

# 油脂营养成分及其对肠道健康影响的研究进展

黄艳芳<sup>1,2</sup>, 阮海健<sup>3</sup>, 李少华<sup>3</sup>

(1. 北京大学第三医院, 北京 100191; 2. 兵器工业北京北方医院, 北京 100089; 3. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**摘要:** 油脂是人体最主要的营养物质之一, 其消化吸收主要发生在肠道, 而肠道内存在种类繁多的菌群, 可以直接参与人体的消化吸收、脂质代谢、能量供应等。油脂的消化吸收可能与多种代谢紊乱和肠道疾病、糖尿病、肥胖等慢性疾病存在联系, 而食用油脂摄入不平衡会影响肠道菌群组成和代谢, 破坏肠道稳态, 进而可能导致上述疾病的发生。综述了油脂的脂肪酸组成、功能性伴随成分及其对人体健康的影响, 分析了近年来油脂对肠道菌群组成及其代谢产物影响的研究, 并对未来的研究方向进行了展望, 这对进一步开展油脂营养特性及其对肠道健康影响的研究以及合理膳食保障人体健康具有积极意义。

**关键词:** 油脂; 脂肪酸; 肠道菌群; 肠道健康; 油脂组学

中图分类号: TS225; R151

文献标识码: A

文章编号: 1003-7969(2022)08-0097-06

## Progress on nutrient of oil and fat and its influence on intestinal health

HUANG Yanfang<sup>1,2</sup>, RUAN Haijian<sup>3</sup>, LI Shaohua<sup>3</sup>

(1. Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China; 2. Beijing Northern Hospital of Weaponry Industry, Beijing 100089, China; 3. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Oil and fat is one of the most important nutrients for human body, and its digestion and absorption mainly occurs in the gut. A wide range of microbiota inhabiting in the gut can directly participate in the digestion and absorption, oil and fat metabolism and energy supply of the human body. The digestion and absorption of oil and fat may be associated with a variety of metabolic disorders and intestinal diseases, diabetes, obesity and other chronic diseases. The imbalance of edible oil and fat intake can affect the composition and metabolism of intestinal microbiota, and destroy the intestinal homeostasis, leading to the above diseases. Fatty acid composition, accompanying functional components of oil and fat and their effects on human health were reviewed, and the effects of oil and fat on intestinal microbiota composition and its metabolism in recent years were summarized. Based on these, the future research was prospected, which had a positive significance for the further study of oil and fat nutritional characteristics and its effect on intestinal health and reasonable diet to protect human health.

**Key words:** oil and fat; fatty acid; intestinal microbiota; intestinal health; oilomics

油脂是人体三大营养物质之一, 可以为人体提供必需的脂肪酸和能量、矿物质、脂溶性维生素、甾醇、角鲨烯、多酚等功能性成分<sup>[1]</sup>, 在促进人体正常

生长代谢、维持健康方面具有重要作用。食用油脂的主要成分是甘油三酯, 其不同的脂肪酸组成以及脂肪酸的位置异构, 是不同油脂之间存在差异的重要原因, 而这种差异也会进一步导致不同油脂营养和功能特性的差别。现代医学研究表明, 油脂的不同组成不仅会影响其在人体胃肠道的消化吸收, 还会由于其摄入量的不平衡, 影响肠道稳态, 导致肠道功能紊乱, 进而诱发肥胖、糖尿病、高血压、高血脂、

收稿日期: 2021-10-16; 修回日期: 2022-05-30

作者简介: 黄艳芳(1989), 女, 主治医师, 硕士, 主要从事消化内科疾病临床研究(E-mail)hyfzsu@163.com。

通信作者: 李少华, 研究员, 博士(E-mail)lishaohua73@163.com。

心脑血管疾病等慢性疾病,影响人体健康。

2021年我国人均年油脂消费量为30.1 kg,超过世界人均年食用油消费量27.0 kg的水平<sup>[2]</sup>,日均摄入量也远高于《中国居民膳食指南》的推荐值<sup>[3]</sup>,食用油消费过量、脂肪摄入不合理导致的健康问题,已经成为影响我国居民健康的重要原因之一。近年来,油脂营养及其对肠道功能影响的研究已成为国内外学者关注的热点。基于此,本文综合国内外研究结果,对油脂营养成分及其对肠道健康影响的研究进展进行综述,并对其未来的研究方向进行展望,以期为进一步揭示油脂与肠道健康关系、

促进人体健康提供参考。

## 1 油脂营养成分

### 1.1 脂肪酸

脂肪酸是油脂的最基本组成部分,天然油脂中已鉴定的脂肪酸有500多种<sup>[3]</sup>,主要分为饱和脂肪酸(SFA)和不饱和脂肪酸(UFA),其中不饱和脂肪酸又可以分为单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA),常见油脂的不饱和脂肪酸组成及含量见表1。总体来说,动物油脂中SFA含量高,UFA主要为油酸,而植物油脂的油酸和亚油酸等UFA含量较高。

表1 常见油脂不饱和脂肪酸组成及含量

油脂	含量/%						参考文献
	棕榈油酸 (C16:1)	油酸 (C18:1)	二十碳烯酸 (C20:1)	芥酸 (C22:1)	亚油酸 (C18:2)	亚麻酸 (C18:3)	
大豆油	≤0.2	17.0~30.0	≤0.5	≤0.3	48.0~59.0	4.2~11.0	[4]
花生油	≤0.2	35.0~69.0	0.7~1.7	≤0.3	13.0~43.0	≤0.3	[5]
菜籽油	≤3.0	8.0~65.0	3.0~15.0	3.0~60.0	9.5~30.0	5.0~13.0	[6]
油茶籽油	≤0.2	68.0~87.0	≤0.7	≤0.5	3.8~14.0	≤1.4	[7]
橄榄油	0.3~3.5	55.0~83.0	≤0.4	-	3.5~21.0	≤1.0	[8]
猪油	1.5~2.5	33.9~42.2	≤0.8	-	7.2~14.4	≤0.8	[9~11]
牛油	2.9	29.5	0.1	-	1.6	0.1	[12]
	-	16.5	-	3.1	2.5	0.3	[3]
羊油	-	17.7	-	2.1	1.6	0.9	[3]
	2.1	31.6	0.1	-	2.3	0.6	[12]
鸡油	3.0~8.0	34.0~47.0	≤1.2	-	12.0~25.0	≤1.5	[13]

SFA是指不含不饱和双键结构的脂肪酸,以辛酸、豆蔻酸、软脂酸、硬脂酸、花生酸为代表,是构成脂质的基本成分之一,提供人体生命活动所需要的能量。然而,越来越多的研究表明,过多摄入SFA与肥胖等疾病的发生存在重要联系。长期过量摄入长链饱和脂肪酸(LSFA)会诱导下丘脑炎症,进而导致下丘脑功能紊乱和能量平衡失调,是肥胖发生的潜在驱动因素<sup>[14]</sup>。这是由于SFA可以增加丝裂原活化蛋白激酶(MAPK)的磷酸化,增强核因子 $\kappa$ B等转录因子的活性,提高炎症基因的表达<sup>[15]</sup>。时皎皎等<sup>[16]</sup>研究表明,SFA能极显著地升高3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶A还原酶(HMG-CoAR)mRNA的表达( $p < 0.01$ ),进而增高HMG-CoAR的活性,使胆固醇合成增加。因此,SFA摄入量过高会导致血胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)升高,继而引发动脉管腔狭窄,形成动脉粥样硬化,增加患冠心病的风险。但这并不意味着SFA摄入

量越低就越好,相反摄入一定量的SFA,有助于降低血管脆性,降低脑出血、脑梗死等风险<sup>[17]</sup>。目前,中国营养学会推荐SFA摄入量少于每日总能量的10%,但《中国成人血脂异常防治指南》建议高血脂或糖尿病并发高脂血症患者则应减少SFA摄入量至低于总能量的7%。

UFA分为MUFA和PUFA。MUFA含有一个不饱和双键结构,以油酸为代表。与SFA相反,MUFA可以显著降低HMG-CoAR的基因表达( $p < 0.05$ )<sup>[17]</sup>,具有降低血胆固醇、甘油三酯和LDL-C的作用<sup>[18]</sup>;PUFA含有两个或两个以上不饱和双键结构,根据第一个不饱和双键位置不同分为n-3、n-6、n-9等系列,以亚油酸、亚麻酸、花生四烯酸、DHA等为代表,可以降低血液中胆固醇和甘油三酯含量,降低血液黏稠度、改善血液循环,抑制血小板凝集、阻碍动脉粥样硬化斑块和血栓的形成等,对心脑血管疾病有良好的防治效果。尽管UFA对人体

有很多益处,但其含有不饱和双键而易发生脂质过氧化反应<sup>[19]</sup>,产生自由基和活性氧等物质,对蛋白质、酶和膜结构有负面影响,会对人体器官或组织造成一定的损伤<sup>[20]</sup>。

### 1.2 功能性伴随成分

油脂除了可提供各种脂肪酸外,还含有磷脂、生育酚、甾醇、角鲨烯、多酚等多种功能性伴随成分<sup>[1]</sup>,常见油脂中功能性伴随成分的含量<sup>[12,21-27]</sup>如表2所示。磷脂是细胞膜类脂层的主要成分之一,对人体的生长发育非常重要。其中,鞘磷脂是脑和外周神经组织的成分,脑磷脂对酚型抗氧化剂有增效作用,卵磷脂是人体所需的外源性胆碱的重要来源<sup>[28]</sup>。从表2可知,大豆油、玉米胚芽油、棉籽油中的磷脂含量较高。甾醇是合成胆汁酸、性激素及肾脏腺激素的原料,通过干扰肠道对胆固醇的吸收作用来降低患冠心病的风险<sup>[20]</sup>,常见油脂中米糠油、玉米胚芽油、芝麻油中的甾醇含量较高。生育酚与

磷脂具有良好的协同抗氧化作用<sup>[21]</sup>,可以延缓衰老、提高免疫力及生育能力,对抵抗癌症也有有益作用。大豆油、玉米胚芽油、葵花籽油中的生育酚含量较高。角鲨烯是人体必需的几种甾醇的前驱物质,可以通过抑制信号调控通路中关键蛋白分子间的相互作用,调节低密度脂蛋白受体的表达,显著降低胆固醇含量。另外,角鲨烯在调节糖尿病等代谢性疾病、抗氧化、防止细胞老化和癌变等方面也具有重要价值<sup>[21]</sup>。常见油脂中橄榄油、米糠油、大豆油中角鲨烯的含量较高。多酚能与维生素C、E和胡萝卜素等其他抗氧化物在体内一起发挥抗氧化功效,清除自由基,并能抑制低密度脂蛋白的氧化活性<sup>[20]</sup>和消化酶活性,进而抑制胆固醇在动脉壁上的积存,抑制淀粉在小肠中的消化,在预防和治疗动脉粥样硬化以及2型糖尿病方面具有重要意义<sup>[29]</sup>。常见油脂中橄榄油、油茶籽油、椰子油中多酚的含量较高。

表2 常见油脂中功能性伴随成分含量

油脂	磷脂	甾醇	生育酚	角鲨烯	多酚
大豆油	1 100 ~ 3 200	150 ~ 380	57 ~ 280	12 ~ 75	6 ~ 50
玉米胚芽油	1 000 ~ 2 000	580 ~ 1 000	89 ~ 250	16 ~ 36	2 ~ 50
米糠油	500	750 ~ 1 248	57 ~ 101	2 ~ 332	5.63
亚麻籽油	300	263 ~ 420	23 ~ 60	4	≤10
花生油	300 ~ 400	148 ~ 250	20 ~ 60	13 ~ 49	3 ~ 45
芝麻油	100	430 ~ 550	18 ~ 100	1.5 ~ 3.0	38.74
葵花籽油	200	30 ~ 207	74 ~ 120	5 ~ 30	2 ~ 45
棉籽油	700 ~ 900	260 ~ 310	80 ~ 120	4 ~ 12	-
菜籽油	100	350 ~ 500	58 ~ 78	26	9 ~ 57
椰子油	-	0 ~ 80	3 ~ 9	2	1 ~ 84
棕榈油	-	30 ~ 59	15 ~ 100	3	1 ~ 70
橄榄油	-	97 ~ 310	3 ~ 30	100 ~ 1 200	5 ~ 100
油茶籽油	-	20 ~ 600	6 ~ 75	3 ~ 14	1 ~ 86
核桃油	-	74 ~ 143	21 ~ 81	1 ~ 50	0.71 ~ 2.08
牛油	70	80 ~ 140	-	9.81	-
猪油	50	110 ~ 120	1.52	-	-
羊油	10	30 ~ 100	1.07	-	-

## 2 油脂对肠道健康的影响

肠道既是人体重要的消化吸收场所,也是最大的免疫器官,因其具有适宜的酸碱条件和营养底物而存在着种类繁多的微生物,即肠道菌群<sup>[30]</sup>。肠道菌群可以直接参与人体的消化吸收、脂肪代谢、能量供应、免疫调节等<sup>[31-32]</sup>,而食用油脂摄入不平衡可改变肠道微生物组成和代谢、破坏肠道稳态,进而可

能诱发肠道疾病、糖尿病、肥胖、代谢综合征,以及免疫系统发育和功能等疾病<sup>[33-34]</sup>。

### 2.1 对肠道菌群组成的影响

健康人群的肠道菌群主要由拟杆菌门(Bacteroidetes)、厚壁菌门(Firmicutes)、变形菌门(Proteobacteria)、放线菌门(Actinobacteria)、梭菌门(Fusobacteria)和疣微菌门(Verrucomicrobia)的细菌

组成<sup>[35]</sup>。油脂摄入可以改变肠道菌群的组成,如高水平油脂摄入,会导致菌群中厚壁菌门和变形菌门菌的含量升高,而拟杆菌门菌含量则降低,进而导致肠道菌群生态失调<sup>[36]</sup>。

油脂的脂肪酸组成会对肠道菌群产生重要影响。SFA 中的短链脂肪酸(SCFA)拥有广谱的抗菌性,具有渗透性破坏细菌生长的作用,可以抑制沙门菌等的感染<sup>[37]</sup>。同时,SCFA 还可以影响肠腔 pH 和电解质平衡,促进共生菌的生长,调节肠黏膜屏障的通透性和肠道动力<sup>[38]</sup>。中链脂肪酸(MCFA)具有特殊的化学结构,可以进入细菌细胞膜的脂质层而破坏细胞膜结构,进而引起内容物丢失、运输机制被破坏,从而起到抑制细菌的作用<sup>[39]</sup>,MCFA 还可以抑制细菌脂肪酶的生成,因细菌要附着于肠道绒毛上必须有这种酶参与,故 MCFA 能起到抑制细菌附着到肠壁的作用,从而有利于肠道通过粪便将细菌排出体外。总体来看,富含 SFA 的油脂可以同时影响肠道中多种菌群的含量<sup>[40]</sup>,其长期摄入会降低厚壁菌门和变形菌门菌的含量<sup>[41]</sup>,增加拟杆菌门菌的含量<sup>[42]</sup>;MUFA 会减少肠道菌群的总体含量<sup>[43]</sup>;n-3 PUFA 可以增加肠道内双歧杆菌(*Bifidobacterium*)、乳酸杆菌(*Lactobacillus*)、嗜黏蛋白阿克曼菌(*Akkermansia muciniphila*)等益生菌的含量,改善肠道菌群的组成,从而改善肠道微环境,增加肠黏膜厚度,提高肠道黏膜的屏障功能<sup>[44]</sup>;长期摄入富含 UFA 油脂的人群,其肠道内狄氏副拟杆菌(*P. distasonis*)、多形拟杆菌(*B. thetaiotaomicron*)、青春双歧杆菌(*B. adolescentis*)和长双歧杆菌(*B. longum*)的含量均高于普通人群<sup>[45]</sup>,具有预防 2 型糖尿病作用的罗斯氏菌(*Roseburia genus*)和普拉梭杆菌(*F. prausnitzii*)的含量相应增加<sup>[46]</sup>,易引起念珠菌病的念珠菌(*Candida albicans*)的含量也相应升高,而大肠杆菌(*Escherichia coli*)的含量会降低<sup>[47]</sup>。

## 2.2 对肠道菌群代谢产物的影响

人体不能或没有来得及消化的油脂以及肠道上皮细胞分泌的内源性黏液,经过肠道菌群初级和次级代谢可以产生 SCFA、三甲胺、胆汁酸等代谢产物<sup>[48]</sup>,参与调节宿主一系列相关的炎症和免疫反应,并可以通过影响肠道的通透性以及相关信号通路来影响宿主的代谢平衡和健康状况<sup>[28]</sup>。研究表明,高脂饮食的小鼠肠道菌群产 SCFA 能力远低于低脂饮食的小鼠<sup>[49]</sup>,这与人群高脂饮食相对于低脂饮食粪便中 SCFA 浓度显著降低的研究结果相一致<sup>[50]</sup>,说明油脂摄入过量会减少肠道菌群产生 SCFA,其中 SFA 可能会显著降低肠道内异丁酸的含

量,PUFA 则可能增加异丁酸、丁酸和异戊酸等 SCFA 含量<sup>[51]</sup>。高脂饮食中卵磷脂、肉碱、胆碱等营养物质的含量较高,肠道菌群将其转化成三甲胺,在黄素单加氧酶作用下生成氧化三甲胺,氧化三甲胺进入血液会加速动脉粥样硬化和诱发心血管疾病<sup>[52]</sup>。由肝脏中合成的初级胆汁酸分泌到肠道中,肠道菌群可以将其经过一系列的改性与加工生成次级胆汁酸<sup>[32]</sup>,其主要的作用是协助食用油脂的消化和吸收。研究表明,降低 n-6/n-3 PUFA 比例能够减轻乙醇引起的肠道稳态、胆汁酸代谢的特异性变化<sup>[53]</sup>,相对于富含 MUFA 或 n-6 PUFA 的油脂,富含 SFA 的油脂会导致肝脏中胆固醇水平增加,胆汁酸的合成增加<sup>[32]</sup>。因此,食用油脂的过量摄入可能会进一步导致胆汁酸的肝肠循环过程紊乱。

## 2.3 对肠道炎症的影响

总体上看,如果食用油脂摄入过量,无论是 SFA,还是 UFA,均能增加肠道慢性炎症的风险<sup>[54]</sup>。如:长链脂肪酸(LCFA)的过多积累会加剧肠道炎症,且会降低对克罗恩病的治疗效果<sup>[55]</sup>;摄入过量富含 SFA 的油脂,会因其能够上调肠道中促炎细胞因子的表达水平而导致和加剧肠道炎症<sup>[56]</sup>;过量摄入富含 MUFA 的油脂,能增加溃疡性结肠炎和克罗恩病的患病风险,而摄入过多富含 n-3 PUFA 的油脂则会加剧结肠炎症<sup>[55]</sup>。造成这种现象的原因可能与高油脂摄入导致肠道菌群生态紊乱,并通过 NF- $\kappa$ B 和 JNK 等途径促进炎症细胞因子的分泌,进而引起不同种类的肠道炎症有关<sup>[32]</sup>。

## 3 结论与展望

### 3.1 结论

不同种类的油脂含有不同的脂肪酸组成和功能性伴随成分,为人类健康提供了丰富的营养物质,但是过多摄入或摄入不平衡也会导致一些肠道不良反应,如摄入过量会增加肠道慢性炎症的风险,摄入不平衡可能会引起肠道功能紊乱而导致黏膜细胞炎症。因此,无论从提供营养的角度,还是从预防疾病的角度,应提倡均衡摄入食用油脂,不能过分看重某些特定成分而忽略其他。

### 3.2 展望

目前,油脂与营养健康之间的内在联系研究仍然不透彻,尤其是目前食用油脂干预肠道菌群的研究仍然很不充分,对于膳食油脂调节肠道健康的作用机制仍没有合理解释。近年来,随着现代生物和分子技术的飞速发展与应用,使得对复杂的油脂结构进行高通量、高灵敏度、高精密度的分析成为可能。采用基于基因组学、转录组学、蛋白质组学和代

谢组学(脂质代谢、微生物代谢)等多组学的油脂组学,解释油脂成分及其伴随成分的代谢途径,进一步明确与人体肠道健康相关的具体菌种及其作用机制,对人体肠道健康及慢性疾病进行有效调控,展现油脂-生物系统相互作用的整体图景,以突破油脂营养及其调控人体健康的瓶颈,将具有重要的研究价值。

#### 参考文献:

- [1] LUAN F, ZENG J S, YANG Y, et al. Recent advances in *Camellia oleifera* Abel: a review of nutritional constituents, biofunctional properties, and potential industrial applications [J/OL]. *J Funct Foods*, 2020, 75(9): 104242 [2021-10-16]. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104242>.
- [2] 王瑞元. 2021年我国粮油产销及进出口情况[J]. *中国油脂*, 2022, 47(6): 1-7.
- [3] 魏永生, 郑敏燕, 耿薇, 等. 常用动、植物食用油中脂肪酸组成的分析[J]. *食品科学*, 2012, 33(16): 188-193.
- [4] 大豆油: GB/T 1535—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [5] 花生油: GB/T 1534—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [6] 菜籽油: GB/T 1536—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [7] 油茶籽油: GB/T 11765—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] Trade standard applying to olive oils and olive pomace oil: COI/T. 15/NC no. 3/Rev. 12 [S]. Madrid: International Olive Council, 2018.
- [9] OKAZAKI Y, KATAYAMA T. The effects of different high-fat (lard, soybean oil, corn oil or olive oil) diets supplemented with fructo-oligosaccharides on colonic alkaline phosphatase activity in rats [J]. *Eur J Nutr*, 2021, 60(1): 89-99.
- [10] KANG E S, HUR J, JO Y, et al. Comparative effects of nanoemulsions loaded with duck oil and lard oil on palmitate-induced lipotoxicity[J/OL]. *J Food Biochem*, 2019, 44(2): 13117 [2021-10-16]. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13117>.
- [11] HUANG J, ZHAO Q, BU W, et al. Ultrasound-assisted hydrolysis of lard for free fatty acids catalyzed by combined two lipases in aqueous medium [J]. *Bioengineered*, 2020, 11(1): 241-250.
- [12] 樊雨梅, 汝文文, 廖峰, 等. 驴油与3种常见动物油脂品质比较研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(2): 109-112.
- [13] 食用鸡油: T/CCOA 22—2020[S]. 北京: 中国粮油学会, 2020.
- [14] SERGI D, WILLIAMS L M. Potential relationship between dietary long-chain saturated fatty acids and hypothalamic dysfunction in obesity[J]. *Nutr Rev*, 2019, 78(4): 261-277.
- [15] ZHOU H, URSO C J, JADEJA V. Saturated fatty acids in obesity-associated inflammation [J]. *J Inflamm Res*, 2020, 13: 1-14.
- [16] 时皎皎, 糜漫天, 韦娜, 等. 不同脂肪酸构成对大鼠肝脏 *HMG-CoAR*、*SREBP-1c* 表达的影响[J]. *西南国防医药*, 2011, 21(8): 813-816.
- [17] 洪梅. 适量吃肉可远离心脑血管疾病[J]. *老同志之友*, 2014(3): 55.
- [18] 陈劲松, 赖琼玮, 黄闰, 等. 霉变油茶籽对压榨油茶籽油的影响研究[J]. *中国油脂*, 2019, 44(3): 99-101.
- [19] 石少侠, 董瑶瑶, 李琪, 等. 淀粉-脂质复合物功能及营养特性研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 238-245.
- [20] 龚娣, 陈程莉, 常馨月, 等. 核桃油氧化及抗氧化调控研究进展[J]. *中国油脂*, 2021, 46(5): 58-61.
- [21] 李文, 王伟, 关荣发, 等. 橄榄油中角鲨烯组分功能特性及其研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6): 218-224.
- [22] 张志艳. 食用植物油微量伴随物的细胞抗氧化评价模型构建及应用研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2018.
- [23] 王兴国, 金青哲, 常明. 木本油料油脂的营养与健康[J]. *粮食与食品工业*, 2017, 24(1): 8-12.
- [24] 高盼. 我国核桃油的组成特征及其抗氧化和降胆固醇功效评估[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2019.
- [25] 叶彩文. 油脂的营养价值[J]. *郑州粮食学院学报*, 1985(1): 55-59.
- [26] 柴杰, 金青哲, 薛雅琳, 等. 制油工艺对葵花籽油品质的影响[J]. *中国油脂*, 2016, 41(4): 56-61.
- [27] ZEB A. A comprehensive review on different classes of polyphenolic compounds present in edible oils [J/OL]. *Food Res Int*, 2021, 143: 110312 [2021-10-16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110312>.
- [28] 赵敏洁, 蔡海莺, 蒋增良, 等. 高脂膳食与肠道微生态相关性研究进展[J]. *食品科学*, 2018, 39(5): 336-343.
- [29] 周颖, 潘海坤, 范志红, 等. 坚果油籽浆的抗氧化性与餐后血糖平缓作用[J]. *食品科学*, 2020, 41(9): 113-118.
- [30] 张晶, 覃小丽, 刘雄. 膳食主成分对肠道微生物的影响研究进展[J]. *食品科学*, 2015, 36(5): 305-309.
- [31] 郭静, 卢宗亮, 王贺, 等. 短链脂肪酸通过 *ANGPTL4*、*ANGPTL6* 分子抑制 3T3-L1 前脂肪细胞分化成熟及脂肪储存[J]. *营养学报*, 2020, 42(1): 49-55.
- [32] 叶展. 典型膳食油脂胃肠道消化吸收特性及其对肠道健康的影响研究[D]. 江苏 无锡: 江南大学, 2019.
- [33] LAPTHORNE S, PEREIRA-FANTINI P M, FOUHY F, et al. Gut microbial diversity is reduced and is associated with colonic inflammation in a piglet model of short bowel syndrome[J]. *Gut Microb*, 2014, 4(3): 212-221.
- [34] MOKKALA K, HOUTTU N, CANSEV T, et al. Interactions

- of dietary fat with the gut microbiota; evaluation of mechanisms and metabolic consequences [J]. *Clin Nutr*, 2020, 39(4): 994 – 1018.
- [35] LOZUPONE C A, STOMBAUGH J I, GORDON J I, et al. Diversity, stability and resilience of the human gut microbiota[J]. *Nature*, 2012, 489(7415): 220 – 230.
- [36] WOLTERS M, AHRENS J, ROMANÍ – PÉREZ M, et al. Dietary fat, the gut microbiota, and metabolic health: a systematic review conducted within the MyNewGut project [J]. *Clin Nutr*, 2019, 38(6): 2504 – 2520.
- [37] ALVA – MURILLO N, OCHOA – ZARZOSA A, LÓPEZ – MEZA J E. Short chain fatty acids (propionic and hexanoic) decrease *Staphylococcus aureus* internalization into bovine mammary epithelial cells and modulate antimicrobial peptide expression [J]. *Veter Microbiol*, 2012, 155(2/3/4): 324 – 331.
- [38] 戴昕悦, 袁婷兰, 金青哲, 等. 人乳短链脂肪酸的组成、检测方法与消化代谢研究进展[J]. *中国油脂*, 2020, 45(1): 27 – 30.
- [39] 毕宇霖. 脂质营养的应用及进展[J]. *北方牧业*, 2017(18): 15.
- [40] CAESAR R, TREMAROLI V, KOVATCHEVA – DATCHARY P, et al. Crosstalk between gut microbiota and dietary lipids aggravates WAT inflammation through TLR signaling [J]. *Cell Metabol*, 2015, 22(4): 658 – 668.
- [41] MANDAL S, GODFREY K M, MCDONALD D, et al. Fat and vitamin intakes during pregnancy have stronger relations with a pro – inflammatory maternal microbiota than does carbohydrate intake [J/OL]. *Microbiome*, 2016, 4(1): 55[2021 – 10 – 16]. <https://doi.org/10.1186/s40168-016-0200-3>.
- [42] DEVKOTA S, WANG Y, MUSCH M W, et al. Dietary – fat – induced taurocholic acid promotes pathobiont expansion and colitis in *Il10<sup>-/-</sup>* mice[J]. *Nature*, 2012, 487:104 – 108.
- [43] FAVA F, GITAU R, GRIFFIN B A, et al. The type and quantity of dietary fat and carbohydrate alter faecal microbiome and short – chain fatty acid excretion in a metabolic syndrome ‘at – risk’ population [J]. *Int J Obesity*, 2012, 37(2): 216 – 223.
- [44] 乔立君, 郑征, 马文慧, 等. 多不饱和脂肪酸对大鼠肠道菌群及脂肪代谢相关基因的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(17): 231 – 235.
- [45] HARO C, GARCIA – CARPINTERO S, ALCALA – DIAZ J F, et al. The gut microbial community in metabolic syndrome patients is modified by diet [J]. *J Nutr Biochem*, 2016, 27:27 – 31.
- [46] HARO C, MONTES – BORREGO M, RANGEL – ZÚIGA O A, et al. Two healthy diets modulate gut microbial community improving insulin sensitivity in a human obese population[J]. *J Clin Endocr Metab*, 2016, 101(1): 233 – 242.
- [47] MITSOU E K, KAKALI A, ANTONOPOULOU S, et al. Adherence to the Mediterranean diet is associated with the gut microbiota pattern and gastrointestinal characteristics in an adult population[J]. *Brit J Nutr*, 2017, 117(12): 1645 – 1655.
- [48] VAN HYLCKAMA Vlieg J E T, VEIGA P, ZHANG C, et al. Impact of microbial transformation of food on health: from fermented foods to fermentation in the gastro – intestinal tract [J]. *Curr Opin Biotechnol*, 2011, 22(2): 211 – 219.
- [49] RIDAURA V K, FAITH J J, REY F E, et al. Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice[J]. *Science*, 2013, 341: 1069 – 1070.
- [50] BRINKWORTH G D, NOAKES M, CLIFTON P M, et al. Comparative effects of very low – carbohydrate, high – fat and high – carbohydrate, low – fat weight – loss diets on bowel habit and faecal short – chain fatty acids and bacterial populations[J]. *Brit J Nutr*, 2009, 101(10): 1493 – 1502.
- [51] YE Z, CAO C, LI Q, et al. Different dietary lipid consumption affects the serum lipid profiles, colonic short chain fatty acid composition and the gut health of Sprague Dawley rats [J/OL]. *Food Res Int*, 2020, 132:109117 [2021 – 10 – 16]. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109117>.
- [52] TANG W H W, WANG Z, LEVISON B S, et al. Intestinal microbial metabolism of phosphatidylcholine and cardiovascular risk [J]. *New Engl J Med*, 2013, 368(17): 1575 – 1584.
- [53] WARNER D R, WARNER J B, HARDESTY J E, et al. Decreased  $\omega - 6 : \omega - 3$  PUFA ratio attenuates ethanol – induced alterations in intestinal homeostasis, microbiota, and liver injury[J]. *Lipid Res*, 2019, 60(12): 2034 – 2049.
- [54] ARAÚJO J R, TOMAS J, BRENNER C, et al. Impact of high – fat diet on the intestinal microbiota and small intestinal physiology before and after the onset of obesity [J]. *Biochimie*, 2017, 141:97 – 106.
- [55] BAMBA T, SHIMOYAMA T, SASAKI M, et al. Dietary fat attenuates the benefits of an elemental diet in active Crohn’s disease: a randomized, controlled trial[J]. *Eur J Gastroent Hepatol*, 2003, 15(2): 151 – 157.
- [56] GULHANE M, MURRAY L, LOURIE R, et al. High fat diets induce colonic epithelial cell stress and inflammation that is reversed by IL – 22[J/OL]. *Sci Rep*, 2016, 6:28990 [2021 – 10 – 16]. <https://doi.org/10.1038/srep28990>.