

1990—2021 年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担分析及预测



梁 瑶^{1,2}, 张晓宇^{1,2}, 曹 畅^{1,2}, 胡成龙^{1,2}, 杨 旻^{1,2}, 李 惠^{1,2}

1. 安徽医科大学第二附属医院重症医学二科 (合肥 230601)

2. 安徽医科大学第二附属医院心肺复苏与危重病实验室 (合肥 230601)

【摘要】目的 分析 1990—2021 年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌 (early-onset colorectal cancer, EOCRC) 疾病负担及未来趋势。**方法** 基于全球疾病负担 2021 (Global Burden of Disease 2021, GBD 2021) 数据库, 获取 1990—2021 年中国、全球及不同社会人口指数 (socio-demographic index, SDI) 地区归因于饮食风险的 EOCRC 死亡率和伤残调整寿命年 (disability-adjusted life years, DALYs) 率数据。采用 Joinpoint 回归模型计算标化死亡率和标化 DALYs 率转折点之间年份的年度变化百分比 (annual percentage change, APC)、平均年度变化百分比 (average annual percentage change, AAPC) 及其 95% 置信区间 (confidence interval, CI), 并利用自回归移动平均模型 (autoregressive integrated moving average model, ARIMA) 预测 2022—2035 年疾病负担。**结果** 1990—2021 年, 中国归因于饮食风险的 EOCRC 标化死亡率和标化 DALYs 率均呈下降趋势, 标化死亡率由 1990 年的 2.37/10 万 [95% 不确定区间 (uncertainty interval, UI): 1.07/10 万 ~ 3.53/10 万] 下降至 2021 年的 1.62/10 万 (95%UI: 0.52/10 万 ~ 2.69/10 万), AAPC 为 -1.25 (95%CI: -1.29 ~ -1.22); 标化 DALYs 率由 1990 年的 117.78/10 万 (95%UI: 53.48/10 万 ~ 175.53/10 万) 下降至 2021 年的 82.88/10 万 (95%UI: 26.47/10 万 ~ 136.59/10 万), AAPC 为 -1.16 (95%CI: -1.20 ~ -1.12)。不同饮食风险因素中, 仅归因于高加工肉类饮食的 EOCRC 标化死亡率和标化 DALYs 率呈上升趋势, AAPC 分别为 1.29 (95%CI: 1.24 ~ 1.33) 和 1.38 (95%CI: 1.33 ~ 1.43)。预计到 2035 年, 中国归因于饮食风险的 EOCRC 标化死亡率和标化 DALYs 率将分别上升至 1.81/10 万 [95% 预测区间 (prediction interval, PI): 1.00/10 万 ~ 2.61/10 万] 和 92.12/10 万 (95%PI: 40.05/10 万 ~ 144.19/10 万)。**结论** 1990—2021 年中国归因于饮食风险的 EOCRC 疾病负担呈下降趋势, 但仍高于全球及不同 SDI 地区, 且未来疾病负担将持续上升。应关注年轻人群膳食结构干预和健康宣教, 提高 EOCRC 早期筛查覆盖率, 减轻疾病负担。

【关键词】 早发性结直肠癌; 饮食风险; 疾病负担; Joinpoint 回归模型; 自回归移动平均模型

【中图分类号】 R 735.34

【文献标识码】 A

Analysis and prediction of the disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in China from 1990 to 2021

LIANG Yao^{1,2}, ZHANG Xiaoyu^{1,2}, CAO Chang^{1,2}, HU Chenglong^{1,2}, YANG Min^{1,2}, LI Hui^{1,2}

DOI: 10.12173/j.issn.1004-4337.202511023

基金项目: 安徽医科大学校基金项目 (2021xkj177)

通信作者: 李惠, 硕士研究生导师, Email: lihui@ahmu.edu.cn

<https://slyyx.whuzhnmhj.com/>

1. The Second Department of Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601, China

2. The Laboratory of Cardiopulmonary Resuscitation and Critical Care Medicine, The Second Affiliated Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230601, China

Corresponding author: LI Hui, Email: lihui@ahmu.edu.cn

【Abstract】Objective To analyze the disease burden and future trends of early-onset colorectal cancer (EOCRC) attributable to dietary risks in China from 1990 to 2021. **Methods** Based on Global Burden of Disease 2021 (GBD 2021) database, the mortality and disability-adjusted life years (DALYs) rates of EOCRC attributable to dietary risks in China, globally, and across different socio-demographic index (SDI) regions from 1990 to 2021 were obtained. The Joinpoint regression model was applied to calculate the annual percent change (APC), average annual percent change (AAPC), and 95% confidence interval (CI) between turning points in age-standardized mortality rate and age-standardized DALYs rate, while an autoregressive integrated moving average (ARIMA) model was used to predict the disease burden from 2022 to 2035. **Results** From 1990 to 2021, the standardized mortality and standardized DALYs rate of EOCRC attributed to dietary risks in China both showed a downward trend. The standardized mortality decreased from 2.37/100 000 in 1990 [95% uncertainty interval (UI): 1.07/100 000, 3.53/100 000] to 1.62/100 000 in 2021 (95%UI: 0.52/100 000, 2.69/100 000), with an AAPC of -1.25 (95%CI: $-1.29, -1.22$); the standardized DALYs rate decreased from 117.78/100 000 in 1990 (95% UI: 53.48/100 000, 175.53/100 000) to 82.88/100 000 in 2021 (95%UI: 26.47/100 000, 136.59/100 000), with an AAPC of -1.16 (95%CI: $-1.20, -1.12$). Among different dietary risk factors, only the standardized mortality and standardized DALYs rate of EOCRC attributed to high processed meat diet showed an upward trend, with AAPCs of 1.29 (95%CI: 1.24, 1.33) and 1.38 (95%CI: 1.33, 1.43), respectively. It is predicted that by 2035, the standardized mortality and standardized DALYs rate of EOCRC attributed to dietary risks in China will increase to 1.81/100 000 [95% prediction interval (PI): 1.00/100 000, 2.61/100 000] and 92.12/100 000 (95% PI: 40.05/100 000, 144.19/100 000), respectively. **Conclusion** From 1990 to 2021, the disease burden of EOCRC attributed to dietary risks in China showed a downward trend, but it remained higher than that of the global and different SDI regions. Moreover, the disease burden is projected to continue to rise in the future. Attention should be paid to dietary structure intervention and health education for the young population, to increase the coverage of early screening for EOCRC, and to reduce the disease burden.

【Keywords】 Early-onset colorectal cancer; Dietary risks; Disease burden; Joinpoint regression model; Autoregressive integrated moving average model

结直肠癌 (colorectal cancer, CRC) 是全球范围内高发的消化道恶性肿瘤^[1]。据统计, 2022 年全球 CRC 新发病例超过 190 万, 死亡病例超过 90 万, 居全球常见癌症第三位和癌症相关死亡原因第二位^[2]。全球疾病负担 (Global Burden of Disease, GBD) 数据显示, 过去三十年间, CRC 发病率和死亡率均大幅上升, 已成为中国的主要公共卫生挑战^[3]。CRC 的流行病学特征正在发生转变, 呈现“年轻化”趋势, 早发性结直肠癌 (early-onset colorectal cancer, EOCRC) 在全球范

围内发病率和死亡率呈上升趋势^[4]。研究显示, 年轻患者 CRC 病例每年以 0.26% 的速度增长^[5]。中国作为全球人口最多的国家之一, EOCRC 相关疾病负担日益严峻。

除遗传易感性外, 环境因素在 CRC 的发生中发挥重要作用, 其中饮食作为关键的可干预风险因素之一, 其影响愈发受到关注。研究证实, 高红肉、加工肉类摄入及低纤维摄入等饮食因素与 CRC 风险增加密切相关^[6]。年轻人群可能更早且长期暴露于高脂肪、低纤维、高红

肉及加工肉类的饮食模式，加之肠道对饮食诱发的炎症及代谢紊乱可能更敏感，从而加速肿瘤发生发展的进程^[7]。随着中国社会经济的快速转型与居民膳食结构的改变，以植物性食物为主、动物脂肪摄入较低的传统饮食模式，正逐渐被高脂肪、低纤维、高红肉及加工肉类的饮食模式所替代。这种饮食模式在年轻一代中尤为普遍，一定程度上加剧了我国年轻人群的 CRC 疾病负担^[8]。现有研究多集中于老年群体，针对中国年轻人群系统量化饮食风险因素贡献度长期趋势的研究相对缺乏。本研究基于 2021 年 GBD 数据库，系统评估 1990—2021 年中国归因于饮食风险的 EOCRC 疾病负担并预测未来变化趋势，以期对 CRC 精准预防策略和营养干预措施制定提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本研究数据来源于 GBD 2021 数据库，该数据库涵盖了 1990—2021 年全球 204 个国家和地区的 371 种疾病和伤害以及 88 种风险因素的数据^[9-10]。通过全球健康数据交换查询工具 (<https://ghdx.healthdata.org/>) 获取 1990—2021 年中国、全球及五类社会人口指数 (socio-demographic index, SDI) 地区 50 岁以下人群归因于饮食风险的 EOCRC 疾病负担数据。SDI 是一项综合了人均收入、平均受教育年限和总生育率的复合指标，用于衡量社会经济发展水平。根据 SDI 将研究地区划分为五个等级：低、中低、中、中高及高^[11]。其中，中国被划分为中 SDI 地区^[12]。

1.2 相关定义

本研究采用国际通用的 EOCRC 定义，即确诊年龄 < 50 岁的 CRC 患者，结合我国发病年轻化及 CRC 筛查起始年龄为 50 岁的现况，聚焦评估 50 岁以下人群的疾病负担与风险特征。在 GBD 2021 中，各饮食因素的暴露水平主要基于全球超过 1 200 项具有代表性的营养调查（主要采用标准化的 24 小时饮食回忆法和食物频率问卷）及联合国粮农组织的食物平衡表数据进行评估，并将其定义为摄入量未达到或超过其理论最小风险暴露水平的程度^[10]。其中 EOCRC 相关饮食危险因素包括低全谷物、低纤维、低钙、低牛奶饮食、

高加工肉类和高红肉饮食。

1.3 疾病负担指标

死亡率和伤残调整寿命年 (disability-adjusted life years, DALYs) 率及其 95% 不确定区间 (uncertainty interval, UI) 被共同用作量化饮食风险所致 EOCRC 疾病负担的关键指标。所报告的死亡率和 DALYs 率均是基于每 10 万人口计算得出的率值。为消除不同人群年龄结构差异对总体率的影响，实现不同年份与不同区域间疾病负担的公平比较，采用直接标准化法对中国、全球及五类 SDI 地区的率值进行年龄标准化。年龄标准化 (简称标化) 所依据的标准人口为 GBD 2021 的全球标准人口年龄结构 (按 5 岁年龄组分层)。

1.4 统计分析

为评估中国归因于饮食风险的 EOCRC 疾病负担变化趋势，采用 Joinpoint 回归模型计算 1990—2021 年 EOCRC 死亡率与 DALYs 率 (包括年龄标准化率) 转折点之间年份的年度变化百分比 (annual percentage change, APC)、平均年度变化百分比 (average annual percentage change, AAPC) 及其 95% 置信区间 (confidence interval, CI)。若 AAPC、APC 及其 95%CI 的上限均为负值，表示相应比率呈显著下降趋势；若 AAPC、APC 及其 95%CI 的下限均为正值，则表示呈显著上升趋势；若 95%CI 包含 0，则表明变化趋势无统计学意义。

为预测 2022—2035 年中国归因于饮食风险的 EOCRC 疾病负担趋势，采用自回归移动平均模型 (autoregressive integrated moving average model, ARIMA) 进行时间序列分析。基于 1990—2021 年数据，分别对标化死亡率与标化 DALYs 率序列进行建模。模型阶数通过 auto.arima 函数 (依据 AICc 准则) 自动识别确定：标化死亡率的最优模型为 ARIMA (3, 2, 0)，标化 DALYs 率的最优模型为 ARIMA (2, 2, 0)。两个模型均通过 2 阶差分处理以确保序列平稳性。模型诊断结果显示，其残差序列经 Ljung-Box 检验均为白噪声 (P 值分别为 0.52 和 0.48)，表明模型拟合良好。基于上述模型对 2022—2035 年的疾病负担趋势进行预测，并报告 95% 预测区间 (prediction interval, PI)。使用 R 4.4.1 软件绘制图表。

2 结果

2.1 中国归因于饮食风险的EOCRC疾病负担

1990—2021 年，中国归因于饮食风险的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率均高于全球及五类SDI 地区，但二者均呈下降趋势且降幅最大，标化死亡率由 1990 年的 2.37 /10 万（95%UI： 1.07 /10 万 ~

3.53 /10 万）下降至 2021 年的 1.62 /10 万（95%UI： 0.52 /10 万 ~ 2.69 /10 万），AAPC 为-1.25（95%CI： -1.29 ~ -1.22），降幅为31.6%；标化DALYs 率由 1990 年的 117.78 /10 万（95%UI： 53.48 /10 万 ~ 175.53 /10 万）下降至 2021 年的 82.88 /10 万（95%UI： 26.47 /10 万 ~ 136.59 /10 万），AAPC 为-1.16（95%CI： -1.20 ~ -1.12），降幅为29.6%。所有趋势均有统计学意义（ $P < 0.05$ ），见表1、图1。

表 1 1990—2021 年归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担

Table 1. Disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks from 1990 to 2021

项目	标化死亡率 (/10 万)			标化DALYs 率 (/10 万)		
	1990 年 (95%UI)	2021 年 (95%UI)	AAPC (95%CI)	1990 年 (95%UI)	2021 年 (95%UI)	AAPC (95%CI)
地区						
全球	1.50 (0.62 ~ 2.22)	1.09 (0.41 ~ 1.65)	-1.01 (-1.04 ~ -0.98)	73.87 (30.50 ~ 109.52)	54.61 (20.39 ~ 82.07)	-0.95 (-0.98 ~ -0.91)
高SDI地区	1.58 (0.38 ~ 2.46)	1.18 (0.26 ~ 1.86)	-0.94 (-0.99 ~ -0.91)	77.87 (18.67 ~ 121.09)	59.73 (13.2 ~ 93.66)	-0.87 (-0.92 ~ -0.84)
中高SDI地区	2.01 (0.72 ~ 3.05)	1.39 (0.41 ~ 2.23)	-1.16 (-1.22 ~ -1.09)	99.19 (35.79 ~ 149.85)	70.13 (20.52 ~ 112.23)	-1.08 (-1.15 ~ -1.01)
中SDI地区	1.63 (0.81 ~ 2.34)	1.21 (0.51 ~ 1.82)	-0.97 (-1.00 ~ -0.94)	80.73 (40.38 ~ 116.09)	60.68 (25.47 ~ 90.88)	-0.95 (-0.99 ~ -0.92)
中低SDI地区	0.81 (0.44 ~ 1.15)	0.78 (0.37 ~ 1.11)	-0.12 (-0.15 ~ -0.10)	39.60 (21.81 ~ 56.54)	38.19 (18.02 ~ 54.38)	-0.12 (-0.15 ~ -0.10)
低SDI地区	0.90 (0.51 ~ 1.30)	0.74 (0.38 ~ 1.05)	-0.64 (-0.67 ~ -0.62)	43.61 (24.56 ~ 62.64)	36.30 (18.77 ~ 50.97)	-0.61 (-0.64 ~ -0.58)
中国	2.37 (1.07 ~ 3.53)	1.62 (0.52 ~ 2.69)	-1.25 (-1.29 ~ -1.22)	117.78 (53.48 ~ 175.53)	82.88 (26.47 ~ 136.59)	-1.16 (-1.20 ~ -1.12)
性别						
中国男性	2.68 (1.15 ~ 4.16)	2.24 (0.67 ~ 3.79)	-0.62 (-0.66 ~ -0.57)	133.03 (57.14 ~ 205.89)	114.17 (34.46 ~ 192.82)	-0.51 (-0.56 ~ -0.46)
中国女性	2.02 (0.94 ~ 3.12)	0.98 (0.37 ~ 1.61)	-2.31 (-2.35 ~ -2.27)	101.02 (46.85 ~ 155.79)	49.88 (18.96 ~ 82.84)	-2.24 (-2.28 ~ -2.20)

注：SDI，socio-demographic index，社会人口指数；AAPC，average annual percentage change，平均年度变化百分比；DALYs，disability-adjusted life years，伤残调整寿命年；UI，uncertainty interval，不确定区间；CI，confidence interval，置信区间。

中国归因于饮食风险的EOCRC 标化死亡率在 1990—1999、1999—2004、2004—2007、2010—2013 年呈下降趋势，APC 值分别为-2.51（95%CI： -2.78 ~ -2.39）、-1.86（95%CI： -2.78 ~ -1.39）、-3.87（95%CI： -4.32 ~ -3.30）、-1.71（95%CI： -2.10 ~ -1.09）；在 2007—2010、2013—2021 年呈上升趋势，APC 值分别为 1.41（95%CI： 0.88 ~ 1.88）、0.76（95%CI： 0.59 ~ 1.01）。标化DALYs 率变化趋势与标化死亡率一致，在 1990—1999、1999—2004、2004—2007、2010—2013 年呈下降趋势，APC 值分别为 -2.45（95%CI： -2.86 ~ -2.30）、-1.80（95%CI： -2.12 ~ -1.23）、-3.84（95%CI： -4.33 ~

-3.17）、-1.74（95%CI： -2.18 ~ -0.98）；在 2007—2010、2013—2021 年呈上升趋势，APC 值分别为 1.49（95%CI： 0.82 ~ 2.02）、0.98（95%CI： 0.77 ~ 1.27），均有统计学意义（ $P < 0.05$ ），见图2。

2.2 中国不同性别归因于饮食风险的EOCRC疾病负担

1990—2021 年中国男性归因于饮食风险的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率分别由 2.68 /10 万（95%UI： 1.15 /10 万 ~ 4.16 /10 万）、133.03 /10 万（95%UI： 57.14 /10 万 ~ 205.89 /10 万）降至 2.24 /10 万（95%UI： 0.67 /10 万 ~ 3.79 /10 万）、114.17 /10 万（95%UI： 34.46 /10 万 ~ 192.82 /10

万), AAPC 分别为 -0.62 (95%CI: $-0.66 \sim -0.57$)、 -0.51 (95%CI: $-0.56 \sim -0.46$); 女性标

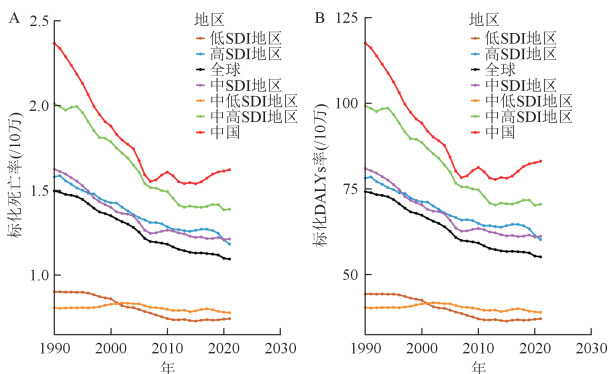


图1 1990—2021年归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担变化趋势

Figure 1. Trends of the disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks from 1990 to 2021

注: A. 标化死亡率; B. 标化伤残调整寿命年率。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年; SDI, socio-demographic index, 社会人口指数。

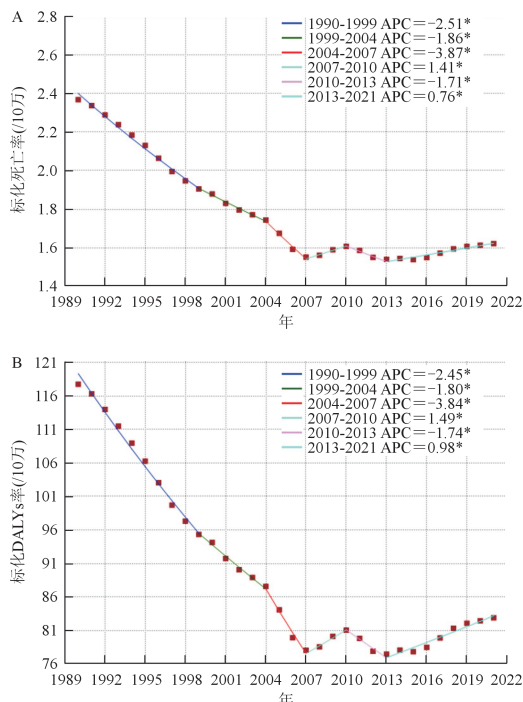


图2 1990—2021年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌标化死亡率和标化伤残调整寿命年率

Figure 2. The age-standardized mortality and age-standardized disability-adjusted life years rate of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in China from 1990 to 2021

注: A. 标化死亡率; B. 标化伤残调整寿命年率。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年; APC, annual percentage change, 年度变化百分比; *表示该时间段的APC趋势具有统计学意义。

化死亡率和标化DALYs率分别由2.02/10万 (95%UI: 0.94/10万~3.12/10万)、101.02/10万 (95%UI: 46.85/10万~155.79/10万) 降至0.98/10万 (95%UI: 0.37/10万~1.61/10万)、49.88/10万 (95%UI: 18.96/10万~82.84/10万), AAPC分别为 -2.31 (95%CI: $-2.35 \sim -2.27$)、 -2.24 (95%CI: $-2.28 \sim -2.20$), 均具有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表1、图3。

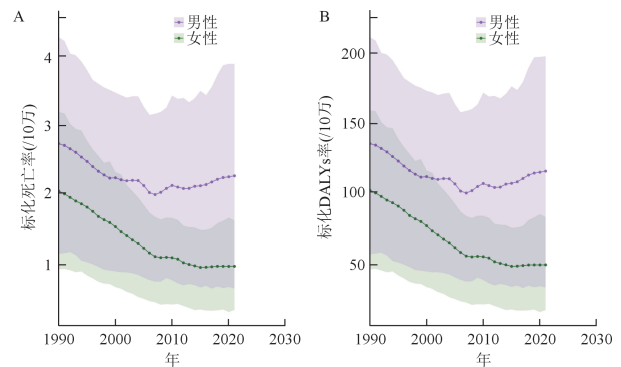


图3 1990—2021年中国不同性别归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担及趋势

Figure 3. Disease burden and trends of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in different gender groups in China from 1990 to 2021

注: A. 标化死亡率; B. 标化伤残调整寿命年率。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年。

2.3 中国不同年龄段归因于饮食风险的EOCRC疾病负担

1990和2021年, 中国归因于饮食风险的EOCRC疾病负担均随年龄增长而上升, 并于45~49岁组达到峰值。1990—2021年, 45~49岁年龄组归因于饮食风险的EOCRC死亡率和DALYs率下降速度最快, AAPC分别为 -1.40 (95%CI: $-1.49 \sim -1.33$) 和 -1.33 (95%CI: $-1.42 \sim -1.26$); 25~29岁年龄组降幅最小, AAPC分别为 -0.88 (95%CI: $-0.97 \sim -0.80$) 和 -0.83 (95%CI: $-0.92 \sim -0.75$), 均有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表2。

2.4 中国归因于不同类型饮食风险的EOCRC疾病负担

1990年, 归因于低牛奶饮食的EOCRC标化死亡率最高, 为1.03/10万 (95%UI: 0.27/10万~1.72/10万), 其次是低全谷物饮食[1.02/10万 (95%UI: 0.41/10万~1.58/10万)]和低钙饮食[0.90/10万 (95%UI: 0.62/10万~1.19/10万)]。2021年, EOCRC标化死亡率的前3位饮食风险因素转变为低全谷物饮食[0.78/10万 (95%UI: 0.31/10万~1.26/

10 万)]、低牛奶饮食[0.76/10 万 (95%UI: 0.20/10 万 ~ 1.31/10 万)]、高红肉饮食 [0.70/10 万 (95%UI: 0.00/10 万 ~ 1.52/10 万)]。标化DALYs率方面, 前3 位风险因素从1990 年的低牛奶饮食 [51.02/10 万 (95%UI: 13.17/10 万 ~ 85.09) /10 万]、低全谷物饮食[50.77/10 万 (95%UI: 20.34/10 万 ~ 78.14/10 万)]、低钙饮食[44.90/10 万 (95%UI: 31.21/10 万 ~ 59.64/10 万)], 转变为2021 年的低全谷物饮食[39.94/10 万 (95%UI: 16.09/10 万 ~ 64.10/10 万)]、低牛奶饮食[38.70/10 万 (95%UI: 10.03/10 万 ~ 66.84/10 万)]和高红肉饮食[35.85/10 万 (95%UI: -0.02/10 万 ~ 76.74/10 万)], 见图4。

表2 1990—2021 年中国各年龄组归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担及趋势
Table 2. Disease burden and trends of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in different age groups in China from 1990 to 2021

年龄组	死亡率 (/10 万)			DALYs 率 (/10 万)		
	1990 年 (95%UI)	2021 年 (95%UI)	AAPC (95%CI)	1990 年 (95%UI)	2021 年 (95%UI)	AAPC (95%CI)
25 ~ 29 岁	0.58 (0.27 ~ 0.86)	0.44 (0.15 ~ 0.72)	-0.88 (-0.97 ~ -0.80)	36.92 (16.86 ~ 54.55)	28.35 (9.41 ~ 46.26)	-0.83 (-0.92 ~ -0.75)
30 ~ 34 岁	1.25 (0.58 ~ 1.82)	0.93 (0.31 ~ 1.50)	-0.94 (-1.02 ~ -0.87)	72.79 (33.99 ~ 106.18)	55.37 (18.64 ~ 89.02)	-0.88 (-0.95 ~ -0.81)
35 ~ 39 岁	2.19 (1.03 ~ 3.25)	1.53 (0.50 ~ 2.49)	-1.17 (-1.24 ~ -1.10)	117.49 (55.09 ~ 173.96)	83.66 (27.10 ~ 135.91)	-1.10 (-1.17 ~ -1.02)
40 ~ 44 岁	3.56 (1.67 ~ 5.32)	2.42 (0.77 ~ 4.06)	-1.21 (-1.27 ~ -1.15)	173.30 (80.97 ~ 259.22)	120.35 (38.08 ~ 201.46)	-1.17 (-1.25 ~ -1.11)
45 ~ 49 岁	5.21 (2.23 ~ 7.84)	3.40 (1.05 ~ 5.69)	-1.40 (-1.49 ~ -1.33)	227.33 (97.18 ~ 342.94)	151.76 (46.62 ~ 252.71)	-1.33 (-1.42 ~ -1.26)

注: AAPC, average annual percentage change, 平均年度变化百分比; DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年; UI, uncertainty interval, 不确定区间; CI, confidence interval, 置信区间。

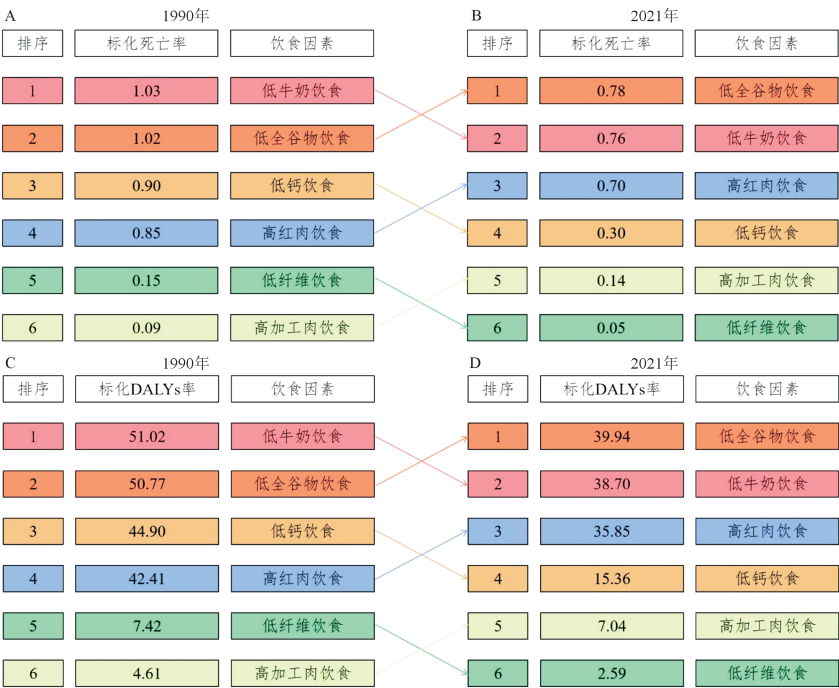


图4 1990年和2021 年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担排名
Figure 4. Ranking of the disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in China in 1990 and 2021

注: A. 1990 年标化死亡率 (/10 万); B. 2021 年标化死亡率 (/10 万); C. 1990 年标化伤残调整寿命年率 (/10 万); D. 2021 年标化伤残调整寿命年率 (/10 万)。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年。

1990—2021 年，归因于低钙、低全谷物、低牛奶、低纤维及高红肉饮食的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率均呈下降趋势。其中，归因于低钙饮食的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率下降速度最快，AAPC 分别为-3.53（95%CI：-3.61~-3.44）和-3.53（95%CI：-3.61~-3.47），归因于高红肉饮食的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率下降速度最慢，AAPC 分别为-0.63（95%CI：-0.67~-0.60）和-0.52（95%CI：-0.56~-0.48）。1990—2021 年，仅归因于高加工肉饮食的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率呈上升趋势，AAPC 分别为1.29（95%CI：1.24~1.33）和1.38（95%CI：1.33~1.43），均有统计学意义（ $P<0.05$ ），见图5。

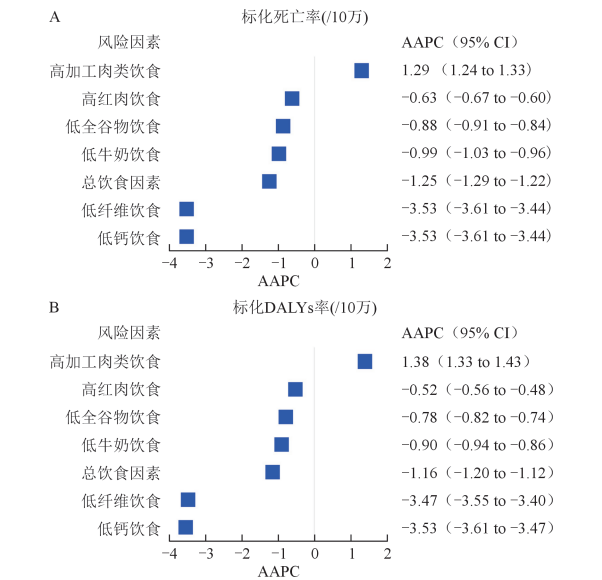


图5 1990—2021 年中国归因于不同饮食风险因素的早发性结直肠癌时间趋势

Figure 5. Temporal trends of early-onset colorectal cancer burden attributable to different dietary risk factors in China from 1990 to 2021

注：A. 归因于不同饮食风险因素的标化死亡率森林图；B. 归因于不同饮食风险因素的标化伤残调整寿命年率森林图。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年；AAPC, average annual percentage change, 平均年度变化百分比；CI, confidence interval, 置信区间。

2.5 2022—2035 年中国归因于饮食风险的EOCRC 疾病负担预测

ARIMA 模型预测显示，2035 年中国归因于饮食风险的EOCRC 标化死亡率将上升至1.81/10 万（95%PI：1.00/10 万~2.61/10 万），标化DALYs 率将上升至92.12/10 万（95%PI：40.05/10 万~144.19/10 万），见图6。

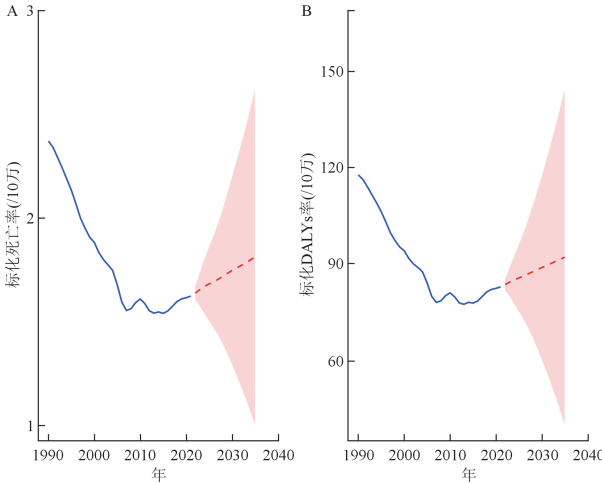


图6 2022—2035 年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担预测

Figure 6. The prediction of disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in China from 2022 to 2035

注：A. 标化死亡率预测；B. 标化伤残调整寿命年率预测。DALYs, disability-adjusted life years, 伤残调整寿命年。

3 讨论

本研究系统评估了1990—2021 年中国归因于饮食风险的EOCRC 疾病负担流行趋势，探讨了其在不同性别与年龄段群体中的分布差异及主要饮食风险因素，并利用ARIMA 模型预测未来疾病负担发展趋势。结果显示，1990—2021 年，中国归因于饮食风险的EOCRC 标化死亡率和标化DALYs 率均呈下降趋势。这可能是由于近三十年来社会经济发展带来的居民营养状况改善、医疗卫生服务水平提升、CRC 筛查意识增强以及膳食结构优化^[13-14]。深入分析时间趋势发现，EOCRC 疾病负担并非单调下降，在2007—2010 年及2013—2021 年两个时期出现反弹。此外，在饮食风险因素中，归因于高加工肉类饮食的EOCRC 疾病负担呈上升趋势。这一总体疾病负担改善但特定风险恶化的格局，深刻揭示了疾病负担演变中风险因素与保护体系之间的动态博弈。过去三十年间，医疗水平发展等保护性因素在宏观上有效对冲了包括加工肉类摄入增加在内的风险上升，但归因于加工肉类饮食的EOCRC 疾病负担的逆势攀升表明由饮食结构变化驱动的风险暴露增长势头稳固且未被完全抵消。疾病负担在特定时期的反弹及预测模型提示的未来疾病负担上升趋势，提示若当前年轻人群中日益盛行的不健康饮

食模式及肥胖、久坐等风险因素持续累积^[4,15],其负面效应在未来可能突破医疗进步所能提供的防护阈值,导致疾病负担趋势发生逆转。同时,预测结果所呈现的较宽PI也提示,未来疾病负担的具体演变路径可能受人群行为、公共卫生政策及医疗技术进步等动态因素的显著影响。这种不确定性凸显了主动干预的紧迫性与重要性,若不及时采取针对性干预措施,我国饮食相关EOCRC防控方面将面临更加严峻的挑战。

在性别差异方面,我国男性归因于饮食风险的EOCRC疾病负担显著高于女性。一方面,男性更倾向于摄入红肉和加工肉类、面包和快餐,而女性更偏好牛奶、水果、蔬菜及膳食纤维^[16]。另一方面,女性雌激素对结肠黏膜具有天然保护作用,可通过调节细胞增殖与胆汁酸代谢抑制肿瘤进展,且女性尤其是绝经前群体拥有更强的抗肿瘤免疫监视功能,T细胞活性较高,有助于抑制早期病变进展;男性则往往伴随更高的内脏脂肪蓄积与胰岛素抵抗状态,体内慢性炎症水平较高,促进了肿瘤微环境的形成^[17]。此外,肿瘤发生部位也存在性别差异,男性多见于左侧结肠,女性则多见于右侧结肠,这可能影响个体对饮食风险因素的敏感性^[18]。因此,在推进EOCRC防控时,应综合考虑性别在饮食行为与内在生理机制上的差异,实施针对性的预防、筛查与干预策略。从年龄分布来看,归因于饮食风险的EOCRC疾病负担随年龄增长呈上升趋势,在45~49岁年龄组达到峰值,这符合CRC的自然病程。值得注意的是,25~29岁年龄组的疾病负担下降幅度最小,提示针对青年群体的健康膳食干预有限,这可能成为未来疾病负担反弹的重要风险因素,提示了针对年轻人群,特别是男性青年开展精准饮食干预的紧迫性。

本研究发现,低全谷物和低牛奶饮食是EOCRC的主要饮食风险因素。研究表明,每日全谷物摄入量每增加20克,CRC特异性死亡率降低38%^[19]。膳食纤维尤其是谷物纤维,通过肠道微生物群转化为短链脂肪酸,能够为结肠上皮细胞提供能量,具有抗炎、维持上皮屏障完整性和诱导癌细胞凋亡的作用,有助于驱动肿瘤抑制并改善CRC患者预后^[20]。此外,全谷物富含酚类化合物、木脂素等植物化学物,可通过激活Nrf2抗氧化通路、抑制NF- κ B炎症通路,以及调节胰岛

素/IGF-1信号轴等多重机制发挥抗癌作用^[21]。然而,我国超过80%的成年人存在全谷物摄入不足的问题,摄入量远低于推荐水平^[22]。同时,钙和牛奶摄入被证实与CRC患者生存率的提高有关^[23]。研究表明,牛奶摄入量增加到约400克/天,CRC风险降低约17%^[24]。牛奶的保护作用不仅源于钙离子通过与次级胆酸和游离脂肪酸结合形成不溶性皂盐,减少对肠上皮细胞的刺激和增殖促进作用,还在于其富含的乳铁蛋白、乳清蛋白及共轭亚油酸等生物活性成分可通过调节肠道免疫应答、抑制血管生成及诱导癌细胞自噬等途径抑制癌细胞生长^[25-26]。特别是维生素D可通过与其受体结合,上调细胞周期调控蛋白表达,诱导细胞周期阻滞并促进DNA损伤修复^[27]。然而,中国居民牛奶消费水平普遍较低,膳食钙摄入中牛奶的贡献率仅4.3%^[28],加剧了牛奶摄入不足对健康的不良影响。高红肉与加工肉类摄入也是EOCRC的重要饮食风险因素。研究显示,每日红肉和加工肉类摄入增加100克,CRC风险增加12%^[29]。其潜在机制包括红肉中的血红素铁促进肠道上皮细胞增殖并诱导脂质过氧化产生基因毒性醛类化合物;加工肉类中的亚硝酸盐在胃酸环境中可转化为强致癌物N-亚硝基化合物;在高温烹饪过程生成杂环胺和多环芳烃等导致DNA损伤;高肉类摄入会改变肠道菌群组成,促进慢性炎症环境形成;加工肉类中的高盐和防腐剂还会损害肠道屏障功能^[29-31]。这些因素共同增加了EOCRC的发病风险。本研究发现,归因于高加工肉类饮食的EOCRC疾病负担呈持续上升趋势。这与我国饮食结构快速“西化”以及年轻人群加工肉类消费增加、暴露窗口前移密切相关^[7]。因此,在延续早筛早诊和优化医疗体系的同时,需针对加工肉类摄入制定相应预防策略,并同步强化全谷物与蔬果等保护性饮食模式的普及,从而遏制EOCRC疾病负担的未来增长。

本研究存在一定局限性。第一,研究所基于的GBD数据为模型估算值,其对中国人群膳食摄入的评估主要依赖于有限的全国性调查,可能无法精确反映国内显著的地域与城乡饮食差异;第二,ARIMA预测模型依赖历史数据,无法纳入未来可能发生的重大公共卫生干预或行为转变,这也反映了疾病负担长期演变中存在的高度不确定性;第三,未能量化控制吸烟、饮酒、体力活动

等其他重要生活方式混杂因素。

综上所述,我国在控制饮食相关 EOCRC 方面已取得一定成效,但疾病负担仍高于全球及五类 SDI 地区水平,且预测显示未来可能呈现上升趋势,防控形势严峻。未来应着力构建针对年轻人群 EOCRC 的主动预防体系,强化对不健康饮食模式的早期干预,并同步大力推广与优化 CRC 早诊早治筛查项目,以期实现对高危青年群体的精准预防与早诊早治,从而减轻 EOCRC 疾病负担,提升全民健康水平。

参考文献

- 1 Eng C, J  come AA, Agarwal R, et al. A comprehensive framework for early-onset colorectal cancer research[J]. *Lancet Oncol*, 2022, 23(3): e116–e128. DOI: [10.1016/S1470-2045\(21\)00588-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(21)00588-X).
- 2 Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229–263. DOI: [10.3322/caac.21834](https://doi.org/10.3322/caac.21834).
- 3 Zhan Z, Chen B, Lin W, et al. Rising burden of colon and rectum cancer in China: an analysis of trends, gender disparities, and projections to 2030[J]. *Ann Surg Oncol*, 2025, 32(5): 3361–3371. DOI: [10.1245/s10434-025-16905-w](https://doi.org/10.1245/s10434-025-16905-w).
- 4 陈琛, 孙彪彪. 1990–2021 年中国和全球青少年及青年成人结直肠癌疾病负担和健康不平等分析[J]. *中华肿瘤防治杂志*, 2025, 32(5): 284–291. [Chen C, Sun BB. Analysis of disease burden and health inequality of colorectal cancer among adolescents and young adults in China and globally from 1990 to 2021[J]. *Chinese Journal of Cancer Prevention and Treatment*, 2025, 32(5): 284–291.] DOI: [10.16073/j.cnki.cjcp.2025.05.04](https://doi.org/10.16073/j.cnki.cjcp.2025.05.04).
- 5 Kasi PM, Shahjehan F, Cochuyt JJ, et al. Rising proportion of young individuals with rectal and colon cancer[J]. *Clin Colorectal Cancer*, 2019, 18(1): e87–e95. DOI: [10.1016/j.clcc.2018.10.002](https://doi.org/10.1016/j.clcc.2018.10.002).
- 6 Dinas PC, Karaventza M, Liakou C, et al. Combined effects of physical activity and diet on cancer patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *Nutrients*, 2024, 16(11): 1749. DOI: [10.3390/nu16111749](https://doi.org/10.3390/nu16111749).
- 7 O’Sullivan DE, Sutherland RL, Town S, et al. Risk factors for early-onset colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2022, 20(6): 1229–1240. e5. DOI: [10.1016/j.cgh.2021.01.037](https://doi.org/10.1016/j.cgh.2021.01.037).
- 8 Siegel RL, Torre LA, Soerjomataram I, et al. Global patterns and trends in colorectal cancer incidence in young adults[J]. *Gut*, 2019, 68(12): 2179–2185. DOI: [10.1136/gutjnl-2019-319511](https://doi.org/10.1136/gutjnl-2019-319511).
- 9 GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability (YLDs), disability-adjusted life-years (DALYs), and healthy life expectancy (HALE) for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2133–2161. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)00757-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00757-8).
- 10 GBD 2021 Risk Factors Collaborators. Global burden and strength of evidence for 88 risk factors in 204 countries and 811 subnational locations, 1990 – 2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021[J]. *Lancet*, 2024, 403(10440): 2162–2203. DOI: [10.1016/S0140-6736\(24\)00933-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)00933-4).
- 11 GBD 2019 Demographics Collaborators. Global age–sex–specific fertility, mortality, healthy life expectancy (HALE), and population estimates in 204 countries and territories, 1950–2019: a comprehensive demographic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019[J]. *Lancet*, 2020, 396(10258): 1160–1203. DOI: [10.1016/S0140-6736\(20\)30977-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30977-6).
- 12 宇传华, 白建军. 社会人口指数(SDI)的概念及其应用[J]. *公共卫生与预防医学*, 2020, 31(1): 5–10. [Yu CH, Bai JJ. The concept of socio-demographic index (SDI) and its application[J]. *Journal of Public Health and Preventive Medicine*, 2020, 31(1): 5–10.] DOI: [10.3969/j.issn.1006-2483.2020.01.002](https://doi.org/10.3969/j.issn.1006-2483.2020.01.002).
- 13 Xu L, Zhao J, Li Z, et al. National and subnational incidence, mortality and associated factors of colorectal cancer in China: a systematic analysis and modelling study[J]. *J Glob Health*, 2023, 13: 04096. DOI: [10.7189/jogh.13.04096](https://doi.org/10.7189/jogh.13.04096).
- 14 Ong SS, Xu L, Deng X, et al. Trends, global comparisons, and projections of early onset colorectal cancer burden in China based on GBD study 2021[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 2969. DOI: [10.1038/s41598-025-87730-0](https://doi.org/10.1038/s41598-025-87730-0).
- 15 Markozannes G, Becerra-Tom  s N, Cariolou M, et al. Post-diagnosis physical activity and sedentary behaviour and colorectal cancer prognosis: a Global Cancer Update Programme (CUP Global) systematic literature review and meta-analysis[J]. *Int J Cancer*, 2024, 155(3): 426–444. DOI: [10.1002/ijc.34903](https://doi.org/10.1002/ijc.34903).
- 16 Nasreddine L, Chamieh MC, Ayoub J, et al. Sex disparities in dietary intake across the lifespan: the case of Lebanon[J]. *Nutr J*, 2020, 19(1): 24. DOI: [10.1186/s12937-020-00543-x](https://doi.org/10.1186/s12937-020-00543-x).
- 17 Afify AY, Ashry MH, Hassan H. Sex differences in survival outcomes of early-onset colorectal cancer[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 22041. DOI: [10.1038/s41598-024-71999-8](https://doi.org/10.1038/s41598-024-71999-8).
- 18 Baraibar I, Ros J, Saoudi N, et al. Sex and gender perspectives in colorectal cancer[J]. *ESMO Open*, 2023, 8(2): 101204. DOI: [10.1016/j.esmoop.2023.101204](https://doi.org/10.1016/j.esmoop.2023.101204).
- 19 Song M, Wu K, Meyerhardt JA, et al. Fiber intake and survival after colorectal cancer diagnosis[J]. *JAMA Oncol*, 2018, 4(1): 71–79. DOI: [10.1001/jamaoncol.2017.3684](https://doi.org/10.1001/jamaoncol.2017.3684).
- 20 Fritsch J, Garc  s L, Quintero MA, et al. Low-fat, high-fiber diet reduces markers of inflammation and dysbiosis and improves quality of life in patients with ulcerative colitis[J]. *Clin Gastroenterol Hepatol*, 2021, 19(6): 1189–1199.e30. DOI: [10.1016/j.cgh.2020.05.026](https://doi.org/10.1016/j.cgh.2020.05.026).
- 21 Fardet A. New hypotheses for the health-protective mechanisms of whole-grain cereals: what is beyond fibre?[J]. *Nutr Res Rev*, 2010, 23(1): 65–134. DOI: [10.1017/S0954422410000041](https://doi.org/10.1017/S0954422410000041).
- 22 王同蕾, 宫照龙. 全谷物营养与健康作用[J]. *中国粮食经济*, 2024, (12): 19–21. [Wang TL, Gong ZL. Nutrition and health effects of whole grains[J]. *China Grain Economy*, 2024, (12): 19–21.] DOI: [10.3969/j.issn.1007-4821.2024.12.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-4821.2024.12.007).
- 23 Yang W, Ma Y, Smith–Warner S, et al. Calcium intake and survival

- after colorectal cancer diagnosis[J]. Clin Cancer Res, 2019, 25(6): 1980–1988. DOI: [10.1158/1078-0432.CCR-18-2965](https://doi.org/10.1158/1078-0432.CCR-18-2965).
- 24 Schwingshackl L, Schwedhelm C, Hoffmann G, et al. Food groups and risk of colorectal cancer[J]. Int J Cancer, 2018, 142(9): 1748–1758. DOI: [10.1002/ijc.31198](https://doi.org/10.1002/ijc.31198).
- 25 Yang B, McCullough ML, Gapstur SM, et al. Calcium, vitamin D, dairy products, and mortality among colorectal cancer survivors: the Cancer Prevention Study–II Nutrition Cohort[J]. J Clin Oncol, 2014, 32(22): 2335–2343. DOI: [10.1200/JCO.2014.55.3024](https://doi.org/10.1200/JCO.2014.55.3024).
- 26 Norat T, Riboli E. Dairy products and colorectal cancer: a review of possible mechanisms and epidemiological evidence[J]. Eur J Clin Nutr, 2003, 57(1): 1–17. DOI: [10.1038/sj.ejcn.1601522](https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601522).
- 27 Feldman D, Krishnan AV, Swami S, et al. The role of vitamin D in reducing cancer risk and progression[J]. Nat Rev Cancer, 2014, 14(5): 342–357. DOI: [10.1038/nrc3691](https://doi.org/10.1038/nrc3691).
- 28 Yang S, Bhargava N, O'Connor A, et al. Dairy consumption in adults in China: a systematic review[J]. BMC Nutr, 2023, 9(1): 116. DOI: [10.1186/s40795-023-00781-2](https://doi.org/10.1186/s40795-023-00781-2).
- 29 Vieira AR, Abar L, Chan DSM, et al. Foods and beverages and colorectal cancer risk: a systematic review and meta-analysis of cohort studies, an update of the evidence of the WCRF–AICR Continuous Update Project[J]. Ann Oncol, 2017, 28(8): 1788–1802. DOI: [10.1093/annonc/mdx171](https://doi.org/10.1093/annonc/mdx171).
- 30 Seiwert N, Heylmann D, Hasselwander S, et al. Mechanism of colorectal carcinogenesis triggered by heme iron from red meat [J]. Biochim Biophys Acta Rev Cancer, 2020, 1873(1): 188334. DOI: [10.1016/j.bbcan.2019.188334](https://doi.org/10.1016/j.bbcan.2019.188334).
- 31 Turesky RJ. Mechanistic evidence for red meat and processed meat intake and cancer risk: a follow-up on the International Agency for Research on Cancer evaluation of 2015[J]. Chimia (Aarau), 2018, 72(10): 718–724. DOI: [10.2533/chimia.2018.718](https://doi.org/10.2533/chimia.2018.718).
- 收稿日期: 2025 年 11 月 10 日 修回日期: 2026 年 08 月 16 日
本文编辑: 张 苗 黄 笛

引用本文: 梁瑶, 张晓宇, 曹畅, 等. 1990—2021 年中国归因于饮食风险的早发性结直肠癌疾病负担分析及预测[J]. 数理医药学杂志, 2026, 39(8): 549–558. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202511023](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202511023).

Liang Y, Zhang XY, Cao C, et al. Analysis and prediction of the disease burden of early-onset colorectal cancer attributable to dietary risks in China from 1990 to 2021[J]. Journal of Mathematical Medicine, 2026, 39(8): 549–558. DOI: [10.12173/j.issn.1004-4337.202511023](https://doi.org/10.12173/j.issn.1004-4337.202511023).