

新疆伊犁地区居民碳水化合物纤维比与 糖尿病发病风险研究

顾园申¹, 署丽盼·阿斯力别克¹, 赵辉¹, 阿娜尔·高少¹, 马润泽¹, 罗涛¹,
巴合古·依明尼亚孜¹, 林燧恒¹, 戴江红^{1,2}

1. 新疆医科大学公共卫生学院, 新疆维吾尔自治区 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆特殊环境与健康研究重点实验室

摘要:目的 探讨新疆伊犁地区居民碳水化合物纤维比(CF, carbohydrates to Fiber ratio)与2型糖尿病发病风险之间的关系,旨在为2型糖尿病的防治提供科学依据。方法 使用新疆多民族自然人群队列伊犁地区数据,选取了参加2019年基线调查与2020、2021和2022年三次随访的研究对象。根据膳食调查数据计算研究对象的CF,采用Cox比例风险模型探讨CF与2型糖尿病发病风险之间的关联。同时使用限制性立方样条,分析CF与2型糖尿病发病风险之间的剂量反应关系。结果 最终纳入研究对象6879人,中位随访时间为37.4个月,2型糖尿病新发543例。CF按照4分位数分组,在调整潜在的混杂因素后,相较于CF的Q1组,Q2组和Q3组的2型糖尿病发病风险分别下降了30.0%($HR=0.700, 95\%CI:0.547\sim0.896$)和29.3%($HR=0.707, 95\%CI:0.553\sim0.904$)。限制性立方样条显示CF与2型糖尿病发病风险存在非线性的U型关系($P<0.05$)。分层分析结果显示在超重及肥胖($\geq 24\text{ kg/m}^2$)人群中,Q2组和Q3组相较于Q1组发病风险分别降低了35.7%,35.4%,男性中Q2组相较于Q1组的T2DM发病风险降低了31.6%,而女性则是Q3组相较于Q1组降低了36.7%。此外在年龄65岁以下的人群中Q2组相较于Q1组的T2DM发病风险也降低了34.5%。而其他分层人群中未观察到存在关联。结论 CF与2型糖尿病发病风险之间存在U型关系。并且应当重视超重及肥胖以及<65岁人群的CF水平,这对2型糖尿病的防治具有重要意义。

关键词:碳水化合物;碳水化合物纤维比;2型糖尿病

中图分类号:R587.1 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2025)04-636-07

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202410015

A study on the relationship between dietary carbohydrate fiber intake and the risk of diabetes among residents of the Ili region, Xinjiang

GU Yuan-shen*, Shulipan·Aslibieke, ZHAO Hui, Anaer·Gaoshao, MA Run-ze,
LUO Tao, Bahegu·Yimingniyazi, LIN Sui-heng, DAI Jiang-hong

* School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China

Abstract: Objective To explore the relationship between the carbohydrate to fiber ratio (CF) and the risk of type 2 diabetes mellitus (T2DM) among residents in the Ili region of Xinjiang, with the goal of providing a scientific basis for the prevention and control of type 2 diabetes. **Methods** The data from the the Xinjiang Multi-Ethnic Cohort in the Ili region was utilized, selecting participants who took part in the baseline survey in 2019 and were followed up in 2020, 2021, and 2022. We calculated the CF for study participants based on dietary survey data. A Cox proportional hazards model was employed to investigate the association between CF and the risk of T2DM. Additionally, restricted cubic splines were used to analyze the dose-response relationship between CF and T2DM risk. **Results** A total of 6879 participants were included in the study, with a median follow-up time of 37.4 months, during which 543 new cases of type 2 diabetes (T2DM) were identified. Participants were categorized into quartiles based on CF (Cumulative Frequency). After adjusting for potential confounding factors, the risk of developing T2DM in the Q2 and Q3 groups was reduced by 30.0% ($HR=0.700, 95\%CI:0.547-0.896$) and 29.3% ($HR=0.707, 95\%CI:0.553-0.904$), respectively, compared to the Q1 group. The use of restricted cubic splines indicated a non-linear U-shaped relationship between CF and the risk of developing T2DM ($P<0.05$). Stratified analysis revealed that in overweight and obese individuals ($BMI\geq 24\text{ kg/m}^2$), the risk of T2DM in the Q2 and Q3 groups was reduced by 35.7% and 35.4%, respectively, compared to the Q1 group. Among males, the risk of T2DM in the Q2 group was

基金项目:新疆维吾尔自治区项目科技创新团队(天山创新团队)项目(2022TSYCTD0013);国家自然科学基金项目(82360662,82160640)

作者简介:顾园申(1997—),男,硕士在读,研究方向:慢性病流行病学

通信作者:戴江红, E-mail: epi102@sina.com

reduced by 31.6% compared to the Q1 group, while in females, the Q3 group showed a reduction of 36.7% compared to the Q1 group. Additionally, in individuals aged under 65 years, the risk of T2DM in the Q2 group was also reduced by 34.5% compared to the Q1 group. No associations were observed in other stratified populations. **Conclusion** A U-shaped relationship exists between CF and the risk of T2DM. Attention should be paid to the CF levels in individuals who are overweight or obese and those under 65 years of age, as there are significant implications for the prevention and management of type 2 diabetes.

Keywords: Carbohydrate; Carbohydrate-to-fiber ratio; Type 2 diabetes

糖尿病是一种慢性非传染性疾病,我国 18 岁及以上居民的糖尿病患病率为 11.9%,超过 90% 的糖尿病患者为 2 型糖尿病 (Type 2 diabetes mellitus, T2DM)^[1-2]。既往研究发现碳水化合物摄入水平与 T2DM 发病风险存在关联^[3],且近年已有证据提出碳水化合物质量对于 T2DM 发病风险可能更加重要^[4-6]。碳水化合物纤维比 (CF, Carbohydrates to fiber ratio) 是一个新兴的碳水化合物质量指标;CF 的提出是基于美国心脏协会的建议,计算过程较为简单易懂,即碳水化合物(g)和总膳食纤维摄入量(g)的比值^[7]。相较于膳食血糖生成指数 (Glycemic Index, GI),CF 具有不会受到如食物本身营养成分、食物加工方式、受试对象等多种因素影响等优势^[8-11]。此外已有研究使用 CF 评价研究对象日常摄入的碳水化合物质量,并且利用 CF 去探索碳水化合物质量与脂肪肝、高血压等慢性疾病之间的关系^[12-13]。但对于 CF 与 T2DM 关系的研究较少且多为横断面研究^[12,14-15]。因此,本研究依托“新疆多民族自然人群队列”,分析伊犁地区居民的 CF 与 T2DM 发病风险之间的关系,为新疆伊犁地区居民膳食指导提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 对象 基于新疆多民族自然人群队列伊犁州霍城现场,该人群于 2019 年招募 35~74 岁的研究对象 8 011 人。剔除基线时血糖及膳食信息缺失者 246 人、T2DM 患者 460 人、能量摄入异常者 426 人,最终纳入研究对象 6 879 人。本研究已通过新疆医科大学附属中医医院的伦理审查 (审批号:2018XE0108),所有研究对象均签署知情同意书。

1.2 问卷调查 采用“西北区域自然人群队列建设”项目设计的统一问卷,调查对象的社会人口学特征 (性别、年龄、文化程度等)、生活方式因素 (吸烟、饮酒、体育锻炼等) 和膳食频率。膳食频率问卷包括 9 个大类,126 种食物。调查研究对象在过去 1 年中每种食物的摄入频率 (每天、4~6 次/周、1~3 次/周、1~3 次/月、不吃或极少吃) 及每次摄入量 (g)。

1.3 体格检查及实验室检测 通过体格检查获得研究对象身高、体重、血压测量值,计算体质指数

(BMI)。采集研究对象空腹 8 小时后的静脉血,并在 4 小时内将采集的血液样本送到乡镇卫生服务中心,完成血脂、血糖等生化指标的检测。

1.4 碳水化合物纤维比 (CF, carbohydrates to fiber ratio) 采用《中国食物成分表标准版 (第 5 版)》所规定的食物成分表和研究对象的膳食数据计算相关营养素。使用碳水化合物 (g) 和总膳食纤维摄入量 (g) 的比值计算膳食 CF 值。CF 使用 4 分位数将研究对象分为 Q1、Q2、Q3、Q4 共 4 组。

1.5 随访方式及结局评价 从 2019 年膳食频率问卷 (FFQ) 调查的日期开始到研究对象的 T2DM 诊断、失访或随访结束 (截至 2022 年 12 月 31 日)。T2DM 根据《中国 2 型糖尿病防治指南 (2020 年版)》进行诊断,其发病信息主要从多种数据库信息匹配、现场随访及电话随访等方式进行获取。

1.6 统计学处理 采用 R 4.2.1 进行数据分析。满足正态分布的连续性变量使用 $\bar{x} \pm s$ 表示,若不满足正态分布,则采用中位数和四分位数间距 $M(Q_R)$,分类变量采用 $n(\%)$ 表示。协变量缺失部分低于 10% 时使用多重插补中的预测均值进行插补。使用方差分析或秩和检验来比较不同 CF 水平组之间各因素的差异,以及使用 K-M 曲线比较不同组 T2DM 发病趋势。采用 Cox 比例风险回归模型,分析碳水化合物质量指数 CF 对 T2DM 发病风险的影响。并将能量、年龄、民族、性别、教育水平、收入、饮茶、饮酒、吸烟、BMI、锻炼频次等因素作为协变量进行分步调整。使用限制性立方样条评估 CF 与 T2DM 发病风险之间的剂量反应关系。此外将 BMI、性别、年龄和民族作为分层因素进行分层分析。所有检验均为双侧,检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 调查对象 CF 基线情况 纳入研究对象 6 879 人,中位随访时间为 37.4 个月。男性为 3 255 人,中位年龄为 50.00 ($Q_R = 15.00$) 岁,中位 BMI 为 25.88 ($Q_R = 5.53$) kg/m^2 ,哈萨克族为 2 352 人,小学及初中学历者为 4 677 人。不同 CF 水平组基线的年龄、性别、BMI、民族、文化程度、家庭年收入、婚姻状况、职业、锻炼频率、饮酒频率、饮茶频率、高血压患病情况、

总能量摄入、膳食纤维、碳水化合物、蛋白质摄入、脂肪摄入差异均有统计学意义($P < 0.05$)。总能量摄入、膳食纤维、蛋白质摄入、脂肪摄入随着 CF 的水平提升其摄入量在降低。见表 1 和表 2。

表 1 不同 CF 水平人群基本情况

Table 1 Basic Characteristics of Populations at Different CF Levels

变量	$n = 6\ 879$	Q1($n = 1\ 720$)	Q2($n = 1\ 720$)	Q3($n = 1\ 719$)	Q4($n = 1\ 720$)	H/χ^2 值	P 值
CF($\bar{x} \pm s$)	9.95 ± 7.95	3.47 ± 0.61	5.62 ± 0.64	9.07 ± 1.66	21.65 ± 7.14		
年龄[岁, $M(Q_R)$]	50.00(15.00)	49.00(14.25)	49.00(14.00)	49.00(15.00)	51.00(16.00)	187.828	<0.001 ^a
男性[$n(\%)$]	3 255	746(22.92)	835(25.65)	848(26.05)	826(25.38)	14.992	0.002
BMI[$\text{kg}/\text{m}^2, M(Q_R)$]	25.88(5.53)	25.71(5.87)	25.71(5.76)	25.96(5.38)	26.20(5.22)	5 154.025	<0.001 ^a
民族[$n(\%)$]						2 031.004	<0.001
维吾尔族	1 676	441(26.31)	688(41.05)	439(26.19)	108(6.44)		
汉族	991	66(6.66)	146(14.73)	326(32.90)	453(45.71)		
回族	1 731	937(54.13)	388(22.41)	193(11.15)	213(12.31)		
哈萨克族	2 352	263(11.18)	470(19.98)	725(30.82)	894(38.01)		
其他	129	13(10.08)	28(21.71)	36(27.91)	52(40.31)		
文化程度[$n(\%)$]						131.023	<0.001
高中及以上	458	162(35.37)	127(27.73)	103(22.49)	66(14.41)		
小学及初中	4 677	1 206(25.79)	1 243(26.58)	1 141(24.40)	1 087(23.24)		
未正规上过学	1 744	352(20.18)	350(20.07)	475(27.24)	567(32.51)		
家庭年收入[万元, $n(\%)$]						105.266	<0.001
≥5	580	200(34.48)	123(21.21)	152(26.21)	105(18.10)		
2 ~ <5	2 620	564(21.53)	691(26.37)	705(26.91)	660(25.19)		
1 ~ <2	2 794	668(23.91)	719(25.73)	675(24.16)	732(26.20)		
<1	815	278(34.11)	173(21.23)	164(20.12)	200(24.54)		
不清楚	70	10(14.29)	14(20.00)	23(32.86)	23(32.86)		
婚姻状况[$n(\%)$]						53.800	<0.001
已婚	6 116	1 461(23.89)	1 549(25.33)	1 542(25.21)	1 564(25.57)		
分居/离婚	258	95(36.82)	44(17.05)	58(22.48)	61(23.64)		
丧偶	461	154(33.41)	118(25.60)	110(23.86)	79(17.14)		
未婚	44	10(22.73)	9(20.45)	9(20.45)	16(36.36)		
职业[$n(\%)$]						36.965	<0.001
体力劳动类	3 045	664(21.81)	797(26.17)	810(26.60)	774(25.42)		
服务行业类	3 396	943(27.77)	810(23.85)	799(23.53)	844(24.85)		
管理类	49	12(24.49)	17(34.69)	13(26.53)	7(14.29)		
其他类	389	101(25.96)	96(24.68)	97(24.94)	95(24.42)		
锻炼频率[$n(\%)$]						85.934	<0.001
从不	5 613	1 458(25.98)	1 488(26.51)	1 360(24.23)	1 307(23.29)		
经常	964	195(20.23)	185(19.19)	279(28.94)	305(31.64)		
每天	302	67(22.19)	47(15.56)	80(26.49)	108(35.76)		
饮酒频率[$n(\%)$]						14.021	0.029
从不	5 695	1 412(24.79)	1 400(24.58)	1 419(24.92)	1 464(25.71)		
偶尔	1 007	260(25.82)	279(27.71)	260(25.82)	208(20.66)		
经常	177	48(27.12)	41(23.16)	40(22.60)	48(27.12)		
吸烟频率[$n(\%)$]						45.126	<0.001
从不	5 192	1 257(24.21)	1 249(24.06)	1 303(25.10)	1 383(26.64)		
经常	128	41(32.03)	26(20.31)	25(19.53)	36(28.13)		
每天	1559	422(27.07)	445(28.54)	391(25.08)	301(19.31)		
饮茶频率[$n(\%)$]						179.408	<0.001
从不	3 297	838(25.42)	810(24.57)	868(26.33)	781(23.69)		
偶尔	1 499	217(14.48)	437(29.15)	349(23.28)	496(33.09)		
经常	2 083	665(31.93)	473(22.71)	502(24.10)	443(21.27)		
基线高血压[$n(\%)$]	2 452	631(25.73)	556(22.68)	569(23.21)	696(28.38)	31.346	<0.001

注:a表示H检验;其余为 χ^2 检验。

2.2 糖尿病发病情况 随访期间新发糖尿病为 543 例,累计发病率 7.89%。Q1 组和 Q4 组 T2DM 发病率最高,分别为 8.66% 和 10.00%。T2DM 发病率最低

为 Q2 组为 6.40%。不同 CF 组间的 T2DM 发病存在显著差异($P < 0.005$)。见图 1。

表 2 不同 CF 水平相关营养素一般情况

Table 2 General Conditions of Nutrients Associated at Different CF Levels

变量	n = 6 879	Q1 (n = 1 720)	Q2 (n = 1 720)	
总能量摄入 [kcal, M(Q _R)]	6.83(8.27)	3.48(0.91)	5.58(1.06)	
膳食纤维 [g, M(Q _R)]	2 346.55(1 156.53)	3 025.91(1 291.75)	2 584.07(957.86)	
碳水化合物 [g, M(Q _R)]	341.61(115.80)	332.58(95.57)	352.25(114.86)	
蛋白质摄入 [g, M(Q _R)]	51.64(53.71)	95.24(26.37)	65.21(23.99)	
脂肪摄入 [g, M(Q _R)]	87.75(59.40)	131.88(72.79)	103.36(49.15)	
变量	Q3 (n = 1 719)	Q4 (n = 1 720)	H 值	P 值
总能量摄入 [kcal, M(Q _R)]	8.70(2.73)	20.14(9.78)	1 703.813	<0.001
膳食纤维 [g, M(Q _R)]	2 318.39(837.99)	1 740.15(701.28)	284.366	<0.001
碳水化合物 [g, M(Q _R)]	364.30(130.40)	315.26(122.41)	5 436.080	<0.001
蛋白质摄入 [g, M(Q _R)]	42.80(19.79)	14.77(9.35)	2 260.945	<0.001
脂肪摄入 [g, M(Q _R)]	85.70(38.60)	58.94(26.80)	2 602.173	<0.001

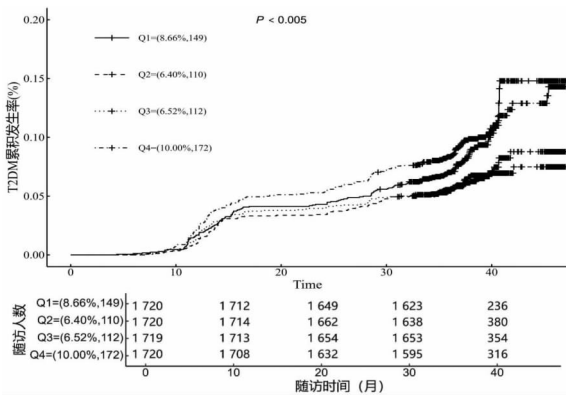


图 1 不同 CF 水平组 T2DM 累积发病趋势及不同时间点随访人数

Fig. 1 Trends of T2DM Incidence by Different CF Levels and Follow-up Counts at Different Time Points

2.3 CF 与 T2DM 发病风险的关联 在调整人口学

因素、生活方式、个人健康状况等混杂因素后, Cox 比例风险回归分析显示, 相较于 CF 的 Q1 组, CF 的 Q2 组和 Q3 组 T2DM 发病风险分别下降了 30.0% (HR = 0.700, 95% CI: 0.547, 0.896) 和 29.3% (HR = 0.707, 95% CI: 0.553 ~ 0.904), 而 Q4 组相较于 Q1 组并未观察到差异。将 CF 值作为连续性放入模型中, 在调整人口学因素、生活方式、个人健康状况等混杂因素后未观察到 CF 与 T2DM 发病风险之间的关联。见表 3。

2.4 CF 与 T2DM 发病风险的剂量反应关系 探讨 CF 与 T2DM 之间的非线性关系, 将 CF 取对数后绘制限制性立方样条, 结果发现 CF 与 T2DM 发病风险存在非线性 U 型关系 ((P_{总趋势} < 0.05), P_{非线性} < 0.005)。将 CF 反取对数后, 提示在 CF = 6.74 时 T2DM 发病风险最低。见图 2。

表 3 不同 CF 水平与新发糖尿病风险的关联分析

Table 3 Correlation Analysis Between Different CF Levels and the Risk of New-Onset Diabetes

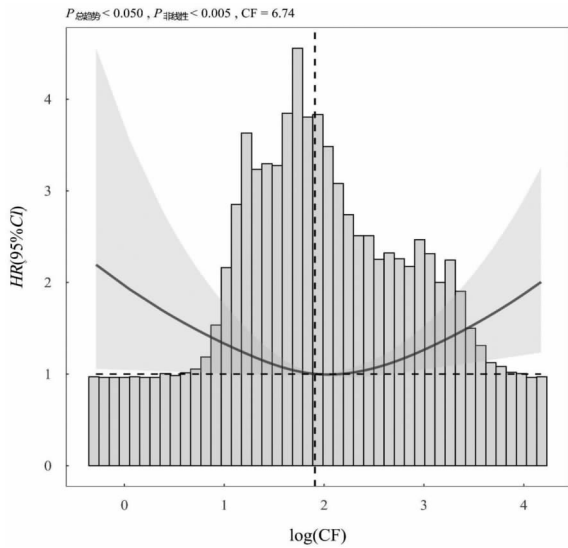
分类	分组	Model1		Model2		Model3	
		HR(95% CI)	P 值	HR(95% CI)	P 值	HR(95% CI)	P 值
CF (Q1 - Q4)	Q1	Reference		Reference		Reference	
	Q2	0.700(0.547 ~ 0.896)	0.005	0.729(0.569 ~ 0.935)	0.013	0.750(0.578 ~ 0.973)	0.030
	Q3	0.707(0.553 ~ 0.904)	0.006	0.715(0.558 ~ 0.917)	0.008	0.720(0.548 ~ 0.946)	0.019
	Q4	1.037(0.832 ~ 1.293)	0.744	1.055(0.844 ~ 1.319)	0.637	1.007(0.762 ~ 1.331)	0.960
CF		1.010(1.000 ~ 1.020)	0.041	1.011(1.001 ~ 1.021)	0.031	1.011(0.999 ~ 1.022)	0.066

注: Q1 组为参照组; Model1: 调整性别、基线年龄; Model2: 在 Model1 的基础上调整 BMI、文化程度、家庭年收入、民族、职业; Model3: 在 Model2 的基础上调整吸烟、饮茶、饮酒、锻炼频率、基线高血压状况、总能量摄入、蛋白质摄入量、脂肪摄入量。

2.5 CF 与 T2DM 发病风险的分层分析 考虑到基线的 BMI、性别、年龄和民族对于结果的影响所以对以上因素进行分层分析, 结果显示在超重及肥胖人群中 Q2 组和 Q3 组相较于 Q1 组的 T2DM 发病风险分别降低了 35.7% (HR = 0.643, 95% CI: 0.490 ~ 0.844), 35.4% (HR = 0.646, 95% CI: 0.490 ~ 0.852)。男性中 Q2 组相较于 Q1 组的 T2DM 发病风

险降低了 31.6% (HR = 0.684, 95% CI: 0.476 ~ 0.983), 而女性则是 Q3 组相较于 Q1 组的 T2DM 发病风险降低了 36.7% (HR = 0.691, 95% CI: 0.437 ~ 0.916)。并且在年龄 65 岁以下的人群中 Q3 组相较于 Q1 组的 T2DM 发病风险降低了 34.5% (HR = 0.655, 95% CI: 0.492 ~ 0.873)。而在体重正常 (< 24 kg/m²), 65 岁以下和各民族人群中未见 CF 与 T2DM

发病风险存在关联。见图 3。



注:将 CF 值取对数后绘制,协变量调整同 CF 在 Model3 中协变量调整种类。

图 2 CF 与糖尿病发病风险剂量反应关系

Fig. 2 Dose - Response Relationship Between CF and Diabetes Risk

变量	总人数	水平	HR (95% CI)	P值
BMI	4 767	Q1	1	
		Q2	0.643(0.490 - 0.844)	0.001
		Q3	0.646(0.490 - 0.852)	0.002
		Q4	0.894(0.679 - 1.177)	0.425
正常(<24 kg/m ²)	2 112	Q1	1	
		Q2	0.765(0.404 - 1.448)	0.411
		Q3	0.807(0.433 - 1.504)	0.501
		Q4	0.803(0.469 - 1.738)	0.760
性别	3 255	Q1	1	
		Q2	0.684(0.476 - 0.983)	0.040
		Q3	0.711(0.497 - 1.017)	0.062
		Q4	0.849(0.589 - 1.224)	0.381
女	3 624	Q1	1	
		Q2	0.756(0.535 - 1.066)	0.111
		Q3	0.833(0.437 - 0.916)	0.015
		Q4	1.102(0.764 - 1.587)	0.604
年龄(岁)	6 082	Q1	1	
		Q2	0.775(0.588 - 1.021)	0.070
		Q3	0.655(0.492 - 0.873)	0.004
		Q4	0.913(0.684 - 1.217)	0.534
≥65	797	Q1	1	
		Q2	0.643(0.367 - 1.127)	0.123
		Q3	0.695(0.392 - 1.233)	0.214
		Q4	1.145(0.654 - 2.001)	0.636
民族	991	Q1	1	
		Q2	0.653(0.350 - 1.217)	0.180
		Q3	0.753(0.417 - 1.361)	0.348
		Q4	0.882(0.490 - 1.586)	0.675
维吾尔族	1 676	Q1	1	
		Q2	1.051(0.384 - 2.872)	0.923
		Q3	0.897(0.327 - 2.462)	0.833
		Q4	1.685(0.685 - 4.143)	0.256
哈萨克族	2 352	Q1	1	
		Q2	0.684(0.451 - 1.035)	0.072
		Q3	0.941(0.630 - 1.405)	0.765
		Q4	0.931(0.624 - 1.390)	0.727
其他	1 860	Q1	1	
		Q2	1.422(0.954 - 2.119)	0.084
		Q3	1.061(0.701 - 1.607)	0.778
		Q4	1.077(0.697 - 1.662)	0.739

注:协变量调整除各分层因素外同 CF 在 Model3 中其它协变量调整种类。

图 3 CF 与 T2DM 发病风险分层分析森林图

Fig. 3 Forest Plot of Subgroup Analysis on the Relationship Between CF and T2DM Risk

3 讨论

本研究基于新疆多民族自然人群队列伊犁霍城现场^[16],探讨 CF 与 T2DM 发病风险之间的关系。调

整混杂因素后 Cox 回归分析结果显示,总人群中相较于 Q1 组,CF 的 Q2 和 Q3 组的 T2DM 发病风险降低。此关联在超重及肥胖以及 <65 岁人群中表现的更加明显。而在其他分层以及各个民族中未观察到与总人群相似的结论。一项纳入 70 025 名研究对象的美国护士健康研究结果显示,CF 与 T2DM 较高的风险略有相关(RR = 1.09,95% CI:1.00 ~ 1.20)^[6],另一项横断面研究报道了在美国女性群体中 CF 与糖尿病的中间生物标志物“脂联素”呈负相关,这也提示 CF 可能通过糖尿病的中间代谢物去影响糖尿病的进展^[17]。

进一步使用限制性立方样条分析结果发现,CF 与 T2DM 发病风险存在 U 型关系($P_{非线性} < 0.005$),当 CF = 6.74 时 T2DM 发病风险最低。一项来自中国的队列研究中也发现 CF 值与 T2DM 发病风险也存在 U 型关联,与本研究相似^[18]。既往研究提出一定范围内较高的膳食纤维摄入量可以通过增加短链脂肪酸和色氨酸代谢物的产生^[19]、减少肝脏葡萄糖输出并刺激胰岛素分泌^[20-21]和增加血浆脂联素水平,从而提高全身胰岛素敏感性^[22],或者调节炎症标志物(如白细胞介素-6 和肿瘤坏死因子 α),从而降低患糖尿病的风险^[23]。但一项伊朗成年人的大型前瞻性队列中发现,过多的谷物纤维与胰岛素抵抗指数增加有关^[24]。原因可能在于全谷物在加工成精制谷物的过程中,丢失了对 T2DM 有益的成分。此外中国一项纳入 16 260 例非糖尿病患者的前瞻性队列研究表明碳水化合物占能量百分比与新发糖尿病的发病风险存在 U 型关系^[3]。碳水化合物摄入量降低导致 T2DM 风险增加的原因可能在于减少碳水化合物摄入量后,蛋白质和脂肪摄入量进行取代后的潜在影响^[25]。以上可以部分解释 CF 与 T2DM 发病风险存在 U 型关系。此外本研究将 CF 作为连续变量纳入完全调整模型中结果并未发现存在关联。原因可能在于 CF 与 T2DM 发病风险之间为 U 型的,而 CF 作为连续型变量在模型中难以捕捉与 T2DM 发病风险之间的关联。

研究中还发现,在超重及肥胖人群的 Q2 组和 Q3 组相较于 Q1 组的 T2DM 发病风险分别降低了 29.6%,33.5%,而对体重正常人群无影响。其异质性来源可能为超重及肥胖是 T2DM 的重要危险因素,并且控制碳水化合物可以降低超重人群的发病风险,而对体重正常者影响较小^[26-27]。在男性中 Q2 组表现为保护因素而女性则在 Q3 组表现为保护因素。研究表明糖尿病在男性中比在女性中更普遍,尤其是在中年人群中。女性的胰岛素敏感性更高,她们的胰岛素分泌和肠促胰岛素反应能力也高于男性^[28]。因此

在 CF 水平较高时(即碳水化合物占比更多)女性相较于男性更可能表现出保护作用,男性则需要较低的 CF 水平(即膳食纤维占比更多)。此外 <65 岁的人群中也观察到了 CF 与 T2DM 发病风险存在关联性,但是在 >65 岁人群时未发现,原因可能在于过高的年龄会增加 T2DM 的发病风险,较好的碳水化合物质量所带来的有益作用无法带来质变^[29]。

研究存在的局限性:第一,膳食调查信息仅在基线调查时收集,未获得随访期间膳食状况的动态变化情况;第二,膳食频率问卷调查依赖调查对象的记忆,因此不可避免的存在回忆偏倚。第三,研究人群来自于伊犁霍城现场人群,因此结果外推时需谨慎。

综上所述,本研究基于新疆多民族自然人群队列伊犁人群数据,发现碳水化合物质量指标 CF 与 T2DM 发病风险存在 U 型关系。因此按照合适的 CF 范围选择每日的碳水化合物摄入量尤其是在超重及肥胖以及 <65 岁表现出保护作用的人群中,对 T2DM 发病风险有早期预防作用。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas 2021 [EB/OL]. [2025-01-12]. <https://diabetesatlas.org/atlas/tenth-edition/>.
- [2] 佚名. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[J]. 营养学报, 2020, 42(6): 521.
Anonym. Report on nutrition and chronic diseases in China (2020) [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2020, 42(6): 521. (In Chinese)
- [3] Zhou C, Zhang ZX, Liu MY, et al. Dietary carbohydrate intake and new-onset diabetes: A nationwide cohort study in China [J]. Metabolism, 2021, 123: 154865.
- [4] Augustin LSA, Kendall CWC, Jenkins DJA, et al. Glycemic index, glycemic load and glycemic response: An International Scientific Consensus Summit from the International Carbohydrate Quality Consortium (ICQC) [J]. Nutrition, Metabolism, and Cardiovascular Diseases; NMCD, 2015, 25(9): 795-815.
- [5] Wong MMH, Yuen-Man CM, Ng TP, et al. Impact of carbohydrate quantity and quality on maternal and pregnancy outcomes in gestational diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis [J]. Diabetes & Metabolic Syndrome, 2024, 18(1): 102941.
- [6] Alessa HB, Bhupathiraju SN, Malik VS, et al. Carbohydrate quality and quantity and risk of type 2 diabetes in US women [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2015, 102(6): 1543-1553.
- [7] Lloyd-Jones DM, Hong YL, Labarthe D, et al. Defining and setting National goals for cardiovascular health promotion and disease reduction: the American Heart Association's strategic Impact Goal through 2020 and beyond [J]. Circulation, 2010, 121(4): 586-613.
- [8] Jenkins DJ, Wolever TM, Taylor RH, et al. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1981, 34(3): 362-366.
- [9] Atkinson FS, Brand-Miller JC, Foster-Powell K, et al. International tables of glycemic index and glycemic load values 2021: a systematic review [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2021, 114(5): 1625-1632.
- [10] Lovegrove A, Edwards CH, De noni I, et al. Role of polysaccharides in food, digestion, and health [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57(2): 237-253.
- [11] Russell WR, Baka A, Björck I, et al. Impact of Diet composition on blood glucose regulation [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2016, 56(4): 541-590.
- [12] Dong Q, Wang L, Hu H, et al. Greater protection of lower dietary Carbohydrate to Fiber Ratio (CFR) against poor blood pressure control in patients with essential hypertension: A cross-sectional study [J]. Nutrients, 2022, 14(21): 4443.
- [13] Liu ZM, Fang TY. Association between dietary carbohydrate to fiber ratio and metabolic dysfunction associated fatty liver disease in adults: evidence from the NHANES 2017-2020 [J]. Journal of Health Population and Nutrition, 2024, 43(1): 43.
- [14] Hashimoto Y, Tanaka MH, Miki A, et al. Intake of carbohydrate to fiber ratio is a useful marker for metabolic syndrome in patients with type 2 diabetes: a cross-sectional study [J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2018, 72(4): 329-335.
- [15] Zhang LS, Zhao LBI, Xiao XY, et al. Association of dietary carbohydrate and fiber ratio with postmenopausal bone mineral density and prevalence of osteoporosis: A cross-sectional study [J]. PLOS One, 2024, 19(2): e0297332.
- [16] 党少农, 戴江红, 张毓洪, 等. 西北区域自然人群队列建设与实践 [J]. 中华流行病学杂志, 2023, 44(1): 14-20.
Dang SN, Dai JH, Zhang YH, et al. Design and practice of China Northwest General Population Cohort [J]. Chinese Journal of Epidemiology, 2023, 44(1): 14-20. (In Chinese)
- [17] Alessa HB, Ley SH, Rosner B, et al. High fiber and low starch intakes are associated with circulating intermediate biomarkers of type 2 diabetes among women [J]. Journal of Nutrition, 2016, 146(2): 306-317.
- [18] Cui Z, Wu M, Liu K, et al. Associations between Conventional and Emerging Indicators of Dietary Carbohydrate Quality and New-Onset Type 2 Diabetes Mellitus in Chinese Adults [J]. Nutrients, 2023, 15(3).
- [19] Qi QB, Li J, Yu B, et al. Host and gut microbial tryptophan metabolism and type 2 diabetes: an integrative analysis of host genetics, diet, gut microbiome and circulating metabolites in cohort studies [J]. Gut, 2022, 71(6): 1095-1105.
- [20] Zhao LP, Zhang F, Ding XY, et al. Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes [J]. Science, 2018, 359(6380): 1151-1156.
- [21] Weickert MO, Mohlig M, Koebnick C, et al. Impact of cereal fibre on glucose-regulating factors [J]. Diabetologia, 2005, 48(11): 2343-2353.
- [22] Qi L, Rimm E, Liu S, et al. Dietary glycemic index, glycemic load, cereal fiber, and plasma adiponectin concentration in diabetic men [J]. Diabetes Care, 2005, 28(5): 1022-1028.

- Social Sciences, 2020, 75(1): 107 – 113.
- [17] Röhr S, Wittmann F, Engel C, et al. Social factors and the prevalence of social isolation in a population – based adult cohort [J]. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 2022, 57(10): 1959 – 1968.
- [18] Amendola S, Cerutti R, Von WA. Estimating the prevalence and characteristics of people in severe social isolation in 29 European countries; A secondary analysis of data from the European Social Survey round 9 (2018 – 2020) [J]. *PLOS One*, 2023, 18(9): e0291341.
- [19] Hajek A, Volkmar A, König HH. Prevalence and correlates of loneliness and social isolation in the oldest old: a systematic review, meta – analysis and meta – regression [J]. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 2023.
- [20] Lo TW, Chan GH. Understanding the life experiences of elderly in social isolation from the social systems perspective: using Hong Kong as an illustrating example[J]. *Frontiers in Psychiatry*, 2023, 14: 1114135.
- [21] Chen MQ, Cao X, Wang A, et al. A global perspective on risk factors for social isolation in community – dwelling older adults: A systematic review and meta – analysis[J]. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 2024, 116: 105211.
- [22] Wang SH, Lin J, Kuang L, et al. Risk factors for social isolation in older adults: A systematic review and meta – analysis [J]. *Public Health Nursing*, 2024, 41(2): 200 – 208.
- [23] Hughes K, Bellis MA, Hardcastle KA, et al. The effect of multiple adverse childhood experiences on health: a systematic review and meta – analysis [J]. *The Lancet. Public Health*, 2017, 2(8): e356 – e366.
- [24] Lanza ST, Vasilenko SA, Russell MA. Time – varying effect modeling to address new questions in behavioral research; examples in marijuana use[J]. *Psychology of Addictive Behaviors: Journal of the Society of Psychologists in Addictive Behaviors*, 2016, 30(8): 939 – 954.
- [25] Lin YW, Zhu TT, Zhang XY, et al. Trends in the prevalence of social isolation among middle and older adults in China from 2011 to 2018; the China Health and Retirement Longitudinal Study[J]. *BMC Public Health*, 2024, 24(1): 339.
- [26] Ran ZR, Wei JJ, Yang GJ, et al. Prevalence of social isolation in the elderly: A systematic review and meta – analysis[J]. *Geriatric Nursing*, 2024, 58: 87 – 97.
- [27] Rovito KE, Herring RP, Beeson WL, et al. Social – ecological correlates of social isolation as a structural indicator of social connectedness among young adult US males[J]. *American Journal of Health Promotion*, 2022, 36(8): 1284 – 1295.
- [28] Kwong T. *Adverse Childhood Experiences and their influence on social connectedness* [D]. New Haven, USA: Yale University, 2014.
- [29] Wang JH, Merrin GJ, Kiefer SM, et al. Peer relations of adolescents with adverse childhood experiences: a systematic literature review of two decades[J]. *Adolescent Research Review*, 2024, 9: 477 – 512.
- [30] Trickett PK, Negriff S, Ji JY, et al. Child maltreatment and adolescent development[J]. *Journal of Research on Adolescence : the Official Journal of the Society for Research on Adolescence*, 2011, 21(1): 3 – 20.
- [31] Ebbert AM, Infurna FJ, Luthar SS, et al. Examining the link between emotional childhood abuse and social relationships in midlife: The moderating role of the oxytocin receptor gene [J]. *Child Abuse & Neglect*, 2019, 98: 104151.
- [32] Umberson D, Williams K, Thomas PA, et al. Race, gender, and chains of disadvantage childhood adversity, social relationships, and health[J]. *Journal of Health and Social Behavior*, 2014, 55(1): 20 – 38.
- [33] Anda RF, Felitti VJ, Bremner JD. The enduring effects of abuse and related adverse experiences in childhood. A convergence of evidence from neurobiology and epidemiology [J]. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 2006, 256(3): 174 – 186.
- [34] Thompson KN, Oginni O, Wertz J, et al. Social isolation and poor mental health in young People: testing genetic and environmental influences in a longitudinal cohort study[J]. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 2024.

收稿日期:2024-10-17

(上接第 641 页)

- [23] Wannamethee SG, Whincup PH, Thomas MC, et al. Associations between dietary fiber and inflammation, hepatic function, and risk of type 2 diabetes in older men: potential mechanisms for the benefits of fiber on diabetes risk [J]. *Diabetes Care*, 2009, 32(10): 1823 – 1825.
- [24] Mirmiran P, Bahadoran Z, Khalili Moghadam S, et al. A prospective study of different types of dietary fiber and risk of cardiovascular disease: Tehran Lipid and Glucose Study [J]. *Nutrients*, 2016, 8(11): 686.
- [25] Seidlmann SB, Claggett B, Cheng SS, et al. Dietary carbohydrate intake and mortality: a prospective cohort study and meta – analysis [J]. *The Lancet. Public Health*, 2018, 3(9): e419 – e428.
- [26] 陈晓铭, 梁茂珊, 赖天文, 等. 短期低碳水化合物饮食干预对超重肥胖患者体质量和糖脂代谢指标的影响[J]. *中国预防医学杂志*, 2024, 25(4): 446 – 451.
- Chen XM, Liang MS, Lai TW, et al. Effects of a short – term low – carbohydrate diet intervention on body composition and glycolipid metabolism indicators in overweight and obese individuals [J]. *China Preventive Medicine*, 2024, 25(4): 446 – 451. (In Chinese)
- [27] Li SX, Wang Y, Ying YY, et al. Independent and joint associations of BMI and waist circumference with the onset of type 2 diabetes mellitus in Chinese adults; prospective data linkage study [J]. *JMIR Public Health and Surveillance*, 2023, 9: e39459.
- [28] Tramunt B, Smati S, Grandgeorge N, et al. Sex differences in metabolic regulation and diabetes susceptibility [J]. *Diabetologia*, 2020, 63(3): 453 – 461.
- [29] Deshpande AD, Harris – Hayes M, Schootman M. Epidemiology of diabetes and diabetes – related complications [J]. *Physical Therapy*, 2008, 88(11): 1254 – 1264.

收稿日期:2024-10-05