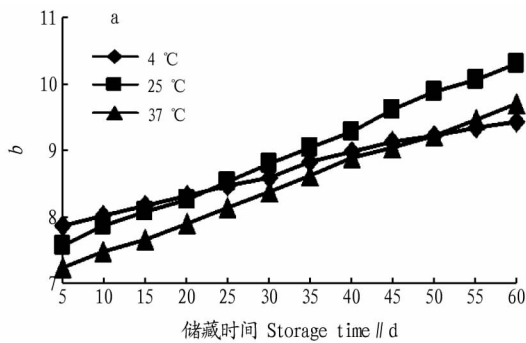
Fig. 4 The changes of chroma *L* value of tomato paste stored at different temperatures

**2.4.2 *a* 值的变化。**由图 5 可知,储藏期间番茄酱 *a* 值随储藏时间的延长呈下降趋势。在 50 °C 储藏条件下番茄酱 *a* 值随储藏时间的延长呈下降趋势,且下降幅度比 4、25 及 37 °C 更大。*a/b* 的值是衡量番茄酱品质的重要指标,*a* 值下降说

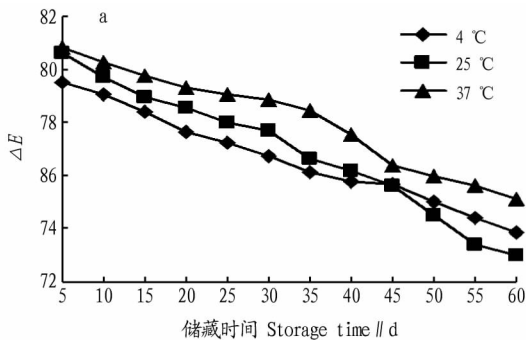
明高温会使番茄酱品质变差。在不同储藏温度下,番茄酱 *a* 值随着储藏时间的延长而逐渐下降,说明储藏时间越长,储藏温度越高,番茄酱的下降趋势越严重,其品质变差程度越高。

图5 番茄酱在不同温度储藏期间色度  $a$  值的变化Fig. 5 The changes of chromaticity  $a$  value of tomato paste during storage at different temperatures

**2.4.3  $b$  值的变化。**由图6可知,番茄酱  $b$  值在4、25、37和50 °C储藏条件下呈上升趋势,番茄酱偏黄程度加强;番茄酱  $b$  值随储藏时间的延长和储藏温度的升高而上升。这说明储藏时间的延长和储藏温度的升高导致颜色由黄色向蓝色转变,表明黄色素物质发生了降解,可能是由于类胡萝卜素降

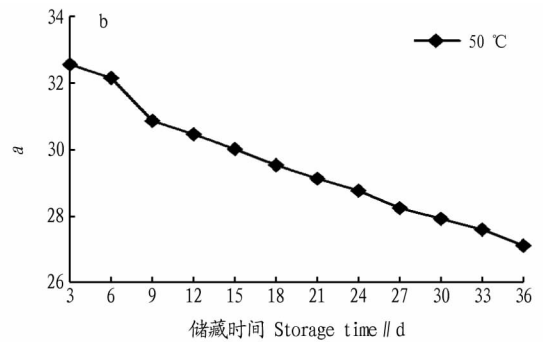
图6 番茄酱在不同温度储藏期间色度  $b$  值的变化Fig. 6 Changes of chroma  $b$  value during storage of tomato paste at different temperatures

**2.4.4  $\Delta E$  值的变化。**由图7可知,番茄酱在4、25、37和50 °C储藏条件下,其  $\Delta E$  值都呈下降趋势,且37 °C下储藏番茄酱的  $\Delta E$  值略大于4 °C和25 °C。50 °C储藏条件下,其  $\Delta E$

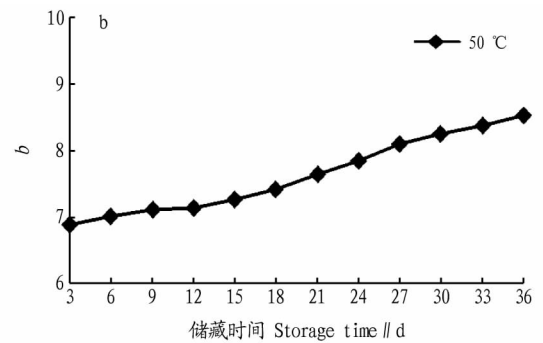
图7 番茄酱在不同温度储藏期间色差  $\Delta E$  值的变化Fig. 7 Changes of color difference  $\Delta E$  value of tomato paste stored at different temperatures

### 3 结论

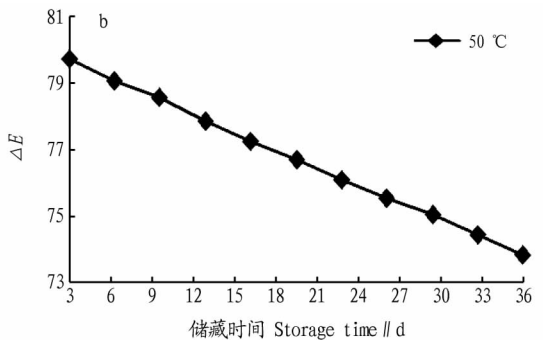
该研究新疆番茄酱随着储藏时间的延长,番茄酱不同储藏温度条件下的色泽指标都有一定的变化,有些呈上升趋势,如5-HMF值、褐变度等,有些指标有明显的下降趋势,如色差中的  $\Delta E$  值、 $a$  值、 $L$  值、番茄红素含量等,其变化特征较为明显。高温会加速化学反应的进行,使反应产物积累速度更快,造成番茄酱品质下降。低温储藏更有利于保持番茄酱



解造成的。 $a/b$  比值是衡量番茄酱品质的重要指标之一, $a$  值减小, $b$  值增大,导致  $a/b$  比值减小,说明番茄酱品质变差。江英等<sup>[4]</sup>研究表明, $b$  值的变化受储藏温度的影响,高温会导致  $b$  值升高,低温条件下  $b$  值的上升趋势不如高温条件下明显。因此,高温更容易使番茄酱品质变差。



值下降最大。4 °C储藏条件下,番茄酱色差值的变化相对缓慢,25和37 °C储藏条件下其变化速率基本相同;50 °C储藏条件下色差值的变化最大。



产品色泽的稳定性及产品品质,延长番茄酱的货架期。

### 参考文献

- [1] 陈文静,张欢,董旭,等. 番茄红素的研究现状及应用前景[J]. 安徽农业科学,2015,43(27):29-32,99.
- [2] 戚晨晨,褚雄燕,陈国辉,等. 国内外番茄制品标准对比研究[J]. 中国标准化,2018(9):101-106.
- [3] 吴亚男,余国新. 新疆番茄酱出口存在的问题及对策[J]. 环渤海经济瞭望,2018(12):58.

表 3 样品含量的测定结果( $n=2$ )

Table 3 Content determination results of samples mg/g

批号 Batch No.	绿原酸 Chlorogenic acid	黄芩苷 Baicalin	栀子苷 Geniposide
20190811	0.358	0.701	3.156
20190712	0.421	0.818	3.252
20190919	0.513	0.854	3.556
20191010	0.587	0.714	2.987
20191101	0.487	0.821	3.012

### 3 讨论

**3.1 提取条件的选择** 利用单因素考察法,对提取方法、提取溶剂、提取时间 3 个因素进行了考察。在提取溶剂浓度的选择上,比较了浓度 25%、50%、75%、100% 的甲醇对各组分的提取效果,试验结果显示,50% 甲醇提取茵栀解毒颗粒中的 3 种成分含量最高。在提取方法上分别选择超声、回流 2 种提取方法,结果显示超声提取效率最高,且简便快捷。与此同时在超声提取时间上分别比较了 5、10、15、20、30 min 对茵栀解毒颗粒的提取效果,试验结果显示,样品在超声 10 min 提取效率达到最高。最终选择的提取方法是用 50% 甲醇超声提取 10 min。

**3.2 检测波长的选择** 同一物质在不同检测波长下具有不同的响应值。在该试验中利用 DAD(光电二极管阵列检测器)对这 3 种化合物进行 190~400 nm 扫描,根据绿原酸、栀子苷、黄芩苷的特征光谱图,确定这 3 种物质的最大吸收波长,同时结合流动相的梯度洗脱的特性,可以将复杂基质的成分进行分离,最终确定为 0~9.5 min 时 327 nm 测定绿原酸,9.5~14.0 min 时 238 nm 测定栀子苷,14~30 min 时 278 nm 测定黄芩苷。

**3.3 流动相的选择** 该试验考察了多种流动相体系,首先以甲醇-水(13:87)、甲醇-磷酸-水(30:0.1:70)作为流动相,进行等度、梯度洗脱,结果发现绿原酸和栀子苷的分离效果不太好,又考察了乙腈-磷酸-水、等度和梯度,发现采用梯度洗脱时 3 种化合物得到的色谱峰符合分离要求,最后筛选出乙腈和磷酸溶液作为流动相进行梯度洗脱。经试验验证,该流动相体系基线平稳、无拖尾现象,3 种成分色谱峰分离度达到要求,符合系统适用性的要求。故以此为该检测方法的流动性。

**3.4 耐用性考察** 根据“1.3.1”色谱条件,分别考察了 4 款不同品牌的色谱柱 Phenomenex Luna C<sub>18</sub>(4.6 mm×200 mm,

5 μm)、Waters Ultimate XB-C<sub>18</sub>(4.6 mm×250 mm,5 μm)、Aglient Eclipse XDB C<sub>18</sub>(4.6 mm×250 mm,5 μm) 和 Thermo Hypurity C<sub>18</sub>(4.6 mm×250 mm,5 μm),设定了 3 个柱温(25、35、40 °C)、3 个流速(0.8、1.0、1.2 mL/min),结果表明上述条件下各组分的分离度和理论塔板数均能达到要求,证明该方法耐用性较好。

### 4 小结

该试验建立了 HPLC-DAD 波长切换法同时测定茵栀解毒颗粒中绿原酸、栀子苷、黄芩苷的方法,保证各成分在最大吸收波长处检测,且仅使用 1 个色谱条件即可实现多个指标成分的质量分析。方法学验证结果符合《中国兽药典》2015 年版中质量分析方法验证指导原则的要求。该方法的供试品溶液制备简便快捷,所建立的梯度洗脱方法分离度好,测定结果准确、重复性好、实用性强,有利于茵栀解毒颗粒整体质量的控制。

### 参考文献

- [1] 章林平,孙倩,王威,等.茵陈有效成分的药理作用及其临床应用的研究进展[J].抗感染药学,2014,11(1):28-31.
- [2] 杨全军,范明松,孙兆林,等.栀子化学成分、药理作用及体内过程研究进展[J].中国现代中药,2010,12(9):7-12.
- [3] 史雪靖.黄芩药理作用研究进展[J].中医药信息,2010,27(4):128-130.
- [4] 李贵海,朱建伟,吴丽丽.茵栀黄颗粒的保肝作用研究[J].中药材,2001,24(5):353-355.
- [5] 石英.绿原酸在水产饲料中的应用研究进展[J].山东畜牧兽医,2018,39(3):83-85.
- [6] 范文昌,梅全喜.HPLC 法测定金银岗颗粒中栀子苷的含量[J].中国中医药现代远程教育,2017,15(21):145-147.
- [7] 王晓娟.高效液相法测定森登-25 中栀子苷的含量[J].中国民族医药杂志,2015(3):62-63.
- [8] 张广春,陈明明,杨敏,等.高效液相色谱法测定栀芩清肺丸中栀子苷的含量[J].陕西中医,2012,33(10):1412-1413.
- [9] 宁科贤,黄燕萍.高效液相色谱法同时测定炎热清片中栀子苷、黄芩苷和汉黄芩素含量[J].中国药业,2015,24(16):89-91.
- [10] 康艳萍,黄婉.栀子中栀子苷的提取研究[J].广州化工,2018,46(12):73-74,98.
- [11] 吴宇锋,陈灵哲,林忠.HPLC 法同时测定 3 种煎法下防风通圣方中的黄芩苷和栀子苷含量[J].上海医药,2018,39(1):61-64.
- [12] 赵祥军,曹琳,韩玉梅,等.不同产地栀子的质量研究[J].时珍国医国药,2005,16(6):508.
- [13] 冉桂梅,杨凌,张才华,等.高效液相色谱法测定新雪颗粒中栀子苷的含量[J].色谱,2004,22(6):639-640.
- [14] 周瑾.高效液相色谱法测定丹栀逍遥丸中栀子苷的含量[J].海峡药学,2006,18(1):67-68.
- [15] 师永花,师永清.双波长 RP-HPLC 法同时测定黄连上清丸中栀子苷和黄芩苷的含量[J].中国药事,2012,26(7):747-750.
- [16] 付晓,尹忠平,上官新晨,等.HPLC 法同时测定甜叶菊中 3 种绿原酸类化合物[J].食品科技,2014,39(8):276-280.
- [8] 韩慧,吴远高.新疆塔城地区出口番茄酱中番茄红素分析[J].食品安全导刊,2018(3):105-106.
- [9] 冯彩芬,郭鸿存,徐云滨,等.番茄 LeCBL1 功能的初步研究[J].安徽农业科学,2012,40(28):13705-13706,13708.
- [10] 贾业伟,丁玉,孟仕平,等.番茄红素的生理功能和生产工艺研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(28):16032-16034.
- [11] 梅晓岩,孟宪军,梁婧婧.番茄红素抗氧化活性的研究[J].安徽农业科学,2006,34(11):2315-2317.
- [12] 刘忆冬,江英,陈龙,等.不同储藏温度下玻璃罐装番茄酱色泽变化的动力学研究[J].保鲜与加工,2020,20(1):31-35.

(上接第 191 页)

- [4] 江英,陈龙,王陈强,等.不同温度储藏下番茄酱色泽变化及其动力学研究[J].食品科技,2014,39(12):281-284.
- [5] 赵文启,李珍慈,宿胜男,等.冷热破碎工艺对小包装番茄酱贮藏期间非酶褐变的影响[J].保鲜与加工,2020,20(1):89-96.
- [6] 张宏,高永生.番茄酱加工全过程色差控制的研究[J].内蒙古农业科技,2014(4):33-35.
- [7] 张博,商金颖,邸一桓,等.不同贮藏温度条件下番茄酱品质变化规律研究与货架期预测[J].食品科技,2018,43(12):56-60.