

研究报告

Research Report

正交法优化超临界 CO₂ 流体萃取糖茶藨籽油工艺的探究

孙晴^{1,3} 徐文华^{1*} 杨海文² 薛长福² 张世玺² 韩才邦²

1 中国科学院西北高原生物研究所, 青海省青藏高原特色生物资源研究重点实验室, 西宁, 810008; 2 青海省玛可河林业局, 果洛, 814399; 3 中国科学院大学, 北京, 100049

* 通信作者, whxu@nwipb.cas.cn

摘要 采用超临界 CO₂ 萃取技术, 经单因素试验研究投料量、粉碎度、萃取压力、萃取温度和萃取时间对糖茶藨籽油萃取率的影响; 以糖茶藨籽油萃取率为指标, 经正交试验选出最佳萃取工艺条件; 通过 GC-MS 对提取的糖茶藨籽油进行组分分析。结果表明, 最佳糖茶藨籽油的萃取条件为投料量 400 g、粉碎度 35 目、压力 35 MPa、温度 45℃、时间 50 min, 在此条件下糖茶藨籽提油率为 23.23%; 超临界 CO₂ 流体萃取的糖茶藨籽油是澄明的黄色油状液体, 用 GC-MS 检测不饱和脂肪酸含量达 85% 以上, 其中亚油酸含量为 29.57%, 糖茶藨籽油酸价是 1.10 mg/g, 过氧化值是 2.70 mmol/kg。本研究得出该工艺条件可为糖茶藨籽油的提取工艺提供了实验支持和理论依据。

关键词 超临界 CO₂ 萃取, 糖茶藨籽油, 工艺优化, GC-MS

Study on Optimization of Supercritical CO₂ Fluid Extraction of *Ribes himalense* Seed Oil by Orthogonal Method

Sun Qing^{1,3} Xu Wenhua^{1*} Yang Haiwen² Xue Changfu² Zhang Shixi² Han Caibang²

1 Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resources, Northwest Institute of Plateau Biology Chinese Academy of Science, Xining, 810008; 2 Marke River Forestry Bureau, Qinghai Province, Guoluo, 814399; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

* Corresponding author, whxu@nwipb.cas.cn

DOI: 10.13271/j.mpb.018.000602

Abstract The effects of inventory rating, pulverization degree, extraction pressure, extraction temperature and extraction time on the extraction rate of *Ribes himalense* seed oil were studied by single factor experiment using supercritical CO₂ fluid extraction technique. The extraction rate of *Ribes himalense* seed oil was the index. The optimal process conditions were screened by orthog orthogonal test; the components of the extracted *Ribes himalense* seed oil were analyzed by GC-MS. The results showed that the optimum conditions were as follows: feeding amount 400 g, pulverization degree 35 mesh, extraction pressure 35 MPa, extraction temperature 45℃, extraction time 50 min. Under this condition, the extraction rate of *Ribes himalense* was 23.23%; supercritical CO₂ fluid extracted *Ribes himalense* seed oil is a clear yellow oily liquid. The content of unsaturated fatty acid is more than 85% by GC-MS, wherein the linoleic acid content is 29.57%, and the acid value of the *Ribes himalense* seed oil is 1.10 mg/g. The peroxide value was 2.70 mmol/kg. This study concluded that the process conditions are feasible and provided experimental support and theoretical basis for the extraction process of *Ribes himalense* seed oil.

Keywords Supercritical CO₂ extraction, *Ribes himalense* seed oil, Process optimization, GC-MS

基金项目: 本研究由青海省应用基础研究项目(2017-ZJ-749)和青海省重点研发与转化计划项目(2019-NK-C04)共同资助

引用格式: Sun Q., Xu W.H., Yang H.W., Xue C.F., Zhang S.X., and Han C.B., 2020, Study on optimization of supercritical CO₂ fluid extraction of *Ribes himalense* seed oil by orthogonal method, Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding), 18(2): 602-607 (孙晴, 徐文华, 杨海文, 薛长福, 张世玺, 韩才邦, 2020, 正交法优化超临界 CO₂ 流体萃取糖茶藨籽油工艺的探究, 18(2): 602-607)

糖茶藨(*Ribes himalense*)是虎耳草科(Saxifragaceae)茶藨属糖茶藨的果实,分布于海拔 1 300~3 800 m 的山坡灌丛、沟谷、林下及林缘(<http://frps.iplant.cn/frps?id=糖茶藨子>;中国科学院西北高原生物研究所,1991,藏药志, pp.404),在中国分布于西藏、甘肃、青海、云南、陕西、四川、内蒙古等省区,在青海省主要分布于班玛、囊谦、久治和玉树等地(<http://frps.iplant.cn/frps?id=糖茶藨子>),是青海原产的 13 种茶藨属植物中资源较丰、分布广、果实量多且饱满的一个种,为青海省储藏量大、尚未被完全开发的野生特色浆果资源(刘尚武,1999)。茶藨属植物在《晶珠本草》中:味甘、性寒,滋补止泻、敛毒、去黄水、收敛各种脉管病等功效,是一种藏医常用藏药(师治贤等,2005)。一般植物籽油含有不饱和脂肪酸,其能降血脂,防治动脉粥样硬化,可使心血管病的发病率减少,尤其对高血脂、动脉粥样硬化和肥胖病等的防治有益(苏展等,2012,中国畜牧杂志,48(11): 66-70;王武等,2016;黄远英和殷光玲,2017;李小迪等,2017)。糖茶藨为传统藏药材,在中国西部藏区资源丰富,应用广泛,因此我们对糖茶藨籽油的提取工艺和籽油的油脂成分展开研究,为进一步阐释糖茶藨的药效机制提供有用的数据支撑,并为青海丰富的糖茶藨浆果资源的功能性产品开发提供科学依据。

超临界 CO₂ 萃取法是很好的提取天然药物的分离手段,与一般的溶剂法、压榨法相比较,其具有损失小、收率高、无有机溶剂残留等优点(刘晓静和张华,2013)。本研究采用超临界 CO₂ 流体技术提取糖茶藨籽油,探讨了影响超临界 CO₂ 流体提取糖茶藨籽油的因素,经正交优化明确了最佳提取工艺条件,利用 GC-MS 对糖茶藨籽油进行成分分析与含量测定,为糖茶藨籽油的提取工艺和综合开发利用提供有价值的参考。

1 结果与分析

1.1 超临界 CO₂ 萃取糖茶藨籽油单因素试验

1.1.1 投料量对糖茶藨籽油提取的影响

当粉碎度确定时,投料量过大,会使籽粒的聚积密度变大,还增加了 CO₂ 的扩散阻力,导致气流扩散不匀,萃取率降低;当 CO₂ 流量确定时,投料量增大代表每单位面积的原料接触 CO₂ 的流量在变少,从而使萃取率降低。当投料量太少时,不能很好的发挥设备的萃取力,导致设备使用率降低(图 1)。综合上述,投料量 400 g 为宜。

1.1.2 粉碎度对糖茶藨籽油提取的影响

随糖茶藨籽粉碎度增大,萃取率逐步加大,而增加的比率却逐渐变小。是因为粉碎破坏了糖茶藨籽的细胞壁,有利脂肪酸溶解在 CO₂ 中;当粉碎度过大,粒度就会太细,这样会使 CO₂ 流通传质受阻和萃取釜出口的过滤网堵塞,影响了萃取率(图 2)。因此粉碎度选 35 目为佳。

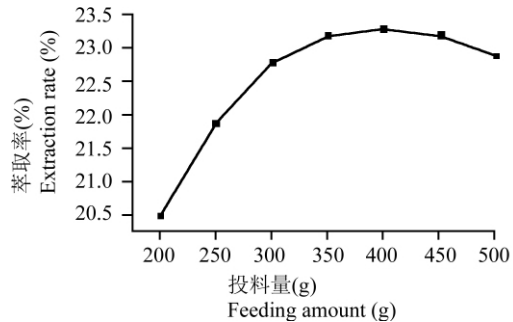


图 1 投料量对萃取率的影响

Figure 1 Effect of feeding amount on extraction rate

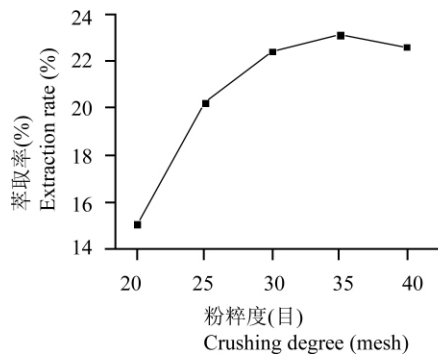


图 2 粉碎度对萃取率的影响

Figure 2 Effect of crushing degree on extraction rate

1.1.3 萃取压力对糖茶藨籽油提取的影响

压力对糖茶藨籽油萃取率的影响比较明显,在其他条件不变时,萃取率随着压力的升高而不断增加,在压力高于 30 MPa 后,萃取率的斜率开始减小,而在 35 MPa 后萃取率开始下降。因在低压时,压力变大能使流体密度、传质效率增加,传质阻力和传质距离减少,有利萃取率的提高;高压时,CO₂ 压缩性和溶解能力有限,当压力升高,萃取选择性出现下降,萃取率降低;同时,高压增加了设备的损耗,易使色素等成分被提取出来,使油的颜色变深,影响了油的品质(图 3)。综合上述,萃取压力应为 35 MPa。

1.1.4 萃取温度对糖茶藨籽油提取的影响

当温度升高,CO₂ 的黏度低,传质系数大,扩散快;同时,溶质溶解度大,进而使萃取率增加。又因温

度过高,使流体密度变小,溶解度变低,反而对萃取不利。温度为 45℃时萃取率最高;当萃取温度高于 45℃时,萃取率出现下降趋势(图 4)。为了不让糖茶蔗籽油的脂肪酸受热分解、保证籽油的品质,萃取温度不应选取太高,因此萃取温度在 45℃为宜。

1.1.5 萃取时间对糖茶蔗籽油提取的影响

前 50 min 内,当萃取时间延长时,萃取率逐渐增加;而当萃取时间超出 50 min 后,随着时间的增加,萃取率增幅不断变缓,有下降趋势(图 5)。因此可以说明萃取时间非越长越好,萃取率有上限;萃取时间过长,CO₂ 的消耗量和能耗加大,油脂色泽变

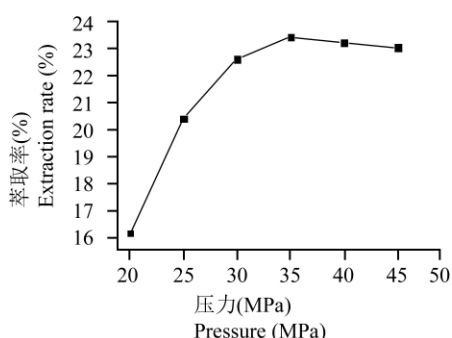


图 3 压力对萃取率的影响

Figure 3 Effect of pressure on extraction rate

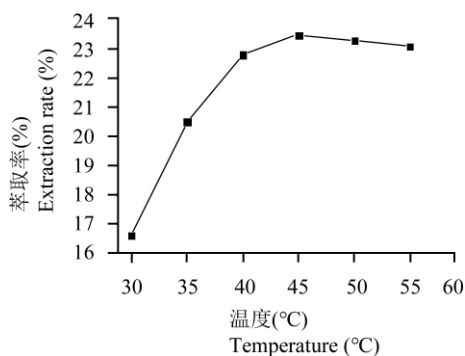


图 4 温度对萃取率的影响

Figure 4 Effect of temperature on extraction rate

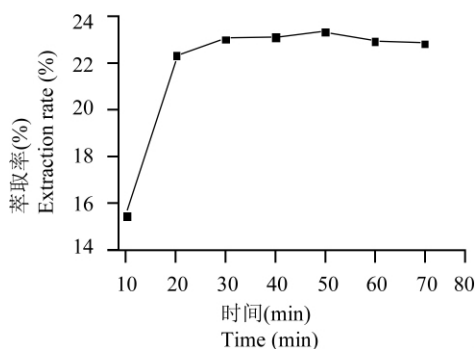


图 5 萃取时间对萃取率的影响

Figure 5 Effect of extraction time on extraction rate

深。因对设备耗能和籽油品质的考虑,萃取时间应为 50 min。

1.2 超临界 CO₂ 萃取正交试验

从正交试验结果得出,对萃取率影响大小顺序是:温度>压力>时间>粉碎度,组合为 A₂B₂C₂D₂ 最佳,即萃取温度是 45℃、萃取压力为 35 MPa、萃取时间是 50 min、粉碎度为 35 目(表 1)。

根据最佳水平组合 A₂B₂C₂D₂ 进行 3 个平行试验。糖茶蔗籽油萃取率的均值为 23.23%,略高于正交试验结果(表 2),说明该工艺条件具有可行性。

1.3 超临界 CO₂ 提取糖茶蔗籽油脂肪酸组成

超临界 CO₂ 萃取的糖茶籽油具有高含量的亚油酸,α- 亚麻酸和油酸。而不饱和脂肪酸相对含量在 85%以上,其中亚油酸的含量是 29.57%(表 3)。

1.4 超临界 CO₂ 流体萃取糖茶蔗籽油的品质

1.4.1 感官指标

经试验优化通过超临界 CO₂ 流体萃取得到的糖茶蔗籽油颜色呈黄色油状液体,具特殊香气。

1.4.2 质量指标

本试验提取的糖茶蔗籽油酸价是 1.10 mg/g,过氧化值是 2.70 mmol/kg。

2 讨论

本研究的原料是鲜糖茶蔗籽粒,采用超临界 CO₂ 萃取技术,种子油提取率为评价指标,考察了投料量、粉碎度、萃取压力、萃取温度、萃取时间五个因素对籽油萃取率的影响,筛选出影响较明显的因素并通过正交法进行提取工艺的优化,且实验验证了最佳工艺条件是可行的。考虑到实际的生产成本和效率,故糖茶蔗籽油的最优萃取工艺:投料量 400 g、粉碎度 35 目、压力 35 MPa、温度 45℃、时间 50 min,在此条件下糖茶蔗籽油萃取率是 23.23%。又因超临界 CO₂ 法不使用有机溶剂,无溶剂残留,绿色无公害,故超临界 CO₂ 法是一种提取糖茶蔗籽油较好的方法。

糖茶蔗籽油主要由亚油酸、α- 亚麻酸、油酸、棕榈酸、γ- 亚麻酸、十八碳四烯酸、硬脂酸、和顺式十八碳烯酸等脂肪酸组成,这八种脂肪酸的含量是 98.91%,其不饱和脂肪酸含量高于 85%,其中亚油酸占 29.57%,α- 亚麻酸占 26.75%,油酸占 18.42%。不饱和脂肪酸指单不饱和与多不饱和脂肪酸,其是指标性主成分脂肪酸研究开发的根本和主旨(成永旭等, 2017; 刘颖

表 1 L₉(3⁴)正交试验Table 1 L₉(3⁴) orthogonal test

试验号 No.	A: 粉碎度(目) A: Crushing degree (mesh)	B: 压力(MPa) B: Pressure (MPa)	C: 温度(°C) C: Temperature (°C)	D: 时间(min) D: Time (min)	萃取率(%) Extraction rate (%)
1	1.000	1.000	1.000	1.000	20.45
2	1.000	2.000	2.000	2.000	23.56
3	1.000	3.000	3.000	3.000	21.89
4	2.000	1.000	2.000	3.000	22.14
5	2.000	2.000	3.000	1.000	21.94
6	2.000	3.000	1.000	2.000	22.08
7	3.000	1.000	3.000	2.000	20.79
8	3.000	2.000	1.000	3.000	22.01
9	3.000	3.000	2.000	1.000	23.06
k1	21.967	21.127	21.513	21.817	-
k2	22.053	22.503	22.920	22.143	-
k3	21.953	22.343	21.540	22.013	-
R	0.100	1.377	1.380	0.327	-

表 2 最佳组合平行试验验证

Table 2 Optimal combination parallel test verification

试验号 No.	A: 粉碎度(目) A: Crushing degree (mesh)	B: 压力(MPa) B: Pressure (MPa)	C: 温度(°C) C: Temperature (°C)	D: 时间(min) D: Time (min)	萃取率(%) Extraction rate (%)
1	35	35	45	50	23.23±0.021
2	35	35	45	50	23.23±0.022
3	35	35	45	50	23.23±0.021

表 3 糖茶藨籽油脂肪酸组成

Table 3 Fatty acid composition of *Ribes himalense* seed oil

亚油酸(%) Linoleic acid (%)	α- 亚麻酸(%) α-linolenic acid (%)	油酸(%) Oleic acid (%)	棕榈酸(%) Palmitic acid (%)	γ- 亚麻酸(%) γ-linolenic acid (%)	十八碳四烯酸(%) Stearidonic acid (%)	硬脂酸(%) Stearic acid (%)	顺式十八碳烯酸(%) 11-Octadecenotate acid (%)
29.57	26.75	18.42	9.70	5.45	4.15	2.62	2.25

文等, 2018)。亚油酸和亚麻酸是人体无法合成的必需脂肪酸。亚油酸的抗炎、抗高血脂、抗高血压和抗血栓疗效好(王萍等, 2008; 胥莉, 2013)。该研究中的糖茶藨籽油亚油酸含量(29.57%), 明显优于橄榄油(10.0%)、亚麻籽油(15.0%)、菜籽油(22.0%), 却不及大豆油(51.0%)、棉花籽油(53.3%)、葵花籽油(65.0%)、红花籽油(75.0%) (孟桂元等, 2016), 可了解到糖茶藨籽在研发功能性高质量亚油酸植物油方面的优势不显。亚麻酸在调控血压、血脂、血栓、血糖、肿瘤和过敏反应等方面有较好的功效(林非凡和谭竹钧, 2012; 吴俏瑾等, 2016), 本研究中糖茶藨籽油亚麻酸含量(32.20%)明显优于红花籽油、橄榄油、葵花籽油(0.0%)、棉花籽油(0.3%)、大豆油(8.0%), 但没超过亚麻籽油(49.5%) (孟桂元等, 2016), 因其含量远远大于上述 6 种植物油而又接近亚麻籽油, 所以糖茶藨籽油在研发高亚麻酸保健植

物油的应用前景较佳。本研究中糖茶藨籽油油酸含量 18.42%。油酸在调节血糖、抗高血脂等方面疗效显著(屠越华和葛声, 2012)。综上所述, 糖茶藨籽油富含的人体必需脂肪酸, 符合当今社会人们对健康的要求, 因此糖茶藨籽油可在功能性保健多用途资源方面开发利用。

3 材料与方法

3.1 试验材料

糖茶藨鲜果样品采自青海省果洛州班玛县玛可河林场(E100°32'46", N32°25'12"), 由中国科学院西北高原生物研究所副研究员徐文华将其鉴定为虎耳草科茶藨属糖茶藨植物的果实。将糖茶藨果实处理收集籽粒, 经除杂、晾干后, 放置在 -4℃冰箱备用。

3.2 试验仪器

HA221-40-12 超临界流体萃取装置(江苏省南通市华安超临界萃取有限公司);DFY-1000 型一千克摇摆式高速万能粉碎机(温岭市林大机械有限公司);PL203 型分析天平(上海梅特勒—托利多仪器有限公司);7890A-5975C 型气相色谱—质谱联用仪(美国 Agilent);标准筛(浙江上虞市水仙纱筛厂)。CO₂ (纯度>99.9%)。

3.3 超临界萃取糖茶藨籽油提取工艺流程

超临界 CO₂ 提取工艺流程: 糖茶藨果实榨汁去皮→糖茶藨种子粒→干燥→粉碎机粉碎→标准筛过筛→称量粉碎后的籽粒重→装入萃取釜→CO₂ 流体萃取→分离出籽油→收集糖茶藨籽油。

3.4 提油率计算

提油率(%)=糖茶藨籽油重(g)/糖茶藨种子重(g)×100

3.5 投料量对糖茶藨籽油提取的影响

当萃取条件为: 粉碎度 35 目, 压力 35 MPa, 温度 45℃, 时间 50 min, 投料量分别为: 200 g、250 g、300 g、350 g、400 g、450 g、500 g(图 1)。

3.6 粉碎度对糖茶藨籽油提取的影响

当萃取条件为: 投料量 400 g, 压力 35 MPa, 温度 45℃, 时间 50 min, 粉碎度分别为 20 目、25 目、30 目、35 目、40 目(图 2)。

3.7 萃取压力对糖茶藨籽油提取的影响

当萃取条件为: 投料量 400 g, 粉碎度 35 目, 温度 45℃, 时间 50 min, 萃取压力分别为 20 MPa、25 MPa、30 MPa、35 MPa、40 MPa、45 MPa(图 3)。

3.8 萃取温度对糖茶藨籽油提取的影响

当萃取条件为: 投料量 400 g, 粉碎度 35 目, 压力 35 MPa, 时间 50 min, 萃取温度分别为 30℃、35℃、40℃、45℃、50℃、55℃(图 4)。

表 4 正交试验因素水平

Table 4 Orthogonal test factor level

水平	A: 粉碎度(目)	B: 压力(MPa)	C: 温度(℃)	D: 时间(min)
Level	A: Crushing degree (mesh)	B: Pressure (MPa)	C: Temperature (°C)	D: Time (min)
1	30	30	40	40
2	35	35	45	50
3	40	40	50	60

3.9 萃取时间对糖茶藨籽油提取的影响

当萃取条件为: 投料量 400 g, 粉碎度 35 目, 压力 35 MPa, 温度 45℃, 萃取时间分别为 10 min、20 min、30 min、40 min、50 min、60 min、70 min(图 5)。

3.10 超临界 CO₂ 萃取正交试验

通过对单因素试验结果的分析, 影响糖茶藨籽油提取率的主要因素有: 粉碎度、提取压力、提取温度和提取时间, 选择 L₉(3⁴) 正交表对其正交试验分析, 投料量 400 g, 确定最佳工艺条件(表 4)。

3.11 优化提取工艺参数的验证实验

根据正交试验结果得出的最佳萃取工艺条件, 进行 3 组平行实验, 来说明实验的可行性(表 2)。

3.12 糖茶藨籽油脂肪酸含量及质量指标

GC-MS 分析糖茶藨籽油成分及含量, 通过 NIST05 质谱库、文献检索和人工解析对其脂肪酸组分进行判定归属(表 3)。酸价测定参照 GB 5009.229-2018; 过氧化值检测参考 GB 5009.227-2018。

GC 条件: 色谱柱 HP-88 (60 m×0.25 mm×0.25 μm) 毛细管柱, 程序升温是: 40℃持续 5 min, 用 2℃/min 速率升到 100℃, 然后以 3℃/min 速率升到 250℃, 持续 5 min。分流比 40:1, 进样量 1 μL。

MS 条件: 电子轰击离子源, 离子源温度 230℃, 接口温度 250℃, 全扫描模式, 电离能量 70 eV, 质量扫描范围 30~550 m/z, NIST05 质谱库。

3.13 数据统计与分析

利用 Microsoft Excel、Origin 8 和 SPSS.20 软件对实验结果进行统计分析、数据处理。

作者贡献

孙晴是本研究的实验设计者和实验研究的执行人; 孙晴、杨海文及薛长福完成数据分析, 论文初稿的写作; 张世玺和韩才邦参与实验设计者, 试验结果分析; 徐文华是项目的构思者和负责人, 指导实验设

计、数据分析、论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由青海省应用基础研究项目(2017-ZJ-749)和青海省重点研发与转化计划项目(2019-NK-C04)共同资助。

参考文献

- Cheng Y.X., Zheng S.Y., Li J.H., Wang H.F., and Li J.Y., 2017, Effects of different fatty acids on the expression of 3 types of FABPs in hepatopancreas of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*), *Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology)*, 36(10): 4100-4107 (成永旭, 郑善玉, 李京昊, 王海锋, 李嘉尧, 2017, 不同脂肪酸对中华绒螯蟹肝胰腺组织三种 FABP 表达的影响, 基因组学与应用生物学, 36(10): 4100-4107)
- Huang Y.Y., and Yin G.L., 2017, Effect of weight loss of soybean peptides and conjugated linoleic acid composite powder, *Shipin Anquan Zhiliang Jiance Xuebao (Journal of Food Safety and Quality)*, 7(6): 2529-2532 (黄远英, 殷光玲, 2017, 大豆肽共轭亚油酸复合粉减肥作用研究, 食品安全质量检测学报, 7(6): 2529-2532)
- Lin F.F., and Tan Z.J., 2012, Lipid-lowering function of α -linolenic acid in linseed oil, *Zhongguo Youzhi (China Oil and Fats)*, 37(9): 44-47 (林非凡, 谭竹钧, 2012, 亚麻籽油中 α -亚麻酸降血脂功能研究, 中国油脂, 37(9): 44-47)
- Li X.D., Liu Y., Li N., and Xu H.B., 2017, Antilipidemic effects of complex formulation including conjugated linoleic acid and other active food ingredients, *Xiandai Yufang Yixue (Modern Preventive Medicine)*, 44(13): 2344-2355 (李小迪, 刘艳, 李宁, 徐海滨, 2017, 共轭亚油酸等食物活性成分复配对高脂血症大鼠模型的降血脂作用研究, 现代预防医学, 44(13): 2344-2355)
- Liu S.W., ed, 1999, *Flora Qinghaiica*, Qinghai People's Publishing House, Xining, China, pp.51-58 (刘尚武, 编著, 1999, 青海植物志, 青海人民出版社, 中国, 西宁, pp.51-58)
- Liu X.J., and Zhang H., 2013, Research and application of supercritical CO₂ fluid extraction in extraction of active components from traditional Chinese medicine, *Liaoning Zhongyi-yao Daxue Xuebao (Journal of Liaoning University of Traditional Chinese Medicine)*, 15(11): 182-184 (刘晓静, 张华, 2013, 超临界 CO₂ 萃取技术在中药有效成分提取中应用, 辽宁中医药大学学报, 15(11): 182-184)
- Liu Y.W., Zhong Y., and Jiang L.M., 2018, Research and prospects of the microorganisms producing polyunsaturated fatty acids, *Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology)*, 17(10): 4380-4390 (刘颖文, 钟宇, 江黎明, 2018, 产多不饱和脂肪酸微生物的研究与展望, 基因组学与应用生物学, 17(10): 4380-4390)
- Meng G.Y., Sun F., Zhou J., Sun H.L., Li M.Y., and Tang T., 2016, Study on difference and correlation of fatty acid composition between flax germplasm, *Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding)*, 14(9): 2502-2508 (孟桂元, 孙方, 周静, 孙焕良, 李梦阳, 唐婷, 2016, 亚麻种质脂肪酸成分差异及其相关性研究, 分子植物育种, 14(9): 2502-2508)
- Shi Z.X., Liu M., Yang Y.Q., and Hu F.Z., 2005, Determination of the fatty acids in *Ribes himalense*, *Xibei Zhiwu Xuebao (Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica)*, 25(8): 1669-1671 (师治贤, 刘梅, 杨月琴, 胡凤祖, 2005, 糖茶藨种子脂肪酸含量分析, 西北植物学报, 25(8): 1669-1671)
- Wang W., Li Q.L., and Pan J., 2016, Inhibitory effect of conjugated linoleic acid on obesity of mice, *Shipin Kexue (Food Science)*, 37(3): 211-216 (王武, 李琪玲, 潘见, 2016, 共轭亚油酸对小鼠肥胖的抑制作用, 食品科学, 37(3): 211-216)
- Wang P., Zhang Y.B., and Jiang M.L., 2008, Research advance in polyunsaturated fatty acid, *Zhongguo Youzhi (China Oil and Fats)*, 33(12): 42-46 (王萍, 张银波, 江木兰, 2008, 多不饱和脂肪酸的研究进展, 中国油脂, 33(12): 42-46)
- Wu Q.J., Du B., Cai Y.L., Liang Z.H., Lin Z.G., Qiu G.L., and Dong L.J., 2016, Research development of alpha-linolenic acid, *Shipin Gongye Keji (Science and Technology of Food Industry)*, 37(10): 386-390 (吴俏瑾, 杜冰, 蔡尤林, 梁钻好, 林志光, 邱国亮, 董立军, 2016, α -亚麻酸的生理功能及开发研究进展, 食品工业科技, 37(10): 386-390)
- Xu L., 2013, The study on in vitro bioactivity of linoleic acid oxidation product and its pro-inflammatory effect, Thesis for M.S., Northwest A & F University, Supervisor: Liu X.B., pp. 1-12 (胥莉, 2013, 亚油酸氧化产物的体外活性和促炎作用, 硕士学位论文, 西北农林科技大学, 导师: 刘学波, pp.1-12)
- Tu Y.H., and Ge S., 2012, Effects of monounsaturated fatty acids-rich diet on glucose and lipids metabolism, *Zhongguo Tangniaobing Zazhi (Chinese Journal of Diabetes)*, 20(1): 72-74 (屠越华, 葛声, 2012, 富含单不饱和脂肪酸的饮食对血糖和血脂的影响, 中国糖尿病杂志, 20(1): 72-74)