

瓜蒌籽油成分、提取方法及功能特性的研究进展

李文娟^{1,2}, 朱亮亮¹, 李从虎¹, 朱玉¹, 徐义庆¹

(1. 安庆师范大学 生命科学学院, 安徽 安庆 246133;

2. 皖西南生物多样性研究与生态保护安徽省重点实验室, 安徽 安庆 246133)

摘要:瓜蒌籽含油量高, 油中以不饱和脂肪酸为主, 其中特征性脂肪酸——牒楼酸和油脂中的微量成分具有多种生理功能。主要综述了瓜蒌籽油组成成分、提取方法及功能特性, 对存在问题进行分析, 并对前景进行展望, 旨在为其进一步深入研究和开发利用提供理论参考。

关键词:瓜蒌籽油; 组成成分; 提取; 功能特性

中图分类号: TS225.1; TS224 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2018)05-0070-05

Progress in composition, extraction and functional properties of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. seed oil

LI Wenjuan^{1,2}, ZHU Liangliang¹, LI Conghu¹, ZHU Yu¹, XU Yiqing¹

(1. School of Life Sciences, Anqing Normal University, Anqing 246133, Anhui, China; 2. Province Key Laboratory of the Biodiversity Study and Ecology Conservation in Southwest Anhui, Anqing 246133, Anhui, China)

Abstract: The oil content of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. seed is high, and the main component of the oil is unsaturated fatty acids. The characteristic fatty acid punicic acid and trace elements in oil have many physiological functions. The composition, extraction methods and functional properties of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. seed oil were mainly summarized, meanwhile the existing problems were analyzed and prospects were prospected to provide theoretical reference for its further research and development.

Key words: *Trichosanthes kirilowii* Maxim. seed oil; composition; extraction; functional property

瓜蒌 (*Trichosanthes kirilowii* Maxim.), 又名牒楼、野葫芦、吊瓜, 为葫芦科牒楼属, 是多年生草质缠绕藤本植物, 全世界 80 余种, 我国 40 余种, 并且将近 20 种是传统中药成分。瓜蒌适应性强, 主要分布于东亚、朝鲜、日本和中国。我国瓜蒌资源很丰富, 安徽、山东、浙江、河南、江苏、四川、云南、山西和贵州等省是其主要产地^[1]。瓜蒌籽为瓜蒌果实中成熟干燥的种子, 又称瓜蒌子或瓜蒌仁。瓜蒌籽性甘味寒, 具有润肠通便、消肿止泻、止咳化痰、宽中利气等功效, 以及使冠状动脉舒张、增加冠脉血流量、瘦身美容和提高机体免疫力等功效^[2]。瓜蒌籽营养

丰富, 主要含蛋白质、油脂、甾醇、萜类化合物及各种微量元素, 含油量一般在 26.15% ~ 49.41%, 油中不饱和脂肪酸在 66.5% 以上, 并以亚油酸、牒楼酸、亚麻酸为主, 其中特征性脂肪酸——牒楼酸具有很高的营养价值^[3]。牒楼酸也叫石榴酸, 是广泛存在于石榴科和葫芦科植物种子中以 9c, 11t, 13c-CLNA 为构型的共轭亚麻酸, 具有多种生理功能。近年来, 随着瓜蒌籽油提取、分离、成分鉴定及药理研究工作的开展, 其越来越受重视。本文主要对瓜蒌籽油组成成分、提取方法、功能特性等方面展开综述, 旨在为其深入研究和开发利用提供科学依据和理论参考。

1 瓜蒌籽油组成成分

瓜蒌籽油主要以脂肪酸和微量不皂化成分组成。国内外对其可皂化成分的研究主要针对其脂肪酸的组成、结合形态、含量, 牒楼酸结构确认及异构体分析等方面; 对不皂化成分则是测定抗氧化物质

收稿日期: 2017-07-01; 修回日期: 2018-01-18

基金项目: 安徽省自然科学基金 (1808085QC97); 安徽省教育厅高校研究项目 (KJ2016A864); 安庆师范大学科研启动项目 (044-150002031)

作者简介: 李文娟 (1985), 女, 讲师, 博士, 研究方向为食品中有害成分形成与控制 (E-mail) Lwjny163@163.com。

V_E 形态及含量,甾醇和萜类化合物的结构鉴定等方面。

1.1 瓜蒌籽油的脂肪酸组成

早在1986年,黄民权^[4]对广东7种外部形态差异很大的栝楼属种子脂肪酸组成进行了测定,发现这7种瓜蒌种子都含有其他植物种子少有的石榴酸(也称栝楼酸),且脂肪酸组成相似;因此,推测栝楼属种子油脂特征可能存在于整个属,脂肪酸外的其他成分也可能非常相似,并推测栝楼属植物的种子可能具有相似药用价值。Joh等^[5]对瓜蒌籽油中甘油三酯进行了分析,发现不饱和脂肪酸主要有6c, 9c-C18:2, 9c, 11t, 13c-C18:3(栝楼酸), 9c-C18:1;另外,还检测到少量的9c, 11t, 13t-C18:3(α -桐酸)和9t, 11t, 13c-C18:3(梓树酸)。Dobson^[6]发现瓜蒌籽油中主要的共轭亚油酸甲酯化产物为10,12-C18:2构型,并有少量8,10-C18:2构型,另外游离酸中还有一些9,11-,10,12-,11,13-C18:2构型;检测到的9c, 11t, 13c-C18:3(栝楼酸)含量为38%,其两种同分异构体——9c, 11t, 13t-C18:3(桐酸)、9t, 11t, 13c-C18:3(梓树酸)共3%。曾益坤等^[7]研究发现瓜蒌籽油中油酸25.98%、亚油酸20.06%、栝楼酸16.15%、硬脂酸7.565%、棕榈酸6.352%、肉豆蔻酸1.945%、月桂酸0.7%;RP-HPLC分离鉴定得到20种甘油三酯,其中栝楼酸的同分异构体有6种。赵小云等^[8]研究发现瓜蒌籽油中游离态脂肪酸与结合态脂肪酸比例为1:98.5,不饱和脂肪酸占总脂肪酸80%左右,主要有亚油酸31.302%、油酸41.372%、亚麻酸7.362%;饱和脂肪酸为棕榈酸11.430%、硬脂酸5.724%。

周亮^[9]对瓜蒌籽油先采用AMP杂环化,后经GC-MS鉴定,并结合紫外光谱、红外光谱等手段,确定栝楼酸双键所在位置和构型,确证其结构为9c, 11t, 13c-C18:3;另外,采用柱层析法制备纯甘油三酯,并采用RP-HPLC-MS鉴定出瓜蒌籽油中主要含有6种甘油三酯,分别为TcTcTc、TcTcL、TcLL、TcLO、LTcS、OTcS;此外,采用胰脂酶解法分析得出瓜蒌籽油Sn-1,3位主要是饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸,多不饱和脂肪酸主要分布在Sn-2位上。

李乔等^[10]将瓜蒌籽油与其他几种食用油进行对比,发现瓜蒌籽油中亚麻酸含量远高于常见食用油如玉米油、橄榄油、油茶籽油、花生油、大豆油,但低于猕猴桃油和杜仲籽油。Wang等^[11]将瓜蒌籽油与橄榄油、菜籽油、山茶油进行对比,发现瓜蒌籽油

有更高的油酸含量和亚油酸含量。

1.2 瓜蒌籽油中的不皂化成分

1.2.1 V_E

植物油中普遍含有重要的抗氧化剂—— V_E ,主要有4种存在形式,分别是 α 、 γ 、 δ 和 β 型,其中 β 型主要在小麦胚芽油中。俞健等^[12]发现瓜蒌籽油中 V_E 含量较高(总含量12.26 mg/kg),主要有 α 、 γ 、 δ 3种形式,以 γ - V_E 比例最高(7.2 mg/kg),其次是 α - V_E (1.82 mg/kg),最后为 δ - V_E (3.24 mg/kg),且这3种 V_E 含量均比茶籽油高。杨静等^[13]对浙江长兴、河北安国、山西晋城、山东滨州4个地区的瓜蒌籽油 V_E 含量研究只发现了 α -、 γ - V_E ;其中长兴瓜蒌籽油 α - V_E 含量(350.7 μ g/g)最高,安国 α - V_E 含量(67.8 μ g/g)最低,晋城 γ - V_E 含量(139.6 μ g/g)最高,滨州 γ - V_E 含量(114.9 μ g/g)最低。

1.2.2 甾醇和萜类

Kimura等^[14]从瓜蒌籽油不皂化物中鉴定出5种多羟基甾醇结构,分别是豆甾烷-3 β ,6 α -二醇、多孔甾烷-3 β ,6 α -二醇、豆甾-5-烯-3 β ,4 β -二醇、多孔甾-5-烯-3 β ,4 β -二醇、多孔甾-5,25-二烯-3 β ,4 β -二醇。巢志茂等^[15]对不皂化类脂部分鉴定得到3种瓜蒌籽中首次分离得到的化合物:栝楼仁二醇、10 α -葫芦二烯醇和7-氧代二氢栝楼仁二醇;此外,还鉴定得到豆甾-7,22-二烯-3- O - β -D-葡萄糖苷、豆甾-7,22-二烯-3 β -醇和豆甾-7-烯-3 β -醇等化合物。郝砚彬^[16]对瓜蒌籽油中不皂化物进行鉴定,得到9种化学物质,分别为栝楼仁二醇、异栝楼仁二醇、5-脱氢栝楼仁二醇、7-氧代二氢栝楼仁二醇、豆甾-7-烯-3 β -醇、豆甾-7,22-二烯-3 β -醇、10 α -葫芦二烯醇、 β -谷甾醇、豆甾-7,22-二烯-3 β - O - β -D-葡萄糖苷。刘元法等^[17]从瓜蒌籽油中鉴定出6种不皂化成分,其中具有消炎功能的栝楼仁二醇达43.71%、7-氧代二氢栝楼仁二醇4.065%、10 α -葫芦二烯醇17.01%、豆甾-7-烯-3 β -醇7.265%、豆甾-7,22-二烯-3 β -醇4.412%、豆甾烷-3 β ,6 α -二醇6.364%。Wang等^[11]对浙江长兴等地的瓜蒌籽油进行质谱检测,发现还含有57.4~68.2 mg/g的角鲨烯,其具有抗疲劳、增强免疫力、促进血液循环、抗氧化等多重功效。

1.3 影响瓜蒌籽油含量和油脂组成的因素

目前,对影响瓜蒌籽油含量和油脂组成的因素研究主要有:瓜蒌籽的开花季节、产地、品系差异等,

结果归纳见表1。从表1中可以看出,不饱和脂肪酸是瓜蒌籽油主要组成,开花季节、产地和品系对其含油量和油脂组成均有一定影响。

表1 不同因素对瓜蒌籽油含量和油脂组成的影响

影响因素	研究对象	研究结果	文献来源
开花季节	麦、暑、秋开花座果的瓜蒌籽	含油量:麦果 29.85%、暑果 29.81%、秋果 23.89%。 油脂组成:秋果的饱和脂肪酸含量最低,而不饱和脂肪酸含量秋果最高(80.26%),其次为暑果(77.26%),最后为麦果(66.95%)。	[18]
	长兴、衢州、岳西、东至的瓜蒌籽	含油量:在 26.15%~49.41% 之间。 油脂组成:甘油三酯 94.97%~98.12%、甾醇酯 1.11%~3.30%、游离脂肪酸 0.33%~1.00%、磷脂 0.05%~0.57%、甘油二酯 0.04%~0.22%,不饱和脂肪酸占 93.3%~94.98%,其中 PUFA 67.97%~77.95%、MUFA 15.81%~25.54%,饱和脂肪酸 5.02%~6.70%。	[19]
不同产地	4个瓜蒌籽基地(回春堂药业种植基地、遂宁、阆中、成都)、陕西富平的瓜蒌籽	含油量:均在 37.5% 以上。 油脂组成:不饱和脂肪酸含量均超过 87%,四川阆中的高达 89.62%;亚油酸和亚麻酸总量均在 47% 以上,四川遂宁的亚油酸含量最高,达 48.08%。	[20]
	浙江长兴、河北安国、山西晋城、山东滨州的瓜蒌籽	含油量:长兴最高(49.41%),安国最低(22.81%)。 油脂组成:甘油三酯 86.00%~98.49%,甾醇酯 0.55%~12.52%,甘油二酯、游离脂肪酸和磷脂均在 1% 以下,栝楼酸 33.09%~50.75%,亚油酸 33.77%~37.78%。	[13]
	四川、河北、广东、浙江的瓜蒌籽	含油量:在 38.06%~44.33% 之间。 油脂组成:多不饱和脂肪酸 45.41%~75.32%,石榴酸、 α -桐酸和梓树酸是主要的 3 种共轭亚麻酸的同分异构体。	[21]
品系	13个品系的瓜蒌籽(GL-1至GL-13)与GL-CK	含油量(13个品系及GL-CK):平均值达 38.3%。 3个品系油脂组成(选择GL-1、GL-2、GL-CK):不饱和脂肪酸含量均在 87% 以上,亚油酸和亚麻酸含量均在 45% 以上,还含有 EPA 和 DHA,且不含芥酸。	[22]

归纳起来,瓜蒌籽油基本组成为:其中可皂化的脂肪酸部分既有饱和脂肪酸也有不饱和脂肪酸,且以不饱和脂肪酸为主;其中饱和脂肪酸以硬脂酸、棕榈酸为主;不饱和脂肪酸则以油酸、亚油酸、栝楼酸(也称瓜蒌酸或石榴酸)为主;栝楼酸是植物界中不多见的共轭三烯炔型亚麻酸(9c,11t,13c-C18:3),也是瓜蒌籽油中特征脂肪酸。研究发现瓜蒌籽油不皂化部分存在丰富的成分,有几种不同存在形式的V_E、多种甾醇和萜类化合物,成分复杂,但是截至目前,鉴定得到的不皂化成分种类和含量还存在一定差异,尚无很明确结论,仍需进一步深入研究。

2 瓜蒌籽油提取

瓜蒌籽油提取方法主要有传统浸提法、压榨法、超临界法、超声辅助提取法、微波辅助提取法,以及这些方法的结合。

张玲玲等^[23]先采用石油醚、乙酸乙酯、正己烷、乙醚进行瓜蒌籽油提取,发现乙酸乙酯的提取率最高为 53.22%;然后采用超声-微波协同法提取瓜蒌籽油的最好条件为液料比 10.1:1、微波功率 298 W、时间 89 s,得率为 53.38%。顾仁勇等^[24]采用超临界 CO₂ 法得到最佳瓜蒌籽油萃取条件为瓜蒌籽

粉碎度 90 目、萃取温度 50℃、压力 30 MPa、时间 3 h,萃取率达 39.6%。孙海燕等^[25]采用微波辅助法,得到瓜蒌籽油最佳提取工艺条件为料液比 1:20、温度 40℃、微波功率 320 W、时间 5 min,提取率为 35.65%。张建群等^[26]先采用不同提取溶剂(乙醚、石油醚、正己烷、丙酮)进行索氏抽提试验,发现乙醚提油率最高,达 52.86%,而正己烷最低,为 46.55%;后以乙醚为提取溶剂,超声辅助,得到瓜蒌籽油最佳工艺条件为提取温度 50℃、料液比 1:6、提取时间 20 min,提油率为 42.95%。李松南等^[27]以正己烷为萃取剂,采用溶剂萃取仪萃取瓜蒌籽油,得到最佳条件为料液比 1:10、萃取时间 70 min、淋洗时间 30 min、萃取温度 130℃,得率为 60.12%。李乔等^[10]采用超临界 CO₂ 萃取、超声辅助提取、压榨、索氏提取等方法对瓜蒌籽油进行提取。其中超临界 CO₂ 萃取条件为压力 30 MPa、温度 45℃、萃取 4 h;索氏提取法以石油醚作为萃取剂;超声辅助法也是以石油醚为萃取剂,萃取温度 40℃,超声 30 min。结果发现:超临界 CO₂ 萃取法和超声辅助法提取率最高,分别为 96.36% 和 94.21%,而索氏提取法和压榨法提取率较低,分别为 48.88% 和 68.32%。

目前对瓜蒌籽油提取方法的研究仍有一定的局限性,大部分仅以油脂提取率为主要指标优化提取工艺,仅有少量报道把得到的最佳超临界 CO₂ 萃取工艺和油脂成分分析结合在一起探讨,如孙海燕等^[25]对微波辅助法得到的瓜蒌籽油进行成分分析,得到瓜蒌籽油的脂肪酸组成为:棕榈酸 5.4%、硬脂酸 2.1%、油酸 22.7%、石榴酸 32.9%、梓树酸 0.8%、 α -酮酸 3.2%;李乔等^[10]对新型提取方法和传统提取方法得到的瓜蒌籽油进行成分分析,结果发现,压榨法、超临界 CO₂ 萃取和超声辅助提取得到的不饱和脂肪酸比例高,分别为 88.64%、87.49%、85.95%,而索氏提取法得到的不饱和脂肪酸(60.65%)较低。由于瓜蒌籽油中不饱和脂肪酸含量较高,其中栝楼酸高度共轭,非常容易被氧化及异构化;而一些提取条件如采用高温、超声波和微波等是否对其产生不利影响,另外提取溶剂、提取温度、提取方式对油脂中微量皂化成分结构和含量是否有影响,以及不同提取方法是否会导致油脂中有害物质产生等都有待进一步研究。

3 瓜蒌籽油的功能特性

3.1 抗血栓、调节血脂、抗癌

共轭脂肪酸是一类具有共轭双键的多不饱和脂肪酸的位置和几何异构体。天然的共轭脂肪酸有共轭二烯、共轭三烯、共轭四烯结构,有 3 个共轭键的共轭亚麻酸已被报道对体外肿瘤细胞具有细胞毒性、可以改变动物体内脂质代谢、具有抗血栓等活性。在含有共轭亚麻酸的植物中,只有我国瓜蒌种子是可以食用的,瓜蒌籽油中主要含有栝楼酸,具有提高机体免疫、改善心血管功能、强抗癌、抗炎作用等。

田村泰^[28]采用体外法,发现栝楼酸对胶原、二磷酸腺苷(ADP)、人血小板聚集有抑制作用,主要机理在于栝楼酸能抑制血小板环氧合酶活性,并减少血栓素 A₂(TXA₂)在对胶原、ADP、肾上腺激素刺激下的血小板聚集浓度依赖性抑制作用。Yuan 等^[29]研究了瓜蒌籽油中栝楼酸 24 h 内在小鼠体内吸收和代谢过程,结果发现栝楼酸在小鼠的血浆、肝脏、肾、心脏、大脑和脂肪组织中被代谢合成共轭亚油酸,而共轭亚油酸也表现出降血脂、抗血栓、抗癌等多种生物活性。富含栝楼酸的油脂还被证明具有降低肝脏中甘油三酯的积累、减少脂质蛋白 B100 的分泌、HepG2 细胞中甘油三酯的合成作用,以及抑制结肠癌、皮肤癌增殖,前列腺癌、乳腺癌的侵害。

3.2 降血糖

瓜蒌籽油中不饱和脂肪酸含量占 80% 以上,其

中高含量的栝楼酸可能是瓜蒌籽油中重要的降血糖成分。金情政等^[30]采用土法压榨得到瓜蒌籽油,给 ICR 小鼠(注射 100 mg/kg 四氧嘧啶制造糖尿病模型)进行灌胃,给药 4 周,每周监测小鼠的血糖、体重,发现给予瓜蒌籽油的小鼠血糖值下降,并呈现剂量依赖性。最后一次给药 18 h 后,发现给予瓜蒌籽油后小鼠眼球血清中 TG、TC、NOS 和 NO 含量降低,中高剂量的瓜蒌籽油能使小鼠血清胰岛素显著升高。

3.3 其他功效

(1) 自由基的清除能力。赵小云等^[8]发现瓜蒌籽油清除 DPPH 自由基能力与其质量浓度具有量效关系,弱于橄榄油和 V_C,当其质量浓度达 100 mg/mL,清除能力达 80.2%;而对羟自由基的清除效果则有所不同,清除能力高于橄榄油,稍弱于 V_C,并在较低质量浓度 1.0 mg/mL 时,清除率可达 95%。颜军等^[31]测试了无水乙醚热浸提得到的瓜蒌籽油清除超氧阴离子和羟自由基的能力,发现瓜蒌籽油具有较佳的超氧阴离子清除能力(47% ~ 68%),对羟自由基清除能力也较好,EC₅₀ 值为 0.23 mg/mL。

(2) 抗炎症。Kimura 等^[32]发现,瓜蒌籽中提取的一系列亲脂性的含氧甾烷型甾醇对 12-O-十四酰佛波醇-13-乙酸酯(TPA)诱导的小鼠耳部炎症反应具有显著抑制作用,IC₅₀ 为 0.5 ~ 1.0 mg/耳朵。

(3) 致泻作用。瓜蒌籽油具有致泻作用,而经过去油制霜后的瓜蒌仁泻下作用明显减弱,而制霜后镇咳、祛痰作用则不减弱。

4 结束语

现有对瓜蒌的研究,主要以瓜蒌果实、果皮和天花粉为主,对瓜蒌籽的研究相对薄弱,目前人们已经对瓜蒌籽油成分进行了一些研究,并成功分离鉴定了瓜蒌籽油中的脂肪酸成分以及不皂化的类脂成分。但是仍存在一些问题,主要如下:

(1) 我国瓜蒌种植面积广,不同产地和种群的瓜蒌籽油含量、组成成分存在很大差异,目前对其研究仍缺乏系统的整理分析和综合评价。

(2) 国内外对瓜蒌籽油抗氧化活性和抗癌功效评价基本上采用体外实验,其体内生理功能研究仍然比较匮乏,临床研究报道则更少。另外,功能性物质发挥作用还有可能是几种物质或者一类物质相互作用的结果,因此对瓜蒌籽油功能特性的研究不仅需要研究某一种成分,也要研究一类成分,或几种及几类成分配伍后的药理作用。

(3) 瓜蒌籽油的品质维持及保存方法仍需进一

步深入。由于瓜蒌籽油中的特征脂肪酸——栝楼酸不饱和程度高、且高度共轭,极易发生氧化、劣变,目前对瓜蒌籽油的氧化稳定性和抗氧化的研究仍很薄弱,因此需加强瓜蒌籽油的提取方法、保存条件对其氧化稳定性影响的研究。

(4)瓜蒌籽油是保健价值很高的油脂,具有很大开发潜力,目前对其产品开发主要有以下几个方面:瓜蒌籽油微乳液制备、不饱和脂肪酸富集和微胶囊制备以及和其他植物油配制成调和油等。显然,对其加工和产品开发研究广度和深度相对不足,且仍处于实验室研究阶段,缺少工业化生产。

参考文献:

- [1] XU Y, CHEN G, LU X, et al. Chemical constituents from *Trichosanthes kirilowii* Maxim [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2012, 43: 114 - 116.
- [2] 孙潇辉. 瓜蒌籽油提取及多不饱和脂肪酸的富集与微胶囊制备[D]. 合肥:安徽农业大学, 2013.
- [3] YANG J, ZHOU C, YUAN G, et al. Effects of geographical origin on the conjugated linolenic acid of *Trichosanthes kirilowii* Maxim seed oil [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 2012, 89(3): 401 - 407.
- [4] 黄民权. 栝楼属植物种子油中特殊脂肪酸成分的研究 [J]. *植物研究*, 1986, 6(1): 79 - 83.
- [5] JOH Y G, KIM S J, CHRISTIE W W. The structure of the triacylglycerols, containing punicic acid, in the seed oil of *Trichosanthes kirilowii* [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1995, 72 (9): 1037 - 1042.
- [6] DOBSON G. Identification of conjugated fatty acids by gas chromatography - mass spectrometry of 4 - methyl - 1, 2, 4 - triazoline - 3, 5 - dione adducts [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1998, 75(2): 137 - 142.
- [7] 曾益坤, 黄秀娟, 王兴国. 栝楼籽油理化性质及其脂肪酸组成分析 [J]. *中国油脂*, 2007, 32(10): 80 - 82.
- [8] 赵小云, 管中华, 李齐激, 等. 瓜蒌籽中脂肪酸组成形态及抗氧化活性 [J]. *食品工业科技*, 2014, 35(10): 177 - 180.
- [9] 周亮. 瓜蒌仁油中生理活性成分分析及其结构鉴定 [D]. 江苏 无锡:江南大学, 2007.
- [10] 李乔, 李贵, 熊利芝, 等. 不同方法提取栝楼籽油成分分析及其油质评价 [J]. *吉首大学学报 (自然科学版)*, 2016, 37(3): 55 - 58.
- [11] WANG W, WANG L, JIANG J. Fatty acid profile of *Trichosanthes kirilowii* Maxim. seed oil [J]. *Chem Pap*, 2009, 63(4): 489 - 492.
- [12] 俞健, 李赤翎. 瓜蒌子油中天然抗氧化剂成分分析 [J]. *食品工业科技*, 2010, 31(11): 153 - 155.
- [13] 杨静, 周赐琴, 郑钜圣, 等. 不同地域环境对栝楼籽和栝楼籽油营养成分的影响 [J]. *浙江大学学报 (农业与生命科学版)*, 2014, 40(6): 661 - 669.
- [14] KIMURA Y, AKIHISA T, YASUKAWA K, et al. Structures of five hydroxylated sterols from the seeds of *Trichosanthes kirilowii* Maxim [J]. *Chem Pharm Bull*, 1995, 43 (10): 1813 - 1817.
- [15] 巢志茂, 何波. 双边栝楼种子中不皂化类脂的化学成分研究 [J]. *中国药学杂志*, 2001, 36(3): 157 - 160.
- [16] 郗砚彬. 湖北栝楼种子, 驳骨丹和鱼腥草化学成分研究 [D]. 北京: 中国中医科学院, 2007.
- [17] 刘元法, 周亮, 陶冠军, 等. 栝楼籽油中甾醇的分离与分析 [J]. *粮油加工*, 2008(12): 56 - 59.
- [18] 张仲平, 陈俊英. 不同季节开花座果的栝楼种子脂肪酸含量 [J]. *中药材*, 1996, 19(8): 391 - 392.
- [19] 周赐琴. 可食用栝楼籽营养成分分析与栝楼籽油 O/W 微乳液的制备 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [20] 沈俊剑, 庄贺, 唐春蓉, 等. 不同产地瓜蒌子中脂肪酸 GC - MS 分析 [J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(10): 2414 - 2416.
- [21] JIANG X, WU S, ZHOU Z, et al. Physicochemical properties and volatile profiles of cold - pressed *Trichosanthes kirilowii* Maxim seed oils [J]. *Int J Food Prop*, 2016, 19 (8): 1765 - 1775.
- [22] 宋执. 瓜蒌品种选育及土壤中矿质元素对其品质影响 [D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [23] 张玲玲, 万婷婷, 李超, 等. 超声波协同微波提取瓜蒌籽油的研究 [J]. *农业机械*, 2011(20): 52 - 55.
- [24] 顾仁勇, 银永忠. 超临界 CO₂ 萃取栝楼籽油工艺条件优化 [J]. *吉首大学学报 (自然科学版)*, 2012, 33 (2): 99 - 102.
- [25] 孙海燕, 宓建雷, 袁高峰, 等. 微波辅助提取栝楼籽油工艺研究 [J]. *食品工业*, 2013, 34(5): 20 - 23.
- [26] 张建群, 陶昆, 申丽静, 等. 超声波辅助提取栝楼籽油工艺优化 [J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(5): 31 - 33.
- [27] 李松南, 齐学文, 华长虹, 等. 溶剂萃取仪提取瓜蒌籽油工艺优化及其脂肪酸成分分析 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(24): 222 - 225.
- [28] 田村泰. 栝楼仁中含有的栝楼酸对人血小板功能的影响 [J]. *国外医学中医药分册*, 1998, 10(2): 52.
- [29] YUAN G F, YUAN J Q, LI D. Punicic acid from *Trichosanthes kirilowii* seed oil is rapidly metabolized to conjugated linoleic acid in rats [J]. *J Med Food*, 2009, 12(2): 416 - 422.
- [30] 金情政, 李钦, 赵吟. 瓜蒌子油对糖尿病小鼠降血糖作用的研究 [J]. *药学实践杂志*, 2015, 33(4): 324 - 327.
- [31] 颜军, 苟小军, 徐光域, 等. 栝楼籽油清除自由基作用研究 [J]. *食品科学*, 2008, 29(11): 77 - 79.
- [32] KIMURA Y, YASUKAWA K, TAKIDO M, et al. Inhibitory effect of some oxygenated stigmastane - type sterols on 12 - O - tetradecanoylphorbol - 13 - acetate - induced inflammation in mice [J]. *Biol Pharm Bull*, 1995, 18 (11): 1617 - 1619.