

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

曹志宏¹, 郝晋珉², 邢红萍¹

(1. 郑州轻工业学院经济与管理学院, 郑州 425000; 2. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193)

摘要:食物生产是影响温室效应气体排放的重要方面,由于食物类型不同其碳排强度存在较大的差异,因此当前中国居民食物消费快速演替必然会对生态环境产生重要影响。论文利用洛伦兹曲线和基尼系数,研究1997—2016年中国城乡居民食物消费在生产过程中碳排放时空演变及其主要驱动因子。主要结论如下:①在数量上,中国居民食物消费碳排放总量和人均量整体都呈现逐渐的增长刚性,但仍属于低碳消费模式;②在结构上,各类型食物碳排放演变呈现显著的分异态势,整体上动物性食物碳排放增长速度快于植物性食物碳排放减少速度;③在城乡差异上,城镇和乡村居民食物消费碳排放数量、结构和趋势上表现出显著的城乡二元属性,但近年城乡差异表现出减缓趋势;④在空间上,各地食物消费碳排放呈现较显著的民族性、地域性、集聚性和中心“塌陷”的特征,碳排放密度高值主要分布在直辖市和沿海经济相对发达地区;⑤在驱动力上,结构演替是全国居民食物消费碳排放总量整体变化的主要驱动因素,而人口数量是各地地域空间差异分布的主要驱动因子。

关键词:居民食物消费;碳排放;演变趋势;空间集聚;驱动分析;中国

种植业碳排放占全球温室气体碳排放总量的10%~12%^[1],畜牧业在生产的过程中产生的温室气体占全球总碳排放总量的18%~51%^[2],许多研究认为农业生产是影响全球温室效应最主要的因素^[3]。同时,农业生产的首要功能是为人类生产生活提供必要的食物,因此食物消费碳排放问题也越来越受到社会各界的关注。随着中国经济的快速发展和居民生活水平的显著提高,居民生活也由过去的追求温饱向更美好生活的方向转变,进而推动居民食物消费结构优化升级,畜产品食物消费数量和比例不断增加,而单位质量动物性食物生产的碳排放强度一般远高于植物性食物^[4],因此当前居民食物消

费结构快速演变必然对中国生态环境碳排放产生重要影响。

国际上,学者主要基于生产和消费2个视角研究食物碳排放。农业生产是国民经济发展的重要部门,随着全球温室效应问题的日益严峻,学者对农业食物生产碳排放较早给予关注,如国际绿色和平组织和联合国粮农组织分别对全球种植农业和畜牧业的食物生产碳排放进行了广泛的研究。国内学者在借鉴国外研究方法的基础上,对其进行了大量的实证分析,田云等^[5]、王莉等^[6]和姚成胜等^[7]分别研究了中国种植农业和畜牧业生产的碳排放问题。同时,生产与消费是社会经济问题研究的2个

收稿日期:2019-01-17;修订日期:2019-06-01。

基金项目:国家自然科学基金联合基金项目(U1504707);河南省高校科技创新人才支持计划(人文社科类)项目(2017-cx-028);河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2017GGJS098);河南省高等学校哲学社会科学优秀学者资助项目(2019-YXXZ-19)。[**Foundation:** Joint Funds of the National Natural Science Foundation of China, No. U1504707; Program for Science and Technology Innovation Talents in Higher Education of Henan Province (Humanities and Social Science), No. 2017-cx-028; Program for Training Young Key Excellent Teachers in Higher Education of Henan Province, No. 2017GGJS098; Program for Philosophy and Social Sciences Excellent Scholars in Higher Education of Henan Province, No. 2019-YXXZ-19.]

第一作者简介:曹志宏(1980—),女,河南遂平人,副教授,主要研究方向为资源管理和农村经济。E-mail:caozhihongczh@163.com

引用格式: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.[Cao Zhihong, Hao Jinmin, Xing Hongping. Spatial-temporal change of Chinese resident food consumption carbon emissions and its driving mechanism. Progress in Geography, 2020, 39(1): 91-99.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.01.009

重要方面,随着食物碳排放研究的成熟与发展,其研究也逐渐由生产领域拓展到消费领域。国外研究对食物消费的碳排放核算、结构影响及其对社会经济影响等方面都有一定的涉及,如Weber等^[8]对比分析了不同食物消费对碳排放的影响,认为动物性食物消费增长会显著增加农业碳排放量;Tilman等^[9]的研究表明,当前全球居民食物消费正向高热量方向演替,持续发展下去会促使其碳排放量增加80%;Tom等^[10]核算美国居民食物消费生命周期碳排放,并提出了减少对生态碳环境影响的食物消费结构优化路径;Ritchie等^[11]研究了食物消费碳排放与经济弹性之间的关系。国内学者对食物消费碳排放问题也给予了较多的关注,且随着食物碳排放问题研究的学科交融,由于研究边界划分和视角的不同,其相关研究成果可以分间接和直接碳排放2类^[12]。资源环境学学者一般基于生命周期理论,研究食物进入市场消费前,产品或者服务在整个生命过程中从摇篮到坟墓所产生的隐含CO₂当量,研究边界以借鉴食物生产碳排放的核算方法为主,涉及食物在生产过程中各种农资消耗、稻田CH₄排放、土壤NO_x和牲畜养殖温室效应气体等所产生的间接碳排放^[5]。社会经济学家主要基于行为理论研究食物进入市场流通后,居民食物消费行为在运输、存储和烹饪等相关过程中所产生的CO₂排放量,由于与食物消费行为直接且密切相关,被称为直接碳排放。同时,安玉发等^[12]、吴燕等^[13]和智静等^[14]基于生产周期理论分别从食物农资消耗、加工、运输、食材、家庭炊事和仓储等环节,核算研究了中国城乡居民食物消费的直接和间接碳排放问题;曾静静等^[15]论述评价了家庭碳排放的计算方法。

整体而言,国内食物碳排放研究存在以下问题:①系统边界不明确,食物消费碳排放研究边界仅指产业生产的间接碳排放,还是指消费密切行为所产生的直接碳排放,亦或是二者兼有,目前尚不统一;②消费领域研究相对较少,农业食物生产领域碳排放研究较早,其研究方法相对成熟,种植业和畜牧业部门产业生产间接碳排放研究成果较丰富,但对于单位质量各类食物的间接碳排放研究尚少见,且其消费领域研究相对较少,有待于丰富和发展;③与国际研究成果缺乏可比性,食物消费碳排放由农业生产碳排放研究演化而来,国际上食物消费碳排放主要指其间接碳排放,而国内当前部分食物消费碳排放研究主要是指其直接和间接碳排

放,成果难以与国际成果相比较。

鉴于此,在当前“大农业”和“大食物”的发展背景下,本文研究当前中国居民食物消费间接碳排放的时空演变特征及其驱动因素,以期为农业碳减排、农业结构和食物结构优化调整提供科学依据和决策依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文中居民食物消费的种类主要包括:原粮、植物油、蔬菜、瓜果、猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、水产品、奶类和食糖等12类,其居民食物消费基础数据主要来源于《中国农村住户调查年鉴》《中国农村统计年鉴》和《中国统计年鉴》。统计年鉴中,2012年以前和2013年后城镇居民粮食消费的统计口径分别为加工粮和原粮,2013年和2016年中国城镇居民人均粮食消费分别为121.30 kg和111.90 kg原粮,年均减少量为3.13 kg,按照平均趋势法推算2012年为124.43 kg原粮,而其原始统计数据为78.80 kg加工粮,因此,加工粮与原粮之间的折算系数约为0.63。

为分析食物消费碳排放结构演变,将居民食物划分为植物性和动物性食物,其中植物性食物包括粮食、植物油、蔬菜、瓜果和食糖,动物性食物包括猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、水产品、奶类。各类食物碳排放强度系数主要来源于Tilman等^[9]的研究,该研究是基于生命周期理论和IPCC报告碳排放因子而核算的碳当量排放量,综合了全球诸多学者的前期研究,对于全球或国家宏观居民食物消费碳排放研究具有较高的参考价值。由于文献中的碳排放系数的单位为g/kcal(1 kcal=4186 J),这里需要利用各类食物的能量转换率 j 进行修正,各类食物的碳排放系数如表1所示。

1.2 研究方法

依据居民各类食物消费量及其碳排放强度系数,全国及各地居民食物碳排放核算公式如下:

$$C = \sum_{j=1}^n C_j \times P_j = \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i_1=1}^{m_1} K_{i_1} \times Q_{i_1,j} + \sum_{i_2=1}^{m_2} K_{i_2} \times Q_{i_2,j} \right) \times P_j \quad (1)$$

式中: C 和 C_j 分别为全国及地区 j 居民食物消费碳排放总量和人均数量; $Q_{i_1,j}$ 和 $Q_{i_2,j}$ 分别为地区 j 居民植物性食物 i_1 和动物性食物 i_2 的人均消费量; K_{i_1}

表1 各类食物的碳排放强度系数
Tab.1 Carbon emission intensity coefficient values of major diet items (kg CO₂-eq/kg)

食物	植物性食物					动物性食物						
	粮食	植物油	蔬菜	瓜果	食糖	猪肉	牛肉	羊肉	禽肉	蛋类	水产品	奶类
系数	0.27	1.48	0.40	0.07	0.08	7.64	12.04	18.86	1.71	0.78	1.94	0.36

注: 各类食物的能量转换率源于文献[16], 其单位是 J/t; 其食物单位热量碳排放强度系数来自文献[9], 单位是 CO₂-eq g/kcal, 1 kcal=4186 J; 表中各食物单位重量碳排放强度系数是其能量转换率与单位热量碳排放强度系数的乘积。

和 K_{i_2} 分别表示各类植物性和动物性食物的碳排放强度系数; P_j 为地区 j 的人口数量; m_1 和 m_2 分别为植物性和动物性食物类型数, 这里分别为 5 和 7; n 为中国省级行政区 j 的个数(不包含港澳台地区), 取 31。

在居民食物消费碳排放核算的基础上, 本文依据洛伦茨曲线和基尼系数分析各地居民食物消费碳排放差异的驱动因子和空间集聚性。基尼系数源于洛伦茨曲线, 原用于判断收入分配公平程度和贫富差异的参数, 后来其应用范围不断扩大, 被用来衡量人口数量、消费需求、经济增长和社会福利等社会经济指标的空间集聚和关联程度^[17], 也被称为空间基尼系数。空间基尼系数值域介于 0~1 之间, 其值越低, 说明研究指标在地域空间上越分散, 因素之间的关联性越强; 其值越高则说明研究指标在空间上越集聚, 因素之间的关联程度越差。基于洛伦茨曲线和基尼系数的中国各地居民食物消费碳排放差异的驱动分析过程如下: 首先将各地数据

按照单位土地面积或人均食物消费碳排放量由小到大的顺序进行排列, 设以不大于 W 的各地土地面积或人口数量占全国总量的比重累计量 X_i 为横坐标变量 X , 以不大于 W 的各地食物消费碳排放量占全国总量的比重累计量 Y_i 为纵坐标变量 Y , 在 X - Y 坐标系中绘制的曲线即为洛伦兹曲线, 经过原点与横轴 X 正方向成 45° 夹角的直线为绝对平均线, 洛伦兹曲线与绝对平均线之间围成面积的 2 倍数值即为其基尼系数 (G), 公式如下:

$$G = 1 - \sum_{i=1}^n (Y_i + Y_{i-1}) \times (X_i - X_{i-1}) \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 中国居民食物消费碳排放的演变趋势分析

2.1.1 数量增长的持续性

1997—2016 年中国城乡居民人均食物碳排放量核算结果, 如表 2 所示。可见, 整体而言, 由于居

表 2 1997—2016 年中国居民食物消费人均碳排放量统计结果

Tab.2 Diet carbon emission per capita calculation results of Chinese resident during 1997-2016 (kg CO₂-eq)

食物	1998年	2000年	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年
植物性食物	粮食	57.31	55.98	52.15	48.41	45.40	41.38	42.01	38.83	35.98
	植物油	8.82	10.22	10.85	10.29	10.93	12.44	11.52	12.95	14.75
	蔬菜	42.88	42.36	43.54	43.45	41.39	42.25	39.83	37.60	38.72
	瓜果	1.88	1.95	2.01	1.99	2.22	2.13	2.18	2.39	2.88
	糖	0.13	0.12	0.14	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.11
	小计	111.03	110.63	108.69	104.25	100.04	98.30	95.64	91.87	92.90
动物性食物	猪肉	99.64	109.34	122.16	119.08	131.19	117.77	131.15	134.19	149.83
	牛肉	13.23	12.52	12.99	14.92	17.56	16.39	18.83	22.09	21.67
	羊肉	16.62	16.37	16.07	19.74	20.91	17.81	19.33	20.28	28.29
	禽肉	5.08	6.19	7.23	6.21	7.63	8.66	9.55	10.29	15.54
	蛋类	4.37	5.06	4.96	4.95	5.21	5.55	5.29	5.82	7.52
	水产品	10.49	12.22	14.21	14.20	15.46	15.11	18.31	18.93	22.06
	奶类	1.14	1.85	3.00	3.91	4.23	3.83	3.76	4.18	4.32
小计	150.56	163.55	180.61	183.02	202.19	185.12	206.23	215.78	249.24	
人均碳排放总计	261.59	274.17	289.30	287.26	302.23	283.42	301.87	307.65	328.48	

注: 因篇幅限制, 仅给出偶数年数据。

民劳动强度降低、健康消费理念改变和食物消费结构优化调整等原因,中国居民人均食物消费量呈现整体减少态势,而其碳排放却呈现总体增长态势。2016年居民人均食物消费量为350.00 kg,仅是1997年人均消费量的90.54%;而2016年中国城乡居民食物消费人均碳排放量为341.68 kg CO₂-eq,是1997年人均碳排放量的131.99%,年均增长率1.68%,具体如图1所示。

同时,虽然1997—2016年中国居民食物消费人均碳排放整体表现出较显著的增长,但其间由于受农业生产供给、数据变异、统计口径和统计部门变动等因素影响,其演变也表现出一定的波动性,其中2002、2008和2013年前后变化较大。2002年前后由于粮食等农业生产经济效益相对低下,全国出现较大范围的耕地撂荒等行为,农民农业生产的积极性受到较大的打击,使得农业产出供给受到一定影响,2003年后全国相继出台了一系列的惠农补贴政策,农业生产得到一定的恢复并进一步保持增长态势。2008年的全国居民食物消费人均碳排放也呈现一定的波动,统计基础数据中,2008年全国城镇居民粮食消费量仅为63.60 kg,仅分别是2007年和2009年统计量的80.81%和78.23%,数据变化幅度较大,而食物消费是居民生存生产的最基本需要,年际变化不应浮动过多,学术界一般认为其重要原因是统计口径变化和统计变异^[18]。2013年全国居民食物消费人均碳排放增长较快,是由于城乡统计部门统一统计因素变化造成的影响。

2.1.2 结构演变的差异性

2016年中国居民人均植物性和动物性食物消费量分别为284.90 kg和65.10 kg,其中植物性食物占其人均消费总量的81.40%,说明素食消费仍在中

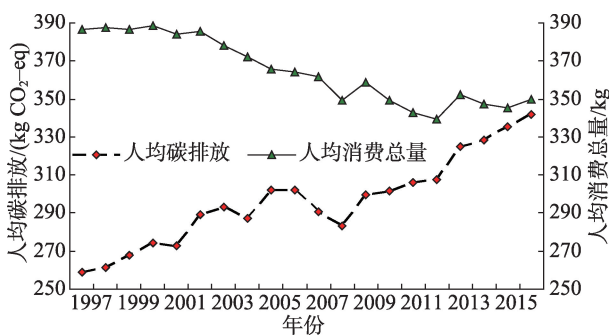


图1 1997—2016年中国居民人均食物消费重量与碳排放量变化

Fig.1 Comparison of Chinese resident food consumption per capita per year (weight) and carbon emissions, 1997—2016

国居民日常饮食消费中占有重要地位,但结构演变已对居民食物消费人均碳排放产生重要影响。2016年全国居民食物消费人均碳排放量为341.68 kg CO₂-eq,其中植物性和动物性食物的人均碳排放量为92.44 kg CO₂-eq和249.24 kg CO₂-eq,分别是1997年其人均碳排放的83.14%和168.76%,植物性和动物性食物人均碳排放呈现相反的演变趋势。由于动物性食物在生产的过程需要消耗数倍的植物量,生产过程中向环境释放的温室效应气体一般也较多,因此随着居民生活水平的提高,动物性食物消费数量的提升促其碳排放有较大幅度的增长,且动物性食物消费数量快速增长是中国居民食物消费人均碳排放整体呈现增长态势的直接原因。

2.1.3 类型演替的分异性

全国居民食物消费结构人均碳排放呈现一定的分异性,具体就食物消费类型而言,粮食消费人均碳排放下降最多,2016年其人均排放量为35.98 kg CO₂-eq,仅是1997年的58.71%;蔬菜和糖类消费的人均碳排放有小幅下降,2016年其人均排放量分别为38.72 kg CO₂-eq和0.11 kg CO₂-eq,分别是1997年的91.15%和92.73%;植物油和猪肉消费人均碳排放有一定的增长,2016年其人均排放量分别为14.75 kg CO₂-eq和149.83 kg CO₂-eq,分别是1997年的184.41%和158.99%;瓜果、牛肉、羊肉、蛋类和水产品消费的人均碳排放增长较快,2016年其人均排放量分别为2.88、21.67、28.29、7.52和22.06 kg CO₂-eq,分别是1997年的213.19%、228.98%、213.35%、207.43%和207.43%;禽肉和奶类的人均消费碳排放大幅增长,2016年其人均排放量分别为15.54 kg CO₂-eq和4.32 kg CO₂-eq,分别是1997年的374.28%和577.90%。整体上,中国居民食物消费碳排放以粮食、蔬菜和猪肉为主,三者共占2016年全国人均食物碳排放总量的65.71%,但其增长速度较为缓慢,甚至呈现下降趋势,而其他食物碳排放虽然所占的比例较小,增长速度却相对较快。

2.1.4 城乡差异二元性

中国城镇和乡村居民食物消费碳排放在数量、结构和趋势上表现出显著的城乡二元属性。在数量上,城镇居民食物消费人均碳排放高于乡村,2016年中国城镇和乡村居民食物消费人均碳排放分别为373.13 kg CO₂-eq和306.19 kg CO₂-eq,城镇人均碳排放是乡村的1.22倍。在结构上,城乡居民植物性和动物性食物消费人均碳排放差异明显,

2016年中国城镇和乡村居民植物性食物消费人均碳排放分别为92.83 kg CO₂-eq和94.68 kg CO₂-eq,城镇植物性食物消费人均碳排放为乡村的98%;而城镇和乡村居民动物性食物消费人均碳排放分别为280.30 kg CO₂-eq和211.51 kg CO₂-eq,城镇动物性食物消费人均碳排放是乡村的1.32倍。在趋势上,城镇居民食物消费人均碳排放变化相对稳定缓和,而乡村居民食物消费除了受上述结构优化演替、农业生产波动、统计变异和经济收入等因素影响外,还要受农业劳动强度、农业制度改革和农业现代化技术推广等因素变化的影响,因此全国乡村居民食物消费人均碳排放变化表现较为曲折。2013年后乡村居民食物消费人均碳排放演替较快,其城乡二元差异呈现减弱趋势,如图2所示。

2.1.5 结构驱动的主因性

由于1997—2016年全国居民食物消费人均碳排放量和人口数量都呈现较稳定的增长态势,因此全国居民食物碳排放总量也表现出较为稳定的增长性。2016年全国居民食物消费碳排放总量为47244.58万t CO₂-eq,是1997年的1.48倍,年均增长率为2.51%,而同期全国居民食物消费人均碳排放量和人口数量的年均增长率分别为1.68%和0.62%。全国居民食物消费碳排放总量为人均碳排放与人口数量的乘积,因此相对中国较大人口数量

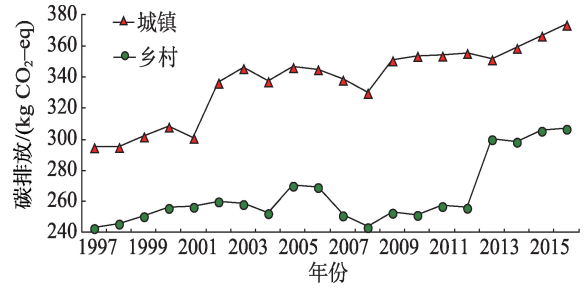


图2 1997—2016年中国城乡居民食物消费碳排放发展趋势对照

Fig.2 Carbon emission change of Chinese urban and rural resident food consumptions, 1997-2016

而言,居民食物消费人均碳排放演变对全国食物碳排放总量的影响程度更加深远。

2.2 各地居民食物消费碳排放空间布局特征与差异驱动研究

2.2.1 空间布局特征分析

为消除数据年际间统计波动的影响,根据2015—2016年全国及各地居民食物消费人均碳排放的平均值,分析当前居民食物消费碳排放的空间布局特征及其驱动因子,核算结果按照其人均碳排放量由小到大进行排列,如表3所示。

中国各地食物消费人均碳排放呈现较显著的民族性和地域空间差异性。表3显示,西藏、内蒙

表3 2015—2016年中国及各地区居民食物消费碳排放均值

Tab.3 Provincial average of resident food consumption carbon emissions in China, 2015-2016

地区	人均食物碳排放/(kg CO ₂ -eq)			总量/ (万 t CO ₂ -eq)	地区	人均食物碳排放/(kg CO ₂ -eq)			总量/ (万 t CO ₂ -eq)
	植物性	动物性	合计			植物性	动物性	合计	
山西	81.72	125.68	207.40	762	辽宁	106.17	248.15	354.33	1552
陕西	86.17	124.81	210.98	802	浙江	93.03	272.25	365.28	2033
河南	83.31	148.23	231.54	2201	湖南	97.67	273.38	371.05	2524
河北	90.25	169.05	259.30	1931	青海	73.59	303.40	376.98	223
甘肃	90.97	181.11	272.08	709	天津	104.21	274.79	379.00	589
山东	88.20	184.17	272.36	2696	上海	86.43	295.23	381.65	923
吉林	95.49	182.59	278.08	763	广西	86.83	296.54	383.37	1847
黑龙江	98.59	188.15	286.74	1091	福建	85.74	311.58	397.32	1532
宁夏	86.78	221.21	307.99	207	海南	74.94	323.88	398.82	365
安徽	92.91	226.06	318.97	1968	广东	87.19	343.48	430.67	4705
北京	82.27	245.69	327.96	712	四川	114.69	327.08	441.77	3637
江西	105.28	227.15	332.43	1522	重庆	117.35	336.74	454.09	1377
云南	86.40	254.26	340.66	1620	新疆	114.11	363.49	477.60	1136
贵州	84.35	259.77	344.12	1219	内蒙古	96.50	385.32	481.82	1212
江苏	94.95	251.80	346.75	2770	西藏	104.84	508.83	613.67	201
湖北	102.78	246.56	349.34	2050	全国	93.65	246.27	339.92	46864

古、新疆、重庆和四川是位于全国各地居民食物消费人均碳排放量排序前五的地区,主要是分布在少数民族集聚且动物性食物消费较多的地区。其余各地区居民食物消费人均碳排放量及其人均GDP的Pearson秩相关系数为0.36,达到单尾0.05的显著性水平,说明随着经济水平的提高和居民动物性食物消费数量的增长,居民食物消费碳排放呈现上升态势。这与世界食物消费的发展趋势一致,即随着经济的不断发展,居民动物性食物消费也会不断提高^[19],由于畜产品生产的碳排放强度一般较高,因此居民食物消费人均碳排放也有随着其经济收入水平的提高而呈现不断增长的态势。受经济区位等因素的影响,中国经济发展有显著的地域差异属性^[20],因此中国食物消费人均碳排放也呈现显著的地域特征。东南沿海地区由于经济发展水平较高,其居民食物消费人均碳排放也会高于经济相对落后而少数民族人口比例较低的地区。

在资源占有量上,相对黑龙江、辽宁等地区,受自然资源分布和历史等因素的影响,河南、河北等地区人口相对稠密,因而其动物性食物消费在资源占有量上缺少数量优势;在经济因素驱动上,相对广东、福建等地区,河南、河北等地区社会经济发展相对落后,人均动物性食物消费在发展水平上缺乏经济基础;在地域民族文化上,相对西藏、内蒙古、新疆等少数民族集聚地区,中部地区受中国历史素食传统文化消费理念影响较深,因此中部地区居民

植物性食物消费较多,而动物性食物消费相对较少,促使中国居民食物消费人均碳排在空间上呈现四周高、中间低的地域特征,整体呈现中心“塌陷”的地域特征,如表3中山西、陕西、河南、河北和甘肃是位于全国各地居民食物消费人均碳排放量排序后五的地区,这些地区在地理空间分布上都位于全国相对中间位置。

2.2.2 地区差异驱动分析

按照上文1.2小节基尼系数的计算方法,下面定量分析地区食物消费碳排放总量的空间集聚特征及其驱动因素,人口数量与碳排放、土地面积与碳排放的洛伦兹曲线如图3所示。

经计算,2015—2016年中国各地居民食物消费碳排放量均值与行政区划土地面积之间的基尼系数为0.64,依据国际区段划分标准,基尼系数处于0.6以上,说明中国居民食物消费量具有显著的空间集聚特征。各地单位土地面积居民食物消费碳排放均量差异较大,2015—2016年全国各地单位土地面积居民食物消费碳排放量最大值地区为1464.52 t CO₂-eq /km²,最小值地区为1.64 t CO₂-eq /km²,最高值是最低值的895.13倍,高值地区主要分布在上海、天津、北京、江苏、广东、浙江、山东和重庆等人口密度较为稠密和经济相对发达的直辖市和沿海地区。虽然中国居民食物消费碳排放总量仅相当于全年能源碳排放总量的6.21%,但部分地区居民饮食行为对环境中的碳排放问题不容忽视,

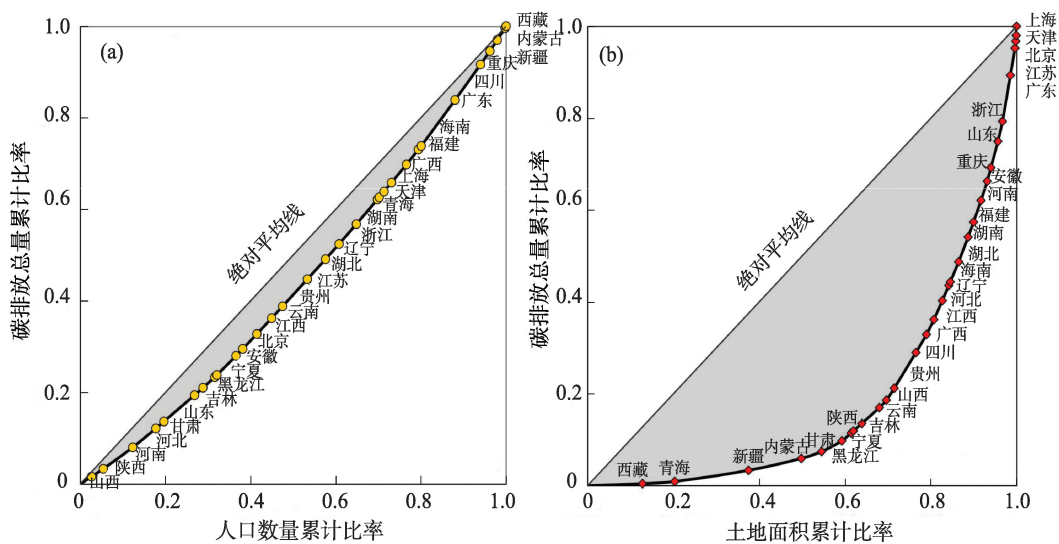


图3 2015—2016年中国人口数量、土地面积与居民食物碳排放的洛伦兹曲线对照图

Fig.3 Comparison of Lorenz curve diagrams of population to resident food consumption carbon emissions and land area to resident food consumption carbon emissions in China, 2015–2016

因此要通过倡导科学食物消费理念、减少农资消耗和提高农业生产管理水平等,以减少其对生态碳环境的影响。

同时2015—2016年中国各地居民食物消费碳排放总量均值与人口数量之间的基尼系数为0.12,根据基尼系数的国际区段划分标准,处于0.2以下说明中国各地居民食物消费碳排放与其人口数量变化基本一致。地区居民食物消费碳排放总量等于人口数量与其人均碳排放的乘积,经计算,2015—2016年中国各地居民食物消费碳排放总量与其人口数量的Pearson秩相关系数为0.92,达到单尾0.01的显著水平,说明地区居民食物消费碳排放总量与其人口总量之间存在显著的正相关关系,也说明人口数量是全国各地居民食物消费碳排放差异的主要驱动成因。2016年中国各地人口数量最小和最大的地区分别为327.46万人与10924.00万人,最大值是最小值的33.36倍;而同期其地区居民食物消费碳排放总量最大值和最小值分别为201万t CO₂-eq和4710万t CO₂-eq,最大值是最小值的23.41倍,因此,地区居民食物消费碳排放总量与其人口变化幅度较为一致。同时,全国各地居民植物性食物消费人均碳排放量介于73.59~117.35 kg CO₂-eq之间,而动物性食物消费人均碳排放量介于124.81~508.83 kg CO₂-eq之间,动物性食物消费人均碳排放地区差异较大,因此动物性食物消费数量是全国各地居民食物消费人均碳排放差异的重要原因。

3 讨论

3.1 中国居民食物消费的低碳消费模式

从数量上看,2016年中国居民食物消费人均碳排放为341.68 kg CO₂-eq,仅相当于2009年美国居民食物消费人均碳排放量1314.90 kg CO₂-eq的25.99%^[21]。从结构上看,2016年全国居民食物消费碳排放总量增长至47244.58万t,而2016年中国碳排放总量约为92亿t^[22],居民食物消费碳排放占全国碳排放总量的5.15%,而Heller等^[20]研究计算出美国居民食物消费碳排放约占其全国碳排放总量的8.00%。因此,无论从人均碳排放量上,还是按结构比例,中国居民食物消费都属于低碳型食物消费模式。其主要原因一方面在于植物性食物在居民食物消费总量中仍占有相当比例;另一方面中国畜产

品消费中猪肉、禽肉、禽蛋和水产品的消费比例较高,其碳排放强度系数较低,而牛羊肉等碳排放强度系数较高的畜产品消费较少,2016年全国居民人均羊肉消费量为3.25 kg,仅占其人均肉类消费的12.46%。

3.2 中国居民食物消费对全国碳排放总量的影响

基于生命周期理论的IPCC报告中碳排放核算方法,得到众多学者的普遍认可,文中所引用Tilman等^[9]研究成果中各类食物的碳排放强度系数,是基于该方法而核算的全球平均数量。尽管中国各类食物碳排放强度系数的精度有待于进一步考究,但应用到全国居民食物消费碳排放研究中也较为适宜,不影响得出的主要结论,研究结果也可与国外成果进行对比。当然,也有较多学者认为当前食物碳排放核算体系仍有不完善的地方。如尹钰莹等^[23]以河北省曲周县为例研究了农田作物根系呼吸以及土壤微生物对有机质分解所产生的土壤CO₂呼吸对种植业碳排放的重要影响;世界银行前任首席环境顾问Goodland^[2]修正了FAO《牲畜的巨大阴影》报告的统计缺漏,认为畜牧业养殖动物呼吸的碳排放将使畜牧业碳排放大幅度上升。因此,如果将土壤CO₂呼吸和动物性呼吸碳排放计入当前食物消费碳排放核算体系,居民食物消费对全国碳排放的影响会进一步提升。同时,随着中国居民生活水平的提高,居民畜产品消费数量日益提升,且近年来国内牛羊肉价格持续走高,也说明消费者对牛羊肉消费意愿强烈,因此未来居民食物消费优化演替必将会对中国碳排放产生更大的压力,探索居民食物消费低碳模式与其科学引导机制也具有较强的研究意义。

4 结论

(1) 中国居民食物消费仍属于低碳消费模式,其全国碳排放总量呈现显著增长态势,2016年增长至47244.58万t CO₂-eq,占全国碳排放总量的5.15%,结构演变是中国居民食物消费碳排放总量和人均碳排放增长的主要驱动力。

(2) 1997—2016年中国居民食物消费人均碳排放表现出逐渐增长态势,2016年其人均碳排放为341.68 kg CO₂-eq,其年均增长率1.68%,但在结构上,各食物消费类型存在较大的分异,整体上动物性食物碳排放增长速度快于植物性食物碳排放减

少速度。

(3) 中国城镇和乡村居民食物消费碳排在数量、结构和趋势上表现出显著的城乡二元属性,整体上城镇居民食物消费人均碳排放量相对较高且演变平稳,而乡村居民食物消费人均碳排放量相对较低且演变快速,近年来其城乡差异呈现减缓态势。

(4) 中国各地食物消费人均碳排放呈现较显著的民族性、地域空间差异和中心“塌陷”的属性特征,同时各地食物消费总量与人口数量分布较为一致,人口数量是各地食物消费碳排放总量差异的主要驱动因素。

参考文献(References)

- [1] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, et al. Livestocks Long Shadow [M]. Rome: FAO, 2006.
- [2] Goodland R. Lifting livestock's long shadow [J]. Nature Climate Change, 2013, 3(1): 2.
- [3] Goodland R, Anhang J. Livestock and climate change [J]. World watch, 2009, 22(6): 10-19.
- [4] De Jonge V N, Schucke U, Baird D. Effects of spatial scale, species aggregation and balancing on carbon flows and ecological network analysis indicators of food webs [J]. Marine Ecology Progress Series, 2019, 613:15-47.
- [5] 田云, 张俊飏. 中国农业碳排放、低碳农业生产率及其协调性研究 [J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(5): 208-218. [Tian Yun, Zhang Junbiao. Agricultural carbon emission, low carbon productivity and their coordinated relation in China. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(5): 208-218.]
- [6] 王莉, 曲建升, 刘莉娜, 等. 1995—2011年我国城乡居民家庭碳排放的分析与比较 [J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 6-11. [Wang Li, Qu Jiansheng, Liu Lina, et al. Analysis and comparison of carbon emissions from urban and rural residents in China from 1995 to 2011. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(5): 6-11.]
- [7] 姚成胜, 钱双双, 李政通, 等. 中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制 [J]. 资源科学, 2017, 39(4): 698-712. [Yao Chengsheng, Qian Shuangshuang, Li Zhengtong, et al. Provincial animal husbandry carbon emissions in China and temporal-spatial evolution mechanism. Resources Science, 2017, 39(4): 698-712.]
- [8] Weber C L, Scott Matthews H. Food-miles and the relative climate impacts of food choices in the United States [J]. Environmental Science & Technology, 2008, 42(10): 3508-3513.
- [9] Tilman D, Clark M. Global diets link environmental sustainability and human health [J]. Nature, 2014, 515: 518-522.
- [10] Tom M S, Fischbeck P S, Hendrickson C T. Blue water footprint, and greenhouse gas emissions for current food consumption patterns and dietary recommendations in the US [J]. Environment Systems & Decisions, 2016, 36(1): 92-103.
- [11] Ritchie H, Reay D S, Higgins P. The impact of global dietary guidelines on climate change [J]. Global Environmental Change, 2018, 49: 46-55.
- [12] 安玉发, 彭科, 包娟. 居民食品消费碳排放测算及其因素分解研究 [J]. 农业技术经济, 2014(3): 74-82. [An Yufa, Peng Ke, Bao Juan. Study on estimation of carbon emission from food consumption and its factor decomposition. Journal of Agrotechnical Economics, 2014(3): 74-82.]
- [13] 吴燕, 王效科, 逯非. 北京市居民食物消费碳足迹 [J]. 生态学报, 2012, 32(5): 1570-1577. [Wu Yan, Wang Xiaoke, Lu Fei. Carbon footprint of food consumption in residents food consumption of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(5): 1570-1577.]
- [14] 智静, 高吉喜. 中国城乡居民食品消费碳排放对比分析 [J]. 地理科学进展, 2009, 28(3): 429-434. [Zhi Jing, Gao Jixi. Comparative analysis of food consumption carbon consumption in urban and rural residents of China. Progress in Geography, 2009, 28(3): 429-434.]
- [15] 曾静静, 张志强, 曲建升, 等. 家庭碳排放计算方法分析评价 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(10): 1341-1352. [Zeng Jingjing, Zhang Zhiqiang, Qu Jiansheng, et al. Analysis and evaluation of methods for household carbon emissions calculation. Progress in Geography, 2012, 31(10): 1341-1352.]
- [16] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 35-41. [Lan Shengfang, Qin Pei, Lu Hongfang. Emergy analysis of ecological-economic system. Beijing, China: Chemical Industry Press, 2002: 35-41.]
- [17] 吴雪萍, 赵果庆. 中国空间基尼系数: 测算、改进与趋势 [J]. 统计与决策, 2017(3): 5-9. [Wu Xueping, Zhao Guoqing. Spatial Gini coefficient: Calculation, improvement and trend in China. Statistics and Decision, 2017(3): 5-9.]
- [18] 辛良杰, 王佳月, 王立新. 基于居民膳食结构演变的中国粮食需求量研究 [J]. 资源科学, 2015, 37(1): 1347-1356. [Xin Liangjie, Wang Jiayue, Wang Lixin. Study on China's grain demand based on the evolution of residents' dietary structure. Resources Science, 2015, 37(1): 1347-1356.]
- [19] Rask K J, Rask N. Economic development and food pro-

- duction- consumption balance: A growing global challenge [J]. *Food Policy*, 2011, 36(2): 186-196.
- [20] 张其富, 钟坚, 黄小兵. 我国区域经济不均衡的长期演变及政策探析 [J]. *江西社会科学*, 2018, 38(9): 56-65. [Zhang Qifu, Zhong Jian, Huang Xiaobing. Long-term evolution and policy analysis of regional economy disequilibrium development in China. *Jiangxi Social Sciences*, 2018, 38(9): 56-65.]
- [21] Heller M C, Keoleian G A. Greenhouse gas emission estimates of US dietary choices and food loss [J]. *Journal of Industrial Ecology*, 2015, 19(3): 391-401.
- [22] 王露露. 报告显示中国碳排放量或已见顶将提前兑现气候承诺 [EB/OL]. <http://www.cankaoxiaoxi.com/china/20180704/2287641.shtml>, 2007-07-07. [Wang Lulu. The report shows that China's carbon emission maybe have peaked and climate promise would be cashed in advance. <http://www.cankaoxiaoxi.com/china/20180704/2287641.shtml>, 2007-07-07.]
- [23] 尹钰莹, 郝晋珉, 牛灵安, 等. 河北省曲周县农田生态系统碳循环及碳效率研究 [J]. *资源科学*, 2016, 38(5): 918-928. [Yin Yuying, Hao Jinmin, Niu Ling'an, et al. Carbon cycle and carbon efficiency of farmland ecosystems in Quzhou Hebei Province. *Resources Science*, 2016, 38(5): 918-928.]

Spatial-temporal change of Chinese resident food consumption carbon emissions and its driving mechanism

CAO Zhihong¹, HAO Jinmin², XING Hongping¹

(1. School of Economics and Management, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 425000, China;

2. College of Land Resource Management, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Food production is an important aspect affecting greenhouse gas emissions. As carbon emission intensity coefficient values of different food types vary greatly, the improvement in economic development levels and living standards and the resulting rapid change of resident food consumption in China have important impacts on the ecological environment and carbon emissions in the country. This study examined the trend of change of urban and rural resident food consumptions in China from 1997 to 2016, and analyzed its spatial-temporal agglomeration characteristics and driving factors with the Lorentz curve and Gini coefficient. The main conclusions are as follows: The total quantity and per capita share of Chinese resident diet carbon emissions were increasing gradually, but they still belong to the low-carbon consumption category globally. Structurally the various kinds of resident diet carbon emissions in China showed different trends of change, and animal food carbon emission increment rate was faster than plant food reduction rate. Residents' diet carbon emissions showed a significant urban-rural division in quantity, structure, and trend, but the gap is narrowing in recent years. Per capita emissions showed significant differences among the ethnic groups and regions, and the high value regions of food consumption carbon emission density were mainly distributed in the municipalities and economically developed coastal areas. Structural optimization was the main direct driving factor of the national food consumption carbon emission change in China, while population was the main factor of regional differentiation.

Keywords: resident food consumption; carbon emissions; evolution trend; spatial-temporal features; driving factor analysis; China