

辣椒红素提取技术与生物活性研究进展

欧阳世钰 徐晨曦 张洁 阎茹意 王艺霏
湖南农业大学

DOI:10.12238/as.v7i6.2590

[摘要] 近年来,对辣椒红素的研究不断深入,特别是在提高其提取效率和稳定性方面取得了显著进展。本文对此进行筛选总结,讨论技术包括有机溶剂萃取、超声波溶剂提取、超临界CO₂萃取技术、酶法提取,同时加以比较概括。此外,对辣椒红素生物活性的研究也日益增多,主要应用趋势向人体健康转变,其在医药和化妆品领域的应用前景广阔。

[关键词] 辣椒红素; 生物活性; 提取技术

中图分类号: S641.3 **文献标识码:** A

Progress in capsaicin extraction technology and biological activity

Shiyu Ouyang Chenxi Xu Jie Zhang Ruyi Yan Yifei Wang

Hunan Agricultural University

[Abstract] In recent years, the research on capsanthin has been deepened, especially in improving its extraction efficiency and stability. In this paper, the technologies discussed include organic solvent extraction, ultrasonic solvent extraction, supercritical CO₂ extraction, enzymatic extraction. In addition, the research on the biological activity of capsanthin is also increasing, and the main application trend is changing to human health, and its application prospects in the field of medicine and cosmetics are broad.

[Key words] capsanthin; extraction technology; biological activity

引言

辣椒红素是一种天然有机化合物,化学结构为8-甲基-N-香草基-6-壬烯基。是从成熟红辣椒果实中提取的四萜类天然色素,属于类胡萝卜素^[2]。易溶于植物油和丙酮等,不溶于甘油和水。辣椒红素含量平均值为139.87mg/100g。

现有辣椒红素提取技术有:油溶法、溶剂提取法、超声波溶剂提取法、超临界CO₂流体萃取法、酶法提取、微波辅助萃取法等。提取技术仍受成本、效率与环保性问题所制约。

辣椒红素生物活性作用发掘,因存有清除自由基、抗氧化、调节细胞凋亡等作用。在食品、化妆品、医药等领域有着广泛的应用前景。^[1]

1 辣椒红素提取技术^[4]

提取技术近年来根据相关需求,不断步有传统提取方法:油溶法、溶剂提取法、超声波溶剂提取法;新型提取技术:超临界CO₂流体萃取法(超临界流体是一种具有类似液体的密度和气体黏度特性的物质)、酶法提取、微波辅助萃取法等。科学家们在具体技术上,调整不同条件,以获得适合科研目的的最佳提取方式。下述讨论基于紫外可见分光光度计测量下的辣椒红素的色价,统一比较不同提取方式的效果。

1.1 有机溶剂萃取法。以有机溶剂为提取溶剂,抽滤后取滤

液,得到一定的辣椒红素粗产品。

影响因素:提取溶剂、提取温度、提取次数、料液比、提取时间。

根据有关调查^[5],相关溶剂可采用95%乙醇、乙酸乙酯等,其中萃取效果最好为95%乙醇。而其余影响因素根据溶剂,重要顺序改变。

综上所述,在实验过程中,溶剂的选取至关重要,而在工业生产中需要考虑其他影响因素,如:烘干粉碎和粉碎挤压造粒都有利于提取,但粉碎挤压造粒更利于实际应用。总体而言传统的有机溶剂萃取法提取辣椒红素耗时长。

1.2 超声波溶剂提取法。超声波提取将提取溶剂作为溶剂放入锥形瓶中。把溶剂加热至预设温度时,将所需提取的红辣椒粉加入到锥形烧瓶中进行超声波浴。该过程利用超声波所具有的机械效应,空化效应和热效应,通过增大介质分子的运动速度、增大介质的穿透力以提取生物有效成分。

相关影响因素有:提取溶剂、固液比、超声时间、温度、液料比等。

相关实验以Fick第一定律为基础,建立了超声波辅助^[8]提取辣椒中辣椒素的数学模型。本次讨论基于该模型,通过比较不同提取方法提取得到的色价和得率,得出判断:最佳工艺条件为:

提取剂为丙酮,固液比1:20,超声时间25min,超声温度35℃。

相关实验得出结论,超声辅助提取法^[3]提取效果要优于有机溶剂法和酶辅助提取工艺,该过程在室温25℃或低温条件下进行,避免物料中的热敏性成分破坏。

1.3超临界CO₂萃取技术。该技术利用CO₂在超临界状态下的物理性质,通过调节压力和温度来精确控制其溶解能力,从而实现目标组分的有效萃取。在超临界状态下,CO₂的物理性质介于气态和液态之间,具有类似气体的扩散系数和液体的溶解力,能够迅速渗透进固体物质中,高效提取其有效成分。^[6]

该方法有以下影响因素:萃取压力、萃取时间、粉碎粒度、萃取温度。此外,添加夹带剂对辣椒红素萃取效果有一定影响。

结合有关实验,超临界CO₂萃取最佳工艺条件为萃取压为25MPa,萃取温度40℃,萃取时间4h,乙醇质量分数10%,乙醇体积分数95%。

表1 不同影响因素超临界CO₂萃取技术的辣椒红素提取率

实验序号	萃取粒度	萃取时间	萃取温度	萃取压力	辣椒红素提取率
1	60	30	20	35	0.088
2	60	60	25	45	0.089
3	60	90	30	55	0.087
4	80	30	20	35	0.093
5	80	60	25	45	0.096
6	80	90	30	55	0.094
7	100	30	20	35	0.099
8	100	60	25	45	0.102
9	100	90	30	55	0.105

1.4酶法提取辣椒红素^[10]。具体操作:称取一定数量辣椒粉,移至纤维素酶溶液中,在一定温度下进行酶解。酶解后在100℃沸水中进行灭酶15min后离心10min,去上清液后得到辣椒粉酶解产物。

影响因素:酶添加量、酶解时间、酶解温度。

由于细胞壁的阻拦,辣椒素的溶出速率较低,用纤维素酶破坏植物细胞壁可以加快红色素的溶出。与传统的油溶法、有机溶剂法相比,辅酶提取法的提取率高、提取时间短、产品纯度高,是一种实现高效、节能、环保式提取的现代高新技术手段。

1.5微波辅助萃取法。具体操作:微波辅助提取是另一种类型的提取技术,其使用频率范围为300MHz至300GHz的非电离波。这些波可以产生快速的热量,诱导细胞损伤并增强溶剂扩散,这导致感兴趣的化合物转移到溶剂介质中,从而达到提取目的。^[7]

影响因素:微波功率、微波时间(min)、固液比(g/mL)。

与传统提取方法相比具有穿透力强、选择性高、提取时间短、节约能源等优点,是天然产物提取中一种非常有发展潜力的新型技术因此受到众多研究者的青睐。本研究运用微波辅助萃取法从天然红辣椒中提取辣椒红素,并通过单因素试验和响应面法获得其提取工艺的最优工艺条件。

2 辣椒红素生物活性研究^[9]

表2 不同影响因素微波辅助萃取的辣椒红素提取率

实验序号	固液比(g/ml)	超声时间(min)	微波功率(℃)	辣椒红素得率
1	1:10	1	1	0.087
2	1:10	1.5	2	0.086
3	1:10	2	3	0.094
4	1:15	1	1	0.096
5	1:15	1.5	2	0.093
6	1:15	2	3	0.095
7	1:20	1	1	0.099
8	1:20	1.5	2	0.101
9	1:20	2	3	0.105

2.1清除自由基、抑制脂质过氧化。辣椒红素抑制过氧化物^[11]的形成以及β-胡萝卜素,叶黄素和玉米黄质。辣椒红色素的分解速度比其他类胡萝卜素慢,辣椒红色素的自由基清除作用持续时间更长。这一发现表明,辣椒红色素的清除自由基能力不受酯化的影响从而发现酯化辣椒红素也是良好的自由基清除剂。

辣椒红素抗氧化的机制^[13]:抑制ROS的生成,减弱细胞外信号调节激酶和p38MAPK的磷酸化,但JNK不受影响。辣椒红素还能够抑制TPA诱导的炎症反应。综上即辣椒红素可以通过抗氧化和对哺乳动物po1λ的抑制作用而发挥抗炎功能。

2.2抑制肿瘤细胞增殖、诱导肿瘤细胞凋亡方面的作用。有关实验以叶黄素为参照对象,验证了辣椒红素在诱导细胞凋亡的作用。结果得出辣椒红素通过吸收破坏正常细胞周期的UVA(320-400nm)和UVB(290-320nm)光,从而起到诱导细胞凋亡作用,从而使细胞正常完成细胞周期,确保人体系统正常运行。

癌细胞是一种变异的细胞,相对于正常细胞而言,在分化过程中出现了异常的分化,可无限增殖,过度汲取生物体营养。辣椒红素则通过某种手段截断相关信号发送的物质促成细胞周期顺利完成,从而促进肿瘤细胞凋亡。^[14]

2.3预防心血管疾病、调节血糖、改善肥胖^[16]。肥胖与肌肉、肝脏和脂肪组织中的低度炎症有关。

脂肪细胞是一种重要的内分泌细胞,为脂肪细胞因子的介质。这些脂肪细胞调节脂质代谢、血糖代谢和血压,诱导低度慢性炎症,促成肥胖。

在一项体外研究中^[15],辣椒类胡萝卜素通过促进小脂肪细胞的分化来促进脂联素的分泌。3T3-L1前脂肪细胞在存在辣椒红素类胡萝卜素的分化培养基中培养。结果,辣椒类胡萝卜素处理增加了脂联素mRNA的表达和分泌。此外,用辣椒类胡萝卜素处理的细胞通过减少脂肪吸收和能量摄取、消耗过多能量及减少脂肪生成,从而达到减肥的目的。

2.4抗辐射、抗衰老等方面的潜在应用。抗辐射:用1μmol/L辣椒红素处理人皮肤成纤维细胞,可显著抵消0~300mJ/cm²紫外线诱导的细胞毒性,显著抑制紫外线照射引起的DNA链断裂,还能减少紫外线诱导的细胞凋亡,由此可知,辣椒红素能够作为

自然光辐射的保护剂。

抗衰老: 大脑中影响老年学习障碍的部位有两个, 顶叶皮层和海马体。Suganuma等研究发现, 与普通饲料相比, 食用含质量分数0.1%辣椒红素饲料的模型小鼠的顶叶相关酶活性增强, 但海马体相关酶活性不受影响。然而, 背侧海马在空间认知中的作用更大, 因此以上结果表明辣椒红素的摄入可以略微提高被动回避的学习能力, 但对空间知觉没有影响。

3 辣椒红素的应用前景与挑战

3.1应用前景。在食品工业中, 由于其独特的鲜艳红色和辣味, 辣椒红色素成为辣味食品、调味料、香辣食品等领域的必备原料。

辣椒红色素也被广泛应用于化妆品工业。在口红、眼影、腮红等化妆品中增加产品的色泽和稳定性, 提高产品的抗氧化性能^[12], 延长产品的保质期。

在医药工业中, 研究表明, 辣椒红色素具有一定的药理作用, 如抗炎、镇痛、止痒等。因此, 在制作药物、药膏等领域, 辣椒红色素可以作为添加剂或活性成分, 提高产品的药效和稳定性。此外, 辣椒红色素还具有提高免疫力和抗癌作用的研究价值受到广泛关注。

3.2面临的挑战。辣椒红素提取技术的成本、效率与环保性问题。原料成本: 辣椒红素的主要原料是红辣椒, 其价格会受到市场供需、产地等因素的影响。^[10]

提取方法: 不同的提取方法对成本有显著影响。溶剂提取法操作简便但效率较低, 超声波提取法效率高但需考虑溶剂回收问题, 超临界CO₂萃取法纯度高但设备投资大, 微波辅助提取法速度快但需控制微波功率和时间设备投资和运营成本。综上所述, 辣椒红素提取的成本受原料成本、提取方法、设备投资和运营成本以及生产规模等因素影响。

4 结论与展望

4.1结论。辣椒红素近年提取技术不断更新, 技术与技术之间互相汲取缺点, 互相补充, 使得提取效率大大提升。

辣椒红素生物活性研究日渐深入, 相关有利作用显现, 使得辣椒红素在食品、化妆品、医药方面的应用区域不断扩大。

4.2展望。辣椒红提取、纯化以及稳定性加工的生产工艺仍需进一步研究, 以提高辣椒红素的产量和品质。辣椒红素在体内的代谢复杂, 容易经氧化或酶途径发生改变, 其中间代谢产物及作用机制有待进一步研究。

抗衰老及抗癌等方面研究仍需继续, 相关确切机制不清晰, 如: 辣椒红素发挥抗癌功能的可能机制有: 抑制癌细胞增殖、诱导癌细胞凋亡、减轻氧化应激对机体的致癌作用等等。

[参考文献]

[1]Ersen Eraslan(2022):Capsanthin induces death in human prostate cancer cell lines by inducing DNA damage.

[2]Chikanshi Sharma, Madhu Kamle and Pradeep Kumar (2024):Microbial-Derived Carotenoids and Their Health Benefits.

[3]Long Yue,Feng Zhang&Zhixiang Wang(2012)Ultrasound-Assisted Extraction of Capsaicin from Red Peppers and Mathe-

matical Modeling,Separation Science and Technology,47:1,124-130.

[4]HAN Xiao-lan,HU Yun-feng,ZHAO Xue-zhi,HE Hong-ju(2010):Extraction and Determination of Capsanthin from Paprika.

[5]ZHANG Jing,SHI Lei-ling,LI Hui-ping,JIA Hong-ling(2010):Optimization of Hot Ethanol Reflux Extraction of Capsium Oleoresin for Compromise among Higher Yield and Relative Contents of Capsaicin and Capsanthin.

[6]Deng Chuan Bo,Xia Yan Bin,Deng Jie hong,Luo Feng Lian, Ou Yang Jian Xun(2012):Study on extraction technology of food capsaicin with SFC-CO₂.

[7]DENG Xiang-yuan,LIU Yue-han,GAO Kun,SUN Jun-long(2012):Optimizing Microwave-assisted Extraction Process for Paprika Red Pigments Using Response Surface Methodology.

[8]Han Shi Ming Feng Yu Mei Wu Lian Lian LU Kang Ning (2022):Optimization of ultrasound-assisted Enzymatic Extraction of Red pigment from Capsicum annum by Response surface Method.

[9]Jianjun,ZHU Zhangsheng,CHEN Changming,CHEN Guoju,CAO Bihao ,ZHENG,Jie,WU Hao,XIAO Yanhui,QIU Zhengkun and YAN Shuang shuang(2023):Research Progress on Pepper Main Red Pigments and Their Molecular Mechanisms of Biosynthesis.

[10]LI Tian Tian(2021):Study on the extraction and purification of capsanthin and the stability of capsanthin-loaded nano-emulsion.

[11]Azusa Nishino,Hiroyuki Yasui,and Takashi Maoka(2016):Reaction of Paprika Carotenoids Capsanthin and Capsorubin with Reactive Oxygen Species.

[12]Kim,Suna ,Ha,Tae Youl,Hwang,In Kyeong(2009):Analysis, Bioavailability, and Potential Healthy Effects of Capsanthin, Natural Red Pigment from Capsicum spp.

[13]Li,Yamin.Zhou,Jiawei,Wang,Lutao,Liu,Qingmeng,Zhou,Chao.Liao,Xiali.Yang,Bo(2024):Inclusion complexes of capsanthin with acyclic cucurbit[n]urils to improve its stability and antioxidant capacity.

[14]Wu,Jia-Yan hien,Yi-Chung Tsai,I-Chen Hung, Chih-Chiang Huang, Wei-Chien Liu, Liang-Chih Yu, Yung-Luen(2021):Capsanthin induces G1/S phase arrest, erlotinib-sensitivity and inhibits tumor progression by suppressing EZH2-mediated epigenetically silencing of p21 in triple-negative breast cancer cells.

作者简介:

欧阳世钰(2005--),女,汉族,湖南隆回人,本科,研究方向:辣椒分子遗传育种。(共同第一作者)。

徐晨曦(2005--),女,汉族,浙江衢州人,本科,研究方向:植物激素调控水稻产量形成的生理与分子机制。(共同第一作者)。