

# 重庆市居民膳食 n-3 多不饱和脂肪酸摄入与 2 型糖尿病相关性研究

赖英旭<sup>1,2</sup>, 罗书全<sup>2</sup>, 陈京蓉<sup>2</sup>, 李继斌<sup>1</sup>

1. 重庆医科大学公共卫生学院, 重庆 400016; 2. 重庆市疾病预防控制中心

**摘要:**目的 分析重庆市居民膳食 n-3 多不饱和脂肪酸与 2 型糖尿病发病关系, 为 2 型糖尿病防治措施提供参考。方法 利用中国居民营养与健康随访研究 (2021) CNNHS 在重庆市收集的横断面调查数据, 结合中国食物成分表计算能量与营养素摄入量, 使用单因素和多因素 Logistic 回归模型分析 n-3 多不饱和脂肪酸摄入与 2 型糖尿病的关联。结果 本次研究最终纳入 1 511 例研究对象, 2 型糖尿病患者共 280 例, 占 18.80%。与动物性来源 n-3 多不饱和脂肪酸最低四分位数的研究对象相比, 较高四分位数研究对象患糖尿病的风险更低 ( $OR=0.61$ , 95%  $CI:0.42\sim0.88$ ), 调整后的模型 1 与模型 2 结果相似 (模型 1,  $OR=0.64$ , 95%  $CI:0.44\sim0.94$ ; 模型 2,  $OR=0.66$ , 95%  $CI:0.44\sim0.98$ )。其中, 模型 2 中摄入植物性来源 n-3 多不饱和脂肪酸较高者患糖尿病的风险更低 ( $OR=0.48$ , 95%  $CI:0.24\sim0.98$ )。结论 膳食中动物性来源 n-3 PUFA 和植物性来源 n-3 PUFA 与 2 型糖尿病发病呈负相关, 动物性来源 n-3 PUFA 与 2 型糖尿病相关性在调整混杂因素后减弱, 但摄入植物性来源 n-3 PUFA 较高对糖尿病发病的保护作用最强。

**关键词:** n-3 多不饱和脂肪酸; 2 型糖尿病; 横断面研究

中图分类号: R587.1 文献标志码: A 文章编号: 1003-8507(2024)10-1780-07

DOI: 10.20043/j.cnki.MPM.202311190

## Associations of dietary intake of n-3 polyunsaturated fatty acids and type 2 diabetes in residents of Chongqing City

LAI Ying-xu\*, LUO Shu-quan, CHEN Jing-rong, LI Ji-bin

\* School of Public Health, Chongqing Medical University, Chongqing, Chongqing 400016, China

**Abstract: Objective** To analyze the relationship between dietary intake of n-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFA) and the incidence of type 2 diabetes mellitus (T2DM) among residents in selected districts of Chongqing, and to provide recommendations for the prevention of T2DM. **Methods** Using cross-sectional survey data collected in Chongqing as part of the 2021 China National Nutrition and Health Survey (CNNHS), and in combination with energy and nutrient intake calculated from the Chinese Food Composition Tables, single-factor and multi-factor Logistic regression models were employed to investigate the association between n-3 PUFA intake and the incidence of T2DM. **Results** This study included a total of 1 511 participants, of which 280 were diagnosed with T2DM, accounting for 18.80% of the total. When compared to participants in the lowest quartile of animal-derived n-3 PUFA intake, those in the highest quartile had a significantly lower risk of developing T2DM ( $OR=0.61$ , 95%  $CI:0.42-0.88$ ). The results from adjusted Model 1 were consistent with those of Model 2 (Model 1:  $OR=0.64$ , 95%  $CI:0.44-0.94$ ; Model 2:  $OR=0.66$ , 95%  $CI:0.44-0.98$ ). Notably, in Model 2, the risk of developing T2DM was even lower in the  $Q_4$  group of plant-derived n-3 PUFA compared to  $Q_1$  ( $OR=0.48$ , 95%  $CI:0.24-0.98$ ). **Conclusion** The dietary intake of animal-derived n-3 PUFA and plant-derived n-3 PUFA is negatively correlated with the incidence of T2DM. The association between animal-derived n-3 PUFA and T2DM weakens after adjusting for confounding factors, with the highest quartile of plant-derived n-3 PUFA showing the strongest protective effect against T2DM.

**Keywords:** n-3 polyunsaturated fatty acids; Type 2 diabetes mellitus; Cross-sectional study

2 型糖尿病 (type 2 diabetes mellitus, T2DM) 是一种主要以胰岛素抵抗为特征的代谢性疾病, 已成为全

球关注的公共卫生问题。据 2021 年的统计数据, 全球 20~79 岁人群的糖尿病患病率估计为 10.5%, 到 2045 年将上升到 12.2%<sup>[1]</sup>。在中国, 现约有 1.41 亿糖尿病患者<sup>[2]</sup>。T2DM 的发病主要涉及遗传、环境和其他危险因素之间的复杂相互作用, 膳食因素在其中

基金项目: 国家卫健委微量元素与营养重点实验室 (wlfz202206)

作者简介: 赖英旭 (1999—), 男, 硕士在读, 研究方向: 营养与慢性病

通信作者: 李继斌, E-mail: 100091@cqmu.edu.cn

发挥着关键作用,已有多项研究<sup>[3-5]</sup>提供了营养素和膳食模式在 T2DM 发病中的影响。

$n-3$  多不饱和脂肪酸( $n-3$  polyunsaturated fatty acids,  $n-3$  PUFA),通常被称为 Omega-3 脂肪酸,长期以来一直是备受关注的必须脂肪酸之一。这类脂肪酸主要包括  $\alpha$ -亚麻酸( $\alpha$ -linolenic acid, ALA)、二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid, EPA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)。ALA 主要存在于植物性食品如亚麻籽和核桃中。而 EPA 和 DHA 主要来源于海洋生物,尤其是深海鱼类,这些脂肪酸也可以通过膳食补充剂的形式摄入。由于 Omega-3 脂肪酸具有多种生理功能,已有研究提供了关于其对 T2DM 有益影响的证据<sup>[6-7]</sup>。然而,在一些研究中,没有发现明显的关联<sup>[8]</sup>。基于以上背景,本文旨在探讨 Omega-3 脂肪酸与 T2DM 之间的关系,研究膳食摄入 Omega-3 脂肪酸对 T2DM 发病的影响。

## 1 对象与方法

**1.1 资料来源** 数据来源于重庆市 2021 年中国居民营养与健康随访研究(CNNHS),CNNHS 采用多阶段整群随机抽样方法,在重庆选取了江津区、奉节县两个监测点,每个监测点抽取 6 个村居委,每个村居委抽取 75 户居民,对其中的 25 户进行食物频率问卷调查,此外还进行了问卷调查、体格检测等。排除了①患有重大身体、精神疾患。②经动员后仍不愿参与者。调查对象均签署了知情同意书。本项目通过中国疾病预防控制中心营养与健康所伦理审查(2021-011)。

**1.2 研究对象** 2021 年参加中国居民营养与健康随访研究的 1 708 名重庆市居民。本研究根据以下条件标准排除研究对象:①膳食、生化数据缺失者。②能量摄入异常,日均能量摄入 $\geq 5 500$  kcal/d 或 $\leq 400$  kcal/d。③怀孕或哺乳期女性。共剔除 197 人,最后纳入 1 511 名研究对象。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 膳食调查** 经由通过统一培训的专业人员入户进行一对一家庭询问调查,采用食物频率问卷(Food Frequency Questionnaire, FFQ)收集研究对象过去 12 个月 12 大类 75 项常见食物类别的摄入情况,根据食物摄入频率和每次食物量得出日均食物摄入量,结合中国食物成分表计算研究对象能量、宏量营养素及脂肪酸摄入量。家庭食用油的摄入量通过询问获得。

**1.3.2 非膳食调查** 非膳食调查内容包括:①一般人口学统计资料包括性别、年龄等;②体格检查:身高、体重等;③生活习惯:饮酒、吸烟等;④疾病史;⑤

生化指标检测:空腹血糖等。

**1.3.3 2 型糖尿病诊断标准** 采用 1999 年 WHO 发布的 T2DM 诊断标准作为依据,符合下列条件之一则判定为 T2DM:①空腹血糖 $\geq 7.0$  mmol/L。②口服葡萄糖耐量试验 2h 血糖 $\geq 11.1$  mmol/L。③自我报告既往被社区/乡镇以上医院诊断为 2 型糖尿病。

**1.3.4 统计学分析** 采用 Stata 17.0 统计软件进行分析。服从正态性的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 描述,两组间差异使用  $t$  检验,多组间差异使用单因素方差分析。不符合正态分布的计量资料使用中位数及四分位数表示,采用 Wilcoxon 秩和检验进行组间比较。分类变量以频数或构成比表示,组间差异采用 $\chi^2$ 检验。根据  $n-3$  多不饱和脂肪酸的摄入量由低到高以四分位( $Q_1 \sim Q_4$ )表示,使用 Logistic 回归模型,以 T2DM 作为因变量, $n-3$  多不饱和脂肪酸作为自变量,校正 T2DM 危险因素,计算 OR 值和 95% CI。检验水准  $\alpha = 0.05$ 。

**1.3.5 质量控制** ①问卷调查:国家级项目组对调查方案与问卷进行了论证与修订,并进行预调查,省级质控组对调查进行质量控制,具有专业资质人员经统一培训后入户进行面对面询问调查。②膳食调查:采用食物频率问卷法入户进行膳食调查,调查完成后由调查人员补充食物编码及其他信息,并核准内容。③体格测量:由社区医院对调查对象集中进行测量,体成分指标使用便携式体成分测量仪测量(InBody H20B)进行测量。④生化指标:实验室负责人组织完成现场检测项目质控品的考核,除全血血红蛋白由随访点实验室检测外,其余指标均由国家级实验室统一检测。

## 2 结果

**2.1 研究对象基本情况** 本研究共纳入 1 511 名研究对象,其中男性 663 例,占 43.88%,女性 848 例,占 56.12%。年龄范围为 18~94 岁,平均年龄( $59.84 \pm 14.22$ )岁。男性平均年龄( $60.13 \pm 14.61$ )岁,女性平均年龄( $59.62 \pm 13.91$ )岁。两组在年龄、BMI、糖尿病家族史、血脂异常、吸烟和饮酒习惯方面存在统计学差异( $P < 0.05$ )。性别、婚姻状况、文化程度、体育锻炼和高血压患病上,两组间差异无统计显著性。结果见表 1。

**2.2 膳食  $n-3$  多不饱和脂肪酸摄入情况** 本研究对象总能量与总  $n-3$  PUFA 日均摄入量分别为( $1 892.09 \pm 875.53$ ) kcal、( $5.66 \pm 3.53$ ) g/d。单因素分析结果显示,不同性别、年龄、婚姻状况、文化程度、糖尿病家族史的研究对象  $n-3$  PUFA 摄入存在显著差异。结果见表 2。

表 1 非 2 型糖尿病与 2 型糖尿病研究对象基本特征 [n(%)]

Table 1 Basic characteristics of research subjects with Non-Type 2 Diabetes and Type 2 Diabetes [n(%)]

因素	非糖尿病 (n = 1 231)	糖尿病 (n = 280)	$\chi^2/t$	P 值
性别			3.419	0.06
男性	554(45.00)	109(38.93)		
女性	677(55.0)	171(61.07)		
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	59.08 ± 14.42	63.17 ± 12.81	-4.803	<0.001
年龄(岁)			22.751	<0.001
<60	656(53.29)	105(37.50)		
≥60	575(46.71)	175(62.50)		
婚姻			0.621	0.431
已婚	1 060(86.11)	236(84.29)		
未婚、离异、丧偶	171(13.89)	44(15.71)		
文化程度			6.712	0.082
小学以下	205(16.65)	53(18.93)		
小学	635(51.58)	160(57.14)		
初中	250(20.31)	44(15.71)		
高中及以上	141(11.45)	23(8.21)		
吸烟			5.802	0.016
否	933(75.79)	231(82.50)		
是	298(24.21)	49(17.50)		
饮酒			12.046	0.001
否	964(78.31)	245(87.50)		
是	267(21.67)	35(12.50)		
体育锻炼			0.039	0.843
否	1 117(90.74)	253(90.36)		
是	114(9.26)	27(9.64)		
糖尿病家族史			10.756	0.003
无	1 194(96.99)	260(92.86)		
有	37(3.01)	20(7.14)		
BMI(kg/m <sup>2</sup> )			14.834	0.002
<18.5	32(2.60)	7(2.50)		
18.5~23.9	570(46.30)	99(35.36)		
24.0~27.9	448(36.39)	112(40.00)		
≥28.0	181(14.70)	62(22.14)		
高血压			3.466	0.063
否	704(57.19)	143(51.07)		
是	527(42.81)	137(48.93)		
血脂异常			26.043	<0.001
否	832(67.59)	144(51.43)		
是	399(32.41)	136(48.57)		
空腹血糖 (mmol/L, mean ± sd)	5.44 ± 0.59	9.60 ± 3.57	-38.623	<0.001

表 2 研究对象膳食 n-3PUFA 四分位数与其他暴露因素的相关性

Table 2 Correlation between quartiles of Dietary n-3PUFA and other exposure factors in study subjects

因素	膳食 n-3PUFA				$\chi^2$	P 值
	Q <sub>1</sub> , n(%)	Q <sub>2</sub> , n(%)	Q <sub>3</sub> , n(%)	Q <sub>4</sub> , n(%)		
性别					20.703	<0.001
男性	140(37.04)	155(41.01)	169(44.71)	199(52.79)		
女性	238(62.96)	223(58.99)	209(55.29)	178(47.21)		
年龄(岁)					9.820	0.020
<60	164(43.39)	199(52.65)	199(52.65)	199(52.79)		
≥60	214(56.61)	179(47.35)	179(47.35)	178(47.21)		
婚姻					13.183	0.004
已婚	310(82.01)	320(84.67)	323(85.45)	343(90.98)		
未婚、离异、丧偶	68(17.99)	58(15.33)	55(14.55)	34(9.02)		
文化程度					52.909	<0.001
小学以下	98(25.93)	74(19.58)	48(12.70)	38(10.08)		
小学	195(51.59)	199(52.65)	199(52.65)	202(53.58)		

(续表)

因素	膳食 n-3PUFA				$\chi^2$	P 值
	Q <sub>1</sub> , n(%)	Q <sub>2</sub> , n(%)	Q <sub>3</sub> , n(%)	Q <sub>4</sub> , n(%)		
初中	48(12.70)	72(19.04)	89(23.54)	85(22.55)	6.475	0.091
高中及以上	37(9.79)	33(8.73)	42(11.11)	52(13.79)		
吸烟					5.724	0.126
否	303(80.16)	296(78.31)	291(76.98)	274(72.68)		
是	75(19.84)	82(21.69)	87(23.02)	103(27.32)		
饮酒					4.718	0.194
否	313(82.80)	310(82.01)	296(78.31)	290(76.92)		
是	65(17.20)	68(17.99)	82(21.69)	87(23.08)		
体育锻炼					9.414	0.024
否	338(89.42)	353(93.39)	338(89.42)	341(90.45)		
是	40(10.58)	25(6.61)	40(10.58)	36(9.55)		
糖尿病家族史					2.157	0.989
否	372(98.41)	366(96.83)	358(94.71)	358(94.96)		
是	6(1.59)	12(3.17)	20(5.29)	19(5.04)		
BMI(kg/m <sup>2</sup> )					6.464	0.091
<18.5	12(3.17)	10(2.65)	9(2.38)	8(2.12)		
18.5~23.9	171(45.24)	166(43.92)	170(44.97)	162(42.97)		
24.0~27.9	133(35.19)	139(36.77)	141(37.30)	147(38.99)		
≥28.0	62(16.40)	63(16.67)	58(15.34)	60(15.92)		
高血压					4.824	0.185
否	208(55.03)	217(57.41)	228(60.31)	194(51.46)		
是	170(44.97)	161(42.59)	150(39.69)	183(48.54)		
血脂异常						
否	236(62.43)	261(69.05)	236(62.43)	243(64.46)		
是	142(37.57)	117(30.95)	142(37.57)	134(35.54)		

**2.3 膳食 n-3 PUFA 与罹患 2 型糖尿病的关联** 在未调整协变量的模型中,与动物性来源 n-3 PUFA 最低四分位数的研究对象相比,较高四分位数研究对象患 T2DM 的风险更低( $OR = 0.61, 95\% CI: 0.42 \sim 0.88$ ),在调整了模型 1(仅调整年龄)和模型 2(调整了性别、体质指数、是否饮酒、是否吸烟、糖尿病家族史、婚姻状况、是否锻炼、教育水平、区域、甘油三酯、能量)中同样发现了类似的结果(模型 1: $OR = 0.64,$

$95\% CI: 0.44 \sim 0.94$ ;模型 2: $OR = 0.66, 95\% CI: 0.44 \sim 0.98$ )。模型 2 中,与 Q<sub>1</sub>相比,Q<sub>4</sub>组植物性来源 n-3 PUFA 患 T2DM 的风险更低( $OR = 0.48, 95\% CI: 0.24 \sim 0.98$ )。虽然在完全调整模型中发现最高四分位数 n-3 PUFA 与最低分位数相比显示最高四分位数 n-3 多不饱和脂肪酸是 T2DM 发病的保护因素,但是没有显著性( $OR = 0.63, 95\% CI: 0.31 \sim 1.28$ )。见表 3。

**表 3** n-3 PUFA、动物性来源 n-3 PUFA、植物性来源 n-3 PUFA 与 T2DM 的关联性分析

**Table 3** Association analysis of n-3 PUFA, animal source n-3 PUFA, and plant source n-3 PUFA with Type 2 Diabetes

n-3 多不饱和脂肪酸	OR(95% CI)			
	Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	Q <sub>4</sub>
总 n-3 PUFA				
未调整模型 <sup>a</sup>	1	0.94(0.65~1.38)	1.35(0.94~1.94)	1.10(0.76~1.59)
模型 1 <sup>b</sup>	1	1.00(0.68~1.47)	1.45(1.00~2.08)	1.17(0.80~1.70)
模型 2 <sup>c</sup>	1	0.89(0.56~1.42)	1.04(0.59~1.83)	0.63(0.31~1.28)
动物性来源 n-3 PUFA				
未调整模型 <sup>a</sup>	1	0.61(0.42~0.88)	0.72(0.50~1.04)	0.93(0.65~1.31)
模型 1 <sup>b</sup>	1	0.64(0.44~0.94)	0.80(0.56~1.16)	1.04(0.73~1.48)
模型 2 <sup>c</sup>	1	0.66(0.44~0.98)	0.85(0.58~1.26)	1.09(0.72~1.66)
植物性来源 n-3 PUFA				
未调整模型 <sup>a</sup>	1	0.96(0.66~1.41)	1.29(0.90~1.85)	1.06(0.73~1.54)
模型 1 <sup>b</sup>	1	1.00(0.69~1.47)	1.35(0.93~1.94)	1.12(0.77~1.63)
模型 2 <sup>c</sup>	1	0.81(0.51~1.30)	0.83(0.46~1.48)	0.48(0.24~0.98)

注:<sup>a</sup>未调整协变量。<sup>b</sup>调整了年龄。<sup>c</sup>在模型 1 的基础上调整了性别、体质指数、是否饮酒、是否吸烟、糖尿病家族史、婚姻状况、是否锻炼、教育水平、区域、甘油三酯、能量(三分位数)。

### 3 讨论

在 2017 年发布的中国 2 型糖尿病合并血脂异常防治专家共识中提到增加蔬菜水果粗纤维食物以及富含 n-3 PUFA 的鱼类的摄入有助于 T2DM 患者的血脂管理<sup>[9]</sup>。本研究发现膳食中动物性来源 n-3 PUFA 和植物性来源 n-3 PUFA 与 T2DM 发病呈负相关,动物性来源 n-3 PUFA 与 T2DM 的这种关联在调整混杂因素后减弱,在最高四分位数水平上并未发现与 T2DM 发病存在关联。最高四分位数植物性来源 n-3 PUFA 对 T2DM 发病的保护作用最强。而在总的 n-3 PUFA 中没有发现与 T2DM 发病的关联。

已有研究证实膳食 n-3 PUFA 摄入对心血管疾病具有保护作用,但与 T2DM 的关系仍具争论。在一项社区人群研究中<sup>[10]</sup>,在调整混杂因素后,结果发现超重/肥胖女性 n-3 PUFA 摄入水平与糖尿病呈负向关联。Jiang 等人<sup>[11]</sup>分析了美国人群中 n-3 PUFA 各亚型摄入与 T2DM 风险间的关系,发现与摄入量最低分位数组相比,EPA、DHA 及 ALA 最高分位数组的 T2DM 风险分别下降了 32%、18% 与 57%。但在另一项关于中国人群的队列研究<sup>[12]</sup>中发现,摄入海洋来源 n-3 PUFA 与 T2DM 风险增加相关。荟萃分析<sup>[13]</sup>结果还表明补充鱼油对被发现只对 T2DM 患者血脂控制有利,而并未改善血糖水平。以上研究所得结论不同可能是由于膳食结构不同造成的。本研究结果支持 EPA 和 DHA 摄入量与较低 T2DM 风险有关。

根据本研究的发现, $Q_2$ 组动物性来源 n-3 PUFA 与 T2DM 发病呈负相关。然而,随着动物性来源 n-3 PUFA 摄入水平的进一步增加,在  $Q_3$  与  $Q_4$  组中并未观察到动物性来源 n-3 PUFA 与 T2DM 发病的关联。这暗示在动物性来源 n-3 PUFA 摄入水平增加的同时,可能存在其他因素对其保护作用产生削弱效应。考虑到动物性来源 n-3 PUFA 主要来自水产品,而水产品往往受到不同程度的重金属污染,其中包括汞等物质<sup>[14]</sup>。这可能解释了为什么在更高摄入水平的动物性来源 n-3 PUFA 中未能观察到其与 T2DM 发病的相关性。此观点得到了 Wang 等人的研究支持<sup>[15]</sup>,他们发现血液中高金属水平与妊娠期糖尿病风险增加有关,其中汞是主要驱动因素,而镍、铅和砷在一定程度上也有影响。因此,这可能表明动物性来源 n-3 PUFA 摄入量增加所带来的汞摄入增加可能导致其保护作用降低,进而未能在更高摄入水平上观察到其与 T2DM 发病的关联。

一项针对挪威女性的大型前瞻性队列研究<sup>[16]</sup>结果与本研究相似,显示最高摄入水平下的 n-3 PUFA ( $\geq 0.40$  g/d) 与 T2DM 风险无关( $HR = 1.08, 95\% CI:$

$0.95 \sim 1.23$ ),但瘦鱼类摄入与 T2DM 风险降低有关( $HR = 0.71, 95\% CI: 0.53 \sim 0.95$ )。

ALA 与 T2DM 的关系也存在争议。一项分析 ALA 与 T2DM 关系的系统评价发现 ALA 与空腹胰岛素增加约 7% 有关,但未发现与 T2DM 发病间的关联<sup>[17]</sup>。而另在一项荟萃分析<sup>[18]</sup>中,研究者发现 ALA 与 T2DM 发病风险降低有关( $RR = 0.955, 95\% CI: 0.930 \sim 0.983$ )。此外,在近期发表的一项 n-3 PUFA 与多种心血管疾病关系的研究<sup>[19]</sup>中,研究人员同样发现了 ALA 与 T2DM 存在的负向关联。有研究<sup>[20]</sup>通过补充鱼油对肥胖和超重人群进行为期 12 周的干预,发现能够通过鱼油的摄入能够减少与胰岛素抵抗相关的激酶从而减轻胰岛素抵抗,降低 T2DM 发病风险。本研究结果发现植物性来源 n-3 PUFA, ALA 与 T2DM 负相关,与上述研究结论一致。

有关 n-3 PUFA 影响 T2DM 发病的机制仍未完全阐明,其对机体的抗炎作用可能是重要原因,作用机制包括抑制炎症基因表达、调节信号通路和受体的相互作用。n-3 PUFA 能够抑制炎症基因的表达。富含亚麻籽油的饮食能够通过抗炎和调节大鼠肠道微生物群降低 T2DM 的严重程度<sup>[21]</sup>。朱媛媛等人<sup>[22]</sup>发现高脂亚麻籽油喂养的小鼠与其他种类高脂喂养小鼠相比血糖水平显著下降,同时还下调了 TLR4 等炎症通路相关基因的表达。TLR4 信号通路在代谢性炎症与胰岛素抵抗中起着关键作用,针对 TLR4 和 API 的抗炎干预可以改善小鼠高脂饮食引起的系统性和肝脏炎症、肥胖和胰岛素抵抗<sup>[23-25]</sup>。此外,EPA 和 DHA 具有显著的抗炎作用,能够通过 NF- $\kappa$ B 和 MAPKs 通路抑制巨噬细胞炎症基因如 COX-2、INOS、IL-6 和 IL-1 $\beta$  等的表达并减少巨噬细胞中 NO 的生成进而调节炎症<sup>[26-29]</sup>。n-6/n-3 PUFA 比例与 T2DM 间的关系也受到了人们的关注,其中,较低的 n-6/n-3 PUFA 比例可能对健康有益<sup>[30-32]</sup>。Fu 等探讨了膳食中 n-6/n-3 PUFA 比例与妊娠期糖尿病发生风险之间的关系<sup>[33]</sup>,结果发现相较于对照组,GDM 组的 n-6/n-3 PUFA 比例更高,且有显著差异,高 n-6/n-3 PUFA 比例与妊娠期糖尿病的关联是显著的( $OR = 4.29, 95\% CI: 1.30 \sim 14.12$ )。在另一项荟萃分析中<sup>[34]</sup>,结果显示低比例 n-6/n-3 PUFA 膳食干预降低了血清胰岛素水平和胰岛素抵抗指数。Yue 等人<sup>[35]</sup>研究了不同比例 n-6/n-3 PUFA 对小鼠棕色脂肪组织和 T2DM 的影响,发现在小鼠中较低的 n-6/n-3 PUFA 饮食可以通过激活棕色脂肪组织来改善 T2DM 的相关症状。

本研究是一项横断面研究,不能揭示 n-3 PUFA 与 T2DM 发病的因果关系。本研究人群均来自重庆

周边区县,经济水平较低,不能反映总人群特点,因此还需更大样本队列研究来揭示 n-3 PUFA 与 T2DM 发病间的因果关系。此外,由于本研究中的居民摄入食用油数据是通过询问法而非称重法获得的,因此在计算食用油摄入量时还存在一定偏差。

**利益冲突声明** 本研究不存在任何利益冲突

## 参考文献

- [1] Sun H, Saeedi PY, Karuranga S, et al. IDF diabetes Atlas: global, regional and country - level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045 [J]. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 2022, 183: 109119.
- [2] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas 2021 (10th edition) [EB/OL]. [2024-04-30]. <https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/>.
- [3] Neuenschwander M, Barbaresko J, Pischke CR, et al. Intake of dietary fats and fatty acids and the incidence of type 2 diabetes: A systematic review and dose - response meta - analysis of prospective observational studies [J]. *PLOS Medicine*, 2020, 17 (12): e1003347.
- [4] Tettamanzi F, Bagnardi V, Louca P, et al. A high protein Diet is more effective in improving insulin resistance and glycemic variability compared to a Mediterranean Diet - A Cross - Over controlled inpatient dietary study [J]. *Nutrients*, 2021, 13 (12): 4380.
- [5] Wang YH, Xu LN, Wang N, et al. Associations of dietary patterns and incident type 2 diabetes in a community population cohort from southwest China [J]. *Frontiers in Public Health*, 2022, 10: 773172.
- [6] Yu QY, Wang TT, Wang F, et al. High n - 3 fatty acids counteract hyperglycemia - induced insulin resistance in fat - 1 mice via pre - adipocyte NLRP3 inflammasome inhibition [J]. *Food & Function*, 2021, 12(1): 230 - 240.
- [7] Diaz - Rizzolo DA, Serra A, Colungo C, et al. Type 2 diabetes preventive effects with a 12 - months sardine - enriched diet in elderly population with prediabetes: An interventional, randomized and controlled trial [J]. *Clinical Nutrition*, 2021, 40(5): 2587 - 2598.
- [8] Telle - Hansen VH, Gaundal L, Myhrstad MCW. Polyunsaturated fatty acids and glycemic control in type 2 diabetes [J]. *Nutrients*, 2019, 11(5): 1067.
- [9] 中华医学会内分泌学分会脂代谢学组. 中国 2 型糖尿病合并血脂异常防治专家共识(2017 年修订版) [J]. *中华内分泌代谢杂志*, 2017, 33(11): 925 - 936.  
Lipid Metabolism Group, Endocrinology Branch of Chinese Medical Association. Expert consensus on prevention and treatment for type 2 diabetes mellitus complicated with dyslipidemia in China (2017) [J]. *Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism*, 2017, 33 (11): 925 - 936.
- [10] Abbott KA, Burrows TL, Thota RN, et al. Association between plasma phospholipid omega - 3 polyunsaturated fatty acids and type 2 diabetes is sex dependent: The Hunter Community Study [J]. *Clinical Nutrition*, 2020, 39(4): 1059 - 1066.
- [11] Jiang SS, Yang WH, Li YM, et al. Monounsaturated and polyunsaturated fatty acids concerning prediabetes and type 2 diabetes mellitus risk among participants in the National Health and Nutrition Examination Surveys (NHANES) from 2005 to March 2020 [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2023, 10: 1284800.
- [12] Zhang Y, Zhuang P, Mao L, et al. Current level of fish and omega - 3 fatty acid intakes and risk of Type 2 diabetes in China [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2019, 74: 108249.
- [13] Gao C, Liu Y, Gan Y, et al. Effects of fish oil supplementation on glucose control and lipid levels among patients with type 2 diabetes mellitus: a Meta - analysis of randomized controlled trials [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2020, 19(1): 87.
- [14] 徐曦, 颜崇淮. 中国水产品总汞污染特征分析及健康暴露评估 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2022, 34(1): 104 - 109.  
Xu X, Yan CH. Contamination characteristics and health risk assessment of Mercury in aquatic products in China [J]. *Chinese Journal of Food Hygiene*, 2022, 34(1): 104 - 109.
- [15] Wang Y, Zhang P, Chen X, et al. Multiple metal concentrations and gestational diabetes mellitus in Taiyuan, China [J]. *Chemosphere*, 2019, 237: 124412.
- [16] Øyen J, Brantsæter AL, Nøstbakken OJ, et al. Intakes of fish and long - chain n - 3 polyunsaturated fatty acid supplements during pregnancy and subsequent risk of type 2 diabetes in a large prospective cohort study of Norwegian women [J]. *Diabetes Care*, 2021, 44(10): 2337 - 2345.
- [17] Brown TJ, Brainard J, Song FJ, et al. Omega - 3, omega - 6, and total dietary polyunsaturated fat for prevention and treatment of type 2 diabetes mellitus: systematic review and meta - analysis of randomised controlled trials [J]. *BMJ*, 2019, 366: 14697.
- [18] Hu MY, Fang ZM, Zhang T, et al. Polyunsaturated fatty acid intake and incidence of type 2 diabetes in adults: a dose response meta - analysis of cohort studies [J]. *Diabetology & Metabolic Syndrome*, 2022, 14(1): 34.
- [19] Jiang H, Wang LN, Wang DL, et al. Omega - 3 polyunsaturated fatty acid biomarkers and risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, cancer, and mortality [J]. *Clinical Nutrition*, 2022, 41 (8): 1798 - 1807.
- [20] Thota RN, Rosato JI, Burrows TL, et al. Docosahexaenoic Acid - Rich fish oil supplementation reduces kinase associated with insulin resistance in overweight and obese midlife adults [J]. *Nutrients*, 2020, 12(6): 1612.
- [21] Zhu LL, Sha LP, Li K, et al. Dietary flaxseed oil rich in omega - 3 suppresses severity of type 2 diabetes mellitus via anti - inflammation and modulating gut microbiota in rats [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2020, 19(1): 20.
- [22] 朱媛媛, 卞勇, 宋志秀, 等. n-3 多不饱和脂肪酸对小鼠糖脂代谢影响及机制 [J]. *食品科技*, 2020, 45(8): 227 - 232.  
Zhu YY, Bian Y, Song ZX, et al. Effects and mechanism of n - 3 polyunsaturated fatty acids on glycolipid metabolism in mice [J]. *Food Science and Technology*, 2020, 45(8): 227 - 232.
- [23] Hu X, Zhou J, Song SS, et al. TLR4/AP - 1 - Targeted Anti - Inflammatory intervention attenuates insulin sensitivity and liver steatosis [J]. *Mediators of Inflammation*, 2020, 2020: 2960517.
- [24] Li B, Leung JCK, Chan LYY, et al. A global perspective on the crosstalk between saturated fatty acids and Toll - like receptor 4 in the etiology of inflammation and insulin resistance [J]. *Progress in*

- Lipid Research, 2020, 77: 101020.
- [25] Benomar Y, Taouis M. Molecular mechanisms underlying Obesity - Induced hypothalamic inflammation and insulin resistance; pivotal role of resistin/TLR4 pathways [J]. *Frontiers in Endocrinology*, 2019, 10: 140.
- [26] Rod - In W, Monmai C, Shin IS, et al. Neutral lipids, glycolipids, and phospholipids, isolated from sandfish (arctoscopus japonicus) Eggs, exhibit Anti - Inflammatory activity in LPS - Stimulated RAW264.7 cells through NF -  $\kappa$ B and MAPKs pathways [J]. *Marine Drugs*, 2020, 18(9): 480.
- [27] Naeini Z, Toupchian O, Vatannejad A, et al. Effects of DHA - enriched fish oil on gene expression levels of p53 and NF -  $\kappa$ B and PPAR -  $\gamma$  activity in PBMCs of patients with T2DM; A randomized, double - blind, clinical trial [J]. *Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases: NMCD*, 2020, 30(3): 441 - 447.
- [28] So J, Wu DY, Lichtenstein AH, et al. EPA and DHA differentially modulate monocyte inflammatory response in subjects with chronic inflammation in part via plasma specialized pro - resolving lipid mediators; A randomized, double - blind, crossover study[J]. *Atherosclerosis*, 2021, 316: 90 - 98.
- [29] Qian LL, Li JZ, Sun XM, et al. Safinamide prevents lipopolysaccharide (LPS) - induced inflammation in macrophages by suppressing TLR4/NF -  $\kappa$ B signaling [J]. *International Immunopharmacology*, 2021, 96: 107712.
- [30] Wang YY, Dong LR, Pan D, et al. Effect of high ratio of n - 6/n - 3 PUFAs on depression; a Meta - Analysis of prospective studies [J]. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 889576.
- [31] Ma CY, Xu ZH, Lv H. Low n - 6/ n - 3 PUFA ratio improves inflammation and myocardial ischemic reperfusion injury [J]. *Biochemistry and Cell Biology*, 2019, 97(5): 621 - 629.
- [32] Van name MA, Savoye M, Chick JM, et al. A low  $\omega$  - 6 to  $\omega$  - 3 PUFA ratio (n - 6; n - 3 PUFA) Diet to treat fatty liver disease in obese youth[J]. *Journal of Nutrition*, 2020, 150(9): 2314 - 2321.
- [33] Fu YQ, Yang Y, Zhu LY, et al. Effect of dietary n - 6: n - 3 Poly - Unsaturated fatty acids ratio on gestational diabetes mellitus; a prospective cohort [J]. *Gynecological Endocrinology*, 2022, 38(7): 583 - 587.
- [34] Li N, Yue H, Jia M, et al. Effect of low - ratio n - 6/n - 3 PUFA on blood glucose: a meta - analysis[J]. *Food & Function*, 2019, 10(8): 4557 - 4565.
- [35] Yue H, Liu W, Zhang WL, et al. Dietary low ratio of n - 6/n - 3 polyunsaturated fatty acids improve type 2 diabetes mellitus via activating brown adipose tissue in male mice[J]. *Journal of Food Science*, 2021, 86(3): 1058 - 1065.

收稿日期:2023-11-09

(上接第 1741 页)

- [19] 肖文博,朱广涵,朱云,等. 1990—2019 年中国主要消化系统恶性肿瘤发病变化分析[J]. *中国肿瘤*, 2022, 31(9): 693 - 700.
- Xiao WB, Zhu GH, Zhu Y, et al. Incidence of major digestive system cancers in China, 1990 - 2019 [J]. *China Cancer*, 2022, 31(9): 693 - 700.
- [20] 张建功,刘茵,陈琼,等. 2018 年河南省结直肠癌流行现状及 2010—2018 年流行趋势分析[J]. *郑州大学学报:医学版*, 2022, 57(4): 482 - 486.
- Zhang JG, Liu Y, Chen Q, et al. Epidemic status of colorectal cancer in 2018 and its trend from 2010 to 2018 in Henan Province [J]. *Journal of Zhengzhou University: Medical Sciences*, 2022, 57(4): 482 - 486.
- [21] 陈万青,李霓,兰平,等. 中国结直肠癌筛查与早诊早治指南 (2020,北京)[J]. *中国肿瘤*, 2021, 30(1): 1 - 28.
- Chen WQ, Li N, Lan P, et al. China guideline for the screening, early detection and early treatment of colorectal cancer (2020, Beijing) [J]. *China Cancer*, 2021, 30(1): 1 - 28.
- [22] Liu X, Yu C, Bi Y, et al. Trends and age - period - cohort effect on incidence and mortality of prostate cancer from 1990 to 2017 in China [J]. *Public Health*, 2019, 172: 70 - 80.
- [23] Gu XY, Zheng RS, Zhang SW, et al. [Analysis on the trend of prostate cancer incidence and age change in cancer registration areas of China, 2000 to 2014] [J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2018, 52(6): 586 - 592.
- [24] Yin M, Wang F, Zhang Y, et al. Analysis on incidence and mortality trends and age - period - cohort of breast cancer in Chinese women from 1990 to 2019 [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2023, 20(1): 826.

收稿日期:2024-02-07