

doi:10.3969/j.issn.2095-6002.2014.05.010

文章编号:2095-6002(2014)05-0050-06

引用格式:林泽华,任娇艳.天然番茄红素提取工艺研究进展.食品科学技术学报,2014,32(5):50-55.



LIN Zehua, REN Jiaoyan. Research progress on extraction techniques of natural lycopene. Journal of Food Science and Technology, 2014, 32(5): 50-55.

天然番茄红素提取工艺研究进展

林泽华, 任娇艳*

(华南理工大学轻工与食品学院, 广东 广州 510641)

摘要:介绍了国内外近十年来天然番茄红素提取工艺的研究概况,将其归纳为有机溶剂萃取法、超临界 CO₂ 萃取法、酶解辅助萃取法、超声波辅助萃取法、微波辅助萃取法、超声波-微波协同萃取法、超高压辅助萃取法、高压脉冲电场辅助萃取法,并对比了各种方法的优缺点。

关键词:番茄红素;超临界 CO₂;酶解;超声波;微波;超高压;辅助萃取

中图分类号: TS202.3

文献标志码: A

番茄红素(lycopene)属于类胡萝卜素,由8个异戊二烯单位组成,分子中含有11个共轭双键和2个非共轭双键。番茄红素的分子式为 C₄₀H₅₆,化学结构式如图1。天然的番茄红素是全反式结构。

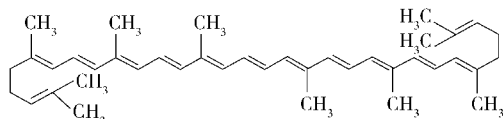


图1 番茄红素的化学结构式

Fig.1 Chemical construction of lycopene

动物和人类无法在体内合成番茄红素,只能通过膳食来源而摄入。番茄及番茄产品是膳食中番茄红素的主要来源,其他来源还包括西瓜、红葡萄柚、杏、番石榴、番木瓜等。在成熟的番茄中,80%~90%的色素成分是由番茄红素构成^[1]。在人体中,番茄红素存在于血液、肝脏、肾脏、肾上腺、前列腺等器官或组织中^[2]。番茄红素是一种重要的抗氧化剂和自由基清除剂。流行病学、动物试验和组织培养都证明番茄红素具有抗癌和抗动脉粥样硬化功能,尤其是能降低患前列腺癌、消化道癌症和心血管疾病的风险^[1]。

天然的番茄红素是 GB 2760—2011《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》许可使用的着色

剂,可应用于风味发酵乳和饮料类。番茄红素的生产方法有天然番茄红素提取法、化学合成法及微生物发酵法。天然番茄红素的研究主要集中于生物活性、提取工艺及分析检测等。本文按提取方法分析了国内外近十年来天然番茄红素提取工艺的研究概况。

1 有机溶剂萃取法

有机溶剂萃取法是提取生物活性物质的传统方法,主要涉及两个过程:溶剂萃取和蒸发溶剂。其优点是设备投资成本较低、工艺技术成熟。番茄红素是一种脂溶性色素,常用的提取剂有正己烷、乙醇、丙酮、石油醚、乙酸乙酯等,影响因素主要有提取剂、温度、时间、料液比、粒度、浸提次数、pH值等。

李芳等^[3]以番茄酱为原料、乙酸乙酯为提取剂,得到的番茄红素最佳提取条件为:浸提温度 45℃,液料比(mL/g)3:1,时间 35 min,浸提 3 次,一次提取率为 72.98%,总提取率为 87.73%。徐媛等^[4]以红葡萄柚为原料提取番茄红素,用石油醚作提取剂,通过响应面法优化得到的最佳提取条件为:提取温度 30℃,时间 3.8 h,液料比(g/mL)为 3.5:1,产品中番茄红素质量浓度为 15.61 μg/mL。李丽杰

收稿日期:2013-08-29

作者简介:林泽华,男,硕士研究生,研究方向为食品生物技术;

*任娇艳,女,教授,博士,主要从事食品生物技术方面的研究。通讯作者。

等^[5]以圣女果为原料,用氯仿-正己烷(2:1)作提取剂,等体积无水乙醇浸泡2 h 预处理,优化得到的工艺参数为:液料比(mL/g)3:1,浸提温度40℃,时间2.5 h,番茄红素得率为4.08 mg/100 g. Kaur 等^[6]以干燥的番茄皮渣为原料,用正己烷、丙酮与乙醇之比为2:1:1(含0.05%二丁基羟基甲苯即BHT)的溶液作提取剂,通过响应面优化得到的最佳提取条件为,液料比(mL/g)30:1,提取4次,温度50℃,提取8 min,番茄红素得率为1.99 mg/100 g. Ishida 等^[7]以干番茄粉为原料,开发了一种新型环保而且效果优于乙酸乙酯的提取剂即乳酸乙酯,发现加入抗氧化剂 α -生育酚或 α -硫辛酸可以改善提取效果,添加量均为20 g/L;对于橘红色番茄,在温度为60℃,提取时间4 h,加入 α -生育酚的条件下,番茄红素得率为2 431.47 μ g/(g 干基).

有机溶剂萃取法的优点是操作简单且易于实现工业化,但是对于番茄红素的提取存在着选择性不高、萃取得率较低的缺点,常常需要利用多种溶剂进行提取,因而增加了安全性风险. 另外由于番茄红素在较高的温度下易发生异构化反应和氧化反应,需要考虑温度对番茄红素的影响.

2 超临界 CO₂ 萃取法

超临界流体萃取是通过升温和加压使流体在高于临界温度和临界压力的状态下萃取目标组分的分离技术. 流体在超临界状态下,密度接近于液体、黏度接近于气体而扩散性介于二者之间. 萃取的原理是通过改变温度或压力来改变超临界流体的密度,从而改变流体的溶解能力. 影响因素主要有萃取压力、温度、时间、CO₂ 流量、夹带剂、原料水分含量、原料粒度等^[8-9].

袁永成^[10]以番茄皮渣为原料,皂化预处理后采用超临界 CO₂ 萃取,得出的最优工艺条件为:夹带剂为正己烷(20%),萃取时间2 h,萃取温度55℃,萃取压力35 MPa,番茄红素得率为16.3 mg/100 g. Rozzi 等^[11]以番茄渣为原料,利用超临界萃取法提取番茄红素,得出最佳提取条件为:萃取温度86℃,压力34.47 MPa,CO₂ 流速2.5 mL/min,萃取时间200 min,提取率为61.0%. Shi 等^[12]以番茄皮为原料,研究了不同夹带剂对超临界萃取番茄红素的影响,得出夹带剂对提取率的影响由大到小顺序为橄榄油、乙醇、水;最佳提取条件为:温度75℃,压力

35 MPa,夹带剂为乙醇(10%)和橄榄油(10%)混合物,提取率为73.3%. Kassama 等^[13]以番茄皮为原料,用95%乙醇作夹带剂,通过响应面法优化得到的最佳萃取条件为:温度62℃,萃取压力45 MPa,夹带剂质量分数为14%,全反式番茄红素的提取率为33%. Siti 等^[14]利用从番茄籽中萃取得到的番茄籽油作夹带剂,得出最佳萃取条件为:温度90℃,压力40 MPa,原料中籽与皮的质量百分数为58.73%,原料粒径为(1.05 ± 0.10) mm,萃取时间180 min,番茄红素提取率为56%.

超临界 CO₂ 萃取法的优点是提取效率高、得率高并且环境友好,缺点是设备成本高. 由于番茄红素在 CO₂ 中溶解度有限,需使用夹带剂来提高萃取率,并寻找合适的食用油为夹带剂^[8].

3 酶解辅助萃取法

酶解辅助萃取法是一种条件温和、环境友好的提取方法. 利用特定酶来降解或破坏细胞壁或细胞膜中的果胶、糖蛋白、纤维素和半纤维素,使生物活性物质从细胞中释放出来,能够减少使用有机溶剂,加快提取速度并提高萃取得率. 番茄中的番茄红素大部分是以与脂蛋白结合的形式存在于色素母细胞中^[14]. 常用的酶有纤维素酶、果胶酶、半纤维素酶、胃蛋白酶等. 影响酶解辅助萃取的因素主要有:酶的种类、加酶量、酶解温度、酶解时间、pH 值、预处理等.

周丹丹等^[15]使用固定化果胶酶辅助萃取番茄酱中的番茄红素,利用明胶固定化酶,优化的工艺条件为:加酶量0.1%,酶解时间1 h,温度45℃,pH 值的最适范围为5~6;酶解后离心去上清液,用乙酸乙酯作提取剂,料液比(g/mL)为1:1,浸提2 h,番茄红素相对提取率为92.4%. 固定化酶的性质稳定,处理7次后提取率降低为21.5%,相对酶活力为70%. Choudhari 等^[16]分别利用果胶酶和纤维素酶辅助萃取不同原料中的番茄红素. 对于番茄皮,果胶酶能使得率增加,效果优于纤维素酶;对于番茄渣,优化的工艺参数为,纤维素酶质量分数3%,温度55℃,pH 值4.5,时间15 min,得率增加61%;果胶酶质量分数为2%,温度60℃,pH 值为5,时间20 min,得率增加45%. Cuccolini 等^[17]以番茄皮为原料,优化得到的提取工艺为:用4%的NaOH溶液在70℃下预处理2 h,然后加入盐酸使pH 值降至

2.2,离心后去上清液,得到色素母细胞沉淀;用3%的纤维素酶和果胶酶(质量比1:1)在温度为50℃,pH值为4.5时酶解4h;离心后用混合蛋白酶(Prolzyme 1000)进行二次酶解,最终产品番茄红素的质量分数为8%~10%,是原料含量的30倍. Zuorro等^[18]用体积比为1:1的果胶酶(Peclzyme PR)和纤维素酶(Cellulzyme 50LC)辅助萃取番茄渣中的番茄红素,在液料比(mL/g)为60:1的条件下,通过响应面法优化得到最优工艺参数为:温度30℃,萃取时间3.18h,酶与原料质量比为16%,提取率为67.87%.

利用食品级细胞壁降解酶类(如果胶酶、纤维素酶、半纤维素酶等)水解番茄等原料中的细胞壁多糖,可以减少萃取过程中的传质障碍,进而提高萃取得率. 酶解辅助萃取法操作条件温和、提取时间短,比较适合番茄红素这类易被氧化降解物质的提取,但需要考虑酶制剂的成本及其在有机溶剂中的活性问题.

4 超声波辅助萃取法

超声波辅助萃取技术是利用超声波的空化效应、机械效应、热效应等多级效应来辅助和强化溶剂萃取的一种新型化工分离技术. 超声波能产生并传递强大的能量,在液体里产生空化效应. 空化效应产生极大的压力而破坏细胞壁及整个固体颗粒. 同时,超声波产生的机械振动加强了胞内物质的释放、扩散及溶解,强化有效成分的提取. 空化效应的大小取决于超声波性质、产品的特性(如黏度和表面张力)以及环境条件(如温度和压强).

蔡基智等^[19]以番茄渣为原料,用乙酸乙酯与丙酮(2:1)混合液作提取剂,优化得到的工艺参数为:料液比(g/mL)为1:5,超声功率80W,提取时间20min,温度40℃,pH值为6,番茄红素提取率为62.52%. Zhang等^[20]以番茄渣为原料,用乙酸乙酯作提取剂,在超声功率为50W,频率为40kHz的条件下,通过响应面法优化得到的最佳条件为:提取温度86.4℃,液料比(mL/g)为8.0:1,提取时间29.1min,番茄红素提取率为89.4%. Eh等^[21]以冻干的番茄浆为原料,在超声频率为37kHz,功率为140W,提取剂为正己烷、丙酮与乙醇(2:1:1)混合液的条件下,通过响应面法优化得到的最优工艺参数为:萃取时间45.6min,温度47.6℃,液料比(mL/g)为74.4:1,番茄红素提取率为99%,产品中全反式番

茄红素质量比为(5.11±0.27)mg/(g干基). Xu等^[22]以红葡萄柚为原料,用石油醚、丙酮与95%乙醇(2:1:1)混合溶剂(含2%二氯甲烷和0.5%BHT)作提取剂,在超声功率为20kHz条件下,得出的提取工艺为:提取时间30min,提取温度30℃,液料比(mL/g)3:1,超声强度605W/cm²,占空比为66.7%,产品中全反式番茄红素的质量分数为87.1%. Kumcuoglu等^[23]以番茄渣为原料,在提取剂为正己烷、丙酮与乙醇(2:1:1)混合溶剂(含0.05%BHT),超声频率为24kHz的条件下,得出最优提取工艺为:液料比(mL/g)为35:1,超声功率90W,提取时间30min,番茄红素得率为(89.9±0.87)mg/kg.

对于天然番茄红素的提取,超声波辅助萃取能有效提高萃取得率并缩短萃取时间,与其他新型萃取技术如微波辅助萃取等相比,它的设备价格更低而且操作简单. 工业应用时,需考虑超声波在介质中会随着传播距离的增大而振幅逐渐衰减的问题,超声和酶解协同辅助萃取是一个解决办法.

5 微波辅助萃取法

微波辅助萃取技术是利用微波的热效应、生物效应等多级效应来辅助和强化溶剂萃取的一种新型化工分离技术. 微波是通过离子传导和偶极子转动两种方式内外同时加热. 在微波电场的作用下会引起水分子等极性分子强烈极性振荡,破坏或削弱氢键、范德华力、疏水相互作用、离子键等次级键. 加入极性有机溶剂(乙醇、甲醇等)或者盐类可改善加热效果.

陈剑波等^[24]以新鲜番茄为原料,采用表面活性剂协同微波萃取番茄红素,得出最优工艺条件为:乙酸乙酯作提取剂,加入0.1%表面活性剂CSB-50(椰油酰胺基丙基羟磺基甜菜碱),微波功率464W,提取时间100s,料液比(g/mL)为1:3,一次提取率为76.4%. 张素霞^[25]采用氯仿-丙酮(2:1)为提取剂萃取番茄中的番茄红素,得到的最佳工艺条件为:料液比(g/mL)1:3,微波功率360W,时间15s,萃取2次,提取率为97.81%. 陶婷婷等^[26]使用微波法从新鲜番茄中提取番茄红素,以乙酸乙酯作提取剂,通过响应面法优化得到的最佳提取条件为:微波功率500W,时间160s,液料比(mL/g)8.2:1,提取3次,番茄红素得率为3.047mg/(g干基). 赵娟娟^[27]以

番茄渣为原料,发现微波辅助比超声波辅助效果好,响应面法优化得到的工艺参数为:微波功率 400 W、料液比(g/mL)1:4、提取时间 35 s,提取 2 次,番茄红素提取率超过 97%。苏亚洲^[28]以番茄皮为原料,用乙酸乙酯作提取剂,发现当番茄皮含水量为 30% 时有利于微波辅助萃取,得到的最佳工艺条件为:提取时间 60 s,液料比(mL/g)12:1,微波功率 540 W,提取 4 次,番茄红素提取率为 92.37%。微波提取法的提取率高,是溶剂法的 1.139 倍,超声波法的 1.003 倍。提取时间是溶剂法的 1.3%,超声波法的 4.4%。

微波辅助萃取番茄红素具有提取效率高、溶剂消耗少、提取率大的优点,但是由于番茄红素在较高的温度下易发生异构化反应和氧化降解反应,而且微波对极性物质具有选择性加热效应,因此采用微波辅助萃取时要尽可能选择介电常数小的溶剂。

6 超声波-微波协同萃取法

超声波-微波协同萃取法是利用微波功率和辐照时间连续可调,超声振动、微波加热方式和程度可任意组合和设定来强化萃取的新型分离技术。它保留了微波辅助和超声波辅助的优点,并克服了微波穿透能力有限和萃取不均匀、超声波声振效率低和噪声大的缺点。

Zhang 等^[20]以番茄渣为原料,在微波功率为 98 W(频率为 2 450 MHz),超声频率为 40 kHz(功率为 50 W)的条件下,用乙酸乙酯作提取剂,通过响应面法优化得到的最优工艺为:液料比(mL/g)为 10.6:1,提取时间 367 s,提取温度 86.4 °C,番茄红素提取率为 97.4%,高于超声法的提取率(89.4%),提取时间是超声法的 0.21 倍。

超声波-微波协同萃取法兼具二者的优点,提取率高、萃取时间短。然而,关于超声波-微波协同萃取法的传质机理以及超声波-微波协同对番茄红素的结构及活性的影响目前尚不明确。

7 超高压辅助萃取法

超高压辅助萃取法是利用超高压(大于 100 MPa)改变基质材料组织结构、减少溶质扩散阻力,同时为溶质扩散提供高压传质动力,来辅助和强化溶剂萃取的新型非热技术。

靳学远等^[29]采用超高压辅助提取番茄皮渣中

的番茄红素,以正己烷作提取剂,得到的最佳工艺条件为:压力 300 MPa,保压时间 5 min,固液比(g/mL)为 1:10,提取 3 次,番茄红素提取率为 83.2%。孙培冬等^[30]研究了超高压预处理对番茄红素提取的影响,得到的最佳条件为:压力 200 MPa,3 次加压,每次加压 15 min。在此条件下,前 3 次的提取量是未经高压处理时的 4.8 倍。刘泽龙^[31]以番茄为原料,通过混合设计和响应面分析得出超高压辅助提取的最佳工艺为:静压力 168 MPa,液固比(mL/g)17.6:1,保压时间约 2 min,加卸压 3 次,压媒温度 40 °C,番茄红素提取率为 94.5%。Xi^[32]应用高静水压辅助提取番茄渣中的番茄红素,得出的最佳工艺参数为:室温处下处理,静压力 500 MPa,保压时间 1 min,提取剂为 75% 乙醇,固液比(g/mL)1:6,提取率为 92%;Xi^[33]还对比了高静水压处理和索氏抽提二者的提取效果,在提取剂均为 75% 乙醇,固液比(g/mL)为 1:5 的条件下,500 MPa 高静水压室温下处理 1 min 的萃取得率为(41.73 ± 3.07) mg/100 g,显著高于索氏抽提处理 30 min 的得率(35.61 ± 2.34) mg/100 g。

目前关于超高压辅助萃取番茄红素的研究较少,虽然该方法加工成本较高且处理量较少,却是一种具有开发前景的非热加工技术。实际应用时还需考虑超高压工艺参数对番茄红素稳定性的影响。

8 高压脉冲电场辅助萃取法

高压脉冲电场辅助提取技术是使脉冲高电压(通常大于 20 kV/cm)作用于液态原料基质,利用脉冲电场产生的电穿孔效应等多级效应破坏细胞膜来辅助和强化溶剂萃取的新型非热提取技术。

金声琅等^[34]采用高压脉冲电场辅助提取番茄皮渣中的番茄红素,得出的最佳条件为:以乙酸乙酯为提取剂,电场强度为 30 kV/cm,液料比(mL/g)为 9:1,脉冲数为 8,温度为 30 °C。单次提取时,番茄红素提取率为 96.7%,是有机溶剂法的 2.4 倍,微波辅助法的 1.23 倍,超声波辅助法的 1.04 倍,且处理时间短(16 μs)。Eda^[35]以番茄为原料,在提取剂为水、液料比(mL/g)为 10:1 的条件下,优化得到的电场处理工艺为,电场强度 80 V/cm,时间 4 s,番茄红素提取率提高 112.4%。

高压脉冲电场辅助提取法具有提取时间短、提取率高、处理条件温和等优点,尤其适用于热敏性物

质的提取. 关于高压脉冲电场工艺参数对番茄红素稳定性的影响及萃取机理等方面的基础研究尚待深入. 应用脉冲电场技术的障碍主要为:1)因操作方式和材料等的不同使得文献的研究结果难以进行对比;2)由于该技术本身的复杂性而难以实现工艺条件的实时监控^[36].

9 存在的问题与展望

番茄红素是具有重要生理活性的脂溶性色素,在较高的温度下易发生异构化反应和氧化降解反应,在萃取的过程中应注意番茄红素的保护问题. 国外对超临界萃取番茄红素的研究相对较为深入,而寻找合适的夹带剂是一个突破口. 由于天然番茄红素存在于色素母细胞中并被细胞壁包裹,酶解辅助可有效改善萃取效果,但需解决酶的成本高和利用率低的问题. 超声法能有效提高番茄红素萃取率并缩短提取时间,然而超声波在介质中会随着传播距离的增大而振幅逐渐衰减,这是工业化应用需解决的问题. 高压脉冲电场辅助提取法适用于热敏性物质的提取,但是关于脉冲电场工艺参数对番茄红素稳定性的影响等方面的研究尚待深入. 未来的研究应集中于萃取机理、工艺参数对番茄红素结构及活性的影响,以及多技术联用协同萃取及工艺的优化,同时应注重开拓原料来源,降低提取成本以及实现原料的综合利用.

参考文献:

- [1] Omoni A O, Aluk R E. The anticarcinogenic and anti-atherogenic effects of lycopene; a review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2005, 16(8):344-350.
- [2] Cohen L A. A review of animal model studies of tomato carotenoids, lycopene, and cancer chemoprevention[J]. Experimental Biology and Medicine, 2002, 227(10):864-868.
- [3] 李芳,孔令明,冯作山.天然番茄红素提取方法的实验研究[J].现代食品科技,2006,22(4):74-77.
- [4] 徐媛,王鲁峰,徐晓云,等.响应曲面法优化红葡萄柚番茄红素的提取工艺[J].食品科学,2010,31(22):255-259.
- [5] 李雨杰,武瑞赞.圣女果番茄红素提取工艺优化[J].食品科学,2012,33(22):158-161.
- [6] Kaur D, Wani A A, Oberoi D P S, et al. Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology[J]. Food Chemistry, 2008, 108(2):711-718.
- [7] Ishida B K, Chapman M H. Carotenoid extraction from plants using a novel, environmentally friendly solvent[J]. J Agric Food Chem, 2009, 57(3):1051-1059.
- [8] Kadam S U, Tiwari B K, O'Donnell C P. Application of novel extraction technologies for bioactives from marine algae[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(20):4667-4675.
- [9] Zuknik M H, Nik Norulaini N A, Mohd Omar A K. Supercritical carbon dioxide extraction of lycopene; A review[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 112(4):253-262.
- [10] 袁永成.番茄皮渣中番茄红素的提取稳定性及其抗氧化性研究[D].南昌:南昌大学,2011.
- [11] Rozzi N L, Singh R K, Vierling R A, et al. Supercritical fluid extraction of lycopene from tomato processing byproducts[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2002, 50(9):2638-2643.
- [12] Shi J, Yi Chun, Xue J S, et al. Effects of modifiers on the profile of lycopene extracted from tomato skins by supercritical CO₂[J]. Journal of Food Engineering, 2009,93(4):431-436.
- [13] Kassama L S, Shi J, Mittal G S. Optimization of supercritical fluid extraction of lycopene from tomato skin with central composite rotatable design model[J]. Separation and Purification Technology, 2008, 60(3):278-284.
- [14] Siti M, Zakaria S W, Mitsuru S, et al. Lycopene extraction from tomato peel by-product containing tomato seed using supercritical carbon dioxide[J]. Journal of Food Engineering, 2012, 108(2):290-296.
- [15] 周丹丹,吴晓英,甄双荣.固定化果胶酶提取番茄红素的工艺研究[J].现代食品科技,2008,24(11):1157-1159.
- [16] Choudhari S M, Ananthanarayan L. Enzyme aided extraction of lycopene from tomato tissues[J]. Food Chemistry, 2007, 102:77-81.
- [17] Cuccolini S, Aldini A, Visai L, et al. Environmentally friendly lycopene purification from tomato peel waste: enzymatic assisted aqueous extraction[J]. J Agric Food Chem, 2013, 61(8):1646-1651.
- [18] Zuurro A, Fidaleo M, Lavecchia R. Enzyme-assisted extraction of lycopene from tomato processing waste[J]. Enzyme and Microbial Technology, 2011, 49(6-7):567-573.
- [19] 蔡基智,周芳梅.超声法辅助提取番茄渣中番茄红素的工艺研究[J].现代食品科技,2010,26(7):724-727.
- [20] Zhang Lianfu, Liu Zelong. Optimization and comparison of ultrasound/microwave assisted extraction and ultrasonic assisted extraction of lycopene from tomatoes[J]. Ultra-

- sonics Sonochemistry, 2008, 15(5):731-737.
- [21] Eh Alice Lee-Sie, Teoh Siang-Guan. Novel modified ultrasonication technique for the extraction of lycopene from tomatoes[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2012, 19(1):151-159.
- [22] Xu Y, Pan S. Effects of various factors of ultrasonic treatment on the extraction yield of all-trans-lycopene from red grapefruit (*Citrus paradise* Macf.) [J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2013, 20(4):1026-1032.
- [23] Kumcuoglu S, Yilmaz T, Tavman S. Ultrasound assisted extraction of lycopene from tomato processing wastes [J]. Journal of Food Science and Technology, 2013(1):1-6.
- [24] 陈剑波,郭利平,孟巨光. 表面活性剂协同微波辐射萃取番茄红素的研究[J]. 食品与发酵工业, 2006,32(12):161-163.
- [25] 张素霞. 番茄红素的微波提取及其稳定性的研究[J]. 中国调味品,2009,34(4):106-109.
- [26] 陶婷婷,邱伟芬. 微波辅助提取新鲜番茄中番茄红素的工艺优化[J]. 食品与发酵工业,2010,36(3):172-178.
- [27] 赵娟娟. 超声波法和微波法提取番茄红素的比较研究[J]. 中国酿造,2010(9):109-111.
- [28] 苏亚洲. 番茄皮中番茄红素的提取分离及稳定性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2010.
- [29] 靳学远,李晓,秦霞,等. 超高压提取番茄渣中番茄红素的工艺优化[J]. 食品科学,2010,31(2):25-27.
- [30] 孙培冬,刘云秋,孙燕鼎. 高压法提取天然色素[J]. 中国食品添加剂,2005(5):111-116.
- [31] 刘泽龙. 番茄红素高效提取与浓缩工艺的研究[D]. 无锡:江南大学,2008.
- [32] Xi J. Application of high hydrostatic pressure processing of food to extracting lycopene from tomato paste waste [J]. High Pressure Research, 2006, 26(1):33-41.
- [33] Xi J. Effect of high pressure processing on the extraction of lycopene in tomato paste waste [J]. Chemical Engineering & Technology, 2006, 29(6):736-739.
- [34] 金声琅,殷涌光. 高压脉冲电场辅助提取番茄皮渣的番茄红素[J]. 农业工程学报,2010,26(9):368-373.
- [35] Eda Toprak Aktas. Effects of electroporation treatment on chlorophyll and carotenoid extraction yield from spinach and tomato [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(4):339-346.
- [36] Soliva-Fortuny R, Balasa A, Knorr D, et al. Effects of pulsed electric fields on bioactive compounds in foods: a review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2009, 20(11-12):544-556.

Research Progress on Extraction Techniques of Natural Lycopene

LIN Zehua, REN Jiaoyan*

(College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: Lycopene is a food coloring agent and the outstanding antioxidant and anticancer properties of lycopene make it an ideal component for daily food supplements. In this paper, the research advances of lycopene extraction by different techniques in recent ten years were reviewed, including conventional solvent extraction, supercritical CO₂ extraction, enzyme-assisted extraction, ultrasound-assisted extraction, microwave-assisted extraction, ultrasonic-microwave assisted extraction, ultrahigh pressure assisted extraction, and high-intensity pulsed electric fields assisted extraction. The advantages and disadvantages of the techniques were given, which could supply useful information for further research on lycopene and other natural pigments.

Key words: lycopene; supercritical CO₂ extraction; enzyme; ultrasound; microwave; ultrahigh pressure; assisted extraction

(责任编辑:叶红波)