

研究报告

亚麻籽对超重肥胖少儿脂代谢、炎症和疲劳的影响

赵小龙¹, 王鑫², 栗振华³(1. 郑州财税金融职业学院, 河南 郑州 450000; 2. 郑州大学, 河南 郑州 450001;
3. 河南农业大学, 河南 郑州 450002)

摘要:目的 考察亚麻籽对超重少儿脂代谢、炎症和疲劳的影响。方法 本研究将80名超重少儿[平均年龄: (11.50±2.11)岁, 男女各40例]随机分为对照组(C组, n=40)和实验组(W组, n=40)。分组完成后进行前测(包括: 采血并测试疲劳、炎症、压力、脂肪代谢指标, 填写精神状态相关问卷以及身体成分测试)。随后进行持续16周饮食干预, C组受试者每天摄入20g膨化小麦(热量约347kcal), W组受试者每天摄入20g亚麻籽(热量约420kcal)。并在干预的第4、8、12、16周的周日, 进行采血和身体成分测试, 在干预的第16周的周日填写精神压力相关问卷。**结果** 在16周的饮食干预过程中, C组受试者的体质量指数(BMI)、体脂率、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)均未发生显著变化($P>0.05$)。W组受试者的BMI、体脂率、TG、TC、LDL-C呈现下降趋势, 第16周后显著低于前测和C组对应时间点水平($P<0.05$)。第16周后, C组受试者白细胞介素6(IL-6)和肿瘤坏死因子(TNF- α)指标高于基线水平($P<0.05$), W组受试者IL-6和TNF- α 指标在前4周呈现上升趋势, 但在4周后开始持续下降, 第16周后显著低于前测和C组对应时间点水平($P<0.05$)。经过16周干预, W组的综合性疲劳、身体性疲劳、心理性疲劳、压力和焦虑情况与前测和C组相较出现显著下降($P<0.05$)。**结论** 超重少儿食用亚麻籽能够调节脂代谢, 降低炎症因子水平, 缓解身心疲劳。

关键词: 亚麻籽; 超重; 少儿; α -亚麻酸; 疲劳; 炎症

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2024)03-0260-07

DOI: 10.13590/j.cjfh.2024.03.004

Effects of flaxseed on lipid metabolism, fatigue, and inflammation in obese children

ZHAO Xiaolong¹, WANG Xin², LI Zhenhua³(1. Zhengzhou Vocational College of Finance and Taxation, He'nan Zhengzhou 450000, China;
2. Zhengzhou University, He'nan Zhengzhou 450001, China;
3. He'nan Agricultural University, He'nan Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Objective To determine the effects of flaxseed on lipid metabolism, fatigue, and inflammation in overweight children. **Methods** Eighty overweight children [average age: 11.50 ± 2.11 years; sex: 40 males and 40 females] were randomly divided into the control (group C, n = 40) and experimental (group W, n = 40) group. A pre-test was carried out after completion of study-related assessments (blood collection; evaluation of the indexes of fatigue, inflammation, stress, and fat metabolism; and completing mental state-related questionnaires and body composition tests). Participants in group C ate 20 g of expanded wheat (approximately 347 kcal) while those in group W ate 20 g of flaxseed (approximately 420 kcal) every day. Blood samples and body composition tests were carried out on Sunday in weeks 4, 8, 12, and 16 of the intervention. The mental stress questionnaire was completed on Sunday in week 16 of the intervention. **Results** During the 16-week diet, no significant changes in body mass index (BMI), body fat rate, triglyceride (TG), total cholesterol (TC), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) were found in group C ($P>0.05$). The BMI, body fat rate, TG, TC, and LDL-C of participants tended to trend downward in group W. After week 16, the values of these indexes were significantly lower than those in the pretest and group C at the corresponding time point ($P<0.05$). After week 16, the levels of interleukin 6 (IL-6) and tumor necrosis factor α (TNF- α) in group C were higher than those at baseline ($P<0.05$). In group W, the levels of IL-6 and TNF- α increased in the first 4 weeks, but decreased continuously thereafter, and were significantly lower than those

收稿日期: 2023-05-12

作者简介: 赵小龙 男 讲师 研究方向为运动生理学 E-mail: fujiaqing19@sina.com

通信作者: 王鑫 男 讲师 研究方向为运动生理学 E-mail: wangxin@zzu.edu.cn

in the pretest and group C at week 16 ($P < 0.05$). After 16 weeks of intervention, comprehensive fatigue, physiological fatigue, psychological fatigue, stress, and anxiety in group W were significantly lower than those in group C and the pretest ($P < 0.05$). **Conclusion** Long-term consumption of flaxseed by overweight children can reduce the level of inflammatory factors, relieve physical and mental fatigue, regulate lipid metabolism, and improve body composition.

Key words: Flaxseed; overweight; children; α -linolenic acid; fatigue; inflammation

近年来,少儿超重肥胖率呈现快速上升趋势,已成为威胁我国少儿身心健康的重要公共卫生问题。在“健康中国”上升为国家战略的大背景下,国家卫生健康委员会、教育部等六部门联合印发《少儿肥胖防控实施方案》(实施方案),该方案旨在遏制少儿超重肥胖率的持续上升,期望在未来 10 年使少儿肥胖率下降 60%~80%^[1]。目前升学压力和课业负担导致许多少儿也成为久坐人群,学校有意识地增加活动时间,但量度有限,相比每日热量摄入,很难形成热量缺口,实现减脂减重的目的^[2]。此外,尚未被重视的少儿慢性疲劳也是肥胖的重要影响因素。少儿每日学习总时长均大于 10 h,面临中、高考的学生睡眠时间难以保证,经年积累,少儿慢性疲劳发病率为 4.04%^[3-4],疲劳导致的睡眠问题和倦怠与肥胖发生高度相关^[5]。

亚麻籽是近年流行的减肥食品,同时可以作为油料作物和入药。多项研究表明亚麻籽里含有高达 33.8% 的膳食纤维,远高于其他的粗粮和豆类,摄入后能产生较强饱腹感,对食欲产生抑制,进而通过减少超重人群的能量摄入,达到控制体质量和提高脂代谢的目的^[6-8]。而亚麻籽中富含 α -亚麻酸(α -linolenic acid, ALA)。ALA 是有 3 个双键的多元不饱和脂肪酸,也是 ω -3 必需脂肪酸,具有抗炎、提高认知和记忆力、改善睡眠、调节血压等多种功效^[9-10]。最新的研究表明亚麻籽还能改善慢性疲劳

症状^[11]。超重肥胖少儿容易出现脂代谢异常、全身炎症和慢性疲劳等亚健康问题,通过调节膳食可能带来一定改善^[12]。基于亚麻籽的功效,本研究将在超重肥胖少儿的饮食内加入亚麻籽进行 16 周的干预,观察亚麻籽对脂代谢、疲劳和炎症的影响,为未来超重肥胖少儿膳食结构改善提供有价值的参考。

1 资料与方法

1.1 资料与分组

本研究通过对郑州市的 15 所小学发布受试者招募信息,共招募超重少儿 100 例,经过纳入和排除条件筛选后,最终入选 80 例。本研究经过郑州大学伦理审查委员会批准,批准号为:(2022)年科研第(37)号,并与家长签署知情同意书。

纳入标准:(1)10~15 岁;(2)体质量指数(Body mass index, BMI) $>25 \text{ kg/m}^2$;(3)家长同意参与实验。

排除标准:(1)患有身体和精神疾病的少儿,以及特殊饮食,如低热量方案、营养补充、食欲抑制剂和服用抗精神病药物者;(2)1 个月内存在亚麻籽产品摄入者;(3)体脂率(fat%) $<23\%$ (4)连续 2 d 未按照摄入方案执行者。

分组情况:将入选的 80 名受试者,利用随机数字表法分为对照组(C 组, $n=40$)和实验组(W 组, $n=40$)。两组受试者的年龄、性别、BMI 和体脂率差异均无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

表 1 受试者基本情况

Table 1 Basic Information of Subjects

组别	年龄/岁	人数/(男/女)	脱落样本	BMI/(kg/m^2)	体脂率/%
C 组	11.30 \pm 2.40	40(20/20)	2	27.09 \pm 1.98	29.40 \pm 2.80
W 组	11.70 \pm 1.90	40(20/20)	1	27.41 \pm 2.03	29.80 \pm 3.30
χ^2/t	0.826	—	-1.342	0.714	0.585
P	0.411	—	0.339	0.478	0.562

1.2 设备与试剂

99.95% 纯度亚麻籽和精制小麦购自市场。仪器韩国 INbody770 身体成分仪、中国吉迪 JIDI-16R 台式高速冷冻离心机、美国贝克曼库尔特 AU5800 自动生化分析仪。白细胞介素 6(Interleukin 6, IL-6)、肿瘤坏死因子 α (Tumor necrosis factor α , TNF- α)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、总胆固醇(Total Cholesterol, TC)、低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固

醇(Height-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)检测试剂盒购自上海西唐生物科技有限公司。

1.3 研究设计与干预措施

1.3.1 研究设计

本研究为随机、对照、单盲实验。

前测内容包括采血并测试疲劳、炎症、压力、脂肪代谢指标,填写精神状态相关问卷以及身体成分测试。然后进行持续 16 周饮食干预,C 组受试者每天摄入 20 g 膨化小麦(热量约 347 kcal),W 组受试

者每天摄入 20 g 亚麻籽(热量约 420 kcal)。并在干预的第 4、8、12、16 周的周日进行采血和身体成分测试,在干预的第 16 周周日填写精神压力相关问卷。

1.3.2 干预措施

膨化小麦的纤维含量低,主要含有碳水化合物,而且不含有影响本研究结果的成分,因此选择膨化小麦作为对照。膨化小麦中 α -亚麻酸的含量约为 0.08 g/100 g,亚麻籽中 α -亚麻酸的含量为 22.8 g/100 g。首先将亚麻籽和膨化小麦粉碎,制成亚麻籽和膨化小麦粉。W 组受试者摄入亚麻籽粉,将亚麻籽粉(20 g)混入奶、粥或菜肴中一起食用。C 组受试者摄入膨化小麦粉,将膨化小麦粉(20 g)混入奶、粥或菜肴中一起食用。注册营养师根据每个受试者的能量需求给每个受试者提供个人饮食计划,饮食能量与试验前保持相同。受试者每次食用亚麻籽或膨化小麦时都进行依从性评估^[6,12]。试验过程中,除 3 个样本脱落外,其他受试者均按实验要求完成了膨化小麦和亚麻籽的摄入,且未改变实验前后的饮食习惯和能量。

1.4 样本采集与量表填写

1.4.1 血液样本采集与储存

在饮食干预前后对受试者进行静脉采血 10 mL,置于抗凝管并标号,低温高速离心机以 4 000 r/min 离心 10 min,贮藏于 -80 °C 冷藏室。

1.4.2 量表填写与质控

本研究由于受试者年幼,部分受试者不识字或者不能完全理解意思,因此,研究过程中,研究者与受试者进行一对一解释问答,利用北京朗心致远科技有限公司提供的心理学软件进行机选回答,以保证量表的回答信度。

1.5 观测指标

身体成分指标:检测前受试者禁食禁水 8 h 以上,在早上 8:00~9:00 间到达实验室,检测 BMI、体脂率等指标。

炎症指标:将血样在 4 °C、3 000 r/min 离心 10 min,取血清,利用酶联免疫分析法检测 IL-6、TNF- α 指标。

疲劳指标:利用朗心心理学软件提供的多维疲劳量表(Multidimensional fatigue inventory, MFI)、青少年版焦虑和压力采用抑郁焦虑压力量表(Depression, anxiety and stress scale for younger, DASS-Y)对疲劳焦虑等情绪进行检测和评分。MFI 量表为 2008 年简体中文版,共 20 个条目,主要用于测量 14 d 内的疲劳情况,该量表包含 5 个维度分别为综合性疲劳、身体性疲劳、心理性疲劳、活动减少和动力下降,每个维度包含 4 个条目,每个条

目用利克特 5 级评分,1 分(完全不符合),2 分(较不符合),3 分(介于符合与不符合之间),4 分(比较符合),5 分(完全符合),总分为 20~100 分,得分越高表示疲劳越严重,每个维度的得分能单独反映该维度的疲劳程度。DASS-Y 量表使用 2010 年简体中文版,共 21 个条目,用于评估焦虑抑郁情绪及状态,并在一定程度上区分了抑郁和焦虑症状,该量表包含 3 个维度,分别为抑郁、焦虑和压力,每个维度包含 7 个条目,均采用从“0”(不符)到“3”(总是符合)的 4 级计分,将各分量表得分乘以 2,即为该分量表的分值,分值越高代表越具有该情绪^[13-14]。

脂代谢指标:将血样从冷冻室取出,静置解冻利用全自动生化分析仪检测 TG、TC、LDL-C、HDL-C 指标。

1.6 统计学分析

利用 SPSS 23.0 统计软件进行数据分析,数据以均数 \pm 标准差($\bar{X}\pm S$)的形成呈现,利用配对样本 *T* 检验检测组内前后差异,利用独立样本 *T* 检验检测组间差异, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 样本脱落情况

如表 1 所示:C 组有 2 人未完成试验,因无法依从能量摄入要求,导致实验前后能量摄入不一致而退出试验;W 组有 1 名受试者因中途身体原因退出试验。

2.2 身体成分和脂代谢变化

2.2.1 BMI 和体脂率变化

如图 1 所示:16 周的饮食过程中,C 组受试者 BMI 和体脂率未发生显著变化($P>0.05$);W 组受试者 BMI 和体脂率呈现下降趋势,第 12 周后显著低于前测和 C 组对应时间点水平($P<0.05$)。

2.2.2 血脂变化

如图 2 所示:16 周的饮食过程中,C 组受试者 TG、TC、HDL-C、LDL-C 等指标未发生显著变化($P>0.05$);W 组受试者 TG、TC、LDL-C 等指标总体呈现下降趋势,第 12 周后显著低于前测和 C 组对应时间点水平($P<0.05$),HDL-C 总体呈现上升趋势,第 12 周后显著高于前测和 C 组对应时间点水平($P<0.05$)。

2.3 炎症因子变化

如图 3 所示:16 周的饮食过程中,C 组受试者 IL-6 和 TNF- α 指标逐渐上升,第 16 周后显著高于基线水平($P<0.05$);W 组受试者 IL-6 和 TNF- α 指标在前 4 周呈现上升趋势,但在 4 周后开始持续下降,第 12 周后显著低于前测和 C 组对应时间点水平($P<0.05$)。

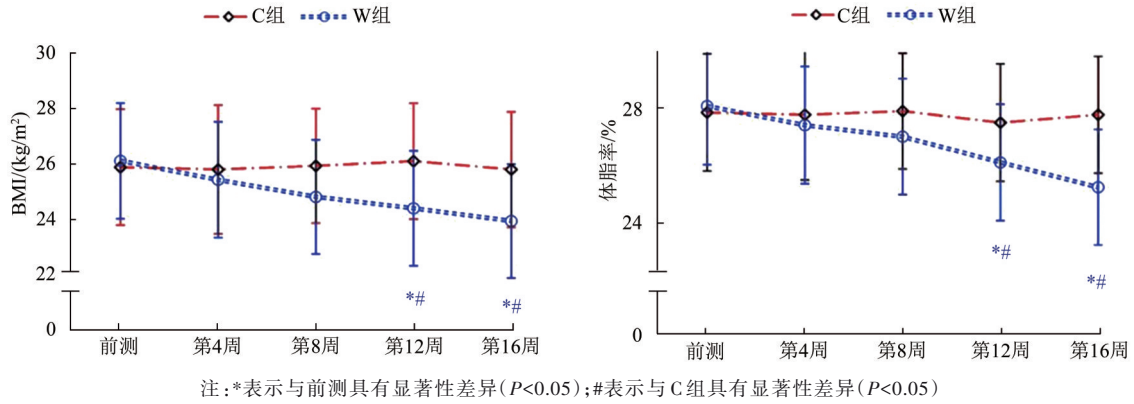


图1 BMI和体脂率变化趋势图
Figure 1 Change trend of BMI and body fat rate

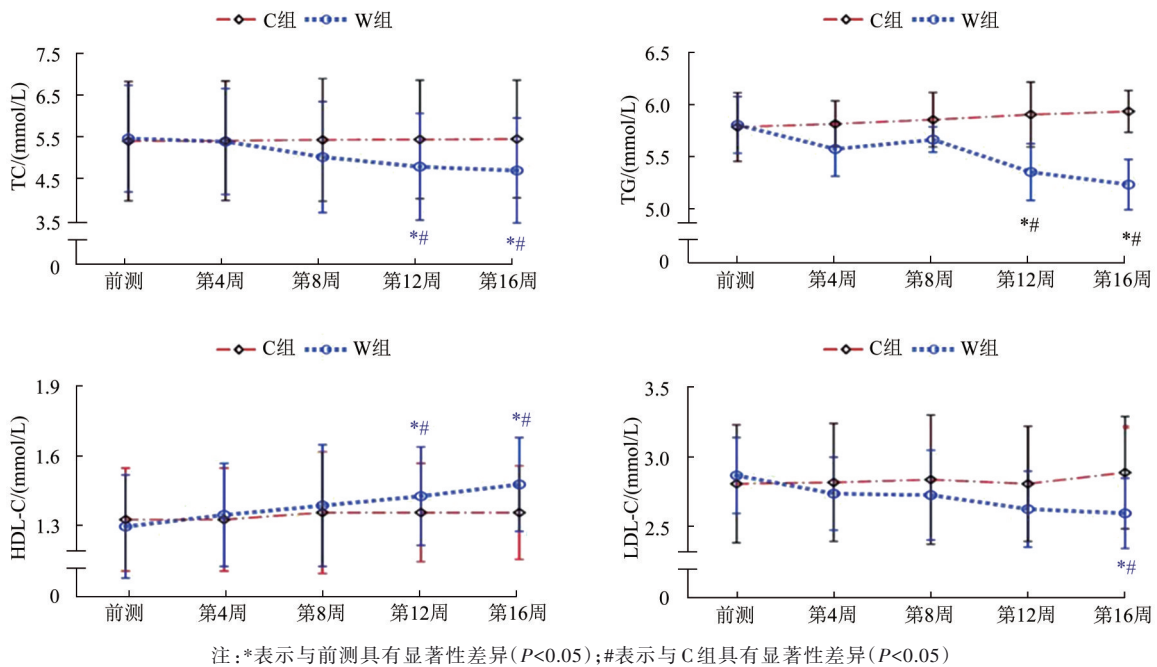


图2 脂代谢变化趋势图
Figure 2 Change trend of lipid metabolism

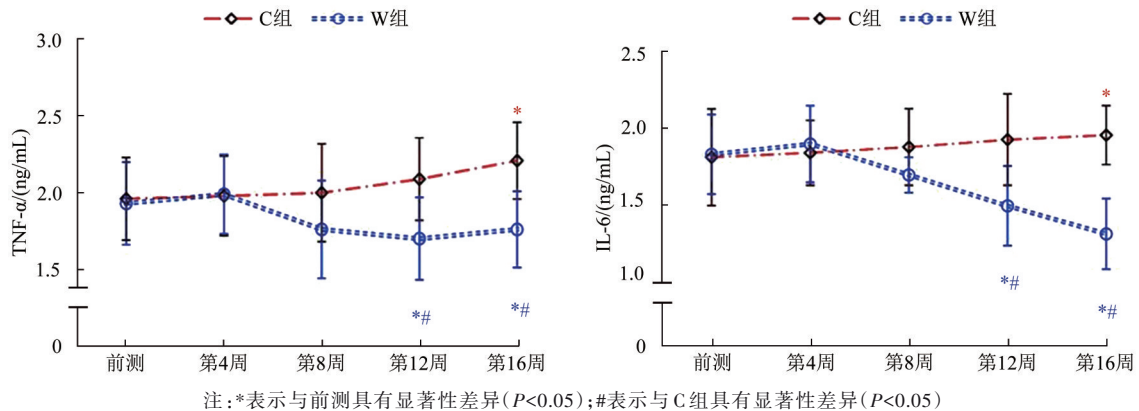


图3 炎症因子变化趋势图
Figure 3 Change trend of inflammatory factors

2.4 疲劳、压力及情绪变化

如表2所示:经过16周膳食干预,W组的综合性疲劳、身体性疲劳、心理性疲劳、压力和焦虑情况与前测相较出现显著下降($P<0.05$),且显著低于C组

($P<0.05$)。

3 讨论

本研究的对象为超重肥胖少儿,在前测中发现

表2 疲劳、压力和情绪变化结果/分

Table 2 Results of fatigue, stress and emotional changes/score

指标	C组			W组			P值 ²
	前测	后测	P值 ¹	前测	后测	P值 ¹	
疲劳(总分)	53.9±3.3	54.2±3.6	>0.05	55.6±3.5	41.3±1.7	<0.05	<0.05
综合性疲劳	11.7±3.5	11.6±3.8	>0.05	12.0±3.1	9.4±1.2	<0.05	<0.05
身体性疲劳	10.9±4.1	11.1±3.9	>0.05	11.0±4.6	9.1±1.4	<0.05	<0.05
心理性疲劳	10.7±3.9	10.6±4.1	>0.05	10.9±3.3	9.0±2.1	<0.05	<0.05
活动减少	10.4±2.2	10.5±3.7	>0.05	10.6±3.5	9.2±1.7	>0.05	>0.05
活力下降	10.2±3.1	10.4±2.6	>0.05	10.5±2.6	9.2±1.5	>0.05	>0.05
压力	13.2±4.2	12.9±4.8	>0.05	13.6±2.9	10.1±1.3	<0.05	<0.05
焦虑	14.1±3.9	13.8±3.5	>0.05	14.1±3.9	11.9±2.4	<0.05	<0.05
抑郁	14.8±2.2	14.9±3.7	>0.05	15.3±6.0	14.7±4.2	>0.05	>0.05

注:¹组内配对样本T检验比较结果;²组间协方差比较结果

疲劳总分、心理性疲劳和生理性疲劳得分偏高。疲劳分为身体疲劳和精神疲劳,通常伴生。身体疲劳是由剧烈或长时间的体力活动引发的,疲惫、嗜睡、倦怠、虚弱、活力低下。精神疲劳是一种由持续的认知活动引起的心理生理学状态,会影响对日常认知活动的控制,导致注意力和认知表现下降^[15]。超重肥胖的少儿更容易发生慢性身心疲劳,主要体现出认知下降、嗜睡、倦怠等表征。除过度认知和体力活动外,炎症反应被认为会一定程度刺激身心疲劳及疲劳相关疾病的发生发展^[16]。超重少儿体内存在持续的微炎症状态和氧化应激反应异常^[17],如TNF- α 和IL-6的水平升高。肥胖会导致白色脂肪组织(White adipose tissue, WAT)的扩大,进而诱发脂肪细胞的机械性和内质网压力,这些压力会导致脂肪酸和炎症因子的释放。免疫细胞被招募到肥胖的WAT,增强了局部和全身的炎症反应。此外,肥胖的WAT中,M1型的炎症性巨噬细胞的数量增多,这些巨噬细胞是TNF- α 和IL-6的主要来源。与此同时,肥胖还会促使IL-6受体 α (IL-6 receptor α , IL-6R α)阳性的NK细胞亚群的扩张,这也会加剧肥胖诱导的炎症反应。除先天免疫细胞,由T细胞和B细胞介导的适应性免疫反应也参与到WAT的炎症中。因此,先天免疫细胞和适应性免疫细胞共同贡献了肥胖诱导的炎症反应和胰岛素抵抗的发展。本研究发前测中受试者血液IL-6和TNF- α 水平与健康少儿相较总体偏高,侧面印证了该观点。n-3多不饱和脂肪酸(n-3 polyunsaturated fatty acids, n-3 PUFAs)是广谱的抗炎物质。慢性疲劳综合征患者的血清中n-3 PUFAs的浓度偏低^[18]。因此,摄入n-3 PUFAs可能有助于缓解疲劳。本研究中超重肥胖少儿连续摄入富含不饱和脂肪酸的亚麻籽16周后,发现血液IL-6和TNF- α 浓度出现显著下降,持续16周后身体和心理疲劳得分显著下降。其他学者也报道了亚麻籽的抗炎作用,亚麻籽油可降低2型糖尿病大鼠血浆炎症指标(IL-1 β 、IL-6、IL-17A、TNF- α

和脂多糖)水平,抑制炎症反应^[19]。亚麻籽中的不饱和脂肪酸包括亚油酸和ALA,ALA属于n-3 PUFAs,是广谱抗炎物质,同时具有较强的抗氧化作用,辅以亚麻籽内的维生素E可增强机体的抗氧化防御机制。此外ALA还可通过机体代谢途径合成二十二碳六烯酸、二十碳五烯酸和前列腺素等具有抗炎作用的不饱和脂肪酸^[20-22]。所以亚麻籽能够帮助机体抗炎、抗氧化。超重少儿持续性微炎症状态得到改善后,其身心疲劳症状也会得到缓解。

本研究结果显示,在连续摄入亚麻籽16周后,超重少儿的BMI、体脂率、TG、TG出现显著下降,而HDL-C则显著上升,其改善效果优于摄入膨化小麦的对照组。试验过程中,所有超重少儿均采用营养师建议的食谱,并严格执行,所有受试者的热量缺口相对值一致。因此,造成身体成分和脂代谢差异的原因是亚麻籽和膨化小麦。少儿肥胖发病的主因是体内脂肪细胞的数量及体积发生变化,当脂肪细胞的数量增多及体积逐渐增大,脂肪组织就会发生迅速增加。但近期研究发现,脂肪组织膨胀后使得脂肪内血液供应相对不足,脂肪组织发生缺血缺氧性改变,分泌大量的炎症因子,引起促炎因子与抗炎因子的比例紊乱及慢性炎症反应^[23]。同时少儿肥胖患者体内血脂升高,尤其是TG,释放出大量的游离脂肪酸,使得体内的脂肪酸氧化明显增加,线粒体细胞内活性氧簇释放过量,氧化应激过度,扰乱了正常新陈代谢过程,这可能是导致肥胖会不断反复和持续加剧的原因。因此,改善微炎症状态和减轻氧化应激损伤是改善超重肥胖少儿脂代谢的关键环节。多项研究发现对脂代谢紊乱大鼠持续喂食亚麻籽或其衍生食品,大鼠的TG和血清瘦素水平降低而HDL-C水平升高^[24-25]。亚麻籽油可降低营养肥胖型大鼠的血清TC、TG水平,升高HDL-C水平^[26]。亚麻籽可改善肥胖人群TC、LDL-C和致动脉粥样硬化指数的变化^[27]。这些研究均证实了亚麻籽的脂代谢改善作用。此外,亚麻籽除了

可带来饱腹感并减少热量摄入外,其富含 ALA 及维生素 E,因此具有良好的抗炎和抗氧化效果,从而帮助恢复新陈代谢。

本研究存在以下局限性:首先,虽然本研究实施过程中保证了受试者试验前后的能量摄入一致性,然而,每位受试者的具体饮食种类不同,可能会对结果造成偏倚。因此,需要在后续研究中进一步扩大样本量、优化饮食控制条件,减少混杂因素的干扰。其次,本研究虽然揭示了亚麻籽对超重肥胖少儿脂代谢、疲劳和炎症的影响,但亚麻籽中富含 ALA、亚油酸、维生素等多种活性成分,尚不清楚发挥效果的主要单体成分是什么,因此,需要在后续实验中进一步探讨亚麻籽的主要功效成分。

综上所述,超重少儿食用亚麻籽能够调节脂代谢,降低炎症因子水平,缓解身心疲劳。

参考文献

- [1] 胡霄,李丽,欧阳一非,等. 2000—2018年中国十六省(自治区、直辖市)7~17岁儿童青少年超重与肥胖流行趋势[J]. 卫生研究, 2022, 51(4): 568-573.
HU X, LI L, OUYANG Y F, et al. Trends of overweight and obesity among children and adolescents aged 7-17 in 16 provinces of China from 2000 to 2018[J]. Journal of Hygiene Research, 2022, 51(4): 568-573.
- [2] 朱世祺,张有捷. 中国7~17岁在校儿童青少年超重肥胖的行为风险因素分析[J]. 中国慢性病预防与控制, 2022, 30(7): 491-496.
ZHU S Q, ZHANG Y J. Analysis of behavioral risk factors for overweight and obesity among children and adolescents (7-17 years old) in China[J]. Chinese Journal of Prevention and Control of Chronic Diseases, 2022, 30(7): 491-496.
- [3] 成刚,陈瑾,张田书. 青少年体重影响因素研究——基于中国教育追踪调查的实证分析[J]. 教育学术月刊, 2022(7): 74-83.
CHENG G, CHEN J, ZHANG T S. Research on the influencing factors of Adolescents' Weight—An empirical analysis based on the China education panel survey[J]. Education Research Monthly, 2022(7): 74-83.
- [4] 王太武. 慢性疲劳综合征流行病学调查及人体微生物菌群多样性分析[D]. 重庆: 中国人民解放军陆军军医大学, 2018.
WANG T W. Epidemiological investigation and human microbiome diversity analysis of chronic fatigue syndrome patients[D]. Chongqing: ARMY Medical University, 2018.
- [5] 戴欢,曾义霞,严艳清,等. 某部队超重官兵的疲劳睡眠及心理状况调查[J]. 华南国防医学杂志, 2014, 28(6): 575-577.
DAI H, ZENG Y X, YAN Y Q, et al. Investigation of fatigue status, sleep status and psychological status of overweight armymen in South China war zone[J]. Military Medical Journal of South China, 2014, 28(6): 575-577.
- [6] GHOLAMI Z, AKHLAGHI M. The effect of flaxseed on physical and mental fatigue in children and adolescents with overweight/obesity: A randomised controlled trial [J]. British Journal of Nutrition, 2021, 126(1): 151-159.
- [7] 张天凤,张振山,王帅,等. 亚麻籽粕提取物抗氧化成分及抗氧化活性研究[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(12): 137-141.
ZHANG T F, ZHANG Z S, WANG S, et al. Study on antioxidant components and antioxidant activity of flaxseed meal extract[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(12): 137-141.
- [8] ZENG W, TAKASHIMA K, TANG Q, et al. Natural antioxidant formula ameliorates lipopolysaccharide-induced impairment of hippocampal neurogenesis and contextual fear memory through suppression of neuroinflammation in rats[J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2023, 131: 102285.
- [9] AKHTAR M N, KHALIL A A, BILAL A, et al. Characterization of ultrasonically extracted flaxseed polysaccharide gum and assessing its lipid-lowering potential in a rat model [J]. Food Science & Nutrition, 2023, 11(1): 137-147.
- [10] NOWAK W, JEZIOREK M. The role of flaxseed in improving human health[J]. Healthcare, 2023, 11(3): 395.
Nowak W, Jeziorek M. The role of flaxseed in improving human health. Healthcare, 2023, 11(3): 395.
- [11] 文婧,冀颐之,谢飞. 亚麻籽对运动训练大鼠睾酮及相关激素含量和抗运动疲劳能力的影响[J]. 中国实验方剂学杂志, 2015, 21(12): 99-103.
WEN J, JI Y Z, XIE F. Effects of flaxseed on testosterone content, correlated hormones content and exercise capacity in rats receiving exercise training[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2015, 21(12): 99-103.
- [12] 曲静,王业玲,林小晶,等. 4周有氧运动结合饮食控制降低肥胖青年的心血管疾病风险及其影响因素[J]. 现代预防医学, 2021, 48(12): 2243-2248.
QU J, WANG Y L, LIN X J. Decrease of cardiovascular diseases risk in obese youth through 4-week aerobic exercise plus dieting and its influencing factors [J]. Modern Preventive Medicine. 2021, 48(12): 2243-2248.
- [13] 纪超娜,陈映芝,黄文娟. 多维疲劳量表(MFI-20)在类风湿关节炎患者的运用[J]. 智慧健康, 2021, 7(13): 22-25.
JI C N, CHEN Y Z, HUANG W J. Application of multidimensional fatigue scale (MFI-20) in patients with rheumatoid arthritis[J]. Smart Healthcare, 2021, 7(13): 22-25.
- [14] 占毅楠,许惠静,张懿,等. 抑郁-焦虑-压力量表的修订与在海军官兵中的应用[J]. 职业与健康, 2021, 37(23): 3215-3218, 3222.
ZHAN Y N, XU H J, ZHANG Y, et al. Revision of depression, anxiety and stress scale and its application in navy officers and soldiers [J]. Occupation and Health, 2021, 37(23): 3215-3218, 3222.
- [15] 李瑞丽,胡迪,崔翼龙,等. 慢性疲劳综合征的神经炎症机制[J]. 国际精神病学杂志, 2020, 47(6): 1113-1117.
LI R L, HU D, CUI Y L, et al. Neuroinflammatory mechanism of chronic fatigue syndrome [J]. Journal of International Psychiatry, 2020, 47(6): 1113-1117.
- [16] 邱晚晴,徐勇. 苏州市中学生疲劳现状及影响因素[J]. 中国学校卫生, 2021, 42(6): 910-913.

- QIU W Q, XU Y. Current status and associated factors of fatigue among junior high and senior high school students in Suzhou City [J]. Chinese Journal of School Health, 2021, 42(6): 910-913.
- [17] 高超, 李鹏, 刘翔鹤. 腹型肥胖相关低度炎症指标研究进展 [J]. 医学理论与实践, 2022, 35(1): 31-33, 37.
- GAO C, LI P, LIU X H. Research progress of low-grade inflammatory indexes related to abdominal obesity [J]. The Journal of Medical Theory and Practice, 2022, 35(1): 31-33, 37.
- [18] 陈玲娇, 吴爱惜. 运动干预结合饮食控制对肥胖儿童血脂状态、炎症因子及氧化应激的影响 [J]. 现代实用医学, 2022, 34(3): 363-365.
- CHEN L J, WU A X. Effects of exercise intervention combined with diet control on blood lipid status, inflammatory factors and oxidative stress in obese children [J]. Modern Practical Medicine, 2022, 34(3): 363-365.
- [19] 张晓霞, 穆静, 杨正飞. 富含 α -亚麻酸的亚麻籽油通过调节肠道菌群和抑制炎症改善大鼠2型糖尿病 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2021, 35(10): 805.
- ZHANG X X, MU J, YANG Z F. Flaxseed oil rich in α -linolenic acid improves type 2 diabetes in rats by regulating intestinal flora and inhibiting inflammation [J]. Chinese Journal of Pharmacology and Toxicology, 2021, 35(10): 805.
- [20] 廖振林, 李倩滢, 陈俊杰, 等. 亚麻籽油组分的功能活性研究进展 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(11): 379-389, 337.
- LIAO Z L, LI Q Y, CHEN J J, et al. Research progress on the functional activity of flaxseed oil components [J]. Modern Food Science & Technology, 2021, 37(11): 379-389, 337.
- [21] NAKANDAKARI S C B R, GASPAR R C, KUGA G K, et al. Short-term flaxseed oil, rich in omega 3, protects mice against metabolic damage caused by high-fat diet, but not inflammation [J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2023, 114: 109270.
- [22] ZHAO M M, WANG B B, LI L, et al. Anti-obesity effects of dietary fibers extracted from flaxseed cake in diet-induced obese mice [J]. Nutrients, 2023, 15(7): 1718.
- [23] 李锦超, 任美玲, 吴紫葶, 等. 肥胖相关代谢、免疫炎症基因的甲基化研究进展 [J]. 江西中医药, 2022, 53(1): 73-76.
- LI J C, REN M L, WU Z T, et al. Research progress on methylation of obesity-related metabolism and immune inflammatory genes [J]. Jiangxi Journal of Traditional Chinese Medicine, 2022, 53(1): 73-76.
- [24] 杨野全. 亚麻籽油抗氧化及降血糖功效的研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- YANG Y T. Study on effect of antioxidation and reducing blood sugar of flax seed oil [D]. Changchun: Jilin University, 2016.
- [25] 徐丹凤, 谢华, 陈敏, 等. 亚麻籽油对肥胖2型糖尿病小鼠体质量、血糖、胃肠激素水平的影响 [J]. 山东医药, 2019, 59(32): 5-7.
- XU D F, XIE H, CHEN M, et al. Effects of linseed oil on body weight, blood glucose and gastrointestinal hormone secretion in obese type 2 diabetic mice [J]. Shandong Medical Journal, 2019, 59(32): 5-7.
- [26] 张劲. 亚麻籽油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, 2013, 15(4): 14-15.
- ZHANG J. Study on anti-obesity effects of flaxseed oil on nutritional obese rats [J]. Journal of Hubei University of Chinese Medicine, 2013, 15(4): 14-15.
- [27] KUANG X T, LI K L, SHI Y, et al. Gene-diet interaction in response to defatted flaxseed flour supplementation on obesity-related traits in Chinese overweight and obese adults: A randomized controlled trial [J]. Nutrition, 2023, 105: 111870.