

火麻仁油提取、化学成分及功能研究进展

Research progress of extraction, chemical composition
and function of hemp seed oil

陈则华¹ 陈彤² 李伟^{3,4} 刘飞⁵

CHEN Ze-hua¹ CHEN Tong² LI Wei^{3,4} LIU Fei⁵

杜洁^{3,4} 冯孔龙^{3,4} 曹庸^{3,4}

DU Jie^{3,4} FENG Kong-long^{3,4} CAO Yong^{3,4}

(1. 无限极〔中国〕有限公司, 广东 广州 510663; 2. 深圳市农产品质量安全检验检测中心, 广东 深圳 518055;
3. 华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642; 4. 广东省天然活性物工程技术研究中心, 广东 广州 510642;
5. 广州绿萃生物科技有限公司, 广东 广州 510663)

(1. Infinitus〔China〕Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510663, China; 2. Shenzhen Agricultural Product
Quality Safety Inspection Testing Center, Shenzhen, Guangdong 518055, China; 3. College of Food Sciences,
South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 4. Guangdong Province
Engineering Research Center for Bioactive Natural Products, Guangzhou, Guangdong 510642, China;
5. Guangzhou Greencream Biotech Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510663, China)

摘要:文章综述了火麻仁油提取方法、化学成分,对其生物活性功能的研究概况进行归纳总结,并展望火麻仁油的发展前景。

关键词:火麻仁油;提取;化学成分;功能

Abstract: Hemp seed oil has a good application prospects in function of hypolipidemic, anti-oxidation and anti-aging which can meet the needs of people's diet health. This review summarized different extraction methods and chemical components of Hemp oil, and the research on biological activity, looking forward to the development prospects of Hemp oil and providing the basis for its development and utilization.

Keywords: hemp seed oil; extraction; chemical composition; function

火麻仁是大麻属桑科植物的干燥成熟种子,又名麻子仁、大麻子、火麻、白麻子、冬麻子等,广泛分布于中国东北、华北、华南等地^[1-3]。现代研究表明,火麻仁营养丰富,富含

蛋白质、油脂以及膳食纤维等,具有良好的降血脂^[4]、抗炎^[5]、抗氧化^[6]、改善记忆^[7]等作用。火麻仁油是火麻仁的油脂提取物,在火麻仁中其含量高达 50% 以上,常温下呈黄绿色,在储藏过程中逐渐变成黄棕色。火麻仁油含有大量的不饱和脂肪酸,具有降血脂^[8]、抗氧化^[9]、改善记忆^[8]等作用,是一种高品质的功能性油脂^[10]。目前,中国火麻仁油的研究仍处于初级阶段,火麻仁主要产区的火麻仁油大多也是作坊式生产,产品品质难以保证。在新产品的开发方面也略有不足,目前市面上火麻仁油产品品种单一且仅限部分地区才有,难以形成品牌效应以拉动市场。本文主要从火麻仁油提取、化学成分及功能 3 个方面进行综述,同时展望火麻仁油的发展前景,为火麻仁油的综合利用提供依据。

1 火麻仁油提取和化学成分

1.1 火麻仁油提取

1.1.1 溶剂浸出法 溶剂浸出法通常采用 6 号溶剂提取油脂,其原理是相似相容。通过将原材料进行粉碎,破坏油料作物的细胞壁,再以适当的溶剂将暴露出来的油脂或者脂溶性成分萃取出来,通过一系列后续精制的过程以获取高品质油脂。溶剂浸出法以其出油率高、操作简单等特点,适合工业化生产。曾凡炎等^[11]研究指出采用石油醚、乙酸乙酯、乙醇、正丁醇进行超声辅助萃取火麻仁,其出油率分别为 34.82%, 20.63%, 17.02%, 29.83%, 再对其脂肪酸组成进行

基金项目:国家重点研发计划——人工林非木质林产资源高质化利用技术创新(编号:2016YFD0600806)

作者简介:陈则华,男,无限极〔中国〕有限公司工程师,硕士。

共同第一作者:陈彤,男,硕士。

通信作者:曹庸(1966—),男,华南农业大学教授,博士。

E-mail: caoyong2181@scau.edu.cn

收稿日期:2017-08-21

分析,结果表明不同溶剂提取的火麻仁油除脂肪酸种类因溶剂极性不同而略显差异,但主要脂肪酸成分及其相对含量无明显差异。邓仕任等^[12]通过正交试验和响应面工艺设计优化方法论证得出超声辅助溶剂提取火麻仁油得率高达33.34%,此时的工艺条件为料液比1:17(g/mL),超声时间27 min,超声温度20℃,该方法下火麻仁油提取率达92%。溶剂浸出法出油率高、操作简单,但生产安全性差,存在溶剂残留的弊端。

1.1.2 压榨法 作为传统榨油的方式,压榨法通常分为热榨法和冷榨法。热榨法榨取火麻仁油的过程会导致不饱和脂肪酸的高温氧化,同时蛋白质也会发生部分变性,从而引起油料品质的降低。螺杆法属于热榨法的一种,其螺杆腔内温度甚至达到150℃,其出油率一般高于冷榨法,螺旋榨油机也因其生产连续、成本低等优势而备受中小型油脂厂青睐^[13]。冷榨法因其低温操作能够较完全保留油料天然成分和生理活性物质。周鸿翔等^[14]通过液压冷榨法优化火麻仁油制备工艺得出:压榨压力40 MPa、压榨时间36 min以及压榨温度59℃时,提取率为82.74%,通过气相色谱法分析火麻仁油主要含有亚油酸(57.85%)、亚麻酸(18.42%)、油酸(13.16%)。Anwar等^[15]通过液压法压榨水分含量4%左右的火麻仁,火麻仁油出油率为26.90%~31.50%。作为一种物理取油的方式,压榨法生产适应性强、工艺简单,但是出油率较低、劳动强度大、综合利用率低。

1.1.3 超临界CO₂萃取法 超临界CO₂萃取分离过程的原理是利用超临界二氧化碳对某些特殊天然产物具有特殊溶解作用,利用压力和温度对超临界二氧化碳溶解能力的影响而进行的^[16]。万广朋等^[17]通过正交试验得出超临界CO₂萃取火麻仁油的最佳提取工艺:萃取温度45℃、萃取压力40 MPa、萃取时间2 h、CO₂流量30 L/h,此时火麻仁油提取率达到28.5%。相似研究^[18]指出在萃取温度50℃、萃取压力30 MPa、反应Ⅰ和Ⅱ温度分别为45,55℃时,火麻仁油出油率达到27%。超临界CO₂萃取过程是在常温或者低温下进行,不会对火麻仁原料蛋白质结构造成明显破坏,油的品

质好,没有溶剂残留,但成本较高。

1.1.4 水酶法 水酶法是一种操作简单、效率高、能耗低的油脂提取方法。它的工艺是将油料破碎后加水作为分散相,酶可以溶解在水中并且将油脂从油料中提取出来。水酶法因为是在温和条件下从油料中提取油脂,这种方法不会破坏油料中的蛋白质等,保留了油的天然高品质。刘贺等^[19]指出通过水酶法提取火麻仁中油脂,在甘露聚糖酶1 900 U/g、温度70℃、pH 8的条件下酶解1.7 h,再在胰酶500 U/g、温度40℃、pH 8的条件下酶解2 h,提油率可达62.49%。舒奕等^[20]采用碱性蛋白酶在液料比3.5:1、酶用量2.0%(以火麻仁质量计)、酶解初始pH 7、酶解温度70℃、酶解时间3.5 h下得到火麻仁油的提取率为83.81%。水酶法虽然操作简单、条件也比较温和,但提取时间较长、出油率不高。

1.2 火麻仁油化学成分

1.2.1 脂肪酸组成 火麻仁油含有多种脂肪酸,其中不饱和脂肪酸含量最高,现代研究表明不饱和脂肪酸具有改善心血管疾病^[21]以及免疫调节^[22]等作用。火麻仁油也含有饱和脂肪酸和酯类等。不饱和脂肪酸主要有棕榈油酸、油酸、亚油酸、 α -亚麻酸、 γ -亚麻酸等;饱和脂肪酸以棕榈酸、硬脂酸、花生酸为主;表1列举火麻仁油的脂肪酸组成。此外,火麻仁油具有常见食用油没有的 γ -亚麻酸,具有很好的抗心血管疾病、降血脂以及改善记忆等作用,对人们身体健康十分有益。

1.2.2 V_E 火麻仁油中还含有丰富的V_E,Teh等^[25]研究指出火麻仁油中生育酚、黄酮类和酚酸类物质含量显著高于亚麻籽油和菜籽油。欧洲市场冷榨法获得的油脂中火麻仁油含有最高的 γ -生育酚,含量达到817.14 mg/kg^[33],在抗氧化和清除自由基方面有良好的效果。

1.2.3 植物甾醇 火麻仁油中还含有植物甾醇,其中以 β -谷甾醇含量最高,甾醇可以降低血液中的胆固醇含量,其与慢性病的发生有关^[34]。研究^[35]指出广西巴马地区常年种植和食用火麻仁油,被称为长寿油,这与火麻仁油中植物甾醇密切相关。此外,火麻仁油中酯类主要含有庚酸、1-二甲基丁酸以及一些酮类、烃类等。

表 1 不同方法提取的火麻仁油脂肪酸组成

Table 1 Different methods for extracting fatty acid composition of hemp seeds

%

序号	棕榈酸	硬脂酸	油酸	亚油酸	α -亚麻酸	γ -亚麻酸	花生酸	二十二烯酸	文献来源
1	5.44	2.09	8.29	55.84	26.10	0.24	0.61	0.28	[23]
2	7.35	1.17	3.94	60.08	25.75	0.24	0.63	0.84	[24]
3	6.29	2.51	9.56	56.85	18.76	4.76	0.89	0.46	[25]
4	5.85	1.45	10.67	59.21	18.47	3.40	0.84	0.12	[26]
5	5.19	1.57	10.99	59.77	18.15	3.42	0.78	0.13	[27]
6	6.02	2.40	10.17	60.50	20.00	0.63	—	—	[15]
7	8.43	3.77	10.14	58.66	14.01	1.28	1.00	0.51	[28]
8	6.26	2.72	11.72	59.96	16.33	3.00	—	—	[29]
9	6.53	2.64	15.21	50.46	20.09	0.58	0.70	0.53	[30]
10	6.00~9.00	2.00~3.00	10.00~16.00	50.00~70.00	15.00~25.00	1.00~6.00	0.79~0.81	0.39~0.41	[31]
11	5.00	2.00	9.00	56.00	22.00	4.00	—		[32]

2 火麻仁油功能

现代研究^[31]指出,食用油中 $n-6/n-3$ 的比例为 2 : 1 ~ 3 : 1 时对人体最有益,而火麻仁油因其富含不饱和脂肪酸,且脂肪酸组成比例适中,故其可作为一种潜在的理想食用油。

2.1 降血脂作用

不合理的饮食会造成血清中胆固醇、甘油三酯以及低密度脂蛋白过高,这会进而引起一系列的代谢紊乱,通常表现为高脂血症,同时它也是诱发心血管疾病、脂肪肝等疾病的因素之一^[8,36]。萧冈等^[8]以血清总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平等为指标,研究火麻仁油和藻油对营养肥胖型大鼠的降脂减肥作用,结果表明,中、高剂量的火麻仁油藻油混合物可以显著降低血清中 TG 含量,提高 TC 和 HDL-C 含量,火麻仁油和藻油混合物能够起到显著降脂减肥的作用。相似研究^[8]指出火麻仁油和藻油混合物可使试验组大鼠睾脂肪垫重、肾周脂肪垫重、脂体比显著降低,起到有效的降脂作用。这是因为火麻仁油能清除体内产生过多的自由基,减少细胞膜不饱和脂肪酸过氧化,从而起到降血脂的作用。张丹丹等^[37]以高脂饲料建立高脂血症模型大鼠,探究火麻仁油降血脂作用,结果表明火麻仁油各剂量组能够显著降低大鼠血清中总胆固醇、三酰甘油以及动脉硬化指数($P<0.01$),其中高剂量组还能显著降低低密度脂蛋白胆固醇以及肝脏中 MDA 含量($P<0.01$),可能是火麻仁油参与改善大鼠体内脂肪代谢相关机制,从而起到降脂保肝的作用。

2.2 抗氧化作用

抗氧化作用是指抵抗机体发生氧化作用的过程。机体通过体内的相关抗氧化物酶或者摄入外源性抗氧化物质起到清除自由基或者延缓自由基形成的作用,避免受到氧化损伤^[38]。火麻仁油中的高不饱和脂肪酸含量赋予其具有较好的抗氧化效果^[39],具有良好的开发前景。扈学俸等^[40]指出火麻仁油不会对动物造成明显毒性作用,同时通过测定相关抗氧化指标,发现火麻仁油有明显提高大鼠血清抗氧化能力的效果,血清中 SOD、GSH-Px 酶活显著提高($P<0.05$),MDA 含量显著下降($P<0.05$)。李永进等^[41]从体内外两个角度探究火麻仁油的抗氧化效果,在体外试验中,火麻仁油醇提物有显著清除 DPPH 自由基的效果($P<0.05$);在小鼠体内试验中,火麻仁油显著提高小鼠体内 SOD 酶活,降低 MDA 含量($P<0.05$)。代谢过程中产生的氧自由基正常情况下在体内处于动态平衡状态,但在某些病理情况下这种平衡被打破,过量的氧自由基会诱导脂质过氧化,引起机体的氧化损伤,补充外源性的抗氧化物质或者体内抗氧化相关酶类能够大量表达可以减缓或者防止氧化损伤。也有研究^[29,43]表明,火麻仁油比普通大豆油和玉米油具有更高的抗氧化活性,这与火麻仁油中丰富的不饱和脂肪酸以及少量酚类物质关系密切。火麻仁油可提高小鼠体内 SOD、GSH-Px 酶活,消除细胞产生的过氧化脂质(LPO)等物质,保护机体不受氧化损伤,从而起到抗氧化作用^[42]。

2.3 抗衰老作用

动物体在新陈代谢的过程中,受到各种因素的影响,体内会产生过量的高活性自由基。这些自由基会引起脂质过氧化,产生大量 LPO,造成生物体生物膜、蛋白质以及核酸的损伤。抗氧化物能够清除体内过量的自由基,防止 LPO 的产生,延缓生物体衰老的进程^[43-44]。曹俊岭等^[45]以复方地芬诺脂致使便秘模型小鼠为试验对象,发现模型组小鼠血清和脑组织中 NO 含量显著提高,胸腺厚度变薄、皮质细胞减少,呈现明显的衰老现象;而添加有火麻仁油的中、高剂量试验组小鼠胸腺厚度以及皮质淋巴细胞数量显著提高($P<0.05$),同时显著降低血清和脑组织中的 NO 含量($P<0.01$),起到延缓衰老的作用。此外,有研究^[46]证实火麻仁油能显著提高 D-半乳糖亚诱导的急性衰老模型小鼠血清和脑组织抗氧化酶(SOD 和 GSH-Px)活力($P<0.01$),降低 NO 含量和 MDA 含量($P<0.01$),表明火麻仁油可以通过提高机体抗氧化能力以及改善机体免疫系统达到抗衰老的效果。相似研究^[47]指出在 D-半乳糖颈背部皮下注射复制小鼠亚急性衰老模型中,火麻仁油试验组能显著提高皮肤 SOD 酶活,促进小鼠表皮毛发的生长,改善皮肤形态功能,具有良好的抗衰老效果。火麻仁油在家蚕试验中也表现出良好的延长家蚕幼虫生存期的作用,同时对于 5 龄期家蚕耐饥饿时间也有显著延长^[34]。

2.4 其他作用

火麻仁油还有抗炎和润肠作用等。Callaway 等^[48]研究指出火麻仁油能提高皮炎患者血液中不饱和脂肪酸含量,从而调节血浆中甘油三酯等的脂肪酸谱,改善皮肤干燥、瘙痒的症状。在衰老小鼠模型试验中,火麻仁油中、高剂量组可显著降低 TLR4、TNF- α 、CRP 含量,起到显著的抗炎作用^[9]。李寒冰等^[49]研究指出火麻仁油能显著改善小鼠结肠中 pH 值,促进有益菌的生长,对肠道菌群有一定的调节作用。火麻仁油也能够刺激肠黏膜,促进肠道蠕动,具有泻下作用。苏婧等^[8]指出在 D-半乳糖致衰老小鼠学习记忆障碍的研究中,火麻仁油能提高脑组织的抗氧化能力、Ach 含量以及 AchE 和 ChAT 活性,从而改善小鼠记忆学习能力。这与火麻仁油能提高小鼠脑组织抗氧化能力、减少自由基造成的氧化损伤相关,同时小鼠大脑皮层中 Ach 含量的升高增强中枢神经系统功能也与改善小鼠记忆学习功能有关。

3 结论

火麻仁油作为火麻仁的重要组成成分之一,富含不饱和脂肪酸且脂肪酸比例适中,具有良好的降血脂、抗氧化以及抗衰老等功能特性,是一种品质优良的新型功能性油脂。目前,市面已有火麻仁油肥皂、火麻仁油乳液、火麻仁油饮料、火麻仁油面包等产品在售,因其独特的功效,备受消费者青睐。

现阶段中国火麻仁油资源的开发利用尚处于初级阶段,食用火麻仁油的习惯也限于广西巴马、山西晋中等主要产地。而火麻仁作为大麻科的植物,由其制备而来的火麻仁油因含有微量四氢大麻酚等大麻类物质而遭到安全性质疑。

虽然现在精制技术愈发成熟，仍需加大火麻仁油宣传以减少负面信息误导消费者。同时，中国关于火麻仁油的研究大多停留在表观的影响，少有文章从火麻仁油的作用机理方面阐述火麻仁油的功效。为了从机理的角度阐明火麻仁油的功效，建立起火麻仁油一功效一作用机理的一体化研究对火麻仁油的发展具有重要意义。

为更好开发火麻仁油资源，笔者认为首先应该对火麻仁的品种进行物种筛选，找到安全、高品质的火麻仁油原料来源。同时，火麻仁油的精制技术有待研究者提高，相关技术也不应仅仅着眼于实验室阶段，适用于中式、甚至工业化生产的精制技术对火麻仁油的工业化生产将起到关键作用。为更清楚研究火麻仁油的功效，研究者需从火麻仁油的基础研究做起，除了关注其生理活性外，还要重点剖析火麻仁油功效的作用机理，从基因、蛋白层面揭示火麻仁油在抗衰老、抗氧化等方面的作用将有利于突破现有研究层次。总体来说，火麻仁油是一种极具发展前景的新型功能性油脂。

参考文献

[1] 王化东, 卫莹芳, 郭山山, 等. 不同产地火麻仁品质评价[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(17): 3 782-3 785.

[2] VONAPARTIS E, AUBIN M P, SEGUIN P, et al. Seed composition of ten industrial hemp cultivars approved for production in Canada[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 39: 8-12.

[3] HADNA DEV M, DAPCEVIC-HADNADEV T, LAZARIDOU A, et al. Hempseed meal protein isolates prepared by different isolation techniques Part I: physicochemical properties[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 79: 526-533.

[4] 曹东波, 陈新宇. 功能性便秘的中医治疗进展[J]. 中医药导报, 2014, 20(4): 88-90.

[5] LUO Qian, YAN Xiao-li, BOBROVSKAYA L, et al. Anti-neuroinflammatory effects of grossamide from hemp seed via suppression of TLR-4-mediated NF- κ B signaling pathways in lipopolysaccharide-stimulated BV2 microglia cells[J]. Molecular and Cellular Biochemistry, 2017, 428(1/2): 129-137.

[6] SMERIGLIO A, GALATI E M, MONFORTE M T, et al. Polyphenolic compounds and antioxidant activity of cold-pressed seed oil from finola cultivar of *Cannabis sativa* L[J]. Phytotherapy Research, 2016, 30(8): 1 298-1 307.

[7] YAN Xiao-li, TANG Jia-jing, DOS SANTOS PASSORS C, et al. Characterization of lignanamides from hemp (*Cannabis sativa* L.) seed and their antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory activities[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2015, 63(49): 10 611-10 619.

[8] 萧闵, 李全胜. 火麻仁油与藻油混合物对营养肥胖大鼠的降脂减肥作用研究[J]. 湖北中医药大学学报, 2016, 18(4): 12-15.

[9] 李根林, 曹亚蕊, 吴宿慧, 等. 火麻仁油对衰老模型小鼠血脂水平及炎症、抗氧化相关指标的影响[J]. 中药药理与临床, 2015, 31(1): 109-111.

[10] 韦凤, 涂冬萍, 王柳萍. 火麻仁食用开发和药理作用研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2015(12): 3 486-3 488.

[11] 曾凡炎, 马燮. 不同溶剂对火麻仁出油率及脂肪酸成分的影响[C]// 2015 年中国化工学会年会. 北京: [出版者不详], 2015: 4.

[12] 邓仕任, 夏林波, 郭莹. 响应面法优化超声波提取火麻仁油[J]. 食品工业科技, 2012, 33(5): 243-245.

[13] 何锦凤, 陈天鹏, 钱平, 等. 大麻籽油的特性及研究进展[J]. 中国粮油学报, 2008, 23(4): 239-244.

[14] 周鸿翔, 黄小焕, 王广莉, 等. 响应面法优化火麻仁油冷榨提取工艺[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 67-72.

[15] ANWAR F, LATIF S, ASHRAF M. Analytical characterization of hemp (*Cannabis sativa*) seed oil from different agro-ecological zones of Pakistan[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2006, 83(4): 323-329.

[16] ALADIC K, JARNI K, BARBIR T, et al. Supercritical CO₂ extraction of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil[J]. Industrial Crops and Products, 2015, 76: 472-478.

[17] 万广朋, 李祥, 覃江克, 等. 巴马火麻仁油超临界 CO₂ 萃取工艺优化及其脂肪酸成分分析[J]. 中国油脂, 2013, 38(9): 11-13.

[18] 褊雪梅. 正交设计法优选火麻仁超临界 CO₂ 萃取工艺[J]. 现代医药卫生, 2013, 29(21): 3 225-3 226.

[19] 刘贺, 庚平, 张娟, 等. 响应面设计优化水酶法提取火麻仁油工艺参数[J]. 中国粮油学报, 2014, 29(4): 62-67.

[20] 舒奕, 王梓昂, 郭艾, 等. 响应面优化碱性蛋白酶提取火麻仁油的研究[J]. 中国油脂, 2014, 39(3): 1-5.

[21] DE SOUZA R J, MENTE A, MAROLEANU A, et al. Intake of saturated and trans unsaturated fatty acids and risk of all cause mortality, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: systematic review and meta-analysis of observational studies[J]. Bmj, 2015, 351: h3 978.

[22] MONK J M, LIDDLE D M, COHEN D J A, et al. The delta 6 desaturase knock out mouse reveals that immunomodulatory effects of essential *n*-6 and *n*-3 polyunsaturated fatty acids are both independent of and dependent upon conversion[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2016, 32: 29-38.

[23] 廖丽萍, 肖爱平, 冷鹃, 等. 火麻仁冷榨油脂脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(12): 42-44.

[24] 王崇晓, 邵伟艳, 朱龙平. 尿素包合法分离火麻仁油不饱和脂肪酸的研究[J]. 广东化工, 2015, 42(3): 1-3.

[25] TEH S, BIRCH J. Physicochemical and quality characteristics of cold-pressed hemp, flax and canola seed oils[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2013, 30(1): 26-31.

[26] DA PORTO C, VOINOVICH D, DECORTI D, et al. Response surface optimization of hemp seed (*Cannabis sativa* L.) oil yield and oxidation stability by supercritical carbon dioxide extraction[J]. The Journal of Supercritical Fluids, 2012, 68: 45-51.

[27] DA PORTO C, DECORTI D, TUBARO F. Fatty acid composition and oxidation stability of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed oil extracted by supercritical carbon dioxide[J]. Industrial Crops and Products, 2012, 36(1): 401-404.

[28] 周永红. 火麻仁油中脂肪酸的 GC-MS 分析[J]. 中国油脂, 2004, 29(1): 72-73.

[29] PARKER T D, ADAMS D A, ZHOU Ke, et al. Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils[J]. Journal of Food Science, 2003, 68(4): 1 240-1 243.

[30] BA CI E, AITZETMULLER K, ALTAN Y, et al. A chemotaxonomic approach to the fatty acid and tocopherol content of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae)[J]. Turkish Journal of Botany, 2003, 27(2): 141-147.

[31] ZIMMER L, DELPAL S, GUILLOTEAU D, et al. Chronic *n*-3 polyunsaturated fatty acid deficiency alters dopamine vesicle density in the rat frontal cortex[J]. Neuroscience Letters, 2000, 284(1/2): 25-28.

[32] CALLAWAY J C, WEEKS R A, RAYMON L P, et al. A positive THC urinalysis from hemp (*Cannabis*) seed oil [J]. Journal of Analytical Toxicology, 1997, 21(4): 319-320.

[33] AJ O R, DIMI E. Physico-chemical and nutritive characteristics of selected cold-pressed oils found in the European market[J]. Rivista Ital. Sost. Grasse, 2013, 90: 219-228.

[34] KOZŁOWSKA M, GRUCZYŃSKA E, SCIBISZ I, et al. Fatty acids and sterols composition, and antioxidant activity of oils extracted from plant seeds[J]. Food Chemistry, 2016, 213: 450-456.

[35] 郝虹, 李伟广, 李书渊. 火麻仁的生物学研究[J]. 中国医药指南, 2012, 10(27): 83-84.

[36] 陈鹏, 邓乾春, 臧茜茜, 等. 火麻仁油、藻油混合油软胶囊对高胆血症动物模型血脂及脂质过氧化的影响[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(11): 64-67.

[37] 张丹丹, 但汉雄, 黄慧辉, 等. 火麻仁油对高脂血症大鼠血脂代谢及保肝作用研究[J]. 中国药师, 2015, 18(4): 571-573.

[38] 郝红伟. 替代饲用抗生素的复方中草药提取物抗氧化功能研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015: 1-3.

[39] YU Liang-li, ZHOU Ke-quan, PARRY J. Antioxidant properties of cold-pressed black caraway, carrot, cranberry, and hemp seed oils[J]. Food Chemistry, 2005, 91(4): 723-729.

[40] 扈学俸, 李永进, 王军波, 等. 火麻仁油安全性评价及血清抗氧化功能初步研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2008, 20(5): 388-392.

[41] 李永进, 扈学俸, 赵明, 等. 火麻仁油抗氧化效应研究[C]// 营养与食品——健康中国高级论坛Ⅱ. 大连: 中国食品科学技术学会营养支持专业委员会, 2008: 4.

[42] PARRY J, YU Liang. Fatty acid content and antioxidant properties of cold-pressed black raspberry seed oil and meal[J]. Journal of Food Science, 2004, 69(3): C189-C193.

[43] HALLIWELL B, GUTTERIDGE J M C. Free radicals in biology and medicine[J]. Acta Cryst, 2017, 73: 384-385.

[44] 宋朝春, 魏冉磊, 樊晓兰, 等. 衰老及抗衰老药物的研究进展[J]. 中国生化药物杂志, 2015(1): 163-170.

[45] 曹俊岭, 陈刚正, 任汉阳, 等. 火麻仁油对复方地芬诺脂致便秘模型鼠血清及脑 NO 及胸腺组织学的影响[J]. 河南中医学院学报, 2004, 19(1): 25-26.

[46] 曹俊岭, 李祖伦, 陈建武, 等. 火麻仁油对 *D*-半乳糖致亚急性衰老 NO、SOD、GSH-Px、MDA 的影响[J]. 四川中医, 2005, 23(3): 29-30.

[47] 李寒冰, 马永洁, 苗静静, 等. 火麻仁油对衰老模型小鼠皮肤相关指标的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(9): 201-205.

[48] CALLAWAY J, SCHWAB U, HARVIMA I, et al. Efficacy of dietary hempseed oil in patients with atopic dermatitis[J]. Journal of Dermatological Treatment, 2005, 16(2): 87-94.

[49] 李寒冰, 吴宿慧. 火麻仁油干预能量代谢与衰老进程的作用研究[C]// 第一届《药学报》药学前沿论坛暨 2015 年中国药学会中药与天然药物专业委员会会议. 天津: 中国药学会中药与天然药物专业委员会, 2015: 1.

(上接第 100 页)

(2) 接装胶、接装纸种类对自然渗透率的影响研究表明, 接装胶的自然渗透率除了与其自身性质有关外, 与不同接装纸的抗胶水渗透能力也有关系。因此, 为了减少接装胶渗透对滤嘴通风率造成的影响, 除了控制涂胶量之外, 通过接装胶与接装纸间的合理匹配, 降低胶水渗透率也十分重要。

本试验所研究的是接装胶的自然渗透率, 即在外力作用下涂胶区边缘处胶水向周边扩散的程度, 这与接装滤嘴过程中接装胶的实际渗透程度之间肯定存在差异性。但在无法准确测定接装胶实际渗透程度的情况下, 本试验的研究方法及结论仍然是有意义的, 为通过接装胶及接装纸的合理组合来降低接装胶在接装过程中的渗透程度, 进而提高滤嘴通风率的稳定性提供了理论依据。

参考文献

[1] 欧阳斌, 曹文知, 李满伟, 等. 解决打孔接装纸使用过程中的带胶缺陷[J]. 科技创新与应用, 2016(25): 31-32.

[2] 陈德辉. 低焦油滤嘴烟支总通风率稳定性的研究与应用[J]. 机械工程师, 2015(11): 256-257.

[3] 余文炎. YJ27 型接装机工艺设备调整对烟支嘴头通风率的影响[J]. 轻工标准与质量, 2013(3): 49-50.

[4] 黄晓飞, 姚二民, 韦峰, 等. 打孔卷烟烟支通风率研究[J]. 企业技术开发, 2013, 32(13): 43-44, 47.

[5] 姚二民, 郭乃伟, 张超帅, 等. 接装纸涂胶量对卷烟滤嘴通风率的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(19): 5 160-5 162.

[6] 陈岱峰, 费婷. 水松纸表面特性及接装胶渗透性能研究用于卷烟生产制造质量控制[C]// 中国烟草学会 2013 年学术年会. 上海: [出版者不详], 2013: 380-390.

[7] 全国烟草标准化技术委员会(TC144). GB/T 16447—2004/ISO 3402:1999 烟草及烟草制品调节和测试的大气环境[S]. [出版地不详]: 中国标准出版社, 2006: 65-70.

[8] 谢亮. Photoshop 像素法在计算地图面积中的应用[J]. 电脑知识与技术, 2010(15): 4 021-4 022.

[9] 武文亮, 张志斌, 路莹莹. 绿色作物叶面积检测算法设计[J]. 计算机技术与发展, 2016, 26(8): 174-176, 181.

[10] 余建英, 何旭宏. 数据统计分析与 spss 应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003: 130-138.

[11] 李荟婷. K-means 聚类方法的改进及其应用[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014: 9-11.