

# 番茄红素原料及保健食品中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素含量测定通用方法的建立

李彬<sup>1</sup>, 于佳<sup>2</sup>, 侯俐南<sup>1</sup>, 刘慧锦<sup>1</sup>, 何欢<sup>1</sup>, 张伟清<sup>1</sup>, 王海燕<sup>1</sup>

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050) (2. 黑龙江省药品检验研究中心, 黑龙江哈尔滨 150088)

**摘要:** 本研究建立一种测定番茄红素原料及保健食品中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素含量的通用方法。一般类型样品用含 2,6-二叔丁基对甲酚的二氯甲烷溶液 (BHT 溶液) 直接溶解, 微囊化样品先用含 2,6-二叔丁基对甲酚的 *N,N*-二甲基甲酰胺超声提取后再用 BHT 溶液溶解稀释, 后均采用高效液相色谱检测分析, 在 40 min 内完成目标化合物的分离检测。在实验条件下, 番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素分离度和线性关系良好, 检出限分别为 0.08  $\mu\text{g/mL}$  和 0.09  $\mu\text{g/mL}$ 。一般类型样品重复性实验番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素的相对标准偏差 (RSD) 分别为 3.20% 和 3.01%; 微囊化样品重复性实验番茄红素的 RSD 为 2.37%,  $\beta$ -胡萝卜素未检出。两类样品番茄红素的加标回收率在 92.65%~107.49% 之间,  $\beta$ -胡萝卜素的加标回收率在 94.73%~105.12% 之间。该方法稳定、准确、适应性广, 基本涵盖所有类型番茄红素原料及保健食品中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量的测定。

**关键词:** 番茄红素; 原料; 保健食品;  $\beta$ -胡萝卜素; 剂型

文章编号: 1673-9078(2020)07-338-343

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.7.0034

## Establishment of a General Method for the Determination of Lycopene and $\beta$ -Carotene in Raw Materials of Lycopene and Health Food

LI Bin<sup>1</sup>, YU Jia<sup>2</sup>, HOU Li-nan<sup>1</sup>, LIU Hui-jin<sup>1</sup>, HE Huan<sup>1</sup>, ZHANG Wei-qing<sup>1</sup>, WANG Hai-yan<sup>1</sup>

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

(2. Heilongjiang Centre for Drug Control and Research, Harbin 150088, China)

**Abstract:** In this study, a universal method for determining the contents of lycopene and  $\beta$ -carotene in lycopene-containing raw materials and functional foods was established. In general, ordinary samples were dissolved directly in a dichloromethane solution containing 2, 6-di-tert-butyl-4-methylphenol (BHT solution), while the microencapsulated samples were firstly subjected to ultrasonic-assisted extraction with *N,N*-dimethyl formamide containing 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol, and then dissolved and diluted with BHT solution. High performance liquid chromatography was used for identification and analysis, and the separation and quantification of the target compounds were completed in 40 min. Under the experimental conditions, the degree of separation and the linear relationship of lycopene and  $\beta$ -carotene were satisfactory, with corresponding limits of detection being 0.08  $\mu\text{g/mL}$  and 0.09  $\mu\text{g/mL}$ , respectively. The relative standard deviations (RSDs) of lycopene and  $\beta$ -carotene for the ordinary samples were 3.20% and 3.01%, respectively. The RSD of lycopene in microencapsulated samples was 2.37%, and no  $\beta$ -carotene was detected. The recovery rate of lycopene in the two types of samples ranged from 92.65% to 107.49%, and that of  $\beta$ -carotene ranged from 94.73% to 105.12%. This method is stable, accurate, and adaptable, and can be essentially applied to the determination of almost all

引文格式:

李彬, 于佳, 侯俐南, 等. 番茄红素原料及保健食品中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素含量测定通用方法的建立[J]. 现代食品科技, 2020, 36(7): 338-343

LI Bin, YU Jia, HOU Li-nan, et al. Establishment of a general method for the determination of lycopene and  $\beta$ -carotene in raw materials of lycopene and health food [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(7): 338-343

收稿日期: 2020-01-10

基金项目: 保健食品原料目录研究专项课题项目 (GXT0-1770075)

作者简介: 李彬 (1988-), 女, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 食品、化妆品理化检测及标准提高

通讯作者: 张伟清 (1984-), 女, 副主任药师, 研究方向: 食品、化妆品理化检测及标准提高; 共同通讯作者: 王海燕 (1970-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品、化妆品安全检验和研究

kinds of lycopene-containing raw materials and functional foods.

**Key words:** lycopene; raw material; functional food;  $\beta$ -carotene; dosage form

番茄红素的长链多不饱和烯烃分子结构使不仅其具有很强的抗氧化和消除自由基能力,还具有降低心血管疾病风险和抑制肿瘤发生发展等作用<sup>[1-4]</sup>。目前,天然提取<sup>[5-7]</sup>、化学合成<sup>[8,9]</sup>和生物发酵<sup>[10,11]</sup>三种来源的番茄红素被允许作为食品添加剂使用。同时,现已批准的番茄红素保健食品多采用天然提取原料进行生产,少部分为生物发酵原料,剂型主要为用油树脂等制备的软胶囊,少量为用微胶囊包埋粉做填充物的胶囊<sup>[12]</sup>。通过前期市场调研,生物发酵法生产的番茄红素原料收集难度较大,市场占有率较低,且其产物与化学合成产物物理性质相似,均为结晶粉末<sup>[8,10,13]</sup>,能直接溶解在二氯甲烷中。因此所有的原料和保健食品基本可以分为可直接溶解在二氯甲烷的一般类型样品和经过包埋处理的微囊化样品。本研究选用2种天然提取原料、1种化学合成原料、2种软胶囊保健食品和1种胶囊保健食品进行通用检测方法研究。

我国现阶段关于番茄红素含量检测的标准主要有GB 28316-2012《食品安全国家标准 食品添加剂番茄红》<sup>[5]</sup>、GB 1886.78-2016《食品安全国家标准 食品添加剂番茄红素(合成)》<sup>[8]</sup>和GB/T 22249-2008《保健食品中番茄红素的测定》<sup>[14]</sup>,分别用于天然提取番茄红素原料、化学合成番茄红素原料和保健食品三类物质中番茄红素含量的测定。三种方法均为高效液相色谱法,GB 1886.78-2016<sup>[8]</sup>中的检测方法需对多个峰面积进行加和,误差较大;GB/T 22249-2008<sup>[14]</sup>中焦性没食子酸很难溶解在二氯甲烷中<sup>[15,16]</sup>。综合考虑,本研究在GB 28316-2012的基础上对方法进行适当优化,建立适合番茄红素原料及保健食品中番茄红素含量测定的通用方法。在该实验条件下,天然提取的番茄红素原料中检出 $\beta$ -胡萝卜素。 $\beta$ -胡萝卜素的检出可以作为区分天然提取和化学合成两种原料一种思路,因此文中同时对 $\beta$ -胡萝卜素含量进行测定并进行方法学验证,最终建立一种番茄红素和 $\beta$ -胡萝卜素含量测定的通用方法。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

番茄红素标准品,瑞士 CaroteNature 公司; $\beta$ -胡萝卜素标准品,美国 USP 公司。

天然提取番茄红素原料:番茄红素油树脂,中粮屯河昌吉番茄制品有限公司提供(批号:HY-1701,

实验编号:Y1);番茄红素油树脂,新疆红帆生物科技有限公司提供(批号:20180801,实验编号:Y2)。化学合成番茄红素原料:番茄红素晶体,帝斯曼公司提供(批号:UC09809027,实验编号:Y3)。

番茄红素保健食品:伊路健牌番茄红素软胶囊,广州长生康生物科技有限公司提供(批号:20171001,实验编号:B1);红帆番茄红素软胶囊,新疆红帆生物科技有限公司提供(批号:20180502,实验编号:B2);中科牌番茄红素胶囊,南京中科药业有限公司提供(批号:20180520,实验编号:B3)。

乙腈、乙酸乙酯,色谱纯,德国 Merck 公司;无水乙醇、2,6-二叔丁基对甲酚(分析纯),国药集团;实验室用水为 Sartorius 超纯水。

### 1.2 主要仪器设备

U3000 RSLC 高效液相色谱仪(配有 DAD 检测器),美国赛默飞公司;UV-2550 紫外-可见分光光度计,日本岛津公司;AL204 电子天平、XP205 电子天平,瑞士梅特勒公司;SB25-12DTD 超声波清洗机,宁波新芝生物科技股份有限公司。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 溶液配制

2,6-二叔丁基对甲酚溶液(BHT 溶液)配制:称取 20 g BHT,用二氯甲烷定容至 4000 mL,密闭避光放置。

#### 1.3.2 标准曲线

##### 1.3.2.1 标准储备液的配制与浓度的校正

100  $\mu\text{g/mL}$  番茄红素或 $\beta$ -胡萝卜素标准储备液的配制:称取 10 mg 番茄红素或 $\beta$ -胡萝卜素标准品,用少量 BHT 溶液溶解后,转移至 100 mL 棕色容量瓶中,最后用 BHT 溶液定容,混合均匀。番茄红素标准储备液临用现配; $\beta$ -胡萝卜素标准储备液可于-20  $^{\circ}\text{C}$ 以下避光储存,使用期限不超过 3 个月。标准储备液在使用之前均需按照国家标准进行浓度校正<sup>[5,17]</sup>。

##### 1.3.2.2 标准曲线的配制

分别吸取适量上述两种标准储备液,用 BHT 溶液稀释,并用棕色容量瓶定容,配制系列混合标准溶液。在参考色谱条件下,对系列的混标进行色谱分析,得到峰面积-浓度标准曲线,计算回归方程。

#### 1.3.3 样品前处理

一般类型样品包含油树脂类样品(Y1、Y2、B1、



B2) 和晶体 (Y3), 其制备: 称取试样 (或内容物) 1.0 g (精确称量至 0.0001 g), 取少量 BHT 溶液溶解后置于 100 mL 棕色容量瓶, 超声混匀, 冷却至室温, 用 BHT 溶液定容, 摇匀。根据实际浓度对溶液进行稀释, 过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜后上机分析。

微囊化样品 (B3) 的制备: 取 1.0 g 均匀内容物 (精确称量至 0.0001 g) 置于 100 mL 棕色容量瓶中, 加 20 mg BHT 和 5 mL  $N,N$ -二甲基甲酰胺超声提取 30 min 后, 用 BHT 溶液定容, 摇匀。根据实际情况对溶液进行稀释, 过 0.45  $\mu\text{m}$  滤膜后上机分析。

### 1.3.4 液相色谱条件

流动相: 流动相 A 为乙腈:水=9:1 (体积比) 的混合溶液, 流动相 B 为乙酸乙酯, 洗脱条件为 0~25 min, 流动相 A: 100%~0%; 25~35 min, 流动相 A: 0%~100%; 35~45 min, 流动相 A: 100%。流速 1.0 mL/min; 柱温 25  $^{\circ}\text{C}$ ; 检测波长: 472 nm; 进样体积: 20  $\mu\text{L}$ ; 色谱柱:  $\text{C}_{18}$ -42 (Techmate  $\text{C}_{18}$ -ST)。

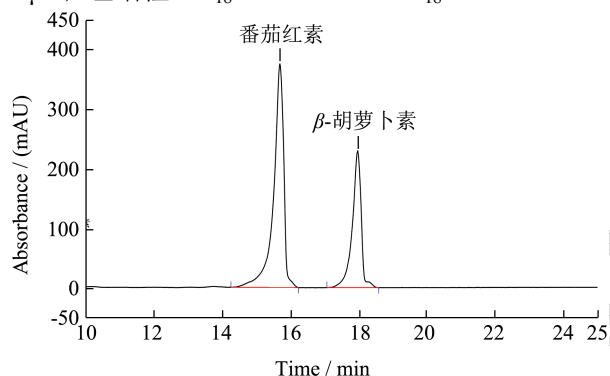


图1 混合标准品的色谱图

Fig.1 Chromatogram of mixed standards

### 1.3.5 数据处理

番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素含量以质量分数  $w_1$ 、 $w_2$  计, 数值以%表示, 按公式 (1) 计算:

$$w_i = \frac{c_i \times V}{m \times 1000 \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $c_i$  根据标准曲线得的试样液中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素浓度的数值, 单位为  $\mu\text{g/mL}$ ;  $V$  试样定容体积的数值, 单位为 mL;  $m$  试样质量的数值, 单位为 g; 1000 $\times$ 1000-质量换算因子。

## 2 结果与讨论

### 2.1 标准品色谱图、线性关系与检出限

分别精密量取番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素标准储备液适量, 用 BHT 溶液稀释, 配制成系列浓度。图 1 为混合标准溶液的色谱图, 所得番茄红素保留时间为 15.30 min;  $\beta$ -胡萝卜素保留时间为 17.61 min, 基线平

稳, 两组分完全分离。以系列溶液质量浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 做线性回归, 结果显示, 番茄红素在 1.24  $\mu\text{g/mL}$ ~61.90  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性方程为  $y=3.7567x-3.1622$ ,  $R^2$  为 0.9996;  $\beta$ -胡萝卜素在 0.46  $\mu\text{g/mL}$ ~45.62  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性方程为  $y=2.6330x-1.4149$ ,  $R^2$  为 0.9994, 表明两个目标物线性关系均良好。

按  $S/N=3$  确定目标物的检出限, 番茄红素检出限为 0.08  $\mu\text{g/mL}$ ,  $\beta$ -胡萝卜素检出限为 0.09  $\mu\text{g/mL}$ 。

### 2.2 精密度

取混合标准溶液 1 份, 连续进样 6 次, 计算峰面积的相对标准偏差 RSD 值。番茄红素 RSD 为 0.41%,  $\beta$ -胡萝卜素 RSD 为 0.67%, 表明该仪器方法稳定性良好。

### 2.3 样品重复性

选取 Y1 和 B3 样品分别代表一般类型样品和微囊化样品进行重复性实验, 各取 6 份制备供试溶液, 测定番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量, 计算相对标准偏差 RSD, 结果见表 1, 从 RSD 值可以看出该方法重复性良好。B3 样品中不含有  $\beta$ -胡萝卜素, 无法计算 RSD 值, 其重复性可以参考 2.4 加标回收率部分。

表 1 样品重复性实验测定结果

Table 1 Repeatability test results of samples (n=6)

| 样品 | 目标物           | 含量/% |      |      |      |      |      | RSD/% |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Y1 | 番茄红素          | 6.06 | 5.82 | 5.88 | 6.13 | 5.64 | 6.09 | 3.20  |
|    | $\beta$ -胡萝卜素 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.20 | 0.21 | 3.01  |
| B3 | 番茄红素          | 7.74 | 8.01 | 7.83 | 8.18 | 8.20 | 7.88 | 2.37  |
|    | $\beta$ -胡萝卜素 | 未检出  |      |      |      |      |      |       |

### 2.4 样品加标回收率

以 Y1、B3 样品为回收率实验的两种基质, 以 2.3 的测定结果值计算本底值。因为样品中番茄红素含量较高, 而标准品较少, 将样品稀释后分别加入低、中、高 3 个浓度水平的番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素标准储备液再检测各自含量, 计算回收率及 RSD 值, 见表 2, 结果表明该方法准确度较好。在样品前处理阶段, 番茄红素极易被氧化, 因此在番茄红素含量测定的过程中应该加入适量抗氧化剂。GB/T 22249-2008<sup>[14]</sup>检测方法中, 加入焦性没食子酸作为抗氧化剂, 但焦性没食子酸很难溶解在二氯甲烷中, 方法存在一定缺陷。党亚敏<sup>[16]</sup>、王梅<sup>[15]</sup>、康孟丹<sup>[18]</sup>等人在番茄红素含量测定的时候加入了 2,6-二叔丁基对甲酚 (BHT) 作为抗氧化剂, 其能很好的溶解在二氯甲烷中, 发挥抗氧化作用。

表 2 样品回收率

Table 2 Recovery rates of samples (n=3)

| 目标物                | Y1     |               | B3     |               |
|--------------------|--------|---------------|--------|---------------|
|                    | 番茄红素   | $\beta$ -胡萝卜素 | 番茄红素   | $\beta$ -胡萝卜素 |
| 本底值/ $\mu\text{g}$ | 337.25 | 11.76         | 75.95  | 0             |
| 加标量/ $\mu\text{g}$ | 低      | 63.67         | 51.04  | 46.85         |
|                    | 中      | 127.34        | 102.08 | 70.28         |
|                    | 高      | 191.01        | 153.12 | 93.70         |
| 测得值/ $\mu\text{g}$ | 低      | 402.46        | 123.24 | 49.25         |
|                    | 中      | 469.44        | 176.32 | 73.71         |
|                    | 高      | 542.57        | 228.16 | 96.82         |
| 回收率/%              | 低      | 102.42        | 92.65  | 105.12        |
|                    | 中      | 103.81        | 98.32  | 104.88        |
|                    | 高      | 107.49        | 99.41  | 103.33        |
| RSD/%              | 低      | 4.31%         | 2.08%  | 1.10%         |
|                    | 中      | 1.12%         | 1.82%  | 0.91%         |
|                    | 高      | 0.60%         | 3.02%  | 0.19%         |

王庆发、赵文红等人<sup>[4,19]</sup>综述了番茄红素微胶囊化,即以合成的或天然的高分子成膜材料作为壁材,将其包覆形成微小颗粒的过程,壁材多采用淀粉、 $\beta$ -环糊精等水溶性物质。罗琥捷等人<sup>[20]</sup>对微囊化包埋的番茄红素检测手段进行了研究,样品前处理采用水油两相萃取方法。本研究根据 GB/T 22249-2008<sup>[14]</sup>微囊化试样的制备方法,加入  $N,N$ -二甲基甲酰胺 (DMF) 作为助溶剂进行样品前处理。DMF 是具有极性的非质子性溶剂<sup>[21]</sup>,其通过氢键作用发挥两亲性作用,因此在水溶性壁材加入二氯甲烷溶液时发挥助溶效果。

Azcarate<sup>[22]</sup>在制备奶粉或牛奶样品做元素检测分析前加入 DMF,促使样品溶解。奶粉或牛奶基质复杂,是由脂溶性物质、水溶性物质组成的乳化体系,微囊化的番茄红素与其性质类似,也可采用 DMF 作为助溶剂进行微胶囊样品前处理。

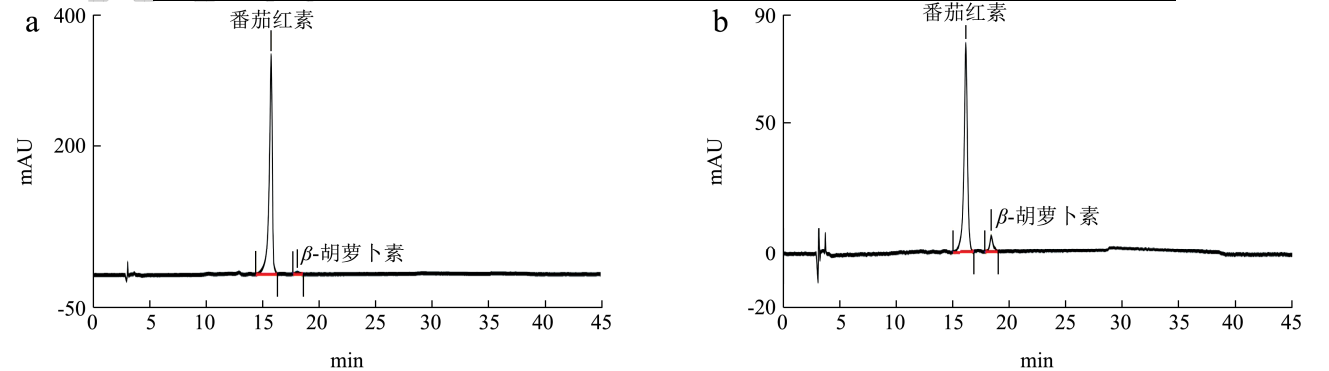
2.5 实际样品测定

表 3 为番茄红素原料和保健食品共 6 个样品中番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素含量测定结果,图 2 为 6 个样品的色谱图。

表 3 原料和保健食品样品测定结果

Table 3 Testing results of raw materials and functional foods (n=2)

| 含量/%          | 天然提取原料 |      | 化学合成原料 | 保健食品 |      |      |
|---------------|--------|------|--------|------|------|------|
|               | Y1     | Y2   | Y3     | B1   | B2   | B3   |
| 番茄红素          | 5.94   | 1.97 | 97.55  | 0.77 | 1.17 | 7.87 |
| $\beta$ -胡萝卜素 | 0.21   | 0.36 | 未检出    | 未检出  | 0.16 | 未检出  |



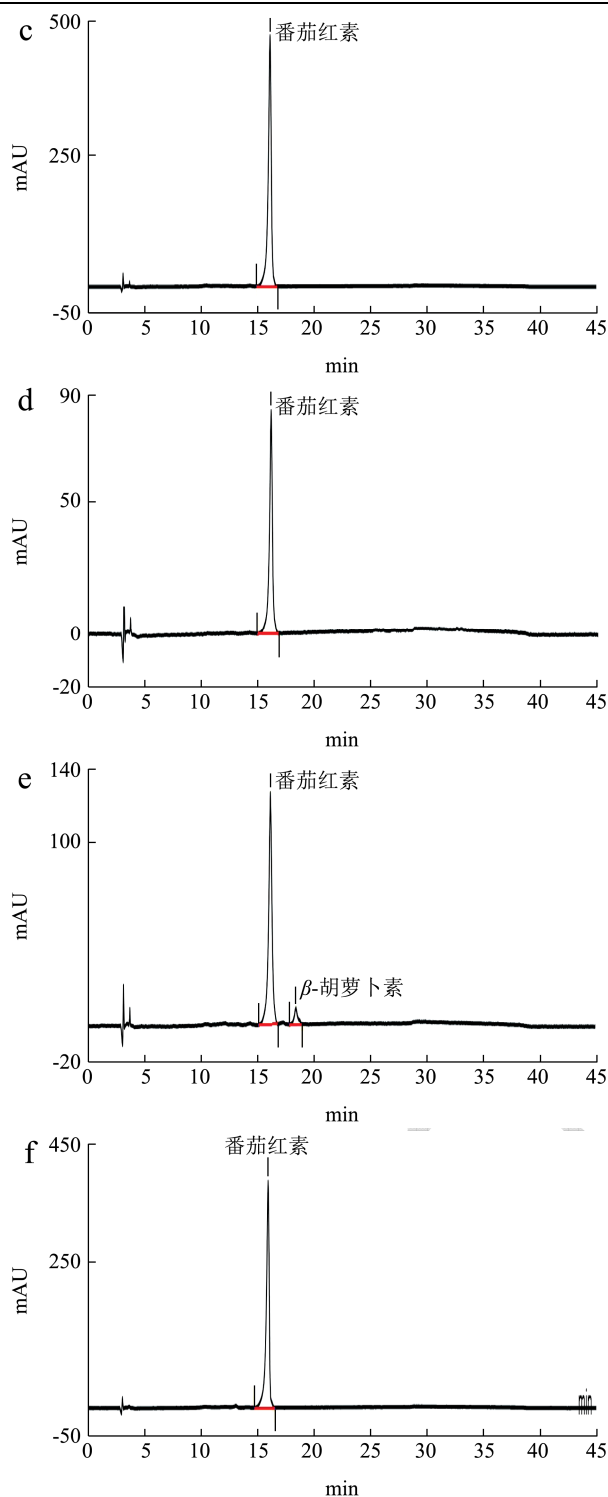


图2 检测样品的色谱图

Fig.2 Chromatograms of samples

注：从上而下依次为样品 Y1、Y2、Y3、B1、B2 和 B3。

天然提取的番茄红素原料是指以番茄或番茄制品为原料，以有机溶剂或超临界流体为萃取介质制备<sup>[5]</sup>。原料 Y1 是以乙酸乙酯为提取溶剂制备而成的油树脂，原料 Y2 是以二氧化碳超临界流体萃取而成的油树脂，因工艺、番茄提取部位等不同，番茄红素含量也不一样，两种原料均检测出  $\beta$ -胡萝卜素。叶帆等<sup>[23]</sup>也采用

了高效液相色谱法针对番茄红素油树脂中的番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素进行了检测。番茄果实中含有番茄红素和少量的  $\beta$ -胡萝卜素<sup>[24,25]</sup>，番茄红素和  $\beta$ -胡萝卜素均属于类胡萝卜素，化学性质相似，在天然提取工艺中会被同时萃取出来。原料 Y3 以合成中间体为原料经维蒂希缩合反应制得的化学合成番茄红素，呈深红色晶体<sup>[8]</sup>。此工艺生产的番茄红素含量极高<sup>[9]</sup>，但未检出  $\beta$ -胡萝卜素。因此，采用此检测方法，通过  $\beta$ -胡萝卜素的是否检出，可以对天然提取与化学合成进行初步判定，该判定方式与刘沐霖等人<sup>[26]</sup>的研究结论一致。但是此方法也有局限性，会对人为添加  $\beta$ -胡萝卜素的化学合成原料产生误判，故需对天然提取与化学合成鉴定的方式做进一步研究。

### 3 结论

本研究建立了番茄红素原料和保健食品中番茄红素、 $\beta$ -胡萝卜素含量测定的通用方法。该方法稳定、准确、适应性广，基本涵盖所有类型番茄红素原料和保健食品中两种物质含量的测定。下一步可将该方法扩展至所有类胡萝卜素原料及保健食品进行方法学验证。

### 参考文献

- [1] 中国营养学会.中国居民膳食营养素参考摄入量(2013版)[M].北京:科学出版社,2014:550-558  
Chinese Nutrition Society. Chinese Dietary Reference Intakes (2013 Version) [M]. Beijing: China Science Publishing, 2014: 550-558
- [2] Rao A V, Shen H. Effect of low dose lycopene intake on lycopene bioavailability and oxidative stress [J]. Nutrition Research, 2002, 22(10): 1125-1131
- [3] 陈建平,陈曦,钟赛意,等.番茄红素对人体血清自由基的清除作用[J].食品工业科技,2018,39(24):309-312  
CHEN Jian-ping, CHEN Xi, ZHONG Sai-yi, et al. Scavenging effect of lycopene on free radical of human serum [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(24): 309-312
- [4] 赵文红,严婷婷,尹文婷,等.增强番茄红素稳定性制剂的研究进展[J].现代食品科技,2019,35(12):329-336  
ZHAO Wen-hong, YAN Ting-ting, YIN Wen-ting, et al. The development of formulations for enhancing the stability of lycopene [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(12): 329-336
- [5] GB 28316-2012食品安全国家标准食品添加剂番茄红[S]. 2012

- GB 28316-2012 National Standard of Food Safety-Food Additive-Lycopene [S]. 2012
- [6] Taungbodhitham A K, Jones G P, Wahlqvist M L, et al. Evaluation of extraction method for the analysis of carotenoids in fruits and vegetables [J]. Food Chemistry, 1998, 63(4): 577-584
- [7] 韩文杰,张俊强,袁新英,等.从番茄皮渣中提取番茄红素工业生产工艺的优化[J].中国食品添加剂,2014,2:137-140
- HAN Wen-jie, ZHANG Jun-qiang, YUAN Xin-ying, et al. Optimization of manufacturing technique for extracting lycopene from tomato peel [J]. China Food Additives, 2014, 2: 137-140
- [8] GB 1886.78-2016 食品安全国家标准食品添加剂番茄红素(合成)[S]. 2016
- GB 1886.78-2016 National Standard of Food Safety-Food Additive-Lycopene (composite) [S]. 2016
- [9] Meyer K. Method for the manufacture of carotenoids and the novel intermediates [P]. 5166445. 1992/11/24
- [10] 关于批准紫甘薯色素等9种食品添加剂的公告(卫生部公告2012年第6号)[S]. 2012
- Notice on approval of 9 food additives including purple sweet potato pigment (Notice of ministry of health No. 6, 2012) [S]. 2012
- [11] 吴军林,吴清平,张菊梅,等.番茄红素的微生物合成及发酵生产研究进展[J].食品科学,2013,34(19):336-340
- WU Jun-lin, WU Qing-ping, ZHANG Ju-mei, et al. Advances on microbial biosynthesis and fermentation production of lycopene [J]. Food Science, 2013, 34(19): 336-340
- [12] 姜惠,惠伯棣.论我国类胡萝卜素保健食品的审评审批[J].食品科学,2013,34(19):390-394
- JIANG Yu, HUI Bo-di. An overview of assessment and approval of carotenoid-based functional food in China [J]. Food Science, 2013, 34(19): 390-394
- [13] 张玉丹,杨阳,刘沐霖.番茄红素生产工艺研究进展[J].中国食物与营养,2016,22(4):38-41
- ZHANG Yu-dan, LIU yang, LIU Mu-lin. Research progress of lycopene production technology [J]. Food and Nutrition in China, 2016, 22(4): 38-41
- [14] GB/T 22249-2008保健食品中番茄红素的测定[S]. 2008
- GB/T 22249-2008 Determination of Lycopene in Healthy Foods [S]. 2008
- [15] 王梅,任炼,袁平,等.高效液相色谱法检测保健食品中的番茄红素[J].食品安全质量检测学报,2017,8(9):3353-3358
- WANG Mei, REN Lian, YUAN Ping, et al. Determination of lycopene in health food by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2017, 8(9): 3353-3358
- [16] 党亚敏,马永民,张明月,等.高效液相色谱测定保健食品中番茄红素的方法改进[J].中国卫生检验杂志,2012,22(9):2236-2237
- DANG Ya-min, MA Yong-min, ZHANG Ming-yue, et al. Advances in lycopene production technology improvement in the determination of lycopene in health food by HPLC [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2012, 22(9): 2236-2237
- [17] GB 5009.83-2016 食品安全国家标准食品中胡萝卜素的测定[S]. 2016
- GB 5009.83-2016 National Standard of Food Safety-Determination of Carotene in Food [S]. 2016
- [18] 康孟丹.五种保健功能因子检测方法的应用研究[D].福州:福建中医药大学,2016
- KANG Meng-dan. The applied research on detection method of five kinds of health care function factors [D]. Fuzhou: Fujian University of Traditional Chinese Medicine, 2016
- [19] 王庆发,吴彤娇,梁铎,等.番茄红素提取纯化及稳定性改善技术的研究进展[J].食品工业科技,2017,38(21):307-313
- WANG Qing-fa, WU Tong-jiao, LIANG Duo, et al. Research progress in extraction and purification of lycopene and techniques of improving its stability [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(21): 307-313
- [20] 罗璇捷,区海燕,杨宜婷.功能食品中番茄红素的高效液相色谱检测方法[J].食品工业科技,2012,33(17):299-302
- LUO Hu-jie, OU Hai-yan, YANG Yi-ting. Determination on lycopene in functional foods by the high performance liquid chromatographic method [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(17): 299-302
- [21] Dey A, Patra N, Mal A, et al. Impact of organic polar solvents (DMSO and DMF) on the micellization and related behavior of an anionic (AOT), cationic (CEM<sub>2</sub>AB) and cationic gemini surfactant (16-5-16) [J]. Journal of Molecular Liquids, 2017, 244: 85-96
- [22] Azcarate S M, Savio M, Smichowski P, et al. Single-step solubilization of milk samples with *N,N*-dimethylformamide for inductively coupled plasma-mass spectrometry analysis and classification based on their elemental composition [J]. Talanta, 2015, 143: 64-70

(下转第 164 页)