

黑果枸杞籽油品质及体外抗氧化活性

邢丽杰^{1,2}, 逯霞^{1,2}, 唐宗贵^{1,2}, 李先义^{1,2}, 党富民^{1,2}, 赵爽^{1,2}, 张晓璐³, 王远^{1,2,3}

(1. 新疆农垦科学院, 新疆 石河子 832000; 2. 新疆生产建设兵团食品检验所, 新疆 石河子 832000;

3. 石河子大学 食品学院, 新疆 石河子 832000)

摘要:为挖掘黑果枸杞籽油的潜在开发利用价值,采用石油醚浸提法提取黑果枸杞籽油,对黑果枸杞籽油的理化性质进行测定,分析其脂肪酸组成及含量,并测定其对 DPPH·、ABTS⁺· 的清除能力和总还原能力。结果表明:黑果枸杞籽油碘值(I)为(84.0 ± 0.2) g/100 g,皂化值(KOH)为(130.1 ± 0.3) mg/g,过氧化值为(0.42 ± 0.03) g/100 g,酸值(KOH)为(8.4 ± 0.2) mg/g,需进一步精炼;黑果枸杞籽油主要包括亚油酸(68.31%)、油酸(17.76%)、棕榈酸(5.37%)、 γ -亚麻酸(3.73%)、硬脂酸(2.58%)等9种脂肪酸;黑果枸杞籽油对 DPPH· 清除率的 IC₅₀ 为 0.587 mg/mL, 3.2 mg/mL 黑果枸杞籽油的 ABTS⁺· 清除率为 57.50%,且其具备一定的 Fe³⁺ 还原能力。因此,黑果枸杞籽油富含不饱和脂肪酸,体外抗氧化活性良好,具有开发的价值和潜力。

关键词:黑果枸杞籽油;理化性质;脂肪酸组成;体外抗氧化活性

中图分类号:TS222+.1;TQ646 文献标识码:A 文章编号:1003-7969(2022)09-0090-05

Quality and in vitro antioxidant activity of *Lycium ruthenicum* seed oil

XING Lijie^{1,2}, LU Xia^{1,2}, TANG Zonggui^{1,2}, LI Xianyi^{1,2}, DANG Fumin^{1,2}, ZHAO Shuang^{1,2}, ZHANG Xiaolu³, WANG Yuan^{1,2,3}

(1. Xinjiang Academy of Agriculture and Reclamation Science, Shihezi 832000, Xinjiang, China; 2. Xinjiang

Production and Construction Corps Institute for Food Inspection, Shihezi 832000, Xinjiang, China;

3. College of Food Science, Shihezi University, Shihezi 832000, Xinjiang, China)

Abstract: In order to tap the potential development and utilization value of *Lycium ruthenicum* seed oil, *Lycium ruthenicum* seed oil was extracted by petroleum ether, and its physicochemical properties, fatty acid composition and content, DPPH· and ABTS⁺· scavenging power, and total reducing power were analyzed. The results showed that the iodine value, saponification value, peroxide value and acid value of *Lycium ruthenicum* seed oil were (84.0 ± 0.2) g/100 g, (130.1 ± 0.3) mgKOH/g, (0.42 ± 0.03) g/100 g, and (8.4 ± 0.2) mgKOH/g, respectively, and it needed to be further refined. *Lycium ruthenicum* seed oil contained 9 kinds of fatty acids, such as linoleic acid (68.31%), oleic acid (17.76%), palmitic acid (5.37%), γ -linolenic acid (3.73%), and stearic acid (2.58%) and so on. The IC₅₀ of *Lycium ruthenicum* seed oil for DPPH· scavenging rate was 0.587 mg/mL, the ABTS⁺· scavenging rate of 3.2 mg/mL *Lycium ruthenicum* seed oil was 57.50%, and it had a certain Fe³⁺ reduction power. *Lycium ruthenicum* seed oil is rich in unsaturated fatty acids, and it has good in vitro antioxidant activity, so it has development value and potential.

Key words: *Lycium ruthenicum* seed oil; physicochemical property; fatty acid composition; in vitro antioxidant activity

收稿日期:2021-07-15;修回日期:2022-04-05

基金项目:兵团重点领域科技攻关项目(2018AB011)

作者简介:邢丽杰(1983),女,正高级实验师,硕士,研究方向为农产品质量与安全(E-mail)37768449@qq.com。

通信作者:王远,高级实验师,在读博士(E-mail)175228331@qq.com。

目前,黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.)果实因富含花青素而受到广泛关注。每粒黑果枸杞含8~15颗籽^[1],黑果枸杞籽富含油脂。王琴等^[1]研究表明,黑果枸杞籽油含有丰富的不饱和脂肪酸和

V_A 、 V_E 、植物甾醇等生物活性成分,其中不饱和脂肪酸含量为 90.0%,包括亚油酸、油酸和亚麻酸等。 V_E 能够提高人体免疫力、保护肝脏和抵抗自由基,通过增强线粒体功能改善神经元的复杂性,还具有治疗老年哮喘的潜力,其与壳聚糖联合使用还可有效保护肾组织^[2-4]。植物甾醇能够减少胆固醇吸收,同时还具有抑制肿瘤、调节免疫等作用,是重要的抗氧化物质^[5-8]。谷盼盼^[9]、Liu^[10]等研究了黑果枸杞籽油的提取工艺条件,王亮等^[11]研究了黑果枸杞籽油的氧化稳定性,但目前对黑果枸杞籽油理化性质、脂肪酸组成及体外抗氧化活性研究的报道相对较少。本文采用石油醚浸提法得到黑果枸杞籽油,对其理化性质进行测定,采用气相色谱外标法分析其脂肪酸组成及含量,并考察其体外抗氧化活性,旨在为黑果枸杞籽油进一步开发利用和潜在价值的挖掘提供理论依据和参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

黑果枸杞干果,购于新疆石河子市;ABTS、DPPH,索莱宝公司;脂肪酸甲酯混合标准溶液,安谱公司; $K_3[Fe(CN)_6]$,优级纯,科密欧公司;无水乙醇、石油醚、三氯乙酸、 KH_2PO_4 、 K_2HPO_4 、 $FeCl_3$ 等,均为分析纯。

6890N 气相色谱仪,安捷伦公司;I Mark 酶标仪,美国 Bio-Rad 公司;TU-1901 紫外分光光度计,普析通用公司。

1.2 实验方法

1.2.1 黑果枸杞籽油的提取

将黑果枸杞干果置于恒温干燥箱中,于 50℃ 干燥 4 h,取出干燥黑果枸杞果实置于室温冷却后,用低速粉碎机粉碎,过 0.25 mm (60 目)筛,分去果肉,即得黑果枸杞籽。将黑果枸杞籽用破壁机粉碎,得到黑果枸杞籽粉。将黑果枸杞籽粉与石油醚按照料液比 1:8 混合,置于超声仪中,于 800 W 超声提取 30 min,静置沉淀 12 h,取上清液抽滤,滤液于 40℃ 旋转蒸发除去石油醚,再置于恒温干燥箱中 60℃ 烘干至恒重,即得黑果枸杞籽油,将其转入棕色瓶冷藏备用。

1.2.2 黑果枸杞籽油理化性质的测定

碘值的测定参考 GB/T 5532—2008;皂化值的测定参考 GB/T 5534—2008;过氧化值的测定参考 GB 5009.227—2016;酸值的测定参考 GB 5009.229—2016。

1.2.3 黑果枸杞籽油脂肪酸组成及含量的测定

采用气相色谱外标法测定黑果枸杞籽油的脂肪酸组成及含量。

准确称取 0.060 g 黑果枸杞籽油于具塞刻度管中,加入 4 mL 异辛烷溶解样品,并涡旋混匀,再加入 0.2 mL 2 mol/L KOH-甲醇溶液,盖塞振摇 30 s,静置;加入约 1 g $NaHSO_4$ 中和 KOH,静置沉淀,取上清液过 0.22 μm 有机滤膜,置于 4℃ 待测。

气相色谱条件:DB225-MS 毛细管色谱柱(60 m \times 0.25 mm \times 0.25 μm);升温程序为初始温度 40℃,保持 0.5 min,以 25℃/min 升至 195℃,然后以 6℃/min 升至 220℃,再以 8℃/min 升至 235℃,保持 25 min;进样口温度 240℃;检测器温度 300℃;载气为氮气,流速 1.5 mL/min;分流比 10:1;进样量 1.0 μL 。

1.2.4 黑果枸杞籽油 DPPH·清除能力测定

参考邢海亮等^[12]的方法并略作修改。以 80% 乙醇溶液溶解 DPPH,并调整 DPPH 浓度为 0.1 mmol/L,即为 DPPH 工作液;用 80% 乙醇溶液将黑果枸杞籽油稀释成质量浓度分别为 0.1、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2 mg/mL 的溶液,分别取 2 mL 上述溶液于比色管中,加入 2 mL DPPH 工作液,涡旋混匀,室温避光反应 30 min,于 517 nm 波长处测定吸光度(A_1);用 80% 乙醇溶液代替 DPPH 工作液,反应结束后于 517 nm 波长处测定吸光度(A_0);用 80% 乙醇溶液代替黑果枸杞籽油,反应结束后于 517 nm 波长处测定吸光度(A_c);同时配制质量浓度分别为 0.1、0.2、0.4、0.8、1.6、3.2 mg/mL 的 V_c 溶液,代替黑果枸杞籽油稀释液作为阳性组。实验平行测定 3 次,结果取平均值。根据公式(1)计算 DPPH·清除率(Q)。

$$Q = [1 - (A_1 - A_0) / A_c] \times 100\% \quad (1)$$

1.2.5 黑果枸杞籽油 ABTS⁺·清除能力测定

参考万仁口等^[13]的方法并略作修改。将 2.6 mmol/L $K_2S_2O_8$ 溶液与 7.4 mmol/L ABTS 溶液等体积混合,室温下置于暗处反应 12 h,用 pH 7.4 的磷酸盐缓冲液(PBS)稀释至 734 nm 波长处吸光度为 0.7 左右,即为 ABTS 工作液;用 80% 乙醇溶液将黑果枸杞籽油稀释为质量浓度分别为 0.2、0.4、0.8、1.6、3.2、6.4 mg/mL 的溶液;分别取 0.01 mL 黑果枸杞籽油稀释液于 96 孔酶标板中,并向每孔加入 0.2 mL ABTS 工作液,充分混匀后室温下反应 6 min,于 734 nm 处测定吸光度(A_1);用 80% 乙醇溶液代替黑果枸杞籽油溶液,重复上述步骤,于 734 nm 处测定吸光度(A_c)。实验平行测定 3 次,结果取平均值。根据公式(2)计算 ABTS⁺·清除率(Q)。

$$Q = (1 - A_1 / A_c) \times 100\% \quad (2)$$

1.2.6 黑果枸杞籽油总还原能力测定

参考杨明非等^[14]的方法并略作修改。用 80% 乙

醇溶液将黑果枸杞籽油稀释成质量浓度分别为2、4、8、16 mg/mL的溶液,分别取1 mL上述溶液于比色管中,分别加入2.5 mL pH 6.6的0.2 mmol/L PBS,再加入2.5 mL 1% $K_3[Fe(CN)_6]$ 溶液,充分混匀后于50 °C反应20 min,冷却后加入2.5 mL 10%三氯乙酸溶液,将混合液于3 000 r/min离心10 min,取上清液1 mL,加入4 mL 0.1% $FeCl_3$ 溶液,充分摇匀后分别在700 nm波长处测定吸光度。实验平行测定3次,结果取平均值。

1.2.7 数据处理

实验数据用“平均值 ± 标准偏差”表示,并用Origin 8.6软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 黑果枸杞籽油的理化性质

对黑果枸杞籽油进行了理化性质分析,结果见表1。

表1 黑果枸杞籽油理化性质

项目	指标
碘值(I)/(g/100 g)	84.0 ± 0.2
皂化值(KOH)/(mg/g)	130.1 ± 0.3
过氧化值/(g/100 g)	0.42 ± 0.03
酸值(KOH)/(mg/g)	8.4 ± 0.2
色泽	浅黄色
透明度	略微浑浊

注:碘值、皂化值偏低,有待进一步确定

由表1可知,黑果枸杞籽油呈浅黄色、略微浑浊。皂化值与三酰甘油平均相对分子质量和不皂化物含量有关,三酰甘油的平均相对分子质量越小,不皂化物含量越低,皂化值越大。黑果枸杞籽油的皂化值(KOH)为(130.1 ± 0.3) mg/g,碘值(I)为(84.0 ± 0.2) g/100 g,属于不干性油。过氧化值反映油脂氧化变质的程度,酸值反映了油脂中游离脂肪酸含量。根据GB 2716—2018《食品安全国家标准 植物油》中的规定,食用油中原油的酸值(KOH)应小于或等于4 mg/g,过氧化值应小于或等于0.25 g/100 g,本实验提取的黑果枸杞籽油酸值、过氧化值均高于国家标准规定,需进一步精炼。

2.2 黑果枸杞籽油的脂肪酸组成及含量

采用气相色谱外标法测定黑果枸杞籽油的脂肪酸组成及含量,结果见表2。

由表2可知,黑果枸杞籽油中共鉴定出9种脂肪酸,其中饱和脂肪酸为棕榈酸、硬脂酸、花生酸和山嵛酸,占总脂肪酸的8.91%,不饱和脂肪酸为亚油酸、油酸、 γ -亚麻酸、 α -亚麻酸和顺-11-二十碳烯酸,占总脂肪酸的91.10%。亚油酸在黑

枸杞籽油中含量最高,为68.31%,远高于菜籽油(22.30%)和花生油(27.6%),也高于大豆油(55.53%)和玉米油(53.43%),与葵花籽油(73.73%)接近^[10]。亚油酸是人体重要的功能性多不饱和脂肪酸,有助于降低人体内血清胆固醇含量,升高机体高密度脂蛋白,减少血管壁脂质沉积,从而防止动脉血栓形成,提高和完善血管壁功能^[15-17]。油酸在植物油中含量变化较大,菜籽油中油酸含量为64.4%,花生油为52.2%,玉米油为30.16%,大豆油为23.26%,黑果枸杞籽油中油酸含量为17.76%,与葵花籽油(16.93%)接近^[10]。黑果枸杞籽油中 γ -亚麻酸的含量较高,为3.37%。 γ -亚麻酸能通过抑制酪氨酸酶活性而起到对抗黑色素生成,防止色素沉着的作用,被广泛应用于化妆品领域,另外, γ -亚麻酸具有降血脂、抗动脉粥样硬化、降血压等生理功能^[18-21]。

表2 黑果枸杞籽油的脂肪酸组成及含量

脂肪酸	保留时间/min	相对含量/%
棕榈酸(C16:0)	13.173	5.37
硬脂酸(C18:0)	15.330	2.58
油酸(C18:1n9c)	15.663	17.76
亚油酸(C18:2n6c)	16.316	68.31
γ -亚麻酸(C18:3n6)	16.533	3.73
α -亚麻酸(C18:3n3)	16.924	1.04
花生酸(C20:0)	18.309	0.63
顺-11-二十碳烯酸(C20:1n9)	18.757	0.27
山嵛酸(C22:0)	22.854	0.33
饱和脂肪酸		8.91
不饱和脂肪酸		91.10

2.3 黑果枸杞籽油的DPPH·清除能力

DPPH乙醇溶液呈紫色,抗氧化物质通过与DPPH·结合降低溶液中DPPH·的含量,从而改变溶液的吸光度,间接反映抗氧化物质的抗氧化能力。黑果枸杞籽油的DPPH·清除能力如图1所示。

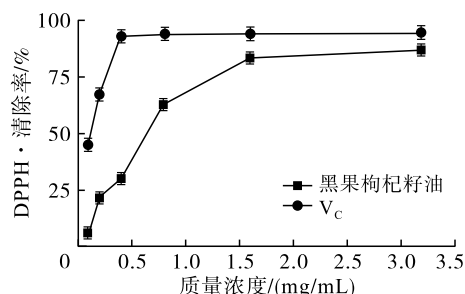


图1 黑果枸杞籽油对DPPH·的清除能力

由图1可知,在0.1~3.2 mg/mL范围内,黑果枸杞籽油对DPPH·的清除率随其质量浓度的增加

而增强,呈现一定的正相关性。当黑果枸杞籽油质量浓度从0.1 mg/mL增加到1.6 mg/mL时,黑果枸杞籽油对 DPPH· 的清除率从5.96%增加到83.33%,并呈现一定的线性关系,但从1.6 mg/mL增加到3.2 mg/mL时,对 DPPH· 的清除率从83.33%增加到86.86%,变化趋于平稳。通过计算可得黑果枸杞籽油对 DPPH· 清除率的 IC_{50} 为0.587 mg/mL, 低于美藤果油和桂桑优12种子油(IC_{50} 分别为2.96 mg/mL和2.11 mg/mL),也远低于水飞蓟油(IC_{50} 为33.68 mg/mL)和莲子胚芽油(IC_{50} 为48.90 mg/mL)^[22-24],说明黑果枸杞籽油具有良好的 DPPH· 清除能力。

2.4 黑果枸杞籽油的 ABTS⁺· 清除能力

黑果枸杞籽油的 ABTS⁺· 清除能力见图2。由图2可知,随着黑果枸杞籽油质量浓度的增加,其对 ABTS⁺· 的清除率增大。当黑果枸杞籽油质量浓度从0.2 mg/mL增加到3.2 mg/mL时,对 ABTS⁺· 清除率从2.68%增加到57.50%,并呈现良好的线性关系,从3.2 mg/mL增加到6.4 mg/mL时,对 ABTS⁺· 的清除率变化趋于平稳。

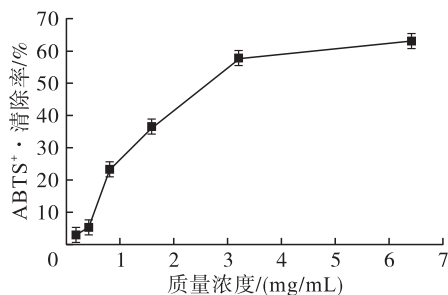


图2 黑果枸杞籽油对 ABTS⁺· 的清除能力

2.5 黑果枸杞籽油的总还原能力

抗氧化物质的还原作用是通过给出自身的电子清除自由基而完成,抗氧化性越强,其还原能力越强。测定总还原能力的化学反应机理是具有还原能力的物质能够将 $K_3[Fe(CN)_6]$ 的 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,再与 $FeCl_3$ 反应生成 $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$,该物质在700 nm处的吸光度与其浓度呈正相关,故能够间接反映样品的总还原能力。黑果枸杞籽油的总还原能力如图3所示。

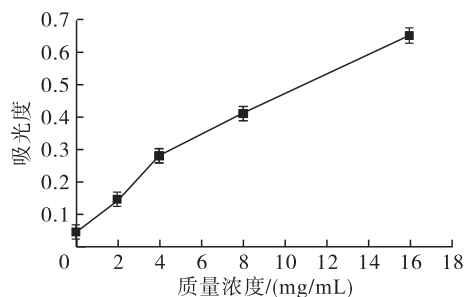


图3 黑果枸杞籽油的总还原能力

由图3可知,随着黑果枸杞籽油质量浓度的增加其总还原能力逐渐增强,说明黑果枸杞籽油具备一定的 Fe^{3+} 还原能力。

3 结论

以石油醚浸提法提取黑果枸杞籽油,测定黑果枸杞籽油的理化指标、脂肪酸组成和体外抗氧化活性。结果表明,黑果枸杞籽油皂化值(KOH)为(130.1±0.3)mg/g,碘值(I)为(84.0±0.2)g/100g,酸值(KOH)为(8.4±0.2)mg/g,过氧化值为(0.42±0.03)g/100g,酸值和过氧化值高于国家标准规定,需进一步精炼。黑果枸杞籽油含有亚油酸、油酸、棕榈酸、 γ -亚麻酸、硬脂酸、 α -亚麻酸、花生酸、山萘酸和顺-11-二十碳烯酸共9种脂肪酸,相对含量分别为68.31%、17.76%、5.37%、3.73%、2.58%、1.04%、0.63%、0.33%和0.27%。黑果枸杞籽油对 DPPH· 和 ABTS⁺· 具有良好的清除能力,还具备一定的 Fe^{3+} 还原能力。黑果枸杞籽油含有丰富的不饱和脂肪酸,且体外抗氧化活性较强,具有很大的开发潜力和良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 王琴,王建友,刘凤兰,等. 黑果枸杞油中脂肪酸、植物甾醇的组成及维生素A、维生素E的分析[J]. 中国油脂, 2017, 42(4):145-147.
- [2] PARK H A, CROWE - WHITE K, DAVIS A, et al. Vitamin E improves neurite complexity by enhancing mitochondrial function[J/OL]. Curr Dev Nutr, 2021, 5: 915 [2021-07-15]. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzab049-028>.
- [3] QUOC Q L, BICH T C T, KIM S H, et al. Administration of vitamin E attenuates airway inflammation through restoration of Nrf2 in a mouse model of asthma[J]. J Cell Mol Med, 2021, 25(14):6721-6732.
- [4] MARIANTI A, CHRISTIJANTI W, MURSITI S. Effect of Gamma Co⁶⁰-irradiated chitosan and vitamin E towards Pb acetate cytotoxicity on rat kidney[J/OL]. J Phys Conf Ser, 2021, 1918(5):052008 [2021-07-15]. <https://lib.unnes.ac.id/id/eprint/48776>.
- [5] BRAUNER R, JOHANNES C, PLOESSL F, et al. Phytosterols reduce cholesterol absorption by inhibition of 27-hydroxy cholesterol generation, liver X receptor α activation, and expression of the basolateral sterol exporter ATP-binding cassette A1 in Caco-2 enterocytes[J]. J Nutr, 2012, 142(6):981-989.
- [6] COUDER - GARCIA B D C, JACOBO - HERRERA N J, ZENTELLA - DEHESA A, et al. The phytosterol penicercerol inhibits cell proliferation and tumor growth in a colon cancer xenograft model[J]. Front Oncol, 2019, 9: 1341-1352.

- [7] 施光宗. 植物甾醇衍生物合成及抗肿瘤活性的研究和 γ -倒捻子素化合物的合成研究[D]. 南昌:南昌大学, 2011.
- [8] 陈茂彬, 黄琴, 干信, 等. 植物甾醇油酸酯对荷瘤小鼠免疫调节作用研究[J]. 武汉理工大学学报, 2005, 27(3):46-48.
- [9] 谷盼盼, 王芳梅, 张鑫, 等. 超声波辅助提取黑果枸杞中油脂的工艺研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(3):120-126.
- [10] LIU Z G, LIU B L, KANG H L, et al. Subcritical fluid extraction of *Lycium ruthenicum* seeds oil and its antioxidant activity[J]. Int J Food Sci Tech, 2019, 54(1):161-169.
- [11] 王亮, 谷盼盼, 王芳梅, 等. 黑果枸杞籽油的氧化稳定性研究[J]. 中国油脂, 2019, 44(10):42-45, 70.
- [12] 邢海亮, 余旭亚, 耿树香, 等. 核桃虾青素复合油体外抗氧化活性研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(5):48-52.
- [13] 万仁口, 贺杨正, 李功景, 等. 酶解制备竹笋可溶性膳食纤维及其抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3):153-160.
- [14] 杨明非, 苏雯, 王海英. 红松子油的体外抗氧化活性[J]. 东北林业大学学报, 2017, 45(12):80-82.
- [15] CHAMPEILLI - POTOKAR G, DENIS I, GOUSTARD - LANGELEIER B, et al. Astrocytes in culture require docosahexaenoic acid to restore the $n - 3/n - 6$ polyunsaturated fatty acid balance in their membrane phospholipids[J]. J Neurosci Res, 2004, 75(1):96-106.
- [16] 岳崑, 叶诚, 郑冬冬, 等. 多不饱和脂肪酸对大鼠大脑细胞膜脂肪酸组成的影响[J]. 中国酿造, 2014, 33(1):36-39.
- [17] 徐世民, 刘颖, 胡晖. 分子蒸馏富集海狗油中多不饱和脂肪酸[J]. 化学工业与工程, 2006(6):495-498.
- [18] 徐润娴. γ -亚麻酸的药理作用、开发及应用[J]. 交通医学, 2006, 20(4):484-486.
- [19] 董杰明. GLA 粉剂对动物调血脂抗动脉粥样硬化作用研究[J]. 中医药临床杂志, 2006, 18(2):135-136.
- [20] 徐焰, 肖瀛. 功能性 γ -亚麻酸代谢研究的进展[J]. 食品科学, 2005, 26(8):508-512.
- [21] 邢旭光, 郭国庆, 孙晗笑, 等. γ -亚麻酸的防病抗病作用[J]. 中国公共卫生, 2002, 18(12):1513-1515.
- [22] 王肖行, 余旭亚, 耿树香, 等. 美藤果油体外抗氧化性能研究[J]. 中国油脂, 2021, 46(4):63-67.
- [23] 吴婧婧, 梁贵秋, 陆春霞, 等. 桂桑优 12 种子油提取的响应面工艺优化及其抗氧化分析[J]. 南方农业学报, 2019, 50(1):144-150.
- [24] 朱淑云, 周越, 肖香, 等. 水飞蓟油的体外抗氧化活性及对氧化损伤小鼠的保护作用[J]. 食品科学, 2018, 39(5):234-238.

(上接第 70 页)

- [17] 蒋益花. 樟树果红色素在不同环境条件下稳定性的研究[J]. 食品科技, 2007, 32(7):178-180.
- [18] 周艳华, 文赤夫, 马美湖. 樟树果实红色素各单体的定性分析[J]. 食品科技, 2008, 33(8):161-164.
- [19] QUEIROZ C, MENDES LOPES M L, FIALHO E, et al. Polyphenoloxidase: characteristics and mechanisms of browning control [J]. Food Rev Int, 2008, 24(4):361-375.
- [20] ROHN S. Possibilities and limitations in the analysis of covalent interactions between phenolic compounds and proteins[J]. Food Res Int, 2014, 65:13-19.
- [21] 朱力杰, 许杨杨, 徐清莹, 等. 皂苷-蛋白质相互作用的研究进展[J]. 中国食品学报, 2020, 20(4):300-310.
- [22] QUAN T H, BENJAKUL S, SAE - LEAW T, et al. Protein - polyphenol conjugates: antioxidant property, functionalities and their applications[J]. Trends Food Sci Tech, 2019, 91:507-517.
- [23] HOLZWARTH G, DOTY P. The ultraviolet circular dichroism of polypeptides[J]. J Am Chem Soc, 1965, 87:218-228.
- [24] GREENFIELD N J, FASMAN G D. Computed circular dichroism spectra for the evaluation of protein conformation [J]. Biochemistry, 1969, 8(10):4108-4116.
- [25] VENYAMINOV S Y, BAIKALOV I A, SHEN Z M, et al. Circular dichroic analysis of denatured proteins: inclusion of denatured proteins in the reference set [J]. Anal Biochem, 1993, 214(1):17-24.
- [26] 毛晓英, 华欲飞. 不同提取工艺制备的核桃蛋白的组成与结构特征[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2011, 32(6):631-635.
- [27] 华欲飞, 谷文英. 醇变性大豆蛋白的结构特征及物化性质的研究[J]. 无锡轻工大学学报, 1996(2):129-134.
- [28] CHRISTIAN S, SKADI K, SUSANNE K, et al. Development of a novel strategy to isolate lipophilic allergens (oleosins) from peanuts [J/OL]. Plos One, 2015, 10(4):e0123419[2022-05-01]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123419>.
- [29] 华欲飞, 孟祥勇, 黄剑旭. 蛋白质分子聚集状态对大豆蛋白溶胀性能的影响[J]. 无锡轻工大学学报, 2000, 19(1):46-49, 75.