

中国与西方国家膳食结构对温室气体排放的影响及疾病负担比较研究

王睿智¹, 范经晖¹, 吴雅菲¹, 谢标^{1,2,3,4*}

¹南京师范大学环境学院, 江苏 南京

²江苏省环境风险防控与应急技术工程研究中心, 江苏 南京

³江苏省水土生态修复工程实验室, 江苏 南京

⁴江苏省地理信息资源开发与应用协同创新中心, 江苏 南京

收稿日期: 2026年2月2日; 录用日期: 2026年3月3日; 发布日期: 2026年3月19日

摘要

不同国家和地区的膳食结构存在显著差异, 尤其东西方膳食, 其饮食文化、食品消费模式和生产方式在很大程度上影响了全球环境和公共健康。本文以中国和以美国为代表的西方国家作为研究对象, 对比了1961~2020年中美膳食结构变化对温室气体排放的影响及对人群健康效应的差异。结果表明, 中国膳食结构正在向均衡化发展, 美国膳食结构较为稳定, 中国人均食物温室气体排放量从185.85 kg CO₂-eq增加到965.96 kg CO₂-eq, 增长幅度达419.75%, 而美国人均食物温室气体排放量变化较小, 已经基本达到峰值, 2020年排放值为1359.48 kg CO₂-eq, 食物温室气体排放主要贡献来自于畜禽肉的消费。在研究期间由膳食风险引起的各种疾病的DALYs百分比在美国呈现下降趋势, 而在中国则呈现上升趋势。此外, 情景分析表明, 在中国饮食完全西化的情景下, 中国食物温室气体排放量大幅上升, 这说明西方国家当前膳食结构不能满足中国环境和健康双友好的需要, 中国需根据自身特点制定更加符合中国国情和居民情况的膳食指南。

关键词

膳食结构, 食物温室气体排放, 疾病负担, 中国, 美国

A Comparative Analysis of the Impact of Dietary Structure on Greenhouse Gas Emissions and the Burden of Disease in China and the United States

Ruizhi Wang¹, Jinghui Fan¹, Yafei Wu¹, Biao Xie^{1,2,3,4*}

*通讯作者。

文章引用: 王睿智, 范经晖, 吴雅菲, 谢标. 中国与西方国家膳食结构对温室气体排放的影响及疾病负担比较研究[J]. 环境保护前沿, 2026, 16(3): 415-429. DOI: 10.12677/aep.2026.163042

¹School of the Environment, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

²Jiangsu Province Engineering Research Center of Environmental Risk Prevention and Emergency Response Technology, Nanjing Jiangsu

³Jiangsu Engineering Laboratory of Water and Soil Eco-Remediation, Nanjing Jiangsu

⁴Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Resource Development and Application, Nanjing Jiangsu

Received: February 2, 2026; accepted: March 3, 2026; published: March 19, 2026

Abstract

There are notable discrepancies in the dietary structures observed across different countries and regions, particularly between China and the US. The dietary cultures, food consumption patterns, and production methods prevalent in these two countries exert a considerable influence on the global environment and public health. This study employs China and the US as case studies to examine the disparate impacts of dietary structure shifts on greenhouse gas (GHG) emissions and population health outcomes between these two countries from 1961 to 2020. The results demonstrate that China's dietary structure is evolving towards a more balanced composition, while the dietary structure of the US remains relatively stable. China's food GHG emissions have increased significantly, from 185.85 kg CO₂ eq/cap/yr to 965.96 kg CO₂ eq/cap/yr, representing a 419.75% increase. In contrast, the US food GHG emissions have undergone less change and have reached a plateau, with a 2020 emission value of 1359.48 kg CO₂ eq/cap/yr. The primary contributor to food GHG emissions is the consumption of livestock and poultry meat. The percentage of Disability-Adjusted Life Years (DALYs) attributable to dietary risk factors exhibited a declining trajectory in the US and an upward trend in China during the study period. Furthermore, scenario analyses indicated that China's food GHG emissions increased considerably under a scenario in which China's diet was fully westernized. This suggests that the current dietary structure in the US is not suited to meet the environmental and health-related needs of China. Consequently, China must develop its dietary guidelines based on its unique circumstances and population's needs.

Keywords

Dietary Structure, Food Greenhouse Gas Emissions, Disease Burden, China, USA

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

膳食结构、气候变化和人类健康之间的关系是当前环境保护和公共卫生领域的热点问题。食物是 21 世纪人们面临的最大的健康和环境挑战之一，饮食与人类健康和环境可持续性密不可分[1]，已经成为国际目标和共识[2]。半个世纪以来，随着经济社会快速发展和人类生活水平的提升，全球食物消费水平和结构发生快速转变，肉、奶、蛋等动物性食物消费量和占比均持续增长，传统的以植物性食物为主的食物结构正转向高肉类、高糖分、高油脂摄入的“西方饮食模式”[3]。

食物系统作为人类生活方式中重要组成部分，对环境造成的影响不可忽视，人为排放的温室气体引起的气候变化已经成为当前人类面临的重大威胁之一，由消费驱动的食物系统占全球人为温室气体排放

量的 19%~29% [4], 全球淡水资源消费量的 70%和土地资源利用的 38% [5]。除了对环境的影响外, 慢性非传染性疾病的发病率也与饮食结构有关。不健康的膳食结构是导致非传染性疾病的主要风险因素之一 [6], 全球发病率的前 15 个风险因素中有 9 个是由不健康的饮食引起的, 而与饮食相关的疾病如冠心病 (CHD)、II 型糖尿病、中风和结直肠癌, 导致的死亡率占全球 40% [7] [8], 与饮食有关的疾病已成为世界各地人类死亡和残疾的主要原因 [9]。如果膳食结构不改变, 预计这些疾病将占全球疾病负担的三分之二 [10]。

不同国家和地区的膳食结构存在显著差异, 尤其是中美两国, 其饮食文化、食品消费模式和生产方式在很大程度上影响了全球环境和公共健康。中国和美国分别是发展中国家和发达国家的典型代表, 处于不同的饮食阶段。美国是最早进入食品工业化阶段的国家之一, 同时也较早研究西方饮食模式与常见的非传染性疾病之间的关系, 尝试通过改善饮食质量来减少疾病负担 [11]。中国是世界上最大的发展中国家, 也是目前世界上人口最多的国家 (占全球人口的 18%), 正在经历从传统饮食向工业化饮食的转变 [12]。1961~2021 年, 中国禽肉消费量增加了 1737.2%, 但仍低于约一半的高收入国家, 而中国的牛肉消费量仅为高收入国家的三分之一 [13]。全球疾病负担 2019 报告 (The Global Burden of Disease Study 2019) 显示, 中国可归因于饮食风险的疾病负担高达 46,813,125 人。2017 年中国归因于饮食风险的疾病负担比美国高 10% [14], 中国因饮食风险导致的疾病负担仍在增加, 而美国相应的饮食风险引起的疾病负担已度过上升期并开始下降 [6] [15], 美国膳食风险引起的疾病负担的减少表明美国已经采取了一些有效的措施。

近年来中国食物消费结构逐渐向西方饮食转变, 这可能会增加食物温室气体的排放量, 不合理的饮食结构还可能会加剧公共健康问题。本研究以中国和美国作为研究对象, 从膳食结构变化的角度对中美两国温室气体排放的影响以及与膳食因素有关的疾病负担进行了比较评估。其目的是: (1) 分析中美两国膳食结构变化; (2) 从时空角度分析比较中美两国因饮食造成的温室气体排放大小和差异; (3) 探讨中美两国不同的饮食结构对疾病负担的影响, 为中国膳食消费结构的可持续发展提供科学数据和理论依据。

2. 文献综述

从 1980 年代开始, 各国学者就开始研究食物消费造成的环境影响, 90 年代后, 食物碳排放相关的研究逐渐兴起。研究预测表明, 膳食结构向高糖、高热量、高油脂以及肉类转变的趋势将使 2050 年全球农业生产的温室气体排放量增加 80%, 造成全球森林面积和生物多样性减少等许多问题 [3]。不同饮食模式对环境的影响存在较大差异, 其中纯素食饮食是对环境最佳的饮食, 其产生的温室气体排放最低 [16], 不同国家的饮食对环境足迹的贡献不同, 说明文化偏好在消费者的环境足迹中起着重要作用 [17], 同时, 不同种类的食物温室气体排放强度差异较大, 目前大部分学者均认为, 动物性食物比植物性食物的碳足迹或碳排放因子更高, 其中牛羊肉等反刍动物要高于猪肉、鸡肉等肉类, 反刍类动物性食物的环境影响是植物性食物的 100 倍 [18]。红肉的温室气体排放强度比鸡肉、鱼肉等高约 150% [19]。

膳食结构的变化也是影响人群健康的重要影响因素。研究表明, 健康的膳食结构会显著降低 II 型糖尿病、冠心病和其他慢性非传染性疾病的发病率 [15]。英国一项大型前瞻性队列研究发现, 素食者和食鱼者缺血性心脏病发病率低于肉食者, 但是素食者的脑卒中发病率较高 [20]。摄入过多的红肉或加工肉类、全脂牛奶和精致谷物会增加 30% 的糖尿病患病风险 [21]。食物系统将全球气候变化与人群健康紧密联系在一起。各国学者致力于通过优化和调整食物消费结构来减轻温室气体排放和水资源等环境压力, 同时给居民带来健康效应。通过优化食物结构不仅可以降低 30%~60% 的碳排放, 还能将 II 型糖尿病、癌症发病率、心脏病死亡率和总死亡率分别降低 16%~41%、7%~13%、20%~26% 和 0%~18% [3]。

洛克菲勒基金会 - 柳叶刀行星健康委员会认为, 饮食结构在改善健康和减少食品生产对环境的影响方面具有巨大潜力, 通过对比分析中美两国的饮食结构差异和疾病负担情况, 可以深入了解不同饮食结构对温室气体排放和人群健康的影响, 有助于揭示疾病负担与饮食结构变化之间的关系, 为调整中国膳

食消费结构提供理论依据, 为满足中国环境友好、营养健康的膳食需求提供理论支持, 有助于“双碳”目标的实现, 同时可以带来多方面的资源环境协同效益和健康效益。

3. 方法

3.1. 食物温室气体排放

对于食物系统的温室气体排放, 本研究使用的食物碳足迹来自于 Feng [22]。他们利用 524 篇已发表论文中的碳足迹值对各大洲的食物生产进行了 meta 分析。生命周期分析的系统边界是从“摇篮到农场大门”, 包括化肥等农资的投放、粪便管理等阶段, 不包括食物运输、加工、储存等过程, 考虑到数据的可获得性, 本研究将食物生产过程的温室气体排放近似看作为食物消费过程的碳排放。食物温室气体排放计算公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n cf_i \times x_i$$

其中 C 为食物的温室气体排放量(kg CO₂ eq); cf_i 为 i 类食物的碳足迹(kg CO₂ eq/kg); x_i 为 i 类食物的消费量(kg)。

3.2. LMDI 分析法

本研究采用对数平均迪氏指数分解法(LMDI-I)探究膳食结构变化对食物系统温室气体排放的驱动效应, 将食物温室气体排放总量变化分解为人口效应、人均消费量效应和膳食结构效应, 分解公式如下:

$$C = P \times PerC \times S$$

$$\Delta C = C_t - C_0 = \Delta C_P + \Delta C_{PerC} + \Delta C_S$$

$$\Delta C_P = \sum_{i=1}^n \frac{C_{it} - C_{i0}}{\ln C_{it} - \ln C_{i0}} \times \ln \frac{P_t}{P_0}$$

$$\Delta C_{PerC} = \sum_{i=1}^n \frac{C_{it} - C_{i0}}{\ln C_{it} - \ln C_{i0}} \times \ln \frac{PerC_t}{PerC_0}$$

$$\Delta C_S = \sum_{i=1}^n \frac{C_{it} - C_{i0}}{\ln C_{it} - \ln C_{i0}} \times \ln \frac{S_{it}}{S_{i0}}$$

3.3. 膳食风险因素导致的疾病负担

本研究采用从 GBD 2021 获得的膳食风险因素归因于非传染性疾病负担变化的数据探究中美两国疾病负担与膳食结构的相关性。基于从 GBD 获得的非传染性疾病相关膳食风险因素数据, 我们通过连接点回归进一步估计了平均年度百分比变化(AAPC)以衡量疾病负担的时间变化趋势。

AAPC 用于表示特定变量在指定时期内的平均增长或变化率。在本研究中, 它是从 1990 年到 2021 年基础连接点回归模型的斜率系数的加权平均值转换而来的年变化百分比。AAPC 值表示年度变化百分比(增加、减少或无变化), 如果年度百分比变化估计值和 95%置信区间均为 >0 (或两者都为 <0), 则我们认为相应的比率处于上升(或下降)趋势。

本文所采用的统计分析软件为 Joinpoint V5.0、Origin 2024、IBM SPSS 27、Excel。

3.4. 数据来源及数据收集

本研究所需数据包括以下内容: (1) 饮食数据: 根据联合国粮食与农业组织发布的食物平衡表, 将食物消费种类划分为植物性食物(谷物、薯类、豆类、坚果类、糖类、蔬菜、水果、植物油)和动物性食物(牛羊肉、猪肉、蛋类、奶类、水产品、动物油和家禽)两大类。本研究将食物平衡表中的食物供应量以及营

营养素供应量近似地当作食物及营养素消费量进行研究,其消费量会略高于家庭实际消费量的加总量,但该指标很大程度上能反映食物消费结构的变化特征[3]。(2) 碳排放系数:食物碳足迹数据来自于 Feng [23]。Feng 运用 meta 分析核算了各大洲的农业温室气体排放系数,本研究选择亚洲和北美洲的碳足迹分别作为中国和美国食物碳排放系数(见附录中表格)。(3) 疾病负担数据:考虑到中美两国的人口基数及人口结构等问题,本研究的研究人群为中美两国患非传染性疾病的患者,本文从 2021 年全球疾病负担研究中获取了研究人群的信息:年龄标准化发病率、年龄标准化 DALYs 率、以及可归因于特定风险因素的 DALYs 百分比及率。GBD 2021 中的饮食风险包括 10 种特定食物低风险和 5 种食物的高风险。(4) 膳食指南数据:本研究使用的国家膳食指南分别为《中国居民膳食指南 2022》以及《2015~2020 美国膳食指南》(DGA)。DGA 中膳食模式是通过建模程序得出的,其推荐食物摄入量是以食物份数表示的,而中国居民膳食指南的食物单位是基于克重的,为了解决此问题,本研究采用 Blackstone [24]等人的研究结果,Blackstone 等人开发了转化因子,将 DGA 与 EAT-Lancet 委员会推荐的膳食模式进行定量比较,得到了 DGA 推荐饮食以克为单位的膳食推荐量。

4. 结果

4.1. 中国与西方国家居民膳食结构变化特征

1961~2020 年,中美两国的饮食结构演变有明显差异(图 1)。中国食物人均消费总量增长幅度为 191.55% (315.89 千克/年到 920.98 千克/年),食物消费结构逐渐由“粮食主导”向“植物性食物为主,动物性食物为辅”转变。相比之下,美国食物消费结构已经较为稳定,人均食物消费总量基本维持在 800 千克/年以上,呈现先小幅度上升达到峰值后轻微的回落趋势。

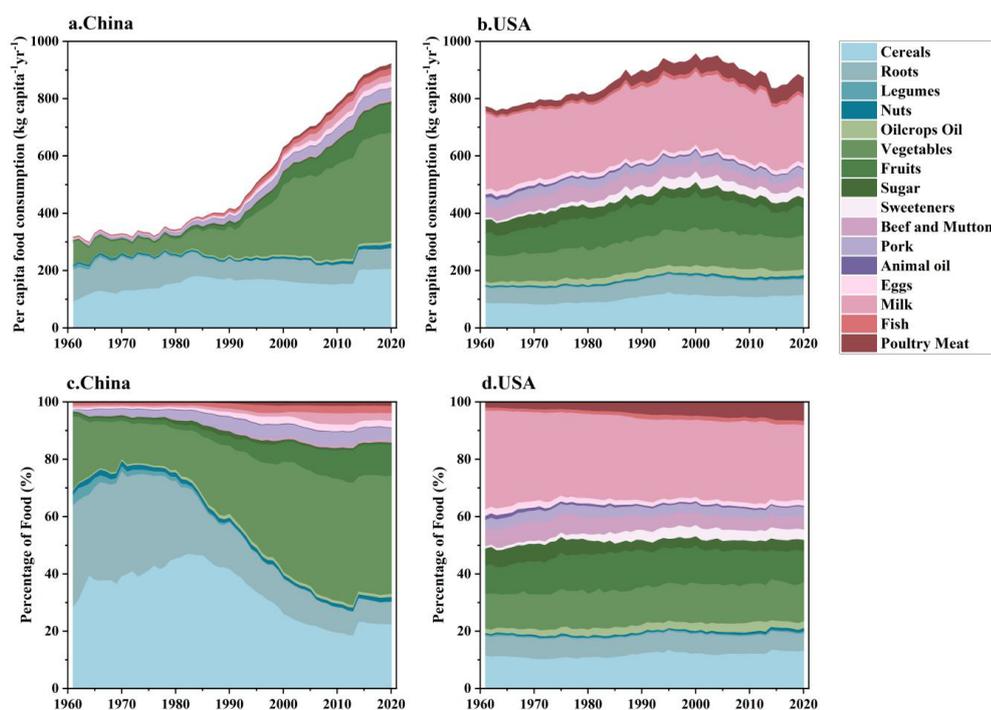


Figure 1. Changes in per capita food consumption and food consumption structure of residents in China and the United States (a and b show the trends of per capita food consumption in China and the United States respectively; c and d show the trends of the proportion of food consumption structure in China and the United States respectively.)

图 1. 中美居民人均食物消费量及食物消费结构变化(a. b.分别为中国和美国人均食物消费量的变化趋势; c. d.分别为中国和美国人食物消费结构所占比例的变化趋势。)

中国动物类食物消费呈现迅速增长的趋势,猪肉、水产品、蛋类的人均食物消费量已经超过美国,动物类食物占比从1990年的3.56%增加到2020年的14.28%。美国只有禽肉和水产品处于增长趋势,动物类食物占比有小幅度减少(50.56%~43.74%),奶类消费量一直处于较高水平,2020年中国乳制品消费量仅为美国的10%。从植物性食物消费角度看,1961~2020年中国除薯类和豆类呈现下降趋势外,蔬菜、水果等食物均呈现较为明显的增长趋势(图2)。谷物和坚果的消费量虽然有所上升,但谷薯类食物(谷物、薯类、豆类和坚果)的占比从1961年的68.92%下降到2020年的31.72%。与中国相比,美国植物性食物消费量整体呈现较为平缓的形式,只有植物油增速较快,谷物、坚果、蔬菜、水果等小幅上升。西方国家糖类消费量一直较高,糖类消费量经历了先增长后下降的过程,现在已经趋于平稳,甜味剂的消费量呈现快速增长趋势,2000年开始逐步下降后趋于平稳。2020年,中国的糖类消费量是美国的22%,甜味剂仅为美国的2%。

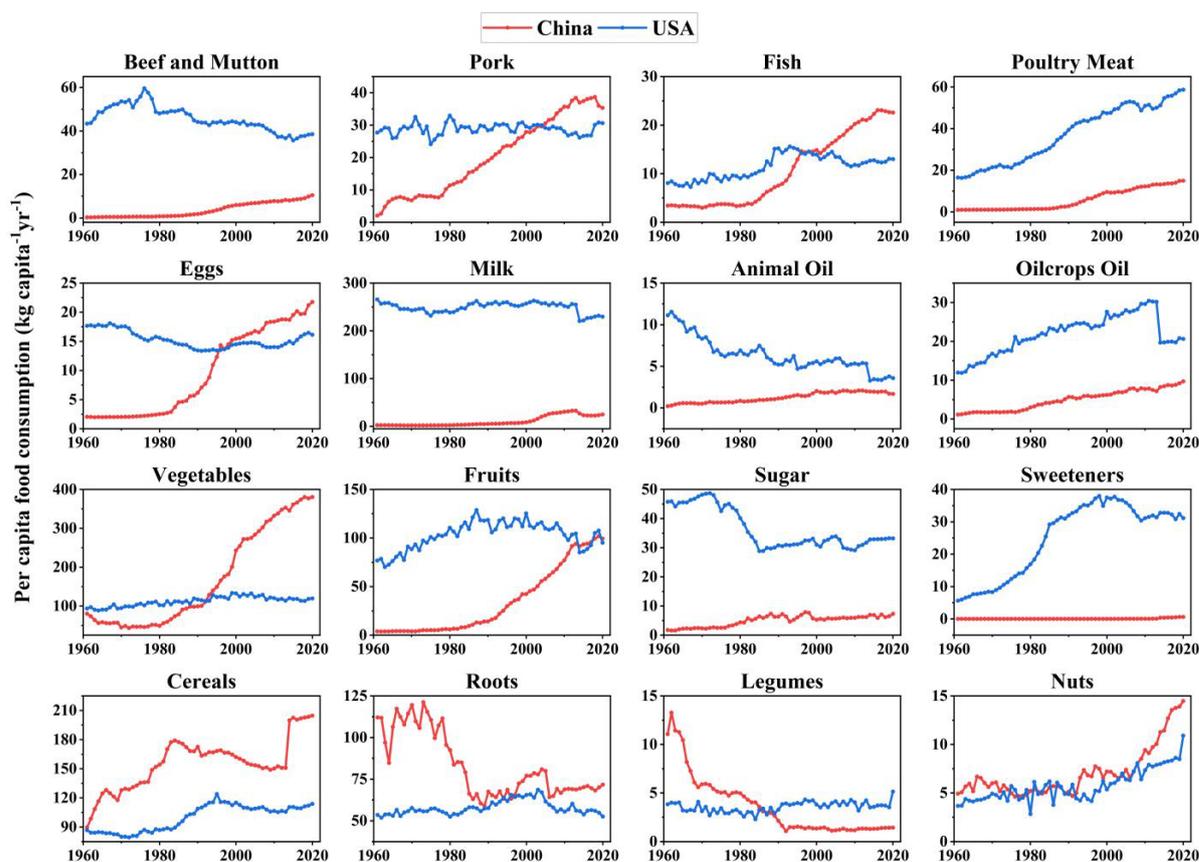


Figure 2. Comparison of the consumption quantities of various foods by Chinese and American residents from 1961 to 2020
图 2. 1961~2020 年中美居民各项食物消费量对比

碳水化合物、蛋白质、脂肪三大宏量营养素是衡量食物供给状况的主要指标,根据粮农组织统计数据库的粮食平衡表(FBS),1961~2020年,随着食物消费量和食物消费结构的变化,中美两国营养消费表现出同样趋势,都在向高热量、高脂肪的饮食转变。中国营养素消费基数相对较低,但其中蛋白质消费量增速较快。2020年美国的蛋白质、脂肪消费分别是中国的1.05、1.99倍,美国的脂肪消费量明显高于中国,中国蛋白质消费量和美国差距在不断缩小(图3)。中美两国营养消费结构存在一定差异(FigS1),中国热量消费主要由谷物(50.15%)提供(FigS2),美国热量消费主要由动物性食物(29.28%)、植物油(19.66%)和糖类(16.00%)提供;植物油是中美两国第一大脂肪提供源,而中国第二大脂肪提供源是猪肉(18.54%),

美国是奶类(14.57%)。对于蛋白质来说,美国主要蛋白质消费由动物性食物提供,中国蛋白质消费由植物性食物提供,其中谷物占比 37%。

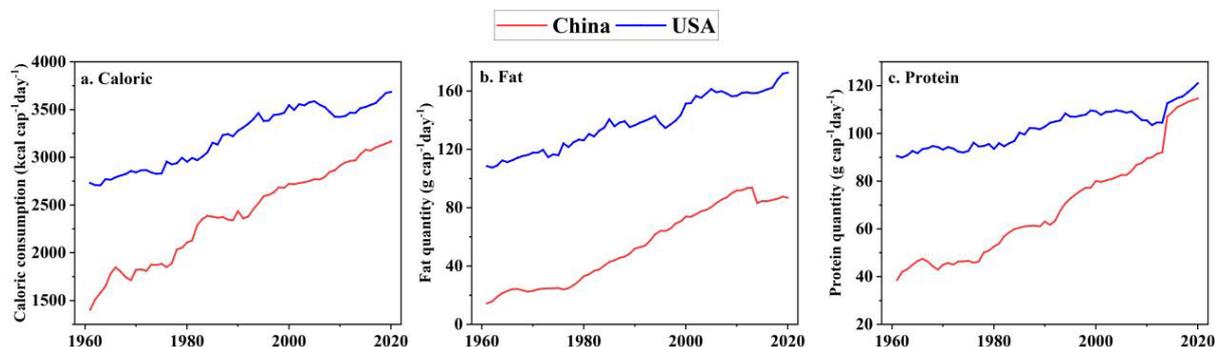


Figure 3. Nutrient supply trends for Chinese and American residents

图 3. 中美居民营养供应趋势

4.2. 基于膳食结构演变的温室气体排放变化

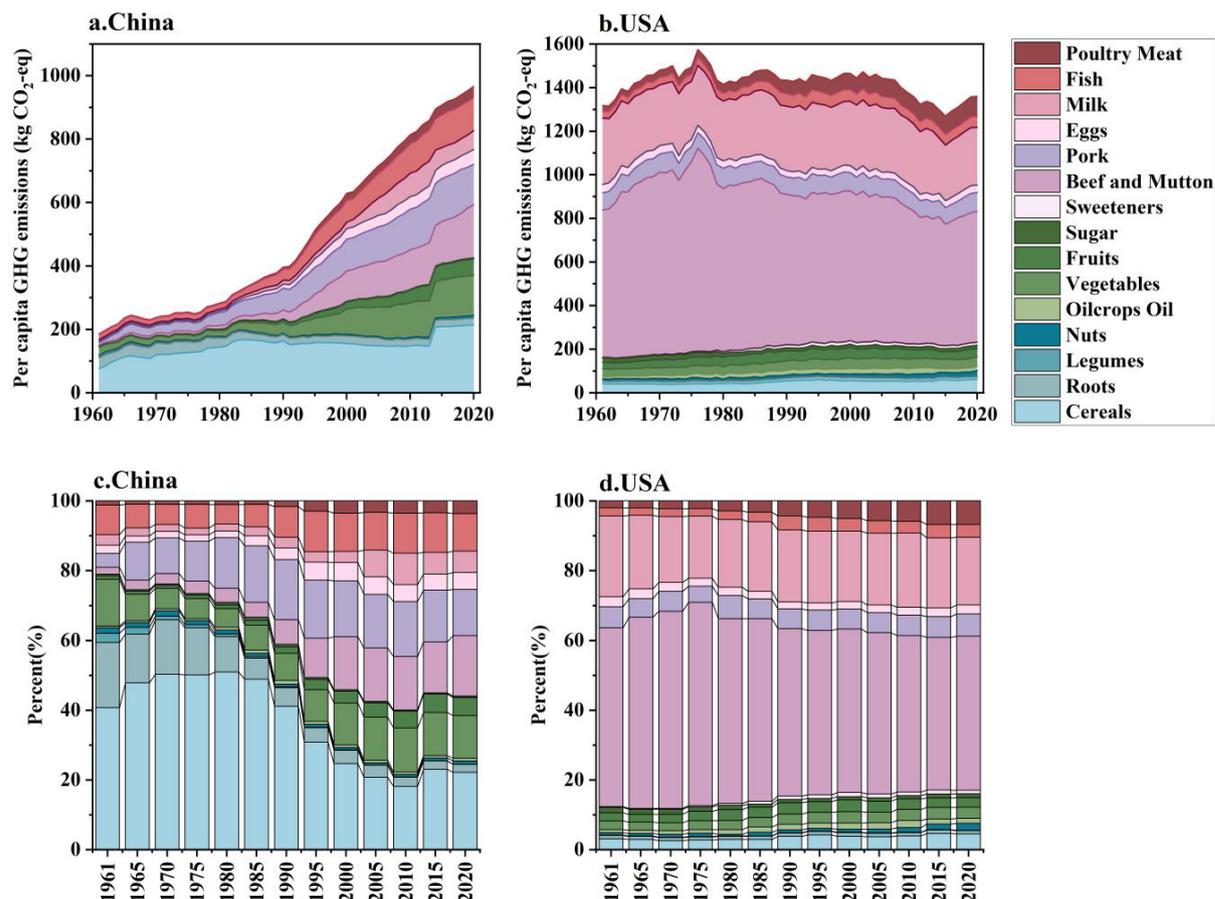


Figure 4. Changes in per capita food greenhouse gas emissions and emission structures (a. b. represent the changes in per capita food greenhouse gas emissions of China and the United States respectively; c. d. represent the changes in greenhouse gas emission structures of China and the United States respectively)

图 4. 中美人均食物温室气体排放量及排放结构变化(a. b. 分别为中美两国人均食物温室气体排放量变化; c. d. 分别为中美两国温室气体排放结构变化)

人均食物温室气体排放基本可以反映出中美两国的食物消费结构。1961~2020年,中国人均食物温室气体排放量从185.85 kg CO₂当量增长到965.96 kg CO₂当量,动物性食物的占比从21.02%增加到55.98% (图4(a))。西方国家人均食物温室气体排放维持在较高水平,呈现轻微的先增加后下降的趋势,美国人均食物温室气体排放量从1961年的1317.41 kg CO₂当量增加到2020年的1359.48 kg CO₂当量,动物类食物占比从87.68%下降到82.98% (图4(b))。

1961年~2020年,中国人均食物温室气体排放量呈现上升趋势,其中动物类食物对温室气体排放的贡献逐年增大,牛羊肉占比从2%增加到17%,猪肉占比从4%增加到13%。植物类食物中,谷物类占比从41%下降到22%,蔬菜的占比保持稳定(12%~13%),水果和植物油的增幅最为明显,分别从1.97 kg、0.89 kg增长到50.62 kg、7.47 kg (图4(c))。相对而言,美国人均食物温室气体排放结构较为稳定,动物类食物是最大的温室气体排放来源,其中牛羊肉和奶类的贡献最大,但均有下降趋势,1961年~2020年,牛羊肉和奶类的占比分别从51%、23%下降到44%、19% (图4(d))。

2020年,中国和美国的动物食物温室气体排放总量分别为1390.33 Mt CO₂当量和450.00 Mt CO₂当量,中国食物温室气体排放总量比美国高出约3倍(图5)。研究期间,中美两国食物温室气体排放总量均呈现上升趋势,中国的增长幅度较大(1031.92%),美国增长幅度较为平缓(80.46%)。1961年,中国食物温室气体排放总量比美国低126.52 Mt CO₂当量,1985年,中国食物温室气体排放总量超过美国,之后与美国的差距越来越大。

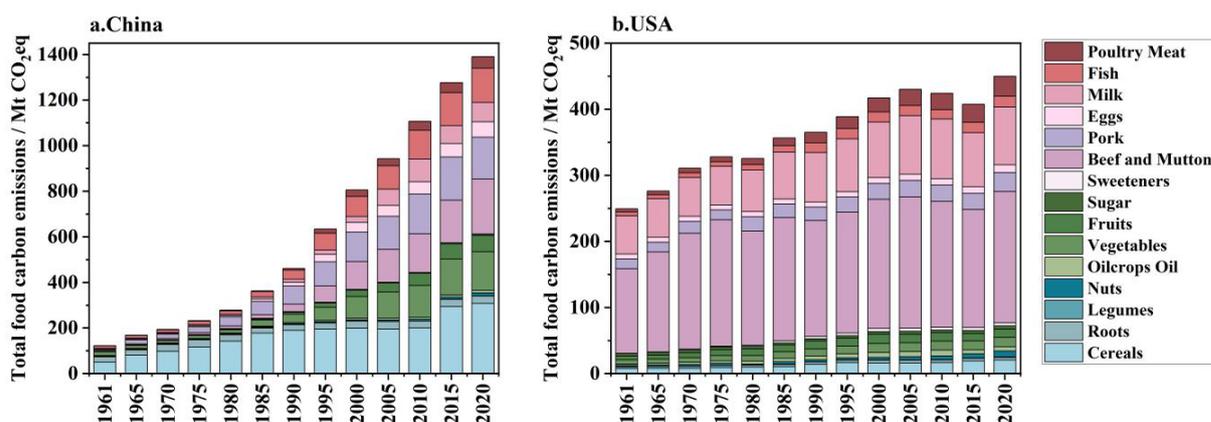


Figure 5. Changes in total greenhouse gas emissions from food in China and the United States
图5. 中美食物温室气体排放总量变化

4.3. 基于膳食指南情景下的食物温室气体排放演变及效应

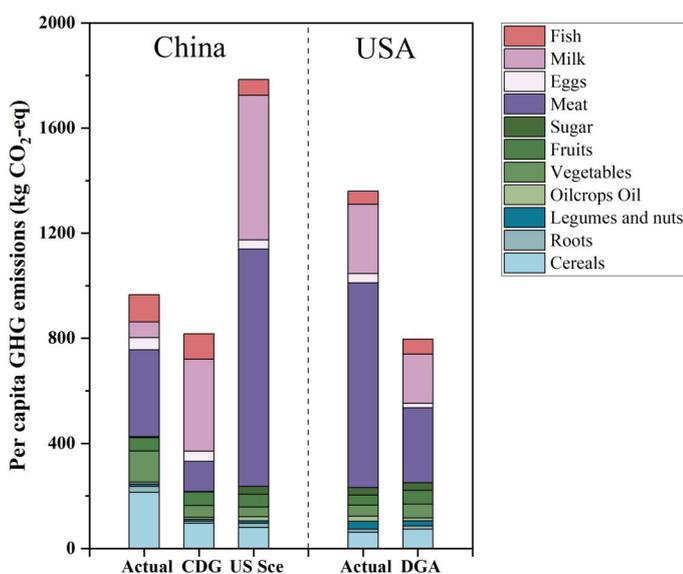
1961~2020年中食物温室气体排放总量变化的LMDI分解结果显示(表1),中国排放增长由人口效应、人均消费量效应和膳食结构效应共同推动,总贡献量为1304.48 Mt CO₂ eq,其中膳食结构效应为核心驱动因素,贡献量达586.72 Mt CO₂ eq,贡献率为45.00%;人均消费量效应贡献量428.96 Mt CO₂ eq,贡献率32.88%;人口效应贡献量288.80 Mt CO₂ eq,贡献率22.14%。从时间阶段看,1981~2000年膳食结构效应贡献率达52.36%,为各阶段最高,对应中国动物性食物消费快速增长期。

美国1961~2020年排放增长幅度较小,总贡献量为199.87 Mt CO₂ eq,其中人口效应为主要驱动因素,贡献量105.63 Mt CO₂ eq,贡献率52.85%;人均消费量效应贡献量58.74 Mt CO₂ eq,贡献率29.39%;膳食结构效应贡献量35.50 Mt CO₂ eq,贡献率仅17.76%,且2001~2020年膳食结构效应呈现轻微负贡献(-3.21 Mt CO₂ eq),对应美国动物性食物消费占比小幅下降,膳食结构向低碳化轻微调整。

Table 1. LMDI decomposition results of changes in total food-related greenhouse gas emissions in China and the United States from 1961 to 2020**表 1.** 1961~2020 年中食物温室气体排放总量变化的 LMDI 分解结果

国家	研究阶段	总变化量	人口效应	人均消费量	膳食结构
			贡献量/贡献率	贡献量/贡献率	贡献量/贡献率
China	1961~1980	156.35	45.21/28.92	59.87/38.30	51.27/32.79
China	1981~2000	489.67	98.56/20.13	202.65/41.39	288.46/52.36
China	2001~2020	658.46	145.03/22.03	166.44/25.28	346.99/42.69
China	1961~2020	1304.48	288.80/22.14	428.96/32.88	586.72/45.00
USA	1961~1980	78.92	42.35/53.67	26.87/34.05	9.70/12.28
USA	1981~2000	65.32	38.69/59.23	21.56/33.01	5.07/7.76
USA	2001~2020	55.63	24.59/44.20	10.31/18.53	-3.21/-5.77
USA	1961~2020	199.87	105.63/52.85	58.74/29.39	35.50/17.76

为进一步探讨中美两国的膳食结构是否平衡, 以及其如何向低碳消费模式演变, 本研究将《中国居民膳食指南 2022》(CDG)和《2015~2020 美国膳食指南》(DGA)推荐的膳食模式作为情景膳食模式, 分别计算了中美两国相应情景下的食物温室气体排放量, 并与 2020 年实际食物温室气体排放量进行了比较。根据研究结果, 基于《中国居民膳食指南 2022》的理论人均食物温室气体排放量为 817.2 kg CO₂eq, 低于 2020 年实际人均食物温室气体排放量。其中谷物、薯类、蔬菜及畜禽肉的实际温室气体排放量显著高于理论水平, 奶类的实际温室气体排放量显著低于理论排放量。基于《2015~2020 美国膳食指南》的理论人均温室气体排放量为 785.9 kg CO₂eq, 显著低于 2020 年美国实际人均食物温室气体排放量。其中畜禽肉、奶类及蛋类的实际温室气体排放量显著高于理论水平, 蔬菜、水果及水产品的实际温室气体排放量低于理论排放量(图 6)。

**Figure 6.** Comparison of actual per capita food greenhouse gas emissions in China and the United States with the recommended values from dietary guidelines**图 6.** 中美两国实际人均食物温室气体排放与膳食指南推荐值比较

本研究还假设未来中国膳食结构进一步西化,接近于美国当前(2020年)的膳食结构,中国的食物温室气体排放会怎样演变。通过图6可以看出,假设中国饮食完全西化,其食物产生的人均温室气体排放量为1784.73 kg CO₂-eq,将大大超过目前中国和美国实际的温室气体排放。与美国实际温室气体排放相比,西化情景下主要是由于畜禽肉类和奶类的排放大于美国,主要原因可能是中国畜禽肉以及奶类的碳排放系数较美国高。与中国实际温室气体排放相比,西化情景下谷物、蔬菜和水产品的排放量小于实际情况,而畜禽肉和奶类的排放量远大于实际情况,主要是因为西化情景下的奶类消费量和牛羊肉消费量远远高于中国实际情况。

4.4. 饮食风险因素导致的疾病负担变化趋势

1990~2021年,由膳食风险引起的各种疾病的DALYs百分比在西方国家呈现下降趋势,而在中国则呈现上升趋势,且高于全球平均水平,并于2002年开始超过美国。而对于非传染性疾病来说,从1990年开始,中国非传染性疾病可归因于膳食风险的DALYs百分比就高于美国,呈现下降-上升-下降的趋势,并于2008年超过全球平均水平,美国则呈现下降趋势(图7)。

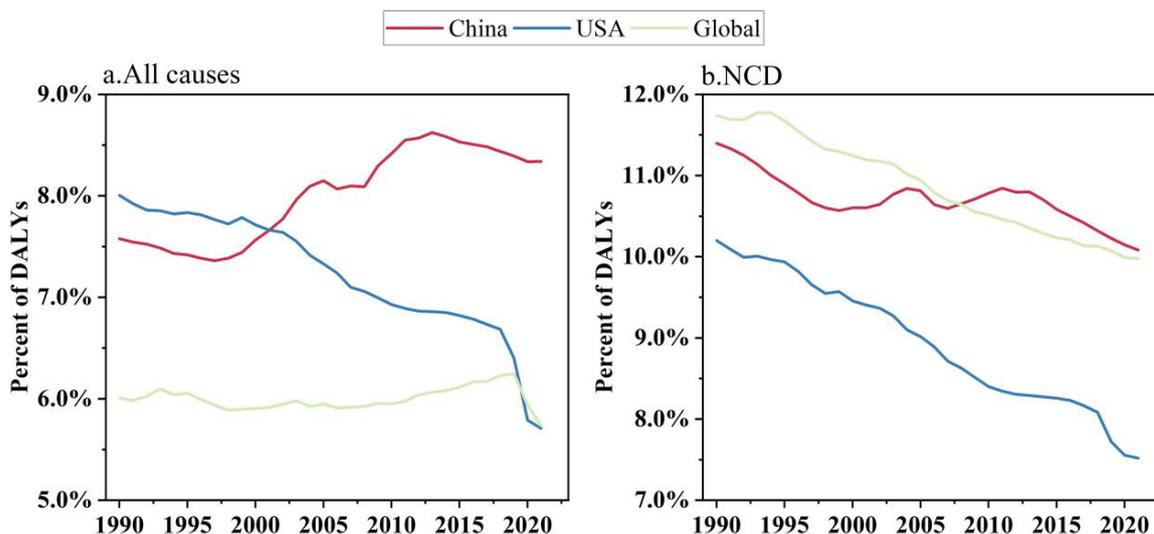


Figure 7. Percentage changes in DALYs caused by dietary risk factors from 1990 to 2019

图7. 1990~2019年饮食风险因素导致的DALYs百分比变化

本研究根据GBD所提供膳食风险造成的疾病DALYs率(1/10万)进行研究。具体来说,对于非传染性疾病(NCD),2021年中国五大膳食风险是高钠(899.57)、低全谷物(406.72)、低水果(349.4)、低不饱和脂肪酸(172.83)和低坚果(122.3);美国的五大膳食风险是高加工肉(423.15)、低全谷物(344.46)、低水果(308.53)、低蔬菜(205.35)和高钠(185.47)(表2)。1990~2021年,中国低不饱和脂肪酸和低全谷物导致的NCD DALYs率无显著变化,而美国饱和脂肪酸导致的DALYs率的下降幅度远大于中国(AAPC: -0.25% vs -5.71%)。其他三种膳食风险因素导致的中国DALYs率均呈现下降趋势,其中低水果的下降幅度最大(AAPC: -3.38%),与美国相比,中国高钠饮食呈现下降趋势,而美国则呈现小幅上升趋势,但是中国由于高钠造成的DALYs率仍是美国的4.85倍。除这几种主要膳食风险因素外,中国由于高加工肉和高糖饮料造成的负担呈现急速上升趋势,均高于美国的上升幅度(AAPC: 2.64% vs 0.3%, 5.38% vs 2.28%)。在所有膳食风险因素中,由低蔬菜造成的疾病负担呈现最为明显的下降趋势(AAPC: 8.34%),1990~2021年,其造成的DALYs率下降了93.16%,这主要归因于中国蔬菜的消费量上升。

Table 2. DALY rates (disability-adjusted life years) of non-communicable diseases attributed to dietary risk factors in China and the United States from 1990 to 2020, along with the average annual percentage change**表 2.** 1990~2020 年中美两国归因于膳食风险因素的非传染性疾病 DALYs 率及平均年度变化百分比

Location	NCD DALYs (1/100,000)		
	Rate (95% UI)		AAPC (95% CI)
	1990	2021	1990~2021
Diet high in sodium			
China	1618.24 (593.32~2987.45)	899.57 (297.94~1718.1)	-1.91* (-2.1~-1.72)
USA	167.55 (0.36~638.23)	185.47 (6.39~523.22)	0.35* (0.2~0.51)
Diet high in processed meat			
China	20.05 (2.18~36.86)	44.2 (7.19~81.05)	2.64* (2.39~2.88)
USA	385.77 (98.47~628.8)	423.15 (114.99~696.42)	0.3* (0.21~0.4)
Diet high in sugar-sweetened beverages			
China	3.33 (1.39~5.53)	16.77 (7.74~27.01)	5.38* (5.1~5.66)
USA	57.48 (23.33~92.04)	115.21 (55.02~176.36)	2.28* (2.16~2.41)
Diet low in fiber			
China	319.59 (46.67~582.84)	106.78 (27.86~192.19)	-3.52* (-3.75~-3.29)
USA	355.12 (169.15~529.36)	118.55 (53.86~183.26)	-3.52* (-3.6~-3.44)
Diet low in fruits			
China	1000.36 (439.68~1471.42)	349.4 (142.91~553.37)	-3.38* (-3.62~-3.15)
USA	387.7 (156.03~596.58)	308.53 (178.41~424.86)	-0.73* (-0.94~-0.51)
Diet low in legumes			
China	77.49 (-62.33~197.58)	58.48 (-45.5~158.96)	-0.94* (-1.2~-0.69)
USA	179.35 (-148.28~461.08)	92.15 (-76.35~234.82)	-2.14* (-2.31~-1.96)
Diet low in nuts and seeds			
China	205.77 (60.76~339.76)	122.3 (33.8~214.48)	-1.68* (-2~-1.36)
USA	112.12 (30.65~191.06)	24.2 (6.52~42.25)	-4.86* (-5.3~-4.42)
Diet low in omega-6 polyunsaturated fatty acids			
China	186.26 (-582.33~706.47)	172.83 (-505.67~669.37)	-0.25 (-0.5~-0.01)
USA	101.4 (-221.25~389.76)	16.74 (-33.72~66.12)	-5.71* (-5.93~-5.5)
Diet low in seafood omega-3 fatty acids			
China	190.45 (40.01~315.64)	74.9 (13.91~135.9)	-3* (-3.23~-2.77)
USA	264.55 (50.45~457.46)	137.16 (27.42~234.54)	-2.09* (-2.38~-1.8)
Diet low in vegetables			
China	546.48 (302.18~782.09)	37.38 (14.27~73.05)	-8.34* (-8.67~-8.01)
USA	188.94 (106.19~281.1)	205.35 (142.96~277.25)	0.35 (0.11~0.59)

续表

Diet low in whole grains			
China	412.13 (128.66~669.78)	406.72 (138.7~663.63)	-0.05 (-0.19~0.08)
USA	563.16 (290.02~815.12)	344.46 (156.54~513.17)	-1.61* (-1.72~-1.5)
Diet low in calcium			
China	60.81 (43.84~79.01)	23.77 (17.1~32.24)	-3.02* (-3.26~-2.79)
USA	15.57 (11.24~20.78)	8.8 (6.29~11.78)	-1.82* (-2.07~-1.56)
Diet low in milk			
China	70.29 (20.94~113.99)	57.87 (18.03~95.05)	-0.62* (-0.75~-0.49)
USA	43.93 (11.95~75.42)	25.24 (6.79~43.41)	-1.77* (-2.04~-1.5)

*P < 0.05.

5. 讨论

1961~2020年,中国膳食结构由以谷物为主的单一模式向多元化模式转变[24],食物消费量呈现迅速增长趋势。而西方国家的饮食结构较早转变为高热量、肉类消费持续增长的格局,现阶段肉类消费在西方国家的饮食结构中处于稳定且可能下降的阶段,对其他类食物的需求在持续增加[25]。粮农组织预测,到本世纪中叶,肉类消费总量将增长76%,其中猪肉和牛肉的消费量每年将增长6.9%和42% [26]。自1961年以来,中国的动物性食品与植物性食品的比例一直在上升,而西方国家的比例则呈下降趋势。肉类等高热量食物的显著增加以及人口数量的大量增长,一定会带来更加严重的气候变化影响,特别是对于饮食结构正在快速变化的中国来说。因此,面对快速增长的人口数量和不断变化的膳食结构,弄清中国饮食变化对温室气体排放的影响极为重要。

根据粮农组织的研究,世界粮食系统占全球人为温室气体排放量的三分之一以上[27]。中国的人均食品温室气体排放低于一些以肉类为主的发达国家,这是因为中国人的饮食结构主要以蔬菜和谷物为主,肉类食物消费特别是牛肉的消费很少[28][29]。但是,食物温室气体排放的持续增加仍将对气候变化产生较大影响,且影响程度正在加深。本研究结果表明,中美两国食物温室气体排放差异明显,中国的增幅较大,经历了由植物性食物主导到动物性食物主导的阶段,牛羊肉消费呈现上升趋势,其对食物温室气体排放的影响比谷物类食物高40倍[24],西方国家较为稳定,一直是动物性食物占比最大,其人均食物温室气体排放已经基本达到峰值,而中国人均食物温室气体排放还处于增长阶段,中美两国食物温室气体排放总量均处于增长状态,因膳食结构的变化导致中国食物温室气体排放增长较为快速。

LMDI分解分析结果表明,膳食结构效应是中国食物温室气体排放增长的核心驱动因素,这与中国动物性食物消费占比持续提升直接相关,牛羊肉、家禽肉等排放强度较高的食物消费增长,成为膳食结构效应的主要贡献来源。而美国排放增长则以人口效应为主,膳食结构效应贡献率极低且近年呈现负贡献,反映出美国膳食结构已趋于稳定,且轻微向低碳化调整。同时,静态碳足迹系数的误差分析显示,中国畜牧业效率提升带来的单位肉类碳足迹下降不可忽视,早期散养阶段排放被低估、近期规模化阶段增长被高估,但这一误差未改变中国碳排放持续增长的核心趋势,仅影响增长幅度的精准核算,而美国畜牧业成熟度高,静态系数的误差可忽略不计。

食物温室气体排放效应表明,国家膳食指南所指导的膳食结构对温室气体排放有一定的减少作用。总体来看,与均衡膳食模式相比,中国实际食物碳排仍未达到峰值,畜禽消费是食物温室气体排放增幅

较大的主要原因。因此，减少居民对温室气体排放强度较高的食物的摄入量，增加优质蛋白的摄入量，将对促进低碳饮食，确保营养均衡产生积极作用。本研究通过设置中国饮食向西方国家现有的膳食结构转化的情景，发现如果中国饮食持续西化，那么中国饮食温室气体排放量将达到一个前所未有的高度，这说明中国饮食结构西化不利于达成“双碳”目标，反而对环境会产生不好的影响。

与此同时，随着居民饮食结构的快速变化，中国因超重和肥胖引起的慢性病发病率显著增加。越来越多的研究指出，动物性食物将增加非传染性疾病的发病率[30]-[32]，饮食不当是中国慢性病的重要危险因素[33]。研究结果表明由膳食风险因素导致的疾病负担在西方国家呈现下降趋势，而在中国则呈现上升趋势。中国归因于高加工肉和高糖饮料的疾病负担呈现急速上升趋势，而西方国家的上升幅度则小于中国，除此之外，中国还有不饱和脂肪酸摄入不足的问题。美国的肥胖率和超重率已经达到 73% [34]，但西方国家已经开始重新考虑动物性饮食的危险[35]。

因此，在满足营养均衡的前提下，引导中国饮食结构向低碳与健康并存的模式转变非常迫切。如果中国膳食结构继续西化，其对于中国实现“双碳”目标非常不利，但是西方国家膳食结构造成的疾病负担低于中国，这说明西方国家当前的膳食结构对于中国来说，并不能满足环境和健康双友好的需要。目前中国膳食结构仍存在优质蛋白质如奶类摄入不足、肉类消费过高、偏重高热量、高脂肪食物等问题。建议未来饮食在满足营养摄入量的前提下，减少高脂肪、高热量肉类的摄入量，增加谷类摄入量和乳制品等优质蛋白质的摄入量。

6. 结论

半个世纪以来，中国膳食结构和食物消费量正在经历巨大的转变，食物消费量呈现上升趋势，膳食结构正在向多元化模式转变，而西方国家的膳食结构较为稳定，植物性食物和动物性食物占比相当。中国食物温室气体排放仍处于增长阶段，而美国人均食物温室气体排放已经基本达到温室气体排放峰值，中美两国食物温室气体排放结构也存在差异，中国食物温室气体排放构成经历了由谷薯类为主到各类食物比例均衡的转变，西方国家食物温室气体排放一直是牛羊肉、奶类等动物类食物占较大比例。由膳食风险引起的各种疾病的 DALYs 百分比在西方国家呈现下降趋势，而在中国则呈现上升趋势，且高于全球平均水平。高加工肉和高糖饮料造成的负担呈现急速上升趋势，动物性食品的增加对健康和环境构成了重大威胁。通过构建中国饮食向西方国家当前膳食结构转变的情景，发现西化情景下中国温室气体排放量会大幅上升，虽然西方国家当前膳食结构导致的疾病负担情况好于中国，但对中国的环境会造成较大负担，这说明西方国家当前的膳食结构不能满足中国环境和健康双友好的需求，中国膳食可持续发展不能完全借鉴他人情况，而应该根据中国居民实际情况，有针对性的制定适合中国人的膳食指南。

基金项目

江苏省研究生科研与实践创新计划项目(SJCX25_0703)。

参考文献

- [1] Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., *et al.* (2019) Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on Healthy Diets from Sustainable Food Systems. *The Lancet*, **393**, 447-492. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)31788-4)
- [2] Kearney, J. (2010) Food Consumption Trends and Drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, **365**, 2793-2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>
- [3] Tilman, D. and Clark, M. (2014) Global Diets Link Environmental Sustainability and Human Health. *Nature*, **515**, 518-522. <https://doi.org/10.1038/nature13959>
- [4] Vermeulen, S.J., Campbell, B.M. and Ingram, J.S.I. (2012) Climate Change and Food Systems. *Annual Review of*

- Environment and Resources*, **37**, 195-222. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- [5] United Nations Educational S, Organization C (2021) The United Nations World Water Development Report 2021. United Nations.
- [6] Afshin, A., Sur, P.J., Fay, K.A., Cornaby, L., Ferrara, G., Salama, J.S., *et al.* (2019) Health Effects of Dietary Risks in 195 Countries, 1990-2017: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet*, **393**, 1958-1972. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)30041-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)30041-8)
- [7] Forouzanfar, M.H., Alexander, L., Anderson, H.R., Bachman, V.F., Biryukov, S., Brauer, M., *et al.* (2015) Global, Regional, and National Comparative Risk Assessment of 79 Behavioural, Environmental and Occupational, and Metabolic Risks or Clusters of Risks in 188 Countries, 1990-2013: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, **386**, 2287-2323. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)00128-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)00128-2)
- [8] (IHME) IFHMAE (2024) GBD Compare Data Visualization.
- [9] Horton, R. (2012) GBD 2010: Understanding Disease, Injury, and Risk. *The Lancet*, **380**, 2053-2054. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(12\)62133-3](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(12)62133-3)
- [10] Hu, F.B. (2011) Globalization of Diabetes. *Diabetes Care*, **34**, 1249-1257. <https://doi.org/10.2337/dc11-0442>
- [11] Lee, J.H., Duster, M., Roberts, T. and Devinsky, O. (2022) United States Dietary Trends since 1800: Lack of Association between Saturated Fatty Acid Consumption and Non-Communicable Diseases. *Frontiers in Nutrition*, **8**, Article ID: 748847. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.748847>
- [12] Fardet, A., Aubrun, K. and Rock, E. (2021) Nutrition Transition and Chronic Diseases in China (1990-2019): Industrially Processed and Animal Calories Rather than Nutrients and Total Calories as Potential Determinants of the Health Impact. *Public Health Nutrition*, **24**, 5561-5575. <https://doi.org/10.1017/s1368980021003311>
- [13] Sun, Z., Zhan, Y., Liu, L., Ye, Q. and Zhang, Q. (2024) China's Dietary Transition and Its Impact on Cropland Demand for Sustainable Agriculture. *Sustainable Production and Consumption*, **49**, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.06.018>
- [14] Database TFAAOS (2015) Food Security Indicators (1990-2016).
- [15] Liang, S, Wang, L, Wu, X., *et al.* (2023) The Different Trends in the Burden of Neurological and Mental Disorders Following Dietary Transition in China, the USA, and the World: An Extension Analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Frontiers in Nutrition*, **9**, 1075737. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.957688>
- [16] Chai, B.C., van der Voort, J.R., Grofelnik, K., Eliasdottir, H.G., Klöss, I. and Perez-Cueto, F.J.A. (2019) Which Diet Has the Least Environmental Impact on Our Planet? A Systematic Review of Vegan, Vegetarian and Omnivorous Diets. *Sustainability*, **11**, Article No. 4110. <https://doi.org/10.3390/su11154110>
- [17] Mertens, E., Kuijsten, A., van Zanten, H.H., Kaptijn, G., Dofková, M., Mistura, L., *et al.* (2019) Dietary Choices and Environmental Impact in Four European Countries. *Journal of Cleaner Production*, **237**, Article ID: 117827. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117827>
- [18] Clark, M. and Tilman, D. (2017) Comparative Analysis of Environmental Impacts of Agricultural Production Systems, Agricultural Input Efficiency, and Food Choice. *Environmental Research Letters*, **12**, Article ID: 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- [19] Weber, C.L. and Matthews, H.S. (2008) Food-Miles and the Relative Climate Impacts of Food Choices in the United States. *Environmental Science & Technology*, **42**, 3508-3513. <https://doi.org/10.1021/es702969f>
- [20] Tong, T.Y.N., Appleby, P.N., Bradbury, K.E., Perez-Cornago, A., Travis, R.C., Clarke, R., *et al.* (2019) Risks of Ischaemic Heart Disease and Stroke in Meat Eaters, Fish Eaters, and Vegetarians over 18 Years of Follow-Up: Results from the Prospective EPIC-Oxford Study. *BMJ*, **366**, l4897. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4897>
- [21] Maghsoudi, Z., Ghiasvand, R. and Salehi-Abargouei, A. (2015) Empirically Derived Dietary Patterns and Incident Type 2 Diabetes Mellitus: A Systematic Review and Meta-Analysis on Prospective Observational Studies. *Public Health Nutrition*, **19**, 230-241. <https://doi.org/10.1017/s1368980015001251>
- [22] Feng, S., Lakshmanan, P., Zhang, Y., Zhang, T., Liang, T., Zhang, W., *et al.* (2023) A Comprehensive Continental-Scale Analysis of Carbon Footprint of Food Production: Comparing Continents around the World. *Journal of Cleaner Production*, **426**, Article ID: 138939. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138939>
- [23] Blackstone, N.T. and Conrad, Z. (2020) Comparing the Recommended Eating Patterns of the Eat-Lancet Commission and Dietary Guidelines for Americans: Implications for Sustainable Nutrition. *Current Developments in Nutrition*, **4**, nzaa015. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa015>
- [24] Zhu, Y., Wang, Z. and Zhu, X. (2023) Utilization Effect of Water-Land Resources under the Evolution of Chinese Dietary Patterns. *Journal of Geographical Sciences*, **33**, 741-759. <https://doi.org/10.1007/s11442-023-2104-z>
- [25] Zhu, Y., Zhang, Y. and Zhu, X. (2023) Carbon Emission Effects Driven by Evolution of Chinese Dietary Structure from 1987 to 2020. *Chinese Geographical Science*, **34**, 181-194. <https://doi.org/10.1007/s11769-023-1374-9>

-
- [26] Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. and Befort, B.L. (2011) Global Food Demand and the Sustainable Intensification of Agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 20260-20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- [27] Grassi, G., Stehfest, E., Rogelj, J., van Vuuren, D., Cescatti, A., House, J., *et al.* (2021) Critical Adjustment of Land Mitigation Pathways for Assessing Countries' Climate Progress. *Nature Climate Change*, **11**, 425-434. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01033-6>
- [28] Song, G., Li, M., Semakula, H.M. and Zhang, S. (2015) Food Consumption and Waste and the Embedded Carbon, Water and Ecological Footprints of Households in China. *Science of the Total Environment*, **529**, 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.068>
- [29] Zhu, Y., Zhang, Y. and Zhu, X. (2023) The Evolution Process, Characteristics and Adjustment of Chinese Dietary Guidelines: A Global Perspective. *Resources, Conservation and Recycling*, **193**, Article ID: 106964. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106964>
- [30] Micha, R., Shulkin, M.L., Peñalvo, J.L., Khatibzadeh, S., Singh, G.M., Rao, M., *et al.* (2017) Etiologic Effects and Optimal Intakes of Foods and Nutrients for Risk of Cardiovascular Diseases and Diabetes: Systematic Reviews and Meta-Analyses from the Nutrition and Chronic Diseases Expert Group (NutriCoDE). *PLOS ONE*, **12**, e0175149. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175149>
- [31] Chang, C., Chiu, T.H.T., Chang, C., Lin, M. and Lin, C. (2019) Plant-Based Diet, Cholesterol, and Risk of Gallstone Disease: A Prospective Study. *Nutrients*, **11**, Article No. 335. <https://doi.org/10.3390/nu11020335>
- [32] Freund, F. and Springmann, M. (2021) Policy Analysis Indicates Health-Sensitive Trade and Subsidy Reforms Are Needed in the UK to Avoid Adverse Dietary Health Impacts Post-Brexit. *Nature Food*, **2**, 502-508. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00306-9>
- [33] Li, Y., Wang, D.D., Ley, S.H., Vasanti, M., Howard, A.G., He, Y., *et al.* (2017) Time Trends of Dietary and Lifestyle Factors and Their Potential Impact on Diabetes Burden in China. *Diabetes Care*, **40**, 1685-1694. <https://doi.org/10.2337/dc17-0571>
- [34] OECD (2022) OECD Health Statistics 2022.
- [35] Fretts, A.M., Hazen, S.L., Jensen, P., Budoff, M., Sitlani, C.M., Wang, M., *et al.* (2022) Association of Trimethylamine *n*-Oxide and Metabolites with Mortality in Older Adults. *JAMA Network Open*, **5**, e2213242. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2022.13242>