

饮食结构优化与农业碳减排的协同路径研究

——基于食物价格的分析

陈娇¹, 钟甫宁^{2*}

(1. 江西师范大学 财政金融学院, 江西 南昌 330022; 2. 南京农业大学 经济管理学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 基于2015—2021年省级面板数据, 利用二次近乎理想的需求系统(QUAIDS)模型估计城乡居民食物需求弹性, 并进一步基于食物价格分析城乡居民饮食结构优化与农业碳减排的协同路径。研究发现: 就单类食物价格变化来看, 蔬菜水果价格降低不具碳减排效应, 提高猪肉价格具有碳减排效应, 但会减少居民动物性食物消费总量, 只有水产品价格下降或牛羊肉价格上涨可以优化居民饮食结构、促进农业碳减排; 从多类食物价格变化组合效应来看, 降低蔬菜水果和水产品价格, 并同比例提高猪肉、牛羊肉价格可以在增加植物和动物性食物消费总量的情况下, 优化居民饮食结构、促进农业碳减排; 相同情境下, 城镇居民人均碳减排绝对量略大于农村居民。

关键词: 食物价格; 食物消费; 农业碳排放; 饮食结构

中图分类号: F327; F124.7

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2024)01-0016-09

Research on the collaborative paths of diet structure optimization and agricultural carbon emission reduction: Analysis based on food prices

CHEN Jiao¹, ZHONG Funing^{2*}

(1. College of Finance, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;

2. College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Based on the provincial panel data from 2015 to 2021, the demand elasticity of food for urban and rural residents has been estimated by using the QUAIDS model and the collaborative paths of diet structure optimization and agricultural carbon emission reduction have been further analyzed by utilizing the food prices. The research shows that in terms of individual food price changes, cutting down vegetables and fruits prices can not lead to carbon emission reduction; raising pork prices may reduce carbon emission, but also reduce total animal food consumption of residents; only a drop in the price of aquatic products or an increase in the price of beef and mutton can optimize the diet structure of residents, and promote agricultural carbon emissions reduction. In terms of the combination effect of the price changes of various food, lowering the prices of vegetables, fruits and aquatic products and raising the prices of pork, beef and mutton in the same proportion will increase total consumption of plant and animal foods, and at the same time optimize residents' diet structure and promote agricultural carbon emission reduction. In the same situation, the absolute amount of carbon emission reduction per capita of urban residents is slightly greater than that of rural residents.

Keywords: food price; food consumption; agricultural carbon emission; diet structures

一、问题的提出

自1992年《联合国气候变化框架公约》通过以

收稿日期: 2023-10-30

基金项目: 国家社会科学基金重大招标项目(21&ZD101)

作者简介: 陈娇(1992—), 女, 四川南充人, 博士, 讲师, 主要从事农业经济理论与政策研究。*为通信作者。

来, 气候变化与碳排放问题逐渐得到各国政府和公众的广泛关注, 中国更是作出碳达峰碳中和的重大战略决策, 为全球应对气候变化注入了强劲动力。食物系统是碳排放的重要来源, 占全球总碳排放量的26%~34%, 其中农业生产阶段占61%~71%^[1,2]。针对农业碳减排问题, 学者已从农业生产出发在耕作栽培技术、品种改良等方面探索出了一系列方案, 但

有研究指出,考虑到不同的选择和策略,在成本约束下纯生产驱动的措施减排效应不会高于 20%^[3]。调整个人饮食结构也能促进农业碳减排^[3-5],因为食物在农业生产环节中的碳排放量具有异质性,一般动物性食物的碳足迹大于植物性食物^[6],如果适当减少动物性食物消费或改善动物性食物消费结构能有效促进农业生产结构转型,进而加快农业碳减排^[7]。可见,在“双碳”背景下,有必要进一步探索优化居民饮食结构和农业碳减排的协同路径。

中国城乡居民饮食正在由“吃得饱”向“吃得好”转型,居民食物消费趋向营养型、多元化,但饮食结构仍然不够均衡,对居民营养健康和环境造成了双重压力。国家统计局数据显示,随着人均收入水平提高,近十年来中国城乡居民粮食消费量呈波动下降趋势,人均蔬菜、水果、畜禽肉蛋、水产品、奶制品消费量都呈波动上升趋势。但是,根据《中国居民膳食指南(2022)》(下文简称《指南(2022)》),中国居民人均蔬菜、水果、水产品、奶制品消费量仍然不足,而平均畜肉消费量已超过参考摄入量上限^[8]。过量的畜肉摄入导致成人超重、肥胖率上升,糖尿病、冠心病等慢性疾病的发生风险增加,而蔬菜、水果、水产品、奶制品摄入不足使中国居民维生素、矿物质等微量营养素缺乏状况普遍存在^[9,10]。快速增长的食物消费和向动物性食物转型的饮食结构使农业碳排放量不断攀升^[11,12]。1987—2017年,中国居民食物消费相关的农业碳排放量从 1 028 Mt CO₂eq 增长到 1 685 Mt CO₂eq,增长率达 63.91%^[12]。随着居民收入进一步提高,牛羊肉的消费需求还会大幅增长^[13,14],这将进一步增加饮食相关的农业碳排放量。此外,饮食相关的农业碳排放在城乡之间也呈现出二元化特征,城镇居民人均饮食相关的农业碳排放量高于农村居民,并且差距还在不断扩大,从 2000 年的 1.05 倍扩大到 1.30 倍^[15]。

西方学者率先开始从需求端探索食物价格调控对居民饮食结构及相关农业碳排放的影响。Wirsenius 等^[16]认为在欧盟地区对动物性食物征收 60 欧元/t CO₂eq 的加权食品税,食物系统农业碳排放可减少约 3 200 万吨 CO₂ 当量。随后,学者对丹麦、英国、瑞典、法国的研究^[17-20]都取得相似结论,认为调高动物性食物价格,尤其是牛羊肉等反刍动物性食物价格,有利于减少它们的消费量,从而减少食物系统碳排放。其中,相关研究还发现,对动

物性食物征税能够促进居民饮食结构转型,减少居民饱和脂肪酸摄入量,改善居民健康,是实现居民健康与环境友好的双赢选择^[17,18]。Abadie 等认为,在对高碳动物性食物征税的同时,补贴低碳食物,如禽肉、水产品、奶制品和蔬菜水果,可以进一步优化居民营养摄入并有效降低相关农业碳排放量^[21]。但是,国内学者较少从需求端考虑运用价格管理优化居民饮食结构、促进农业碳减排。

关于食物消费与碳排放的研究,国内学者多聚焦于测算食物消费相关的碳排放量,从时空的视角分析饮食相关碳排放的集聚特征、影响因素与驱动机制^[22-24]。此外,大量研究运用需求系统模型分析了中国城镇居民^[25,26]、农村居民^[27,28]的食物需求特征,并将两者进行比较分析^[29,30],其中部分研究进一步基于食物需求弹性特征预测中国未来食物需求变化趋势。近年来,也有研究考察居民收入和食物价格变化对食物系统水足迹的影响^[31,32]。虽然朱文博等^[33]运用需求系统模型研究了收入增长对食物系统碳排放的影响,但鲜有文献进一步讨论食物价格对食物系统农业碳排放的影响,并以此探索碳减排路径。值得一提的是,已有关于中国城乡居民食物需求弹性分析的研究大多基于 2012 年以前的数据^[31-33],并不能很好地反映中国居民当下的食物消费特征。

针对目前中国城乡居民饮食不均衡现象——蔬菜、水果、水产品、奶制品消费量不足与畜肉消费量过高^[34],根据不同食物碳排放强度特征,本文试图基于居民饮食结构特征与需求弹性特征探索促进饮食结构优化和农业碳减排的路径,并对城乡居民做异质性分析。此外,在中国经济飞速发展、人民收入水平日益提高的背景下,运用最新省级面板数据研究居民收入增长对城乡居民消费结构及相关农业碳排放的影响也具有重要意义。因此,本文基于 2015—2021 年 30 个省(区、市)的面板数据,采用 QUAIDS 模型分析城乡居民对七类食物的需求弹性特征,基于收入弹性和价格弹性结果分别进一步模拟收入增长和食物价格变化对饮食结构及相关农业碳排放的影响,以期为保障居民饮食健康、推进农业领域碳达峰行动提供新的思路。

二、研究思路、方法与数据来源

(一) 研究思路

人均可支配收入和食物价格是影响居民食物

需求的主要因素。收入弹性是在其他因素不变的条件下, 衡量消费者对某种商品或服务的需求数量随收入变化的反应程度。对于一般商品, 收入增加会提高消费者对该商品的需求, 即弹性值为正。例如, 郑志浩等^[25]发现城镇居民的各类食物收入弹性均为正, 奶制品、水产品等动物性食物比粮食等植物性食物的收入弹性更大, 说明人均收入增加会进一步提高动物性食物支出占比。价格弹性是指在其他因素不变的条件下, 价格变动引起的市场需求量的变化程度。食物价格的相对变化也会产生收入效应和替代效应, 进而影响居民对各类食物的需求。比如, 许菲等^[32]发现城镇居民的蔬菜消费对肉类消费的交叉价格弹性为 0.522, 说明当肉类价格上升时, 居民会选择用蔬菜替代, 减少肉类消费、增加蔬菜消费。

根据《指南(2022)》, 目前中国居民饮食结构存在不合理现象, 即畜肉摄入量较多, 蔬菜、水果、水产品与奶制品较少^[8]。由于不同食物在农业生产环节中释放的温室气体具有较大差异, 一般动物性食物单位质量的碳排放强度远远高于植物性食物, 而牛羊肉等反刍动物性食物的碳排放强度又远远高于水产品、奶制品等食物^[6,35]。这意味着, 如果居民的饮食结构由以植物性食物为主转为以动物性食物为主, 食物系统农业碳排放则将增加; 如果只增加蔬菜水果类植物性食物则不会大幅度增加农业碳排放; 如果动物性食物消费结构由碳排放强度更高的畜肉向碳排放强度更低的水产品等转型, 则食物系统农业碳排放也可能会降低。因此, 如果调高畜肉等高碳排放强度食物的价格和补贴水产品、蔬菜水果等低碳排放强度食物的价格能不同程度减少畜肉产品消费量、增加水产品与蔬菜水果消费量, 则有助于优化居民饮食结构、保障居民营养健康, 并同时减少食物系统农业碳排放量(图1)。

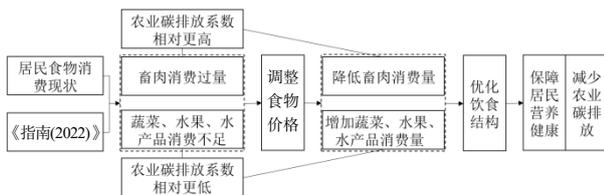


图1 研究思路图

(二) 研究方法

1. 需求模型

本研究采用二次近乎理想的需求系统

(QUAIDS)模型分析城乡居民食物需求特征^[36], 该模型是在 AIDS 模型的基础上加入了支出的二次项, 能够反映模型中每种商品的支出份额与总支出之间存在的非线性关系, 具有更大的灵活性, 也更符合经济规律。本文参照 Ray 和 Poi 的方法控制时间和地区特征变量^[37,38], 支出份额方程可以表示为:

$$w_i = \alpha_i + \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln p_j + (\beta_i + \eta_j z) \ln \left[\frac{m}{m_0(z)a(p)} \right] + \frac{\lambda_i}{b(p)c(p, z)} \left[\ln \left\{ \frac{m}{m_0(z)a(p)} \right\} \right]^2 \quad (1)$$

式中, i 和 j 分别表示某一类食物, n 表示被研究的食物总类别数量。 m 是模型中食物的消费总支出, w_i 为第 i 种食物支出占食物总支出的比例, 即 $w_i = \frac{p_i q_i}{m}$, p_i 表示食物 i 的价格, q_i 为消费食物 i 的数量, η_j 表示 $s \times k$ 参数矩阵 η 的第 j 列, $\bar{m}_0(z)$ 表示因为家庭特征变量 z 变化增加的支出, α_i 、 β_i 、 γ_{ij} 、 λ_i 为待估参数。 $\ln a(p)$ 是 translog 函数, $b(p)$ 是 Cobb-Douglas 函数, $c(p, z) = \prod_{j=1}^k p_j^{\eta_j z}$ 。

模型回归系数满足下列限制条件:

$$\sum_i \alpha_i = 1, \quad \sum_i \beta_i = 0, \quad \sum_i \gamma_{ij} = 0, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0, \\ \sum_{j=1}^k \eta_j = 0, \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji}。$$

根据上述模型估计参数, 各类食物的支出弹性和非补偿的(马歇尔)需求价格弹性的具体方程见 Poi 的研究^[38]。

家庭食物总支出份额函数设定如下:

$$W_F = \beta_0 + \beta_1 \ln y + \beta_2 z + \mu \quad (2)$$

式中, W_F 表示家庭食物总支出占家庭收入份额。食物总支出弹性可以表示为:

$$\eta = \beta_1 / W_F + 1 \quad (3)$$

结合式(1)和式(3), 各类食物的收入弹性可以表示为:

$$E_i = \eta \times e_i \quad (4)$$

本文采用 Bootstrap 自助法重复抽样估计 500 次以判断弹性值是否具有统计学意义。

2. 食物系统碳排放测算

本文主要研究食物在农业生产环节中的直接和间接碳排放, 不包括食物在储存、运输和加工等环节的碳排放。参考已有研究, 本文所研究的粮食、食用油、蔬菜水果、猪肉、牛羊肉、禽肉蛋、水产

品的农业碳排放强度如表 1 所示。其中, Lin 等^[35]运用经济投入-产出和生命周期综合评价(EIO-LCA)模型,根据《全国农产品成本收益资料汇编 2010》和《中国温室气体清单》测算了 2009 年中国农产品在农业生产环节的碳排放强度。刘晃和车轩^[39]依据调研数据和《中国渔业年鉴 2008》,利用 Oak Ridge National Laboratory 提出的碳排放计算方法估计了中国水产品在水产环节的碳排放强度。这两个文献使用的数据、研究方法都更能反映中国内地生产的农产品碳排放强度。

根据各类食物的农业碳排放强度系数和居民人均每年各类食物消费量,历年人均各类食物和总的饮食相关的农业碳排放量可以表示如下:

$$GHG_i = car_i q_i \quad (5)$$

$$GHG = \sum_{i=1}^n car_i q_i \quad (6)$$

其中, $i=1,2,\dots,7$, 在本文分别表示粮食、食用油、蔬菜水果、猪肉、牛羊肉、禽肉蛋、水产品七类食物, q_i 表示人均消费食物 i 的数量, car_i 表示单位食物 i 的碳排放强度。

表 1 主要食物农业碳排放强度

| 食物类别 | 碳排放强度(kg CO ₂ eq/kg) | 文献来源 |
|------|---------------------------------|-----------------------|
| 粮食 | 1.22 | Lin 等 ^[35] |
| 食用油 | 0.64 | Lin 等 ^[35] |
| 蔬菜水果 | 0.47 | Lin 等 ^[35] |
| 猪肉 | 2.89 | Lin 等 ^[35] |
| 牛羊肉 | 21.27 | Lin 等 ^[35] |
| 禽肉蛋 | 1.15 | Lin 等 ^[35] |
| 水产品 | 0.54 | 刘晃和车轩 ^[39] |

3. 人均食物消费农业碳排放变化的模拟

本文主要考察收入和价格对城乡居民食物系统农业碳排放的影响,假定除收入和价格外的其他影响因素不变。根据研究思路,具体设置六种模拟情景:一是假定居民人均可支配收入增加 1% (S_1);二是假定猪肉价格上涨 1% (S_2);三是假定牛羊肉价格上涨 1% (S_3);四是假定蔬菜水果价格下降 1% (S_4);五是假定水产品价格下降 1% (S_5);六是猪肉、牛羊肉价格上涨 1%,同时蔬菜水果、水产品价格下降 1% (S_6)。

城乡居民收入和食物价格变化对各类食物消费相关的农业碳排放变化量表示如下:

$$\Delta GHG_i = E_i \left(\frac{\Delta y}{y} \right) q_i car_i \quad (7)$$

$$\Delta GHG_i = q_i car_i \sum_{j=1}^n \varepsilon_{ij} \left(\frac{\Delta p_j}{p_j} \right) \quad (8)$$

式中, $\frac{\Delta y}{y}$ 和 $\frac{\Delta p_j}{p_j}$ 分别表示人均可支配收入和食物价格变化的比例。

(三) 数据来源

由于自 2016 年起国家统计局才公布分地区城乡居民家庭人均主要食品消费量,因此本研究采用 2015—2021 年全国除西藏及港澳台以外的 30 个省(区、市)^①的食物消费及食物价格数据作为研究对象。城乡居民各类食物消费量、人均可支配收入均来自国家统计局《中国统计年鉴》(2016—2022)。2015 年分地区各类食物集贸市场价格来自《中国农产品价格调查年鉴 2016》,2016—2021 年的食物价格是基于 2015 年分地区各类食物价格和相应的城乡居民消费价格分类指数外推。食物支出数据为各类食物消费量与价格的乘积之和。本研究将居民消费的食物分为七类:粮食、食用油、蔬菜水果、猪肉、牛羊肉、禽肉蛋、水产品。

三、结果与分析

(一) 描述性统计分析

2015—2021 年,中国城乡居民人均食物消费量和消费结构存在明显差异(表 2)。首先,城镇居民人均植物性食物消费量低于农村居民,动物性食物消费量高于农村居民。城镇居民人均粮食消费量远远低于农村居民,人均蔬菜水果、牛羊肉与水产品消费量明显高于农村居民,该消费差距随时间均呈缩小趋势。其次,与《指南(2022)》推荐的各类食物参考摄入量相比较发现,2021 年中国城乡居民人均每周畜肉(猪肉和牛羊肉)消费量分别达到 562.37g 和 540.37g,超过推荐上线(500g);城(乡)人均蔬菜水果和水产品消费量分别占参考标准下限的 98.3%(87.0%)和 93.5%(73.1%)。从各类食物消费份额看,城镇居民人均粮食、食用油和猪肉的消费份额低于农村居民,蔬菜水果、牛羊肉和水产品的消费份额高于农村居民。最后,虽然中国城乡居民人均收入差距仍然较大,并且绝对收入差距呈逐年递增趋势,但食物消费支出额差距较稳定,农村居民人均食物支出份额远高于城镇居民。

表2 城乡居民食物消费特征及趋势

| 指标 | 城镇 | | | | 农村 | | | | |
|---------------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | 2015年 | 2017年 | 2019年 | 2021年 | 2015年 | 2017年 | 2019年 | 2021年 | |
| 年均消费量(kg) | 粮食 | 113.72 | 109.96 | 109.35 | 124.19 | 156.30 | 151.05 | 152.90 | 169.03 |
| | | (14.96) | (15.32) | (14.85) | (17.89) | (22.85) | (24.00) | (22.63) | (20.84) |
| | 食用油 | 11.03 | 10.69 | 9.16 | 10.13 | 10.14 | 10.19 | 10.02 | 11.95 |
| | | (2.04) | (2.12) | (1.95) | (2.35) | (2.54) | (2.56) | (2.48) | (2.85) |
| | 蔬菜水果 | 159.80 | 166.21 | 170.71 | 179.45 | 122.07 | 127.09 | 133.33 | 158.76 |
| | | (20.02) | (19.14) | (25.84) | (25.13) | (23.35) | (25.86) | (27.32) | (28.75) |
| | 猪肉 | 19.38 | 19.30 | 18.52 | 23.68 | 18.43 | 18.47 | 19.23 | 24.28 |
| | | (7.58) | (7.76) | (6.95) | (7.51) | (8.58) | (8.60) | (8.47) | (9.14) |
| | 牛羊肉 | 4.86 | 5.09 | 5.16 | 5.65 | 2.67 | 3.01 | 3.28 | 3.90 |
| | | (3.77) | (3.37) | (3.27) | (3.38) | (3.93) | (3.90) | (4.09) | (4.63) |
| 禽肉蛋 | 18.69 | 19.29 | 21.09 | 23.86 | 14.66 | 15.80 | 18.59 | 24.16 | |
| | (4.36) | (4.68) | (5.50) | (5.41) | (5.18) | (5.82) | (7.66) | (8.08) | |
| 水产品 | 12.99 | 12.97 | 14.48 | 14.62 | 7.60 | 7.88 | 10.18 | 11.44 | |
| | (8.33) | (8.17) | (8.55) | (9.14) | (6.70) | (6.79) | (8.68) | (9.41) | |
| 消费份额(%) | 粮食 | 11.19 | 10.22 | 8.73 | 6.27 | 18.92 | 17.03 | 14.34 | 9.18 |
| | | (0.02) | (0.02) | (0.02) | (0.02) | (0.04) | (0.04) | (0.04) | (0.03) |
| | 食用油 | 4.78 | 4.37 | 3.10 | 2.43 | 5.35 | 5.01 | 3.94 | 3.04 |
| | | (0.01) | (0.01) | (0.01) | (0.01) | (0.01) | (0.01) | (0.01) | (0.01) |
| | 蔬菜水果 | 41.51 | 42.60 | 43.52 | 35.06 | 36.79 | 37.97 | 38.19 | 32.40 |
| | | (0.05) | (0.05) | (0.06) | (0.07) | (0.06) | (0.06) | (0.07) | (0.07) |
| | 猪肉 | 16.48 | 17.36 | 17.71 | 33.62 | 18.98 | 19.82 | 21.00 | 35.81 |
| | | (0.05) | (0.06) | (0.05) | (0.08) | (0.07) | (0.07) | (0.07) | (0.10) |
| | 牛羊肉 | 9.91 | 9.88 | 10.04 | 8.91 | 6.40 | 6.84 | 7.30 | 6.70 |
| | | (0.06) | (0.05) | (0.06) | (0.06) | (0.08) | (0.08) | (0.09) | (0.09) |
| 禽肉蛋 | 9.50 | 8.72 | 9.38 | 7.64 | 9.07 | 8.59 | 9.57 | 8.25 | |
| | (0.03) | (0.03) | (0.04) | (0.03) | (0.04) | (0.04) | (0.05) | (0.04) | |
| 水产品 | 6.64 | 6.84 | 7.52 | 6.06 | 4.48 | 4.73 | 5.66 | 4.63 | |
| | (0.04) | (0.04) | (0.04) | (0.03) | (0.03) | (0.03) | (0.04) | (0.03) | |
| 人均收入(元/年) | 30 048.4 | 33 911.1 | 37 652.3 | 40 764.7 | 11 997.9 | 13 677.8 | 15 481.2 | 17 613.8 | |
| | (7 646.8) | (8 698.3) | (9 946.6) | (10 861.8) | (4 066.1) | (4 607.8) | (5 178.8) | (5 725.0) | |
| 人均食物消费支出(元/年) | 2 870.1 | 3 023.0 | 3 569.0 | 6 083.4 | 2 353.8 | 2 524.1 | 3 117.7 | 5 817.1 | |
| | (518.8) | (575.0) | (711.5) | (1404.3) | (551.6) | (636.0) | (867.5) | (1 689.0) | |
| 人均食物支出份额(%) | 9.90 | 9.25 | 9.79 | 15.42 | 20.95 | 19.54 | 21.04 | 34.21 | |
| | (0.02) | (0.02) | (0.02) | (0.04) | (0.06) | (0.06) | (0.06) | (0.09) | |

注：括号内的值为标准差。

如图2所示,2015—2021年城乡居民食物消费相关的农业碳排放量均呈波动上升趋势。城镇居民人均食物消费相关的农业碳排放量高于农村居民,但城镇居民人均植物性食物相关的农业碳排放量低于农村居民,说明城乡饮食相关的农业碳排放量差距主要来源于动物性食物消费。畜肉消费占城镇、农村居民食物消费相关农业碳排放量的比例分别为38.02%~40.74%、28.01%~33.25%,而禽肉蛋和水产品消费相关农业碳排放量分别只占6.98%~8.28%、5.44%~7.53%;此外,城乡居民近六年蔬菜水果消费相关的农业碳排放量占比分别保持在18%和15%左右。说明如果依据《指南(2022)》调

整居民动物性食物消费结构、增加居民蔬菜水果消费可能有助于减少相关农业碳排放量。

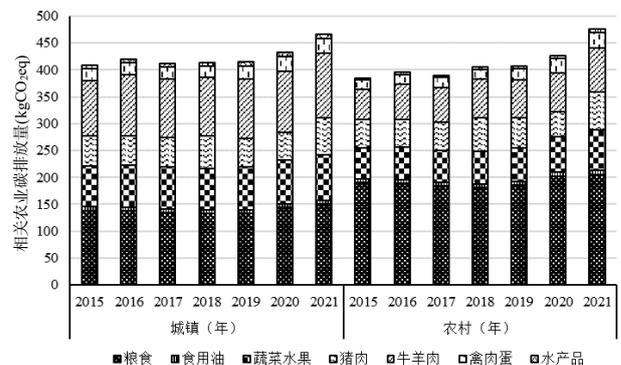


图2 城乡居民食物系统农业碳排放量波动趋势

(二) 城乡居民食物需求弹性

物的支出弹性、收入弹性和非补偿价格弹性。

表 3、表 4 分别展现了城镇和农村居民各类食

表 3 城镇居民食物消费需求弹性特征

| 指标 | 粮食 | 食用油 | 蔬菜水果 | 猪肉 | 牛羊肉 | 禽肉蛋 | 水产品 | |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 支出弹性 | 0.507*** (0.065) | 0.874*** (0.077) | 0.732*** (0.031) | 1.289*** (0.070) | 0.996*** (0.165) | 1.491*** (0.088) | 1.848*** (0.103) | |
| 收入弹性 | 0.182*** (0.023) | 0.314*** (0.028) | 0.263*** (0.011) | 0.464*** (0.025) | 0.358*** (0.059) | 0.536*** (0.032) | 0.664*** (0.037) | |
| 非补偿价格 弹性 | 粮食 | 0.299*** (0.060) | 0.151*** (0.023) | -0.622*** (0.075) | -0.005 (0.041) | -0.073 (0.067) | -0.014 (0.037) | -0.243* (0.049) |
| | 食用油 | 0.346*** (0.056) | -0.307*** (0.042) | -0.186 (0.086) | 0.020 (0.047) | -0.172 (0.079) | 0.200*** (0.046) | -0.776*** (0.060) |
| | 蔬菜水果 | -0.161*** (0.014) | -0.012 (0.007) | -0.383*** (0.041) | -0.130*** (0.021) | 0.053* (0.032) | -0.174*** (0.016) | 0.076*** (0.016) |
| | 猪肉 | -0.075 (0.019) | -0.011 (0.008) | -0.491*** (0.048) | -0.162 (0.055) | -0.199 (0.051) | -0.100 (0.023) | -0.252*** (0.022) |
| | 牛羊肉 | -0.113 (0.063) | -0.069 (0.029) | 0.112 (0.154) | -0.356 (0.116) | -2.190*** (0.214) | 0.695*** (0.080) | 0.925*** (0.071) |
| | 禽肉蛋 | -0.104 (0.038) | 0.061** (0.019) | -1.107*** (0.084) | -0.273* (0.054) | 0.715*** (0.085) | -0.266 (0.059) | -0.517*** (0.044) |
| | 水产品 | -0.458** (0.065) | -0.459*** (0.033) | 0.001 (0.114) | -0.883*** (0.069) | 1.268*** (0.102) | -0.718*** (0.059) | -0.598*** (0.097) |

注：***、**、*分别表示在 1%、5%和 10%水平上显著，括号内的值为标准误，下同。

表 4 农村居民食物消费需求弹性特征

| 指标 | 粮食 | 食用油 | 蔬菜水果 | 猪肉 | 牛羊肉 | 禽肉蛋 | 水产品 | |
|-------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 支出弹性 | 0.527*** (0.035) | 0.711*** (0.056) | 0.746*** (0.033) | 1.189*** (0.059) | 1.482*** (0.215) | 1.397*** (0.080) | 2.317*** (0.130) | |
| 收入弹性 | 0.243*** (0.016) | 0.328*** (0.026) | 0.344*** (0.015) | 0.549*** (0.027) | 0.684*** (0.099) | 0.645*** (0.037) | 1.069*** (0.060) | |
| 非补偿价格 弹性 | 粮食 | -0.146 (0.039) | 0.121*** (0.015) | -0.361*** (0.047) | 0.082** (0.025) | -0.129 (0.042) | 0.047* (0.023) | -0.142 (0.031) |
| | 食用油 | 0.392*** (0.049) | -0.404*** (0.036) | -0.206 (0.072) | 0.121** (0.040) | -0.157 (0.067) | 0.191*** (0.039) | -0.648*** (0.051) |
| | 蔬菜水果 | -0.181*** (0.016) | -0.027 (0.008) | -0.345*** (0.047) | -0.162*** (0.023) | 0.109** (0.036) | -0.221*** (0.018) | 0.081*** (0.018) |
| | 猪肉 | -0.046 (0.016) | 0.003 (0.007) | -0.422*** (0.042) | -0.220 (0.047) | -0.217 (0.046) | -0.066 (0.020) | -0.221*** (0.019) |
| | 牛羊肉 | -0.434* (0.090) | -0.134 (0.041) | 0.295 (0.214) | -0.782* (0.159) | -2.663*** (0.305) | 0.932*** (0.112) | 1.303*** (0.100) |
| | 禽肉蛋 | -0.047 (0.038) | 0.065** (0.019) | -1.133*** (0.082) | -0.219 (0.054) | 0.716*** (0.085) | -0.266 (0.058) | -0.513*** (0.044) |
| | 水产品 | -0.705*** (0.092) | -0.647*** (0.045) | 0.032 (0.156) | -1.299*** (0.093) | 1.771*** (0.141) | -1.018*** (0.081) | -0.452 (0.133) |

总体上，城乡居民的饮食习惯相近，但仍有少许差异。城乡居民对猪肉、禽肉蛋和水产品等动物性食物的支出弹性均大于 1，农村居民对牛羊肉的支出弹性大于 1、城镇居民接近 1，而对粮食、食用

油和蔬菜水果的支出弹性均小于 1，意味着动物性食物消费比重将继续呈上升趋势。城镇居民对各类食物的收入弹性均小于农村居民，说明农村居民收入变动对食物消费的影响更大。

某类食物价格变化对食物总需求的影响表现为需求自价格弹性和交叉价格弹性。由于本研究主要考察调整蔬菜水果、畜肉和水产品价格对食物需求的影响,因此主要分析这几类食物的需求弹性特征。第一,城乡居民蔬菜水果的消费需求对价格变动不太敏感;蔬菜水果对猪肉、水产品的交叉价格弹性均为正,表现出不同程度替代效应。第二,城乡居民猪肉消费的需求自价格弹性均表现为缺乏弹性,即猪肉价格变动对其需求量的影响相对较小;在城镇,食用油是猪肉的替代品;在农村,粮食和食用油是猪肉的替代品。第三,城乡居民的牛羊肉消费需求均富有弹性,牛羊肉的价格变动可以

有效影响需求量;蔬菜水果、禽肉蛋、水产品与牛羊肉在城乡居民的消费中表现出不同程度替代效应,说明牛羊肉价格上涨会增加这些食物的消费量。第四,城乡居民水产品消费需求对价格变动相对不敏感,但水产品与牛羊肉表现出较强的替代效应,意味着补贴水产品价格也可以有效降低牛羊肉消费量。

(三) 居民收入和食物价格对食物系统碳排放的影响

基于城乡居民对各类食物的收入弹性和价格弹性,六种模拟情景结果见表5、表6。

表5 不同模拟情景下城乡居民食物消费量的变化

| 城乡 | 类别 | 当前水平 | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ |
|----|------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 城镇 | 粮食 | 114.022 | 0.208 | -0.006 | -0.083 | 0.709 | 0.278 | 0.898 |
| | 食用油 | 10.202 | 0.032 | 0.002 | -0.018 | 0.019 | 0.079 | 0.083 |
| | 蔬菜水果 | 168.482 | 0.444 | -0.219 | 0.089 | 0.646 | -0.128 | 0.388 |
| | 猪肉 | 19.800 | 0.092 | -0.032 | -0.039 | 0.097 | 0.050 | 0.076 |
| | 牛羊肉 | 5.214 | 0.019 | -0.019 | -0.114 | -0.006 | -0.048 | -0.187 |
| | 禽肉蛋 | 20.845 | 0.112 | -0.057 | 0.149 | 0.231 | 0.108 | 0.431 |
| | 水产品 | 13.570 | 0.090 | -0.120 | 0.172 | 0.000 | 0.081 | 0.133 |
| 农村 | 粮食 | 157.031 | 0.382 | 0.129 | -0.202 | 0.567 | 0.223 | 0.716 |
| | 食用油 | 10.546 | 0.035 | 0.013 | -0.017 | 0.022 | 0.068 | 0.086 |
| | 蔬菜水果 | 134.134 | 0.462 | -0.218 | 0.146 | 0.463 | -0.109 | 0.282 |
| | 猪肉 | 19.543 | 0.107 | -0.043 | -0.042 | 0.082 | 0.043 | 0.040 |
| | 牛羊肉 | 3.236 | 0.022 | -0.025 | -0.086 | -0.010 | -0.042 | -0.163 |
| | 禽肉蛋 | 18.204 | 0.117 | -0.040 | 0.130 | 0.206 | 0.093 | 0.390 |
| | 水产品 | 9.158 | 0.098 | -0.119 | 0.162 | -0.003 | 0.041 | 0.082 |

注: S₁、S₂、S₃、S₄、S₅、S₆分别表示六种模拟情景,下同。

表6 不同模拟情景下食物系统农业碳排放量的变化

| 城乡 | 类别 | 当前水平 | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | S ₆ |
|----|---------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 城镇 | 粮食 | 138.879 | 0.253 | -0.007 | -0.101 | 0.864 | 0.338 | 1.094 |
| | 食用油 | 6.529 | 0.021 | 0.001 | -0.011 | 0.012 | 0.051 | 0.053 |
| | 蔬菜水果 | 79.187 | 0.208 | -0.103 | 0.042 | 0.304 | -0.060 | 0.182 |
| | 猪肉 | 57.223 | 0.265 | -0.093 | -0.114 | 0.281 | 0.144 | 0.218 |
| | 牛羊肉 | 110.872 | 0.397 | -0.394 | -2.428 | -0.124 | -1.025 | -3.971 |
| | 禽肉蛋 | 23.972 | 0.129 | -0.065 | 0.171 | 0.265 | 0.124 | 0.495 |
| | 水产品 | 7.328 | 0.049 | -0.065 | 0.093 | 0.000 | 0.044 | 0.072 |
| 总计 | 423.990 | 1.322 | -0.726 | -2.348 | 1.602 | -0.384 | -1.857 | |
| 农村 | 粮食 | 191.264 | 0.465 | 0.157 | -0.246 | 0.691 | 0.272 | 0.873 |
| | 食用油 | 6.750 | 0.022 | 0.008 | -0.011 | 0.014 | 0.044 | 0.055 |
| | 蔬菜水果 | 63.043 | 0.217 | -0.102 | 0.069 | 0.217 | -0.051 | 0.133 |
| | 猪肉 | 56.479 | 0.310 | -0.124 | -0.122 | 0.238 | 0.125 | 0.117 |
| | 牛羊肉 | 68.807 | 0.471 | -0.538 | -1.833 | -0.203 | -0.897 | -3.470 |
| | 禽肉蛋 | 20.935 | 0.135 | -0.046 | 0.150 | 0.237 | 0.107 | 0.449 |
| | 水产品 | 4.945 | 0.053 | -0.064 | 0.088 | -0.002 | 0.022 | 0.044 |
| 总计 | 412.223 | 1.673 | -0.710 | -1.905 | 1.193 | -0.378 | -1.800 | |

第一,居民收入提高会不同程度增加各类食物消费量,城镇、农村居民人均可支配收入增加1%(S₁),食物系统农业碳排放量分别增加0.31%和0.41%。相比城镇居民,农村居民人均可支配收入提

高会更大比例增加食物系统农业碳排放量,这是因为提高农村居民人均可支配收入导致其大部分食物(除猪肉外)消费增长量都高于城镇居民。第二,猪肉价格提高1%(S₂),城乡居民食物系统农业碳

排放均可减少 0.17%，但各类动物性食物消费量也都有所下降，对居民营养健康具有不利影响。第三，牛羊肉价格提高 1% (S_3)，城乡居民食物系统农业碳排放分别降低 0.55% 和 0.46%，并且总的动物性食物消费量分别增加 0.17kg 和 0.16kg。这主要是因为动物性食物内部之间的替代关系，提高牛羊肉价格会使得禽肉蛋及水产品等低碳排放强度动物性食物的消费增加。第四，蔬菜水果价格下降 1% (S_4)，城乡居民食物系统农业碳排放分别增加 0.38% 和 0.29%。这是因为蔬菜水果价格下降也会使得城乡居民牛羊肉消费不同程度减少，其他各类食物的消费量增加。第五，水产品价格下降 1% (S_5)，城乡居民食物系统农业碳排放均减少 0.09%，并且总的动物性食物消费量反而分别增加 0.19kg 和 0.14kg。最后，综合 S_2 ~ S_5 ，即猪肉、牛羊肉价格提高 1%，同时蔬菜水果和水产品价格降低 1% (S_6)，城乡居民食物系统农业碳排放均可减少 0.43%，并且动物性食物消费总量分别增加 0.45kg 和 0.35kg。这说明提高牛羊肉价格、降低水产品价格或同时提高猪肉、牛羊肉价格但降低蔬菜水果和水产品价格均能优化居民饮食结构、促进农业碳减排。

四、结论与政策建议

本文利用 2015—2021 年 30 个省（区、市）的面板数据，运用 QUAIDS 模型分析了城乡居民对七类食物的需求弹性特征，基于居民饮食结构存在的问题与需求弹性特征进一步分析了居民收入与食物价格变动对城乡居民食物消费结构及食物系统农业碳排放的影响，并以此探索优化居民饮食结构和农业碳减排的路径。研究表明：从单类食物价格分析来看，蔬菜水果价格下降不具有农业碳减排效应，猪肉价格上涨具有碳减排效应，但会影响居民动物性食物消费总量，影响居民营养摄入，只有水产品价格下降或牛羊肉价格上涨，可以优化居民饮食结构、促进农业碳减排；从多类食物的价格组合分析来看，如果降低蔬菜水果和水产品价格，并同比例提高猪肉、牛羊肉价格，可以在增加植物和动物性食物消费总量的情况下，优化居民饮食结构、促进农业碳减排；相同情境下，城镇居民人均碳减排绝对量略大于农村居民。

基于上述结论，为进一步优化居民膳食结构、促进农业碳减排，本文提出如下三方面政策建议：第一，合理采用价格机制管理引导居民优化饮

食结构。目前，中国农业生产和价格补贴主要集中在主粮作物，未来可以进一步拓展到蔬菜水果、水产品等低碳排放强度农产品，在保障粮食安全的基础上进一步引导居民饮食结构转型、改善农业生产结构，促进农业碳减排。第二，通过公众教育、宣传、普及健康膳食知识的方式引导居民逐渐向健康、可持续的饮食结构转型，继续倡导节约、光盘行动，强化消费者责任意识，深化“低碳”与“健康”的协同效应，保障农村健康、低碳食品供应，提高农村居民对健康、低碳食物的可获得性。第三，随着中国居民收入水平进一步增长，牛羊肉等动物性食物的消费还会进一步增长，在“增产保供”、引导居民饮食结构转型的同时，政府须加强农业科技投入与技术创新，降低动物性食物碳排放强度，实现生产绿色转型，助力实现居民低碳饮食结构。

注释：

①由于港澳台的食物消费和价格以及西藏的食物价格数据缺失，本文主要选取其他 30 个省（区、市）为研究对象。

参考文献：

- [1] POORE J, NEMECEK T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers[J]. *Science*, 2018, 360(6392): 987-992.
- [2] CRIPPAM, SOLAZZO E, GUIZZARDI D, et al. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions[J]. *Nature food*, 2021, 2(3): 198-209.
- [3] MEIER T, CHRISTEN O. Environmental impacts of dietary recommendations and dietary styles: Germany as an example[J]. *Environmental science & technology*, 2013, 47(2): 877-888.
- [4] HELLER M C, KEOLEIAN G A. Greenhouse gas emission estimates of U. S. dietary choices and food loss[J]. *Journal of industrial ecology*, 2015, 19(3): 391-401.
- [5] YUE Q, XU X R, HILLIER J, et al. Mitigating greenhouse gas emissions in agriculture: from farm production to food consumption[J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 149: 1011-1019.
- [6] XU X M, LAN Y. A comparative study on carbon footprints between plant- and animal-based foods in China[J]. *Journal of cleaner production*, 2016, 112: 2581-2592.
- [7] TILMAND, CLARK M. Global diets link environmental sustainability and human health[J]. *Nature*, 2014, 515(7528): 518-522.
- [8] 青平, 王玉泽, 李剑, 等. 大食物观与国民营养健康[J]. *农业经济问题*, 2023(5): 61-73.
- [9] POPKIN B M. Nutrition, agriculture and the global food

- system in low and middle income countries[J]. *Food policy*, 2014, 47: 91-96.
- [10] SHENG F F, WANG J J, CHEN K Z, et al. Changing Chinese diets to achieve a win-win solution for health and the environment[J]. *China & world economy*, 2021, 29(6): 34-52.
- [11] HAWKINS J, MA C B, SCHILIZZI S, et al. China's changing diet and its impacts on greenhouse gas emissions: an index decomposition analysis[J]. *Australian journal of agricultural and resource economics*, 2018, 62(1): 45-64.
- [12] ZHANG H Y, XU Y, LAHR M L. The greenhouse gas footprints of China's food production and consumption (1987—2017)[J]. *Journal of environmental management*, 2022, 301: 113934.
- [13] ZHU W B, CHEN Y F, ZHAO J, et al. Impacts of household income on beef at-home consumption: evidence from urban China[J]. *Journal of integrative agriculture*, 2021, 20(6): 1701-1715.
- [14] 朱文博, 李国景, 陈永福. 收入分布、户籍地差异与城镇居民牛肉消费——基于广义双栏模型的实证研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(4): 60-73.
- [15] 高晶, 唐增, 李重阳. 中国城乡居民食物消费碳排放的对比分析[J]. *草业科学*, 2018, 35(8): 2022-2030.
- [16] WIRSENIUS S, HEDENUS F, MOHLIN K. Greenhouse gas taxes on animal food products: rationale, tax scheme and climate mitigation effects[J]. *Climatic change*, 2011, 108(1): 159-184.
- [17] EDJABOU L D, SMED S. The effect of using consumption taxes on foods to promote climate friendly diets—the case of Denmark[J]. *Food policy*, 2013, 39: 84-96.
- [18] BRIGGS A D M, KEHLBACHER A, TIFFIN R, et al. Assessing the impact on chronic disease of incorporating the societal cost of greenhouse gases into the price of food: an econometric and comparative risk assessment modelling study[J]. *BMJ open*, 2013, 3(10): e003543.
- [19] SÄLL S, GREN I M. Effects of an environmental tax on meat and dairy consumption in Sweden[J]. *Food policy*, 2015, 55: 41-53.
- [20] BONNET C, BOUAMRA-MECHEMACHE Z, CORRE T. An environmental tax towards more sustainable food: empirical evidence of the consumption of animal products in France[J]. *Ecological economics*, 2018, 147: 48-61.
- [21] ABADIE L M, GALARRAGA I, MILFORD A B, et al. Using food taxes and subsidies to achieve emission reduction targets in Norway[J]. *Journal of cleaner production*, 2016, 134: 280-297.
- [22] 曹志宏, 郝晋珉, 邢红萍. 中国居民食物消费碳排放时空演变趋势及其驱动机制分析[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(1): 91-99.
- [23] 杨旺舟. 中国农村居民食品消费碳排放的时空格局及其影响因素[J]. *中国环境管理*, 2022, 14(3): 112-117.
- [24] 张丽娜, 郝宵, 庞庆华, 等. 城乡分异视角下居民食品消费碳排放驱动效应研究——以江苏省为例的实证分析[J]. *软科学*, 2021, 35(2): 54-59.
- [25] 郑志浩, 高颖, 赵殷钰. 收入增长对城镇居民食物消费模式的影响[J]. *经济学(季刊)*, 2016, 15(1): 263-288.
- [26] 沈辰, 穆月英. 我国城镇居民食品消费研究——基于 AIDS 模型[J]. *经济问题*, 2015(9): 81-85, 104.
- [27] LI L, ZHAI S X, BAI J F. The dynamic impact of income and income distribution on food consumption among adults in rural China[J]. *Journal of integrative agriculture*, 2021, 20(1): 330-342.
- [28] REN Y J, ZHANG Y J, LOY J P, et al. Food consumption among income classes and its response to changes in income distribution in rural China[J]. *China agricultural economic review*, 2018, 10(3): 406-424.
- [29] 肖雪, 胡冰川. 中国城乡居民食品消费分析——基于 QUAIDS 模型和 EASI 模型[J]. *世界农业*, 2022 (7): 67-81.
- [30] 徐振宇, 梁佳, 李冰倩. 我国城乡居民食用农产品消费需求弹性比较——基于 2003—2012 年省级面板数据[J]. *商业经济与管理*, 2016(5): 27-36.
- [31] 杨鑫, 穆月英. 不同地区城镇居民收入对食品消费水足迹的影响——基于 QUAIDS 模型[J]. *资源科学*, 2018, 40(5): 1026-1039.
- [32] 许菲, 白军飞, 李雷. 食物价格对改善居民膳食结构及降低水资源需求的作用机制[J]. *资源科学*, 2021, 43(12): 2490-2502.
- [33] 朱文博, 李国景, 陈永福, 等. 收入增长、饮食结构转变与食物系统碳排放——来自中国 6 省住户调查数据的证据[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(7): 66-81.
- [34] LEI L, SHIMOKAWA S. Promoting dietary guidelines and environmental sustainability in China[J]. *China economic review*, 2020, 59: 101087.
- [35] LIN J Y, HU Y C, CUI S H, et al. Carbon footprints of food production in China (1979—2009) [J]. *Journal of cleaner production*, 2015, 90: 97-103.
- [36] BANKS J, BLUNDELL R, LEWBEL A. Quadratic Engel curves and consumer demand[J]. *Review of economics and statistics*, 1997, 79(4): 527-539.
- [37] RAY R. Measuring the costs of children: an alternative approach[J]. *Journal of public economics*, 1983, 22(1): 89-102.
- [38] POI B P. Easy demand-system estimation with QUAIDS[J]. *The stata journal*, 2012, 12(3): 433-446.
- [39] 刘晔, 车轩. 中国水产养殖二氧化碳排放量估算的初步研究[J]. *南方水产*, 2010, 6(4): 77-80.

责任编辑: 李东辉