

中国农村居民食品消费碳排放的时空格局及其影响因素

杨旺舟

(云南师范大学经济与管理学院, 云南昆明 650500)

【摘要】 在全球气候变化背景下, 研究居民食品消费碳排放具有重要的意义。本文基于全国和地区农村居民家庭食品消费量调查数据及其人均食品消费碳排放的测算, 运用ArcGIS空间统计分析、地理探测器因子探测等方法, 分析2000—2019年中国农村居民家庭食品人均碳排放的时空格局及其驱动因素。结果表明: ①碳排放结构中升降因素叠加, 人均碳排放量增速不明显。②人均碳排放量存在空间集聚效应, 但集聚程度呈下降趋势。③人均碳排放量、直接与间接排放量空间分异的影响因素不同。其中, 人均碳排放量主要受到猪牛羊肉消费量、食品消费支出的影响。建议从优化农村居民的饮食结构, 适度减少猪牛羊肉的消费量、增加综合碳折算系数较低的禽肉、蛋类、牛奶和鱼类等动物性食品的消费量, 以及加强人均碳排放量较高地区饮食结构调整和优化的指导等方面, 减少农村居民食品消费的人均碳排放量。

【关键词】 农村居民家庭; 食品消费; 碳排放; 时空格局; 空间自相关; 地理探测器

【中图分类号】 X22

【文章编号】 1674-6252 (2022) 03-0112-06

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2022.03.112

引言

1992年, 联合国环境与发展大会《21世纪议程》指出, 不可持续的消费和生产形态是造成全球环境持续恶化的重要成因。收入增加、城市化推动饮食转型, 传统饮食被糖、脂肪、油和肉类含量较高的饮食所取代。如果不加以控制, 这将成为2050年食物生产等引起的全球农业温室气体排放增加80%的主要原因^[1]。居民家庭消费是社会终端消费的基本单元, 食品消费是人类最基本的消费行为。因此, 研究居民食品消费碳排放具有重要的现实意义。

居民饮食结构变化对农业温室气体排放的影响较大, 肉食消费已成为中国食品消费中最大的温室气体排放源^[2]; 食品碳排放可以从食品生产端、食品消费端开展研究。食品生产端的碳排放(当量排放)主要核算种植业的农药、化肥等投入, 以及畜禽养殖中动物肠道发酵、粪便管理的CH₄、N₂O等温室气体排放^[3-5]; 侧重于从食品消费端角度, 国内学者对北京、上海、厦门城市居民家庭, 以及安徽、南京、全国城乡居民食品消费的碳排放等开展研究^[6-13]。曹志宏等基于居民食物消费碳排放量核算, 运用洛伦兹曲线和基尼系数, 研究中国城乡居民食物消费碳排放

的时空演变及其驱动因子^[14,15]。黄和平等测算中国30个地区1990—2018年城镇居民食物消费的碳排放, 并对其空间特征进行分析^[16]。此外, Wang等研究通过饮食结构调整减少碳排放的策略^[17]。国外学者主要从与饮食模式、食物烹饪与食物供应链等角度, 开展食物碳足迹的相关研究, 分析视角更为细化^[18-20]。目前, 国内食品消费碳排放核算、空间格局等方面研究取得不少成果, 但还有待完善和深入探讨: ①在研究空间格局演变及其驱动因素等方面, 相对于使用区域食品消费碳排放总量作为指标而言, 使用区域居民食品消费碳排放量的人均指标, 能更准确地刻画、识别碳排放量空间格局的演变规律及其驱动因素。②农村居民家庭食品消费的碳排放量、排放结构及其演变特征等问题, 也亟待开展系统和深入的研究。

在气候变化背景下, 减少温室气体排放已经成为国际社会的共识。因此, 本文将在对全国以及31个省(区、市)农村居民家庭食品消费的人均碳排放量测算基础上, 开展其碳排放量时空演变特征及其驱动因素等研究, 为构建居民的低碳食品生产与消费结构等提供科学依据。

资助项目: 国家自然科学基金项目(41661117)。

作者简介: 杨旺舟(1972—), 男, 副教授, 主要从事人文地理学、区域生态经济等研究, E-mail: asywwzh@sina.com。

1 方法与数据

1.1 数据来源

2000—2019 年全国和分地区的农村常住居民人均食品消费量（含自产自用）、户均常住人口数、每百户家庭电冰箱拥有量以及其他的社会经济统计数据，来源于相关年份的《中国农村住户调查年鉴》《中国住户调查年鉴》《中国统计年鉴》和《中国人口和就业统计年鉴》等资料。为了分析食品消费的碳排放结构，将食品分为植物性食品、动物性食品。其中，植物性食品包括粮食、植物油、蔬菜、瓜果和食糖，动物性食品包括猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、奶类和水产品。粮食包括谷物、薯类和豆类。蔬菜包括叶菜类、瓜菜类、茄果类等。瓜果包括瓜类、水果。酒类、糕点等消费量小，而且最近年份无相关数据，所以不纳入分析。因为中国香港、澳门和台湾地区没有全国住户调查等相关的数据，也不纳入分析。此外，空间格局的影响因素分析中农村居民人均肉类产量、人均粮食产量、人均食品消费支出、人均可支配收入、人口年龄和受教育程度等数据来自《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国人口统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》。

1.2 研究方法

1.2.1 食品消费的人均碳排放测算

1.2.1.1 食品消费人均直接碳排放测算

食品消费的人均直接碳排放量测算采用综合碳折算系数法，依据居民各类食品的消费量及其综合碳折算系数计算，具体折算系数参见表 1。测算公式为：

$$DC_t = \sum DC_i = \sum Q_i \times R_i = \sum Q_i \times [r_i + (K_i \times r_1)] \quad (1)$$

其中， DC_t 为全国（或地区）第 t 年农村居民食品消费的人均直接碳排放量； C_i 为农村居民第 i 种食品消费的人均碳排放量； Q_i 为农村居民第 i 种食品的年人均消费量； R_i 为第 i 种食品消费的综合碳折算系数； r_i 为第 i 种食品消费的直接碳排放系数； K_i 为第 i 种食品的料肉转化比； r_1 为粮食消费的直接碳排放系数。

1.2.1.2 食品消费人均间接碳排放测算

食品消费的人均间接碳排放主要包括食品冷藏、烹饪加工耗能产生的碳排放。

（1）食品烹饪加工耗能产生的人均碳排放量，参考曹志宏等的碳折算系数法进行测算。测算公式为：

$$FC_t = \sum Q_i \times \beta_i \quad (2)$$

其中， FC_t 为全国（或地区）第 t 年农村居民家庭食品烹饪加工耗能产生的人均碳排放量； Q_i 为农村居民

表 1 食品消费的碳排放折算系数 (单位: kgC/kg)

食品种类与分类		直接碳折算系数 (r_i)	料肉转化比 (K_i)	综合碳折算系数 (R_i)
植物性食品	粮食	0.326 8	—	0.326 8
	蔬菜	0.027 4	—	0.027 4
	瓜果	0.049 8	—	0.049 8
	食糖	0.396 5	—	0.396 5
	植物油	0.766 6	1.20	1.158 8
动物性食品	猪肉	0.254 6	2.86	1.189 2
	牛肉	0.254 6	3.40	1.365 7
	羊肉	0.254 6	3.40	1.365 7
	禽肉	0.254 6	2.30	1.006 2
	禽蛋	0.151 0	2.30	0.902 6
	奶类	0.062 9	1.11	0.425 6
	水产品	0.143 3	1.80	0.731 5

注：相关参数引自黄和平等（2021）

表 2 烹饪加工单位食品的能耗碳排放折算系数 (单位: kgC/kg)

食品	粮食	蔬菜	植物油	猪肉	牛肉	羊肉	禽肉	禽蛋	奶类	水产品
系数	0.109 0	0.010 9	0.654 0	0.158 8	0.190 8	0.190 8	0.136 3	0.054 5	0.016 4	0.081 8

注：相关参数引自曹志宏等（2018）、黄和平等（2021）

第 i 种食品的年人均消费量; β_i 为第 i 种食品烹饪加工的能耗碳排放折算系数 (表 2)。瓜果、食糖的耗能很少, 将其折算系数计为 0。

(2) 食品冷藏耗电产生的人均碳排放量, 通过家用电冰箱数量及其年均耗电量进行计算。测算公式为:

$$FS_t = C_p \times CF_p \times R_p \times \frac{N}{100 \times H} \quad (3)$$

其中, FS_t 为全国 (或地区) 第 t 年农村居民家庭冷藏食品耗电的人均碳排放量; C_p 为每台电冰箱年均耗电量, 根据《家用电冰箱耗电量限定值及能效等级》, 计算得到每台电冰箱年均耗电量为 $507.37 \text{ kW} \cdot \text{h}$; CF_p 为电力折标准煤系数, 取值 $0.1229 \text{ kgce}/(\text{kW} \cdot \text{h})$; R_p 为电力消耗碳排放系数, 取值 2.2132 kgC/kgce ; N 为农村居民家庭每百户拥有的电冰箱数量; H 为户均常住人口数。

1.2.1.3 食品消费的人均碳排放测算

食品消费人均碳排放量 (以 C 计) 由食品消费人均直接碳排放量、食品消费人均间接碳排放量构成。测算公式为:

$$F_t = DC_t + FC_t + FS_t \quad (4)$$

其中, F_t 为全国 (或地区) 第 t 年农村居民家庭食品消费的人均碳排放量; DC_t 、 FC_t 、 FS_t 分别为食品消费的人均直接碳排放量、食品烹饪加工耗能产生的人均碳排放量和食品冷藏耗电产生的人均碳排放量。

1.2.2 ArcGIS 空间统计分析

ArcGIS 空间统计分析主要使用全局空间自相关、局部空间自相关两个工具。这两个工具的具体计算公式如下^[21]。

1.2.2.1 全局空间自相关

全局空间自相关用来分析空间数据在整个系统内表现出的分布特征。这种整体分布特征一般用全局 Moran 指数 I 测度。计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (5)$$

其中,

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

式中, $\bar{x}$ 为 x 的平均值; x_i 与 x_j 分别为区域 i 、 j 的观测值; n 为空间单元数; w_{ij} 为空间权重矩阵。Moran 指数 I 反映研究对象在空间取值的相似性, I 的取值

一般在 $[-1, 1]$ 之间, 大于 0 表示正相关, 接近 1 时表明具有相似的属性集聚在一起; 小于 0 表示负相关, 接近 -1 时表明具有相异的属性集聚在一起; I 的值接近于 0, 则表示属性是随机分布的, 或者不存在空间自相关性。

1.2.2.2 局部空间自相关

全局空间自相关分析只能揭示空间场的一般性质, 并未给出空间关系的局域分布。Anselin 提出局部 Moran 指数 (Local Moran index), 用来检验局部地区是否存在相似或相异的观测值集聚在一起。区域 i 的局部 Moran 指数用来测度该区域与其相邻区域之间的关联程度。计算公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j \neq i} w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

正的 I_i 表示高值被高值所包围 (高一高), 或者低值被低值所包围 (低—低)。负的 I_i 表示低值被高值所包围 (低—高), 或者高值被低值所包围 (高一低)。

1.2.3 地理探测器因子探测

地理探测器是探测空间分异性 (空间分层异质性), 并揭示其驱动因子的方法和工具^[22]。本研究主要运用地理探测器的分异及因子探测, 以探测因变量 y 的空间分异性, 以及探测影响因子 (因变量) x 在多大程度上解释 y 的空间分异性。用 q 值度量, 其计算公式为:

$$q = 1 - \frac{1}{N\delta^2} \sum_{h=1}^L N_h \delta_h^2 = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (7)$$

其中,

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \delta_h^2, \quad SST = N\delta^2 \quad (8)$$

式中, q 为因变量 y 的空间分异性及其影响因子探测值; L 为因变量 y 或影响因子 (自变量) x 的分类或分区; N 和 N_h 分别为全区、层 h 的样本数 (空间单元数); δ^2 和 δ_h^2 分别为全区、层 h 因变量 y 的方差; SSW 和 SST 分别为层内方差之和、全区总方差; q 的值域为 $[0, 1]$, q 值表示 x 解释了 $100 \times q\%$ 的 y 。 q 值越大, 说明影响因子 (自变量) x 对因变量 y 的空间分异性影响越大, 反之则越弱。

2 结果与分析

2.1 人均碳排放量的时空格局与演变

2.1.1 人均排放量的时间演变及其特征

人均碳排放量及其构成结构显示 (图 1): 2000—

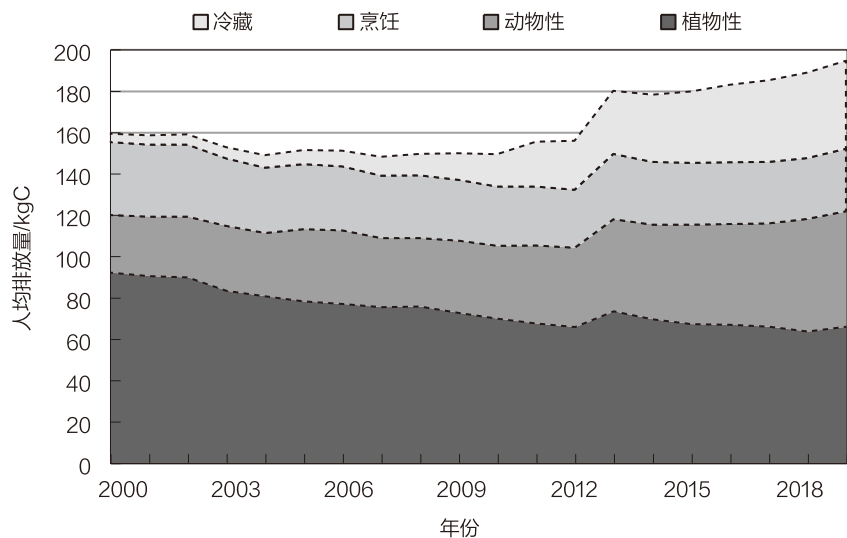


图1 2000—2019年食品消费的人均碳排放量

2019年，食品消费的人均排放量从159.45 kgC增加到194.74 kgC，增长22.13%，年均增长率仅为1.12%。其中，植物性食品消费的人均碳排放量呈现下降趋势，从92.34 kgC下降为66.18 kgC，其占总量比重从57.91%下降为33.98%；而动物性食品消费的人均碳排放量、冷藏食物的人均碳排放量则呈现上升趋势，二者占总量比重分别从17.43%、2.54%上升为28.70%和21.84%。此外，食品烹饪的人均碳排放量总体上变化不大。总体上，人均直接碳排放量比重下降，而人均间接碳排放量比重上升。其中，动物性食品消费与冷藏食物的碳排放量及其比重呈上升趋势，而植物性食品消费的相应指标呈下降趋势，这与农村居民人均可支配收入水平提高、食品消费结构中综合碳折算系数较高的动物性食品增加以及人均拥有电冰箱数量增加等明显相关。

2.1.2 人均排放量的空间格局及其特征

在人均碳排放量的省际空间格局方面：食品消费人均碳排放量较大的区域主要集中分布于东南沿海地区、长江沿线及其以南的中部地区。主要包括江苏、上海、浙江、福建、广东以及湖北、安徽、湖南等省（市）；西北地区和青藏高原区的新疆、青海、西藏人均碳排放量波动较大，总体呈下降趋势；内蒙古以南的甘肃、宁夏、陕西、山西与河南等紧邻的几个北方省（区）食品消费人均碳排放量均较小，在北方地区

形成空间相连的东西向低值区；西南地区的云南、贵州等食品消费人均碳排放量也较小；2015年以来，内蒙古、四川和重庆的食品消费人均碳排放量增速较快，成为华北地区和西南地区的高值区。人均碳排放量的全局Moran指数I（表3）表明：2000—2019年，食品消费人均碳排放量、直接和间接排放量的全局Moran指数I均大于0，且通过显著性水平检验。表明省域食品消费人均碳排放量、直接和间接排放量均具有正的空间相关性，相邻区域存在空间依赖性和集聚效应；但空间集聚状态较不稳定，总体上

呈下降趋势，从“集聚非常明显”向“明显集聚”或“集聚较明显”等演变。

人均碳排放量的局部Moran指数（表4）分析发现：2000—2019年，人均碳排放量在空间上存在明显的高值、低值集聚现象。其中：①高一高集聚区主要分布在东南沿海地区以及长江以南的中部地区。该类型区数量下降，由7个区域下降为4个区域。②低—低集聚区主要分布在山西、陕西和宁夏，并由3个区域下降为宁夏1个区域。③高一低集聚区分布在四川、重庆和内蒙古，表明这3个区域人均碳排放量的增速较快，成为高值区（隆起区）。④低—高集聚区仅2019年有江西1个区域（凹陷区），表明低—高集聚

表3 人碳排放量的全局Moran指数I和Z值

年份\分类	2000		2010		2015		2019	
	I	Z-score	I	Z-score	I	Z-score	I	Z-score
人均碳排放量	0.248	3.143	0.136	1.898	0.087	1.329	0.166	2.214
# 人均直接排放量	0.287	3.548	0.230	2.973	0.154	2.141	0.185	2.405
# 人均间接排放量	0.221	3.033	0.282	3.550	0.097	1.454	0.162	2.213

注：1.65 < Z ≤ 1.96 为集聚较明显，1.96 < Z ≤ 2.58 为明显集聚，Z > 2.58 为集聚非常明显

表4 人均碳排放量的局部Moran指数I_c空间聚类及其演变

集聚类型	2000	2010	2015	2019
高一高集聚区	湖南、江西、安徽、江苏、上海、浙江、福建	上海、浙江、福建	新疆、湖南、江西、福建	湖南、浙江、福建、广东
低—低集聚区	内蒙古、山西、宁夏	宁夏、陕西	山西、宁夏	宁夏
高一低集聚区	—	四川、重庆	内蒙古	—
低—高集聚区	—	—	—	江西

现象不显著,仅有江西较之邻接省域,处于相对较低的水平。总体上,人均碳排放量的高值、低值区域与其相邻区域之间人均碳排放量的空间关联效应减弱,空间离散的趋势增强。

2.2 人均碳排放空间格局的影响因素

从农村居民食品生产、消费、生活水平、人口年龄结构和受教育程度等方面,选择分地区农村居民人均粮食产量 x_1 、猪牛羊肉产量 x_2 、人均粮食消费量 x_3 、猪牛羊肉消费量 x_4 、人均可支配收入 x_5 、人均食品消费支出 x_6 、初中及以上人口比重 x_7 、老少人口比重 x_8 和户均常住人口数 x_9 共9个空间分异影响因素的探测指标(自变量)。其中,初中及以上人口比重 x_7 等于初中及以上人口占6岁及以上人口的百分比,老少人口比重 x_8 等于少年儿童(0~14岁)和老年人(65岁及以上)人口数占总人口的百分比。分别以分地区人均碳排放量、人均直接排放量和人均间接排放量为因变量 y ,运用地理探测器对食品消费碳排放量进行分异及因子探测。其中,采用Natural Breaks(Jenks)分级法对指标值分组,使各组指标值间的差异最大化,得到影响因素指标值的类型量。探测结果如表5。

表5 人均碳排放空间分异性的影响因子探测结果(q 值)

分类	指标	2000	2010	2015	2019
人均碳排放量	x_1 人均粮食产量	0.317	0.293	0.158	0.164
	x_2 猪牛羊肉产量	0.269	0.329	0.144	0.247
	x_3 人均粮食消费量	0.348	0.326	0.410	0.265
	x_4 猪牛羊肉消费量	0.499	0.438	0.553	0.456
	x_5 人均可支配收入	0.368	0.410	0.163	0.519
	x_6 人均食品消费支出	0.595	0.481	0.637	0.772
	x_7 初中及以上人口比重	0.026	0.156	0.123	0.180
	x_8 老少人口比重	0.090	0.067	0.212	0.132
	x_9 户均常住人口数	0.167	0.337	0.343	0.452
# 人均直接排放量	x_3 人均粮食消费量	0.496	0.457	0.583	0.271
	x_4 猪牛羊肉消费量	0.493	0.497	0.641	0.509
	x_6 食品消费支出	0.489	0.221	0.551	0.791
# 人均间接排放量	x_5 人均可支配收入	0.852	0.808	0.488	0.588
	x_6 食品消费支出	0.619	0.646	0.436	0.517
	x_9 户均常住人口数	0.494	0.599	0.536	0.779

注:直接排放量、间接排放量仅列出影响较明显指标的 q 值

2000—2019年,对人均碳排放量的空间分异影响较大的因素是猪牛羊肉消费量(x_4)、人均食品消费支出(x_6)。对人均直接排放量的空间分异影响较大的因素是人均粮食消费量(x_3)、猪牛羊肉消费量(x_4)和人均食品消费支出(x_6)。对人均间接排放量的空间分

异影响较大的因素是人均可支配收入(x_5)、人均食品消费支出(x_6)和户均常住人口数(x_9)。总体上,食品(粮食和肉类)产量、人口年龄结构和受教育水平对人均碳排放量、直接排放量和间接排放量的空间分异影响均不明显,而人均食品消费支出则对这三者空间分异的影响均较为明显。

3 结论与建议

3.1 基本结论

(1)碳排放结构中升降因素叠加,人均碳排放量的增速不明显。2000—2019年,受农村居民人均可支配收入水平提高、食品消费结构改变等因素的影响,植物性食品消费的碳排放量及其比重呈下降趋势,而动物性食品消费与冷藏食物的碳排放量及其比重呈上升趋势,食品烹饪的碳排放量变化不大。这些因素相互叠加,人均排放量在研究期内仅增加了35.29 kgC,年均增长率仅为1.12%。

(2)人均碳排放量存在空间集聚效应,但集聚程度呈下降趋势。人均碳排放量较大省(区、市)主要分布东南沿海地区、长江沿线及其以南的中部地区。人均碳排放量、人均直接排放量和人均间接排放量存在空间集聚效应,但集聚状态较不稳定,总体上集聚程度呈现下降趋势。表明农村食品消费结构及食品消费的人均碳排放量呈现明显的地域性、空间集聚性。但是,随着食品运输条件改善、食品运输成本降低以及各地区之间商品、信息与人口等流动性增强,各区域农村食品消费结构、食品消费人均碳排放量的空间差异呈现缩小的趋势。

(3)人均碳排放量、直接与间接排放量空间分异影响因素不同。猪牛羊肉消费量、食品消费支出对人均碳排放量的空间分异影响较明显。在人均直接排放量的方面,人均粮食消费量、猪牛羊肉消费量和食品消费支出的影响较明显。在人均间接排放量的方面,人均可支配收入、食品消费支出和户均常住人口数的影响较明显。总体上,食品消费支出对三者空间分异的影响均较明显,而食品产量、人口年龄结构和受教育水平等对三者空间分异的影响均不明显。这一结果与人均食品消费支出增加、食品消费结构中综合碳折算系数较高的动物性食品增加,导致人均碳排放量、人均直接排放量偏高,以及人均可支配收入、户均常住人口数对人均拥有电冰箱数量等产生影响,进而对人均间接排放量产生影响等相互验证。

3.2 对策建议

基于上述分析,降低农村居民食品消费人均碳排放量的主要途径在于:

(1) 优化农村居民的饮食结构。重点从动物性食品消费量及其结构着手,适度减少综合碳折算系数较高的猪牛羊肉的消费量,增加综合碳折算系数较低的禽肉、蛋类、牛奶和鱼类等动物性食品的消费量。构建低碳饮食结构,实现食品供求与健康饮食、营养安全之间的协调。

(2) 加强对碳排放量较高地区的指导。加强对内蒙古、湖南、江西、浙江、福建、广东等人均碳排放量较高地区的农村居民饮食结构调整和优化的指导或引导。

参考文献

- [1] TILMAN D, CLARK M. Global diets link environmental sustainability and human health[J]. *Nature*, 2014, 515(7528): 518-522.
- [2] 王晓, 齐晔. 我国饮食结构变化对农业温室气体排放的影响[J]. *中国环境科学*, 2013, 33(10): 1876-1883.
- [3] PATHAK H, JAIN N, BHATIA A, et al. Carbon footprints of Indian food items[J]. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2010, 139(1-2): 66-73.
- [4] 陈慧, 付光辉, 刘友兆. 江苏省县域农业温室气体排放: 时空差异与趋势演进[J]. *资源科学*, 2018, 40(5): 1084-1094.
- [5] 谢婷, 张慧, 何家军, 等. 华中地区畜牧业温室气体排放特征分析与预测[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(2): 564-572.
- [6] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 等. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态[J]. *生态学报*, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [7] 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.
- [8] 吴开亚, 王文秀, 朱勤. 上海市居民食物碳消费变化趋势的动态分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(5): 161-167.
- [9] 闫桢, 崔胜辉, 李桂林, 等. 厦门城市化进程中的居民食物碳排放及其环境负荷[J]. *环境科学*, 2013, 34(4): 1636-1644.
- [10] 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.
- [11] 王文秀, 吴开亚, 刘晓薇. 城乡居民食物碳消费变化与差异分析——以安徽省为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(10): 1177-1184.
- [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.
- [13] 卢然, 谢晟宇, 谢标. 南京居民食物消费系统中的碳变化与环境负荷[J]. *环境污染与防治*, 2021, 43(2): 248-254.
- [14] 曹志宏, 郝晋珉. 中国家庭居民饮食行为碳消费时空演变及其集聚特征分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(12): 20-25.
- [15] 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.
- [16] 黄和平, 李亚丽, 杨斯玲. 中国城镇居民食物消费碳排放的时空演变特征分析[J]. *中国环境管理*, 2021, 13(1): 112-120.
- [17] WANG L, CUI S H, HU Y C, et al. The co-benefits for food carbon footprint and overweight and obesity from dietary adjustments in China[J]. *Journal of cleaner production*, 2020, 289: 125675.
- [18] VEERAMANI A, DIAS G M, KIRKPATRICK S I. Carbon footprint of dietary patterns in Ontario, Canada: a case study based on actual food consumption[J]. *Journal of cleaner production*, 2017, 162: 1398-1406.
- [19] ARRIETA E M, GONZÁLEZ A D. Energy and carbon footprints of food: investigating the effect of cooking[J]. *Sustainable production and consumption*, 2019, 19: 44-52.
- [20] PARASHAR S, SOOD G, AGRAWAL N. Modelling the enablers of food supply chain for reduction in carbon footprint[J]. *Journal of cleaner production*, 2020, 275: 122932.
- [21] 沈体雁, 冯等田, 孙铁山. 空间计量经济学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010: 40-43.
- [22] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.

Spatio-Temporal Pattern and Its Driving Forces on Carbon Emission of Food Consumption from Rural Households in China

YANG Wangzhou

(College of Economics and Management, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China)

Abstract: Under the background of global climate change, it is of great significance to study carbon emission of food consumption by households. Based on national and regional survey data of food consumption, as well as calculation for per capita carbon emission of food consumption from rural households, this paper gave an analysis about spatio-temporal pattern and its driving forces on carbon emission accounting of food consumption from rural households in China during 2000-2019, which by applying methods of ArcGIS spatial statistics analysis and factor detector of GeoDetector. The results showed that: ① The growth rate of per capita carbon emission was not obvious, as a result of superposition of rising and falling factors in carbon emissions structure. ② Per capita carbon emission had spatial agglomeration effect, but agglomeration degree showed a downward trend. ③ Spatial differentiation of per capita carbon emission, direct and indirect carbon emission had different driving factors. Per capita carbon emission was mainly affected by consumption of pork, beef and mutton, as well as food consumption expenditures. And then, some suggestions were proposed to reduce per capita carbon emission of food consumption from rural households, which including optimizing diet structure, moderately reducing the consumption of pork, beef and mutton, and increasing the consumption of animal food such as poultry, eggs, milk and fish, as well as strengthening guidance for adjustment and optimization of diet structure in regions with high per capita carbon emission.

Keywords: rural households; food consumption; carbon emission; spatio-temporal pattern; spatial autocorrelation; GeoDetector