

引用格式: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 C S, Qian S S, Li Z T, et al. Provincial animal husbandry carbon emissions in China and temporal-spatial evolution mechanism[J]. Resources Science, 2017, 39(4): 698-712.] DOI: 10.18402/resci.2017.04.11

中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制

姚成胜^{1,2}, 钱双双^{1,2,3}, 李政通^{1,2,3}, 梁龙武^{3,4}

(1. 南昌大学中国中部经济社会发展研究中心, 南昌 330047; 2. 南昌大学经济管理学院, 南昌 330031; 3. 南昌大学计量经济研究会, 南昌 330031; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 畜牧业是重要的碳排放源, 中国作为畜牧业大国, 测度畜牧业碳排放量并揭示其时空演化机制具有重要意义。运用全生命周期评价方法, 测度了2000-2014年中国大陆31个省区的畜牧业碳排放, 从时间和空间两个层面揭示了中国畜牧业碳排放的变化特征, 进而采用动态面板数据模型揭示了畜牧业碳排放和城乡居民收入、城镇化之间的互动机制。结果表明: ①2000-2014年, 中国畜牧业碳排放总量由12 669.899万t增长到13 189.955万t, 年均增速0.288%, 其中畜禽胃肠发酵和粪便管理系统产生的碳排放是其主要来源, 两者占畜牧业碳排放总量比重达74.48%~79.50%; ②研究期内, 中国高、低畜牧业碳排放区空间格局基本保持不变, 偏高、中度畜牧业碳排放区呈现出明显的动态演变态势, 高、偏高畜牧业碳排放区基本位于边疆草原地区和粮食主产区, 且排名前10位的畜牧业碳排放省区占全国畜牧业碳排放比重达57.50%; ③2000-2007年, 草原牧区是中国畜牧业碳排放增长的核心区; 而2007-2014年, 农耕牧区演变为中国畜牧业碳排放增长的核心区; ④农民人均纯收入、城镇居民人均可支配收入和城镇化对畜牧业碳排放的影响系数分别为0.078、0.127和-0.145, 三者动态变化将共同决定今后一段时间中国畜牧业碳排放增长的时空格局。

关键词: 畜牧业碳排放; 全生命周期评价; 城镇化; 农民人均纯收入; 城镇居民人均可支配收入; 演化机制; 中国

DOI: 10.18402/resci.2017.04.11

1 引言

由碳排放引起的全球气候变化一直是社会各方面聚焦的重点。2016年4月22日, 超过150个国家的代表在联合国总部正式签订《巴黎协定》, 这标志着各国应对气候变化做出全球性承诺, 向低碳和气候适应型经济转型成为各国经济发展的迫切需要。2014年以来, 中国经济逐步过渡到以保持经济中高速增长, 提升经济发展质量为特征的经济新常态建设当中^[1], 大力促进节能减排、发展循环经济已成为提升中国经济发展质量的必由之路。因此, 如何更为有效地减少碳排放, 成为政府和学者们关注的焦点。畜牧业是重要的温室气体排放源, 2006年FAO发布报告《Livestock's long shadow》指出, 若将畜牧业饲料生产及养殖场扩张所导致的土地利用

变化均纳入考虑范围, 按CO₂当量计算, 全球畜牧业所排放的温室气体约占人类活动温室气体排放总量的18%^[2]。中国作为畜牧业生产大国, 畜禽产品年产量稳居世界第一, 近年来在农业政策扶持和消费需求拉动下更是呈现出强劲的发展势头。因此, 已有学者们对中国畜牧业碳排放问题展开了相关研究, 主要集中在畜牧业低碳化发展途径、畜牧业的单个类别或某个环节温室气体排放的测算等方面^[3-7], 而有关畜牧业整体的碳排放及其影响因素分析的研究甚少。在仅有的畜牧业碳排放影响因素研究中, 学者们大都集中在分析畜牧业生产方式、农户行为及环保意识等微观因素影响, 以及生产效率、产业结构、经济和畜牧业发展水平、劳动力就业等宏观因素影响^[8]。例如, 陈瑶等从生产效率、产业

收稿日期: 2016-11-04; 修订日期: 2016-12-27

基金项目: 江西省社会科学“十三五规划”项目(16YJ11); 国家社会科学基金重点项目(2015AZD070)。

作者简介: 姚成胜, 男, 江西上饶人, 博士, 副教授, 主要研究方向为农业资源环境评价与农业经济。E-mail: yaochengsheng@163.com

2017年4月

结构、经济水平、劳动力等四个方面对四大牧区畜禽温室气体排放的影响因素进行量化分解,结果表明经济快速发展是导致四大牧区畜禽温室气体排放增加的最主要因素,畜禽生产效率对其具有较强的抑制作用^[9]。邹洁等以畜牧业碳排放作为非期望产出,测算中国各省畜牧业的环境效率,研究认为禀赋结构、劳动力受教育程度对畜牧业环境效率有显著正向作用,而畜牧业经济发展水平、产业结构等对畜牧业环境效率存在显著消极影响^[10]。

可以看出,以上研究对认清各因素对畜牧业碳排放的影响具有较好的作用,有助于促进中国畜牧业的低碳化发展。然而,国内外较多研究表明,畜牧业快速发展的动因主要在于两个方面:其一是满足作为畜牧业生产主体的农民增收的需要^[11](其原因在于畜牧业经济收益高于种植业,政府部门也一直把发展畜牧业作为促进农民增收的重要途径),其二是满足城乡居民由于收入增长而导致的畜禽产品需求增长的需要。从上述两点可以看出,畜牧业快速增长的最为根本动因都在于城乡居民收入变化。因此,城乡居民收入增长与畜牧业碳排放的关系值得深入探究。陈瑶等研究表明,经济增长是畜牧业碳排放的重要驱动因素^[12],但自2000年以来,城镇化一直被认为是中国经济增长的引擎^[1],因而也有必要进一步探讨城镇化与畜牧业碳排放之间的关系。

依据《中国农村统计年鉴(2001-2015)》的统计数据^[13],自2000年以来中国畜牧业呈现出快速发展态势,揭示这一时期中国畜牧业碳排放的时间变化特征和大陆31省(市、区)的空间变化特征,对于中国更好地实施节能减排具有重要意义。本文采用全生命周期评价(LCA)方法,全面测度2000-2014年中国大陆31个省区的畜牧业碳排放情况,从时间和空间两个层面揭示了中国畜牧业碳排放的变化特征,并采用动态数据面板模型(GMM)揭示畜牧业碳排放和城乡居民收入、城镇化之间的互动机制。

2 研究方法和数据来源

2.1 畜牧业碳排放的测算

低碳畜牧业的本质是在畜产品生产、加工、运输、消费等整个过程中,把温室气体排放量尽可能

降到最低,实现畜牧业发展和环境保护双赢状态。可以看出,畜牧业产前、产中、产后的全过程都与温室气体排放有一定或相当大的关联^[14]。因此,在对畜牧业碳排放进行测算不能仅考虑畜牧业某一环节,而应立足于畜牧业生产的全生命周期的“碳足迹”。

生命周期评价法(LCA)是定量化评估某一产品,从原材料的获取、产品的生产直至产品使用后的处置对环境所产生的影响的一种方法。它作为一种有效的环境管理工具,已被广泛运用于温室气体排放研究领域^[15-18]。为此,为更全面地测算中国畜牧业碳排放,本文采用LCA评价方法并参考胡向东等^[19]、孟祥海等^[20]的研究,将整个畜牧业碳排放过程细分成6个系统边界,并利用相关碳排放系数计算得到中国畜牧业的碳排放量。6个系统边界按照生产过程顺序可划分为:饲料粮种植、饲料粮运输加工、牲畜胃肠发酵、畜禽饲养环节耗能、粪便管理系统和畜禽产品加工。需要说明的是,为方便研究,本文对碳排放量进行加总时,将CH₄、N₂O排放量(依据公式(4)、公式(5)和公式(6)计算得到)分别乘以它们各自的升温潜能值(表2),统一转换为以CO₂当量计算的碳排放量,再乘以CO₂当量转化为标准碳系数得到标准C排放量(公式(9))。

2.1.1 牲畜年平均饲养量

由于牲畜养殖过程中的繁殖和屠宰会引起年度内养殖数量起伏变动,因此需要对牲畜年饲养量进行调整。调整方法如下:当牲畜饲养周期大于或等于1年时,该牲畜年末存栏量即为年平均饲养量;当牲畜饲养周期小于1年时,需要对年出栏量进行调整,调整公式参照IPCC(2006)^[21]。年饲养量用公式(1)计算。其中,在中国生猪、兔和禽类的饲养周期分别为200天、105天和55天,均小于1年^[22],因此需要对这三者进行调整。

$$APP = \begin{cases} Herds_{end} & \text{if: } Days_{live} \geq 365 \\ Days_{live} \cdot \left(\frac{NAPA}{365}\right) & \text{if: } Days_{live} < 365 \end{cases} \quad (1)$$

式中APP为牲畜年均饲养量(万头); $Herds_{end}$ 为年末存栏量(万头); $Days_{live}$ 为牲畜饲养周期(天); NAPA为年牲畜出栏量(万头)。

2.1.2 碳排放系数的确定

综合分析现有文献得知,国内相关畜牧业碳排

放转换系数还未确立官方标准。为此,本文参考王效琴等、孙亚男等、孟祥海等和谭秋成等的研究^[15,16,20,23],结合IPCC准则内容确定出相应的碳排放系数(表1和表2)。

2.1.3 基于全生命周期的畜牧业碳排放测算

(1)饲料粮种植产生的CO₂排放。牲畜饲料包括粗饲料和精饲料,粗饲料是经过第一次加工形成

的副产品,在此不予考虑其引起的碳排放;而精饲料主要为小麦、玉米、豆粕等,在种植畜禽饲料过程中农药、化肥、农膜等投入及其他生产活动排放的温室气体都应计入该系统边界内^[20]。为此,饲料粮种植产生的CO₂可以按如下公式测算:

$$TC_{cz} = \sum_{u=1}^n Q_u \times s_u \times q_j \times ef_{j1}$$

(2)

式中 TC_{cz} 为饲料种植过程中产生的CO₂排放量(万t); u 为畜产品的种类,包括猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、牛奶; Q_u 为第 u 类畜产品的年产量(万t); s_u 表示每单位第 u 类畜产品的耗粮系数; q_j 为第 i 类畜禽饲料配方中 j 类粮食所占比重,包括玉米、大豆、小麦。根据谢鸿宇等²⁵研究:猪的精饲料中玉米占56.60%,豆饼类占10.20%;牛饲料中玉米占37.00%,豆饼类占26.00%;羊饲料玉米占比为62.61%,豆饼类占12.89%;肉鸡饲料中玉米、小麦和豆饼类占比分别为57.00%、5.00%、17.00%;蛋鸡饲料玉米和豆饼类占比分别为63.28%、13.98%;奶牛饲料中玉米占46.79%,豆饼类占28.56%。 ef_{j1} 为 j 类粮食的种植过程中CO₂当量排放系数(表2),其中因豆饼为大豆经第一次处理后得到的副产品,所以大豆种植所排

表1 畜禽胃肠发酵和粪便管理系统的温室气体排放系数
Table 1 GHG emission coefficients of gastrointestinal fermentation and manure management system of livestock (kg/(头·a))

畜禽品种	CH ₄ 排放系数		N ₂ O排放系数
	肠胃发酵 ef_{f1}	粪便管理 ef_{f2}	粪便管理 ef_{f3}
猪	1.000	3.500	0.530
禽类	0.000	0.020	0.020
兔	0.254	0.080	0.020
奶牛	68.000	16.000	1.000
非奶牛	51.400	1.500	1.370
马	18.000	1.640	1.390
驴	10.000	0.900	1.390
骡	10.000	0.900	1.390
羊	5.000	0.160	0.330
骆驼	46.000	1.920	1.390

表2 各系统边界的碳排放系数

Table 2 Carbon emission coefficients of each system boundary

系统边界	符号	碳源排放系数	数值	单位	参考来源
饲料粮种植	ef_{j1}	玉米CO ₂ 当量排放系数	1.500 0	t/t	参考文献[23]
		小麦CO ₂ 当量排放系数	1.220 0	t/t	
饲料粮运输加工	ef_{j2}	玉米CO ₂ 当量排放系数	0.010 2	t/t	参考文献[24]
		大豆CO ₂ 当量排放系数	0.101 3	t/t	
		小麦CO ₂ 当量排放系数	0.031 9	t/t	
		玉米CO ₂ 当量排放系数	0.031 9	t/t	
畜禽饲养	$price_e$	畜禽养殖用电单价	0.427 5	元/(kW·h)	参考文献[20]
	ef_e	电能消耗CO ₂ 排放系数	0.973 4	tCO ₂ /(MW·h)	
	$price_c$	畜禽养殖用煤单位支出	800	元/t	
	ef_c	燃煤消耗CO ₂ 排放系数	1.98	t/t	
畜禽产品加工	MJ_u	猪肉屠宰加工耗能系数	3.76	MJ/kg	参考文献[15]
		牛肉屠宰加工耗能系数	4.37	MJ/kg	
		羊肉屠宰加工耗能系数	10.40	MJ/kg	
		禽肉屠宰加工耗能系数	2.59	MJ/kg	
		牛奶屠宰加工耗能系数	1.12	MJ/kg	
		禽蛋屠宰加工耗能系数	8.16	MJ/kg	
		一度电热值	3.60	MJ	
		CO ₂ 当量转化为标准碳系数	0.272 8	—	
		CH ₄ 全球升温潜能值	21	—	
—	GWP_{N_2O}	N ₂ O全球升温潜能值	310	—	参考文献[16]
		—	—	—	

2017年4月

放的温室气体不予纳入计算范围。

(2)饲料粮运输加工产生的CO₂排放。经种植环节得到的饲料原料需要对其进行晒干、筛选、运输、碾碎、配料、混合等一系列加工才得到食用饲料。在此过程中因能源消耗引起温室气体排放需要计入计算范围。因此,饲料粮运输加工产生的CO₂气体量计算公式如下:

$$TC_{cy} = \sum_{i=1}^n Q_u \times s_u \times q_j \times ef_{j2} \quad (3)$$

式中 TC_{cy} 为饲料粮在运输加工环节的CO₂排放量(万t); Q_u 为第 u 类畜产品的年产量(万t); s_u 为每单位第 u 类畜产品的耗粮系数; q_j 为第 i 类畜禽饲料配方中 j 类粮食所占比重,包括玉米、大豆、小麦; ef_{j2} 为 j 类粮食的运输加工环节的CO₂当量排放系数(表2)。

(3)畜禽胃肠发酵产生的CH₄排放。反刍家畜(牛、羊)瘤胃发酵气体主要成份为CH₄等温室气体,其产生的CH₄占有家畜胃肠道CH₄排放总量的80%以上,而非反刍牲畜(马、骡、驴)和单胃牲畜(猪)产生的CH₄气体相对较少。另外,由于家禽胃肠发酵产生的CH₄量极少可不予考虑。畜禽胃肠发酵产生的CH₄气体计算公式为:

$$TC_{sw} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i1} \quad (4)$$

式中 TC_{sw} 为畜禽胃肠发酵产生的CH₄气体排放量(万t); i 为牲畜种类; APP_i 为第 i 类牲畜的年平均饲养量(万头); ef_{i1} 为第 i 类牲畜胃肠道发酵CH₄排放系数(表1)。

(4)粪便管理系统的温室气体排放。在粪便管理系统中,厌氧条件下粪便降解主要产生CH₄气体,在有氧条件下则主要产生N₂O气体。因此,粪便管理系统碳排放分两部分来看。

①粪便管理系统产生的CH₄排放,计算公式为:

$$TC_{mc} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i2} \quad (5)$$

式中 TC_{mc} 为粪便管理系统中CH₄气体排放量(万t); i 为牲畜种类; APP_i 为第 i 类牲畜的年平均饲养量(万头); ef_{i2} 为粪便管理系统中第 i 类牲畜的CH₄排放系数(表1)。

②粪便管理系统产生的N₂O排放计算公式为:

$$TC_{md} = \sum_{i=1}^n APP_i \times ef_{i3} \quad (6)$$

式中 TC_{md} 为粪便管理系统中N₂O气体排放量(万t); i 为牲畜种类; APP_i 为第 i 类牲畜的年平均饲养量(万头); ef_{i3} 为粪便管理系统中第 i 类牲畜的N₂O排放系数(表1)。

(5)畜禽饲养产生的CO₂排放。畜禽在饲养过程中需要大量能耗,如栏舍防寒供暖、通风供散热,生产照明等,消耗电、煤炭等能源将直接或间接引起温室气体排放。因畜禽饲养产生的CO₂量可按如下公式计算:

$$TC_{sc} = \sum_{i=1}^n APP_i \times \frac{cost_{ie}}{price_e} \times ef_e + \sum_{i=1}^n APP_i \times \frac{cost_{ic}}{price_c} \times ef_c \quad (7)$$

式中 TC_{sc} 为畜禽饲养环节产生的CO₂量(万t); i 为牲畜种类; APP_i 为第 i 类牲畜的年平均饲养量(万头); $cost_{ie}$ 、 $cost_{ic}$ 分别为第 i 类牲畜每只(头)在一个饲养周期内的用电支出和用煤支出(元); $price_e$ 、 $price_c$ 分别表示畜禽饲养的电费单价及煤费单价(元); ef_e 表示电能消耗的CO₂排放系数; ef_c 表示煤炭消耗的CO₂排放系数(表2)。

(6)畜产品加工产生的CO₂排放。畜禽经过运输加工制成畜产品,期间所消耗的能耗同样需要计入该系统边界内。畜产品加工产生的CO₂排放量计算公式如下:

$$TC_{sg} = \sum_{u=1}^n Q_u \times \frac{MJ_u}{e} \times ef_e \quad (8)$$

式中 TC_{sg} 为畜产品加工环节所产生的CO₂排放量(万t); u 为畜产品的种类,包括猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、禽蛋、牛奶; Q_u 为第 u 类畜产品的年产量(万t); MJ_u 为第 u 类畜产品单位加工耗能系数; e 为消耗一度电产生的热值; ef_e 为电能消耗的CO₂排放系数(表2)。

(7)总标准C排放量。在整个生命周期中,畜牧业全生命周期温室气体排放量计算公式为:

$$\begin{aligned} TC_{TOTAL} = & (TC_{CZ} + TC_{CY} + TC_{SW} + TC_{CD} \\ & + TC_{SC} + TC_{SG}) \times e_{tpf} \\ = & [TC_{CZ} + TC_{CY} + TC_{SW} \times GWP_{CH_4} \\ & + (TC_{mc} \times GWP_{CH_4} + TC_{md} \times GWP_{N_2O} \\ & + TC_{sc} + TC_{sg})] \times e_{tpf} \end{aligned} \quad (9)$$

式中 TC_{TOTAL} 为畜牧业碳排放总量(万 t); TC_{CZ} 、 TC_{CY} 、 TC_{SW} 、 TC_{CD} 、 TC_{SC} 、 TC_{SG} 分别为饲料粮种植、饲料粮加工、畜禽胃肠发酵、粪便管理系统、畜禽饲养耗能、畜产品运输加工等6个环节按 CO_2 当量计算得到的碳排放量; e_{wf} 为单位 CO_2 当量转化为标准碳的系数; GWP_{CH_4} 为 CH_4 全球升温潜能值; GWP_{N_2O} 为 N_2O 全球升温潜能值(表2)。

2.2 动态面板数据模型

为揭示畜牧业碳排放的演变机制,本文以农村居民可支配收入($incrrur$)、城镇居民可支配收入($incurb$)和城镇化(urb)(用城镇人口占总人口比重表示)为解释变量,畜牧业碳排放(TC)为被解释变量,利用2000-2014年31省(自治区、直辖市)的相应数据,构建相应的面板GMM计量模型。由于各地区碳排放的变动具有一定的惯性,前一期碳排放往往对当期有一定影响^[26],并且在畜牧业碳排放的各影响因素中,模型允许出现观测不到的各省份特征(如文化、资源、习惯等)与解释变量相关,而要弄清这种效应的各种来源、具体界定以及度量是非常困难的,但通过引入碳排放量的滞后项指标就足以综合这些因素^[27],进而可消除未引入碳排放滞后项时解释变量与误差项之间存在的相关性。鉴于上述分析,本文在模型中加入 TC 的滞后期,最终建立得到如下空间动态面板模型:

$$\ln TC_{it} = \alpha + \rho_1 \ln TC_{it-1} + \rho_2 \ln TC_{it-2} + \dots + \rho_p \ln TC_{it-p} + \beta_1 \ln incrrur_{it} + \beta_2 \ln incurb_{it} + \beta_3 \ln urb_{it} + u_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式中 TC_{it} 为 i 省 t 年的畜牧业碳排放量; $\ln TC_{it}$ 为其对数;同理, $\ln incrrur_{it}$ 、 $\ln incurb_{it}$ 、 $\ln urb_{it}$ 分别为 i 省 t 年的农村居民可支配收入 $incrrur$ 、城镇居民可支配收入 $incurb$ 和城镇化 urb 的对数; β_1 、 β_2 、 β_3 则表示农民收入、城镇居民收入和城镇化对中国畜牧业碳排放的影响; ρ_1 、 ρ_2 、 \dots 、 ρ_p 为被解释变量滞后项的系数; α 为常数项; u_{it} 为个体效应或随机效应; ε_{it} 为随机误差项。

2.3 数据来源与处理

2000-2014年中国31个省(市、区)的猪、牛、羊、兔等各种畜禽的年出栏量以及猪肉、牛肉、羊肉、禽肉、牛奶、禽蛋等畜禽产品年产量数据均来源于《中

国农村统计年鉴(2001-2015)》^[13],而畜禽单位用电支出和用煤支出、每单位畜产品耗粮系数均来自《全国农产品成本收益资料汇编(2001-2015)》^[28],农村居民人均纯收入、城镇居民人均可支配收入来自《中国统计年鉴(2001-2015)》^[29],城镇人口以及总人口的数据则来自《中国人口和就业统计年鉴(2001-2014)》^[30]以及《中国卫生和计划生育统计年鉴(2015)》^[31]。由于价格因素干扰,本文以2000年为基期,利用价格平减指数对农村居民人均纯收入及城镇居民可支配收入进行调整。而在碳排放测算过程中,由于畜禽单位用电支出、用煤支出及每单位畜产品耗粮系数等数据存在少量缺失,为此本文利用该省可得数据平均值进行插值。

需要说明的是,由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾和澳门。

3 结果及分析

3.1 畜牧业碳排放整体情况分析

3.1.1 畜牧业碳排放总量分析

表3给出了加总中国31省(市、区)畜牧业碳排放得到的全国畜牧业碳排放的总体变化情况和各系统边界的具体贡献情况。可以看出,在2000-2014年全国畜牧业碳排放总量由12 669.899万 t增长到13 189.955万 t,年均增速0.288%,整体可分为三个阶段:

(1)快速上升阶段(2000-2004年),碳排放量由12 669.899万 t增长到13 858.911万 t,增长比率高达9.38%。在该阶段,受20世纪90年代中后期粮食连年增产的影响,粮食出现供给结构性过剩,农民增收幅度缓慢。为此,国家一方面强调必须加快农业结构调整,大力发展畜牧业并积极推进规模化、标准化和产业化养殖;另一方面则逐年降低中国牧业税、屠宰税等与畜牧业有关的税收^[32],因而促进了畜牧业快速发展,进而导致畜牧业碳排放的快速上升。

(2)急剧下降阶段(2005-2007年),该阶段中国畜牧业碳排放总量由2005年的14 696.131万 t急剧下降到2007年的12 163.720万 t,降幅达17.23个百分点。究其原因在于:1999-2003年中国粮食价格低迷并持续减产,自2004年起国内粮食供求重新趋于紧张,粮食价格大幅上涨。为此,国家开始压缩

2017年4月

表3 2000-2014年中国畜牧业全生命周期标准C排放量

年份	TC_{TOTAL}		TC_{CZ}		TC_{CY}		TC_{SW}		TC_{CD}		TC_{SC}		TC_{SG}	
	总量	占比	总量	占比	总量	占比	总量	占比	总量	占比	总量	占比	总量	占比
2000	12 669.899	16.343	2 070.656	16.343	68.095	0.537	5 020.833	39.628	4 856.477	38.331	650.673	5.136	3.165	0.025
2001	12 557.472	15.347	1 927.219	15.347	65.567	0.522	5 037.106	40.112	4 946.037	39.387	578.240	4.605	3.303	0.026
2002	13 036.907	15.561	2 028.690	15.561	67.220	0.516	5 178.951	39.725	5 098.799	39.110	659.767	5.061	3.481	0.027
2003	14 360.155	20.332	2 919.641	20.332	91.833	0.639	5 383.257	37.487	5 322.688	37.066	639.020	4.450	3.716	0.026
2004	13 858.911	16.168	2 240.699	16.168	72.471	0.523	5 456.900	39.375	5 421.587	39.120	663.320	4.786	3.935	0.028
2005	14 696.131	16.156	2 374.259	16.156	76.209	0.519	5 723.719	38.947	5 777.379	39.312	740.349	5.038	4.217	0.029
2006	13 986.199	15.463	2 162.721	15.463	71.691	0.513	5 421.687	38.765	5 571.273	39.834	755.064	5.399	3.764	0.027
2007	12 163.720	19.178	2 332.767	19.178	74.898	0.616	4 385.787	36.056	4 715.442	38.766	651.030	5.352	3.796	0.031
2008	12 333.428	19.661	2 424.814	19.661	77.424	0.628	4 334.151	35.141	4 852.761	39.346	640.269	5.191	4.009	0.033
2009	12 830.583	19.268	2 472.250	19.268	78.733	0.614	4 509.470	35.146	5 113.900	39.857	652.098	5.082	4.133	0.032
2010	12 751.666	19.409	2 474.926	19.409	78.533	0.616	4 426.104	34.710	5 105.112	40.035	662.765	5.197	4.226	0.033
2011	12 632.564	19.661	2 483.655	19.661	77.845	0.616	4 352.435	34.454	5 067.549	40.115	646.816	5.120	4.264	0.034
2012	12 867.990	19.626	2 525.515	19.626	79.003	0.614	4 367.622	33.942	5 218.651	40.555	672.786	5.228	4.413	0.034
2013	12 992.218	19.215	2 496.480	19.215	78.206	0.602	4 390.716	33.795	5 285.595	40.683	736.771	5.671	4.451	0.034
2014	13 189.955	18.666	2 462.028	18.666	77.473	0.587	4 495.573	34.083	5 407.081	40.994	743.260	5.635	4.540	0.034
年均增长/%	0.288	1.244			0.926		-0.786		0.77		0.955		2.611	

耗粮型畜牧业,使得该阶段全国猪、非奶牛类牛种(尤其是肉牛)、羊的年饲养量大幅减少,依据《中国农村统计年鉴(2006-2008)》^[13]的数据,2005-2007年作为反刍家畜的非奶牛类牛种、羊的年饲养量年均下降分别达14.91%和12.45%,因此该阶段由畜禽胃肠道发酵系统和粪便管理系统引发的碳排放量大幅减少,最终导致畜牧业碳排放总量急剧下降。

(3)缓慢上升阶段(2008-2014年),该阶段碳排放量从12 333.428万t逐渐增长到13 189.955万t,年均增速1.13%。究其原因在于:该阶段中国粮食持续稳步增产,因而畜牧业也恢复了增长,但与2000-2004年期间相比,这一阶段城镇化水平快速提高,农民的非农收入逐渐成为了家庭收入的主要部分^[33],因而对畜牧业增收的依赖性有所降低;与此同时,畜禽产品需求虽然仍在增长,但增速较2000-2004年明显减少。

3.1.2 各系统边界的碳排放总量分析

从表3可以看出,饲料粮种植(TC_{CZ})、饲料粮加工(TC_{CY})、粪便管理系统(TC_{CD})、畜禽饲养耗能(TC_{SC})和畜产品运输加工(TC_{SG})5个环节的碳排放量整体呈现增长趋势,其年均增长率分别为1.244%、0.926%、0.770%、0.955%和2.611%;与上述

五个环节不同,畜禽胃肠发酵(TC_{SW})环节的碳排放量于2000-2006年逐步上升后在2007年急剧下降,而后又进入平稳阶段,2000-2014年年均降速为0.786%。从组成碳排放总量的构成来看,畜禽胃肠发酵(TC_{SW})和粪便管理系统(TC_{CD})产生的碳排放量是最为主要的来源,两者占畜牧业碳排放总量比重达74.48%~79.50%;饲料粮种植(TC_{CZ})产生的碳排放量所占比重总体呈上升趋势,2014年其占比达18.67%,较2000年提高了2.32%。2000-2014年饲料粮运输加工(TC_{CY})、畜禽饲养耗能(TC_{SC})和畜产品运输加工(TC_{SG})的年均碳排放所占比重分别为0.57%、5.12%、0.03%,并且年际排放波动都不大。从2000-2014年各环节平均碳排放总量大小来看,按从大到小顺序排列依次为:粪便管理系统(5184.022万t)>牲畜胃肠道发酵(4832.287万t)>饲料种植(2359.755万t)>畜禽饲养(672.815万t)>饲料运输(75.680万t)>畜产品加工(3.961万t)。

3.2 畜牧业碳排放的时空格局演变分析

本文选取2000年、2007年、2014年三年中国大陆31省(市、区)畜牧业碳排放量数据对其进行空间可视化,以此分析中国畜牧业碳排放的时空分布格局变化过程。为确保在不同时间尺度下各省(市、

区)畜牧业碳排放数据的标准性与可比性,参考王强等^[34]、尧波等^[35]的方法,将当年全国各省畜牧业碳排放量平均值的0.5倍、1.0倍、1.5倍作为划分标准,根据各省(市、区)畜牧业碳排放量,依次划分为低畜牧业碳排放区(<0.5倍)、中畜牧业碳排放区(0.5~1.0倍)、偏高畜牧业碳排放区(1.0~1.5倍)和高畜牧业碳排放区(>1.5倍)4种类型,如图1所示。从图中可以看出:

(1)高畜牧业碳排放区和低畜牧业碳排放区的空间格局基本稳定。2000-2014年河北、河南、山东和四川4省始终是高畜牧业碳排放区,北京、天津、上海、浙江、福建、海南和宁夏7省(市、区)始终是低畜牧业碳排放;2007-2014年内蒙古由偏高畜牧业碳排放区演变成为高畜牧业碳排放区,山西则由中畜牧业碳排放区演变成低畜牧业碳排放区。在高畜牧业碳排放区当中,内蒙古是以牛、羊、马等饲养为主的草原牧区畜牧业大省,而其他4个则为中国以生猪、家禽等饲养为主的农耕区畜牧业大省,5省(区)都是中国的农业大省和粮食主产区。在低畜牧业碳排放区当中,山西属于中部能源和重工业工业基地,相对于其他农业省份来讲,其畜牧业生产规模较小;宁夏虽然是中国的牧区,但国土面积狭小,畜牧业总量不大^[36],因而2省(区)成为了低畜牧业碳排放区;其余6省(市)则为中国粮食主销区,其城镇化和工业化发展水平高,农业比重非常小,因而畜牧业碳排放总量比很小。

(2)偏高畜牧业碳排放区和中度畜牧业碳排放区呈现出明显的动态演变态势。就偏高畜牧业碳排放区而言,2000年主要呈平行的倒“二”字型分布,即南部的安徽、湖南、广东、广西、云南,以及北部的黑龙江、内蒙古和新疆;2007年呈现出倒“八”字型分布,东边分别为辽宁、吉林和黑龙江三省,西边分别为湖南、广西、云南、西藏和新疆;2014年则演变为“∴”型,左上边的“点”为新疆,右上边“点”为黑龙江和辽宁,下边“点”为湖北、湖南、广西和云南4省(区)。可以看出,这些地区基本可以划分为两类:一类为边疆的草原牧区畜牧业,如新疆、西藏、云南、贵州等省区,这些地区大都位于中国黄河、长江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江等大江大河的源头和上中游地区,主要依托天然的饲草资源,形

成了中国草地畜牧业碳排放带;另一类则为农耕区畜牧业,如黑龙江、吉林、湖北、湖南等省区,这些地区都是中国的粮食主产区,主要以粮食及粮食加工的副产品为饲料,形成了中国的农耕区畜牧业碳排放带。就中度畜牧业碳排放区,其动态演变的特征主要表现为数量的不稳定,2000-2014年江苏、江西、贵州、陕西、甘肃和青海6省始终属于中度畜牧业碳排放区,而吉林、安徽、湖北、广东、西藏5省(区)则在中和偏高畜牧业碳排放区之间进行转化,山西和重庆则在中和低畜牧业碳排放区之间进行转化。

(3)草原牧区和粮食主产区的畜牧业碳排放量在全国占绝对主导地位。从2000-2014年中国31省(市、区)畜牧业碳排放量的年平均值大小排序来看,中国畜牧业碳排放量排名前十位的省份分别为:河南(1154.671万t)、山东(1117.212万t)、四川(1042.778万t)、河北(813.189万t)、内蒙古(766.556万t)、湖南(575.779万t)、云南(568.701万t)、新疆(526.361万t)、辽宁(508.187万t)、黑龙江(487.230万t),在这些省区当中,云南和新疆属于草原牧区,其余8个属于粮食主产区(内蒙古既属于草原牧区也属于粮食主产区),10省的畜牧业碳排放总量占全国的57.50%。相比而言,排名后十位的分别为:陕西(260.874万t)、重庆(230.420万t)、山西(201.873万t)、福建(157.406万t)、浙江(144.219万t)、宁夏(97.007万t)、海南(92.601万t)、北京(62.479万t)、天津(56.931万t)和上海(32.943万t),这些省区绝大部分为低畜牧业碳排放区,10省畜牧业碳排放总量仅占全国10.17%。此外,2000-2014年畜牧业碳排放量年平均值最大的河南省为上海市的35.05倍,充分说明了中国畜牧业碳排放量省际差异非常大。

(4)草原牧区和农耕牧区交替成为畜牧业碳排放增长的核心区。2000-2007年,畜牧业碳排放量增加的省区共11个,分别为东北三省、北部的内蒙古、西部的新疆、西藏、甘肃、青海、宁夏和四川省以及东部的浙江省,尤其是内蒙古和辽宁,其畜牧业碳排放量分别达到了813.584万t和530.333万t,增长幅度各为41.36%和47.97%(图2)。可以看出,这一时期草原牧区是中国畜牧业碳排放增长的核心

2017年4月

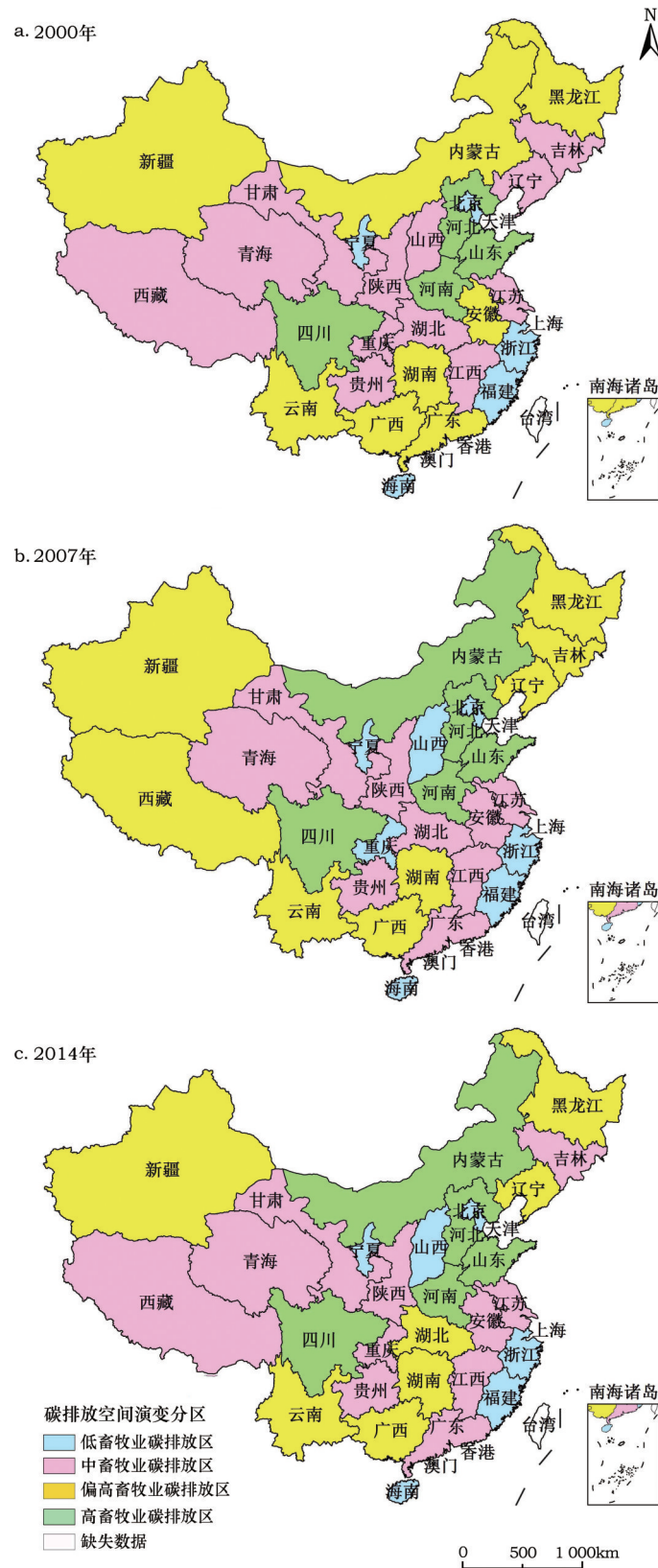


图1 2000–2014年中国畜牧业碳排放空间演变

Figure 1 Spatial evolution of animal husbandry carbon emissions in China from 2000 to 2014

注:由于数据获取困难,本次研究不包括香港、澳门和台湾。

区,而广大东、中部地区的绝大部分省区的畜牧业碳排放量降幅都在30万t以上,究其原因在于:前文已分析表明2005-2007年期间,广大农耕牧区大幅压缩耗粮型畜牧业,因而畜牧业碳排放量大幅下降;另一方面,自“十五”以来城镇化成为推动中国经济发展的引擎,因而东中部地区在2000-2007年经历了高速的城镇化进程,使得农民增收对畜牧业的依靠程度有所下降。相比之下,2007-2014年中

国畜牧业碳排放增长的核心区域主要在广大农耕畜牧业生产区,尤其是中部的河南、湖北、湖南和江西,西南的重庆、四川和云南以及广西这7个省区,其碳排放量的增幅都在65万t以上,而西部的新疆、甘肃、青海等省区畜牧业碳排放增量虽有增长,但均在65万t以下(图2)。究其主要原因在于:①2007-2014年中国粮食连年增产,大大促进了广大农耕区畜牧业发展;②随着东、中部省区城乡居民

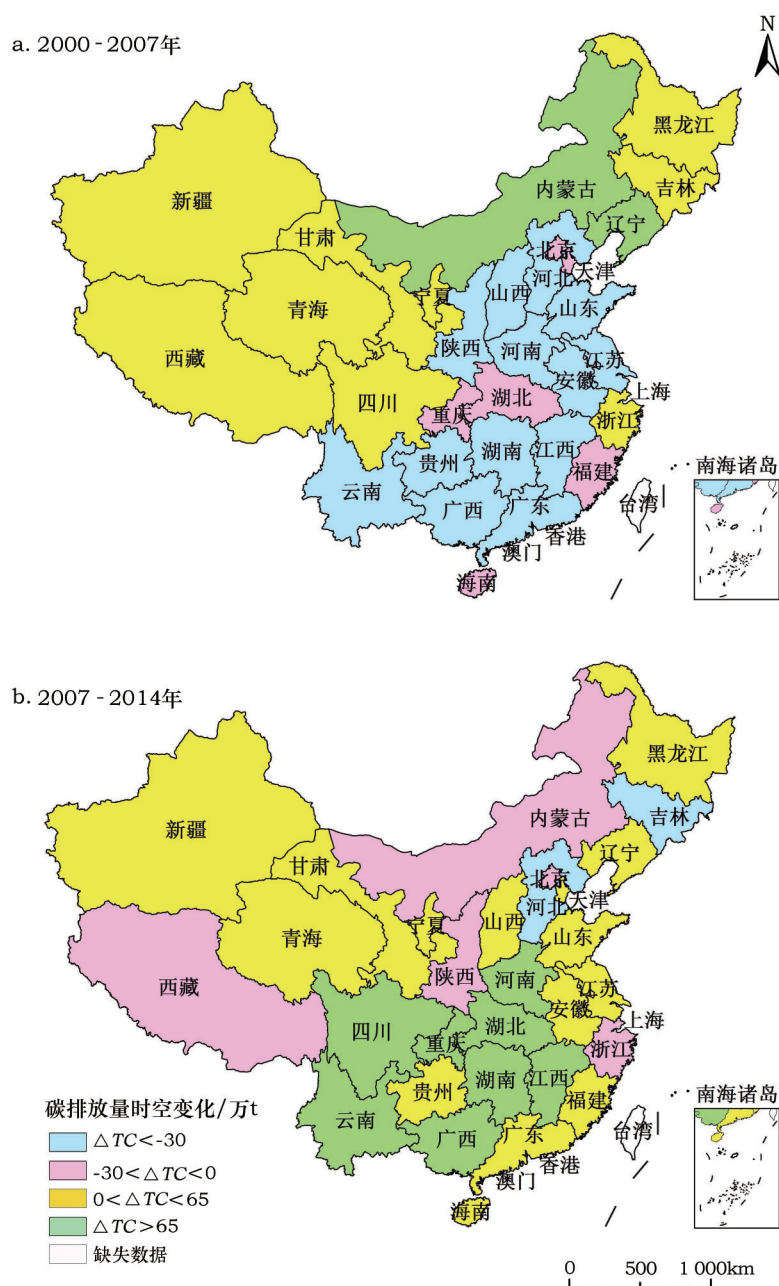


图2 2000-2007年以及2007-2014年中国畜牧业碳排放量增长的时空变化

Figure 2 Temporal and spatial evolution of animal husbandry carbon emissions growth during the period of 2000-2007 and 2007-2014 in China

注:由于数据获取困难,本次研究不包括香港、澳门和台湾。

2017年4月

收入水平的进一步提高,对畜禽产品的需求大幅度增加;③2000-2007年广大草原畜牧业区在经过快速发展后,普遍存在过度放牧现象,为此国家加大了对草场资源的保护。例如《全国畜牧业发展第十二个五年规划(2011-2015年)》^[37]指出,2006-2010年中国生猪和家禽饲养区域集中和产业化发展步伐不断加快,2010年西南地区和中、东部生猪、家禽生产的优势省区,其猪肉和禽蛋产量分别占全国的92.00%和67.70%;而在草原牧区,国家大力实施禁牧休牧轮牧政策,2006-2010年全国禁牧休牧轮牧草原面积1.067亿 hm^2 ,退牧还草工程和京津风沙源治理工程围栏封育草原面积达0.620亿 hm^2 。

4 畜牧业碳排放时空演化机制

4.1 动态面板数据模型的参数估计

公式(10)给出了中国畜牧业碳排放的动态面板数据模型,由于模型中加入了被解释变量的滞后项,因而解释变量容易出现内生性^[38]。若使用传统估计方法必将产生参数估计的有偏性和非一致性^[27],为此,本文采用Arellano等^[39]提出的差分GMM估计方法,差分GMM方法可以有效克服解释变量内生性以及残差的异方差问题,大大提高了估计结果的有效性和一致性。估计结果见表4。

从表4中可以看出,畜牧业碳排放对其本身存在显著的滞后效应,其中 $\ln TC_{i,t-1}$ 、 $\ln TC_{i,t-2}$ 对被解释变量的影响系数 ρ_1 和 ρ_2 分别为0.561和0.101,且均在1%的显著性水平下显著。

$\ln incru_{it}$ 对 $\ln TC_{it}$ 的影响系数 β_1 为0.078,在1%的显著性水平下是显著的,这说明农民人均纯收入提高1单位,畜牧业碳排放将增加0.078单位,究其

主要原因在于:①由于畜牧业生产的经济效益明显高于种植业,农民为增加自身收入,必然会由种植业转向畜牧业生产,进而扩大畜牧业生产规模^[40];②随着农民人均纯收入的不断提高,农村居民对畜产品的需求也会有所增加,进而拉动了畜牧业碳排放的增长^[41]。

$\ln incurb_{it}$ 对 $\ln TC_{it}$ 的影响系数 β_2 则为0.127,在1%的显著性水平下也是显著的,即城镇居民人均可支配收入增加1个单位,畜牧业碳排放将增加0.127个单位,为农民人均纯收入对畜牧业碳排放增加作用的1.63倍,其主要原因在于:受收入水平、消费和营养观念、饮食习惯、劳动方式等方面的影响,城镇居民对肉类、奶类、家禽等畜禽产品的消费量要远大于农村居民^[42,43];以2012年为例,中国城镇居民猪肉、牛肉、羊肉、禽肉等4类畜禽产品的年人均消费总量达35.71kg,而农村居民仅为20.85kg,城镇居民为农村居民的1.71倍^[41],因此城镇居民可支配收入增加对碳排放的拉动作用要显著高于农村人均纯收入的作用。

$\ln urb_{it}$ 对 $\ln TC_{it}$ 的影响系数 β_3 为-0.145,通过了1%的显著性水平检验,这表明城镇化对畜牧业碳排放具有显著的抑制作用,究其主要原因在于:①城镇化不断推进农村人口向城镇转移,显著减少了农村农业劳动力,不断推进传统散养型畜牧业向规模化和集约化的畜牧业生产方式转变,显著提高畜牧业生产效率;②城镇化推动经济发展,进而增加农民的非农就业收入,降低了农民依靠畜发展畜牧业来实现增收的目的;③城镇化具有显著的集聚效应,它通过推动农业研发资本、研究人员和知识技术在城市集聚,进而推动农业科技进步^[44]。因此,城镇化的发展对畜牧业碳排放具有显著的抑制作用。差分GMM回归的卡方值为1960.32,在1%的显著性水平下是显著的,说明该模型具有很好的显著性,具有可靠性。

4.2 畜牧业碳排放时空演化机制

(1)自然资源禀赋和区位条件的差异决定了畜牧业碳排放的基本空间格局。本研究表明,畜牧业碳排放总量大的地区均是中国的草原牧区或粮食主产区,而排放总量较小的地区均基本是中国沿海粮食主销区(它们耕地资源贫乏,但具有优越区位

表4 动态面板数据模型参数估计结果

Table 4 Coefficient estimation of dynamic panel data model

变量	系数	标准误	z统计量	P值
$\ln TC_{i,t-1}$	0.561***	0.214	26.160	0.000
$\ln TC_{i,t-2}$	0.101***	0.019	8.480	0.000
$\ln TC_{i,t-3}$	-0.008	0.006	-1.230	0.220
$\ln incru_{it}$	0.078***	0.027	2.910	0.004
$\ln incurb_{it}$	0.127***	0.036	3.570	0.000
$\ln urb_{it}$	-0.145***	0.008	-17.86	0.000
常数项	0.790*	0.465	1.700	0.089

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下显著。

条件)。因此可以看出,草场、耕地等自然资源禀赋以及区位条件是决定畜牧业发展的关键因素,也是决定畜牧业碳排放基本空间格局的根本原因。究其原因主要在于:①草原牧区具有丰富的草场资源,适合大规模发展节粮型畜牧业;而粮食主产区具有大量的饲料资源,适合发展耗粮型畜牧业;②边疆草原地区、粮食主产区农村地域面积广,农民数量大,且其城镇化和非农产业发展水平低,在国家要求不断加快提高农民收入的要求下,这些地区最为直接有效的办法就是大力发展经济价值更高的畜牧业,并不断扩大其生产规模,故而成为高畜牧业碳排放区。相比之下,沿海粮食主销区由于区位条件优越,其非农产业发展水平高,农民数量少;而且其农民从事非农产业的收益要明显高于畜牧业,其提高农民收入的手段并不需要依靠大力发展畜牧业,因而自然成为了低畜牧业碳排放区。

(2)城镇化和城乡居民收入增加将共同决定未来畜牧业碳排放增长的时空格局。城镇化通过推进畜牧业规模化和集约化生产,推进经济发展进而降低农民增收对畜牧业发展的依赖,通过提升农业技术水平等途径,对畜牧业碳排放产生显著的抑制作用。2000-2007年,中国广大东、中部地区畜牧业碳排放的减少很好地说明了这一点。比较而言,城乡居民收入的持续增长则增加了人们对畜禽产品的需求,强劲地拉动畜牧业发展,进而增加了畜牧业碳排放,2007-2014年中国东、中部地区畜牧业碳排放的持续增加充分证明了这一点。可以看出,在高、低畜牧业碳排放区格局基本稳定的情况下,今后畜牧业碳排放增长区将由不同区域的城镇化发展水平和城乡居民收入水平三者共同决定。《国家新型城镇化规划(2014-2020)》^[45]指出,到2020年中国城镇化的总体水平将达到60%。相对于广大西部地区来讲,东、中部地区城镇化发展水平已经较高,城镇化发展水平已经接近60%,根据诺瑟姆的城市发展阶段理论,这些地区的城镇化步伐将逐渐放缓,且进一步提升的空间相对有限;但随着经济的发展,这些地区城乡居民的收入水平仍将不断提高,满足城乡居民对畜禽产品持续增长的需求,仍需不断加快畜牧业发展。可以预见,东、中部地区仍将是今后中国畜牧业碳排放增长的核心区。

5 结论与建议

本文运用全生命周期评价法测算了2000-2014年中国大陆31个省(市、区)的畜牧业碳排放,对中国畜牧业碳排放的整体变化和时空格局演变进行了分析,并采用GMM计量模型定量揭示了城乡居民纯收入、城镇化和畜牧业碳排放之间的内在关系,研究得到如下结论:

(1)2000-2014年,中国畜牧业碳排放总量由12 669.899 万 t 增长到13 189.955 万 t,年均增速0.288%,其中畜禽胃肠发酵和粪便管理系统产生的碳排放是其主要来源,两者占畜牧业碳排放总量比重达74.48%~79.50%。由于每单位生猪、家禽等耗粮型畜牧业胃肠发酵所产生的碳排放远小于每单位牛、羊、马等节粮型畜牧业;而在节粮型畜牧业当中,每单位羊、兔等的胃肠发酵和粪便管理所产生的碳排放又远小于每单位牛、马等动物。因此,在当前粮食产量、进口量和库存量三量齐增的背景下,可以适度扩大生猪、家禽等耗粮型畜牧业的生产规模;在节粮型畜牧业当中,适度增加羊、兔的生产规模,压缩非奶牛规模,以实现有效稳定或降低畜牧业碳排放的发展目标。

(2)研究期间,中国高、低畜牧业碳排放区基本稳定,偏高、中度畜牧业碳排放区呈现出明显的动态演变态势。高和偏高畜牧业碳排放区整体沿中国边疆草场和粮食主产区分布,形成了草原牧区和农耕牧区。2000-2014年畜牧业碳排放排名前10位的省区全部位于草原牧区和粮食主产区,其碳排放量占中国畜牧业碳排放总量的57.50%,而排名后10位的省区大部分属于粮食主销区,其碳排放量仅占全国畜牧业碳排放量的10.17%,这表明自然资源禀赋和区位条件决定了畜牧业碳排放的基本空间格局。从畜牧业碳排放增量来看,2000-2007年草原牧区是中国畜牧业碳排放增长的核心区,而在2007-2014年农耕牧区成为了畜牧业碳排放增长的核心区。

(3)利用面板数据模型(GMM)分析得到,农民人均纯收入和城镇居民可支配收入每增加1单位,畜牧业碳排放将分别增加0.078单位和0.127单位;而城镇化每增加1单位,则畜牧业碳排放将减少0.145单位,这表明城镇化和城乡居民收入水平的

2017年4月

提高将共同决定着将来中国畜牧业碳排放增长的时空格局。分析可知,东、中部地区由于城镇化发展速度减慢,城镇化水平进一步提升的空间也相对有限,在城乡居民收入增长导致的畜禽产品需求快速增长的推动下,在今后一段时间仍将是畜牧业碳排放的增长区。为此,中国应加快推进以人为本的新型城镇化,进一步降低农民增收对发展畜牧业的依靠;与此同时,深入贯彻《中国食物与营养发展纲要(2014-2020年)》^[46]有关精神,继续传承以植物性食物为主、动物性食物为辅的优良饮食习惯,避免因收入提高而大幅增加畜禽产品消费的现象。

(4)中国幅员辽阔,不同畜牧业生产区其自然资源环境、畜牧业生产水平、模式等方面都存在一定差异,采取统一的畜牧业碳排放、能耗等各种系数对全国不同区域进行测算,其结果应该会存在一定的偏差,但这种偏差不会改变本文所得的基本结论。因此,今后应针对不同的省(市、区),采用不同的系数进行更为精确的测算。此外,影响畜牧业碳排放的因素众多,如畜牧业生产效率、自然资源禀赋等因素未能在本文中进行深入分析,仍需在今后的研究中进一步加强。

参考文献(References):

- [1] 张来明,李建伟. 中国经济发展新常态重要思想的科学性与理论涵义[J]. 经济纵横, 2015, (3): 1-6. [Zhang L M, Li J W. The scientificness and theoretical connotations of the crucial thought in the new normal of Chinese economic development[J]. *Economic Review*, 2015, (3): 1-6.]
- [2] Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, et al. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options[R]. Rome: FAO, 2006.
- [3] 崔中庆. 推广“低碳”畜牧业是实现可持续发展的必要途径[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(3): 111-112. [Cui Z Q. To promote "low carbon" is the necessary way of realizing the sustainable development of animal husbandry[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2010, 31(3): 111-112.]
- [4] 黄秀声, 黄勤楼, 翁伯琦, 等. 畜牧业发展与低碳经济[J]. 中国农学通报, 2010, 26(24): 257-263. [Huang X S, Huang Q L, Weng B Q, et al. Animal husbandry's development and low-carbon economy[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24): 257-263.]
- [5] 陈幼春. 畜牧业的强势低碳经济特征[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2010, (5): 1-7. [Chen Y C. The characteristics of animal husbandry low carbon economy[J]. *Jiangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2010, (5): 1-7.]
- [6] 张文学, 郑新霞. 促进中国低碳畜牧业发展的策略研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2012, (2): 15-17. [Zhang W X, Zheng X X. A strategy research on promoting low-carbon animal husbandry development in China [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2012, (2): 15-17.]
- [7] 王智鹏, 孔凡斌, 潘丹. 江西省畜牧业温室气体排放时空差异分析-基于LCA方法[J]. 鄱阳湖学刊, 2015, (3): 26-36. [Wang Z P, Kong F B, Pan D. The spatial-temporal changes of greenhouse gases emissions in Jiangxi's graziery sector-base on life cycle analysis (LCA) method[J]. *Journal of Poyang Lake*, 2015, (3): 26-36.]
- [8] 侯麟科, 仇焕广, 崔永伟, 等. 环境污染与畜牧业空间布局研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 65-69. [Hou K L, Qiu H G, Cui Y W, et al. Research on environmental pollution and spatial layout of livestock sector[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(12): 65-69.]
- [9] 陈瑶, 尚杰. 四大牧区畜禽业温室气体排放估算及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(12): 89-95. [Chen Y, Shang J. Estimation and effecting factor decomposition of greenhouse gas emission of animal husbandry industry in four pastoral areas[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(12): 89-95.]
- [10] 邹洁, 项朝阳. 中国大陆畜牧业环境效率测算及影响因素研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(1): 90-96. [Zou J, Xiang C Y. Research on the livestock environmental efficiency in mainland China and its influencing factors[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2016, 38(1): 90-96.]
- [11] 韩长赋. 解决“三农”问题是全面建设小康社会的重大任务[J]. 农村经营管理, 2002, 19(12): 7-9. [Han C B. To solve the problem of "agriculture, rural areas and farmers" is the major task of building a well-off society[J]. *Management and Administration on Rural Cooperative Economy*, 2002, 19(12): 7-9.]
- [12] 陈瑶, 尚杰. 中国畜牧业脱钩分析及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 101-107. [Chen Y, Shang J. Disconnect analysis and influence factors of animal husbandry in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(3): 101-107.]
- [13] 国家统计局. 中国农村统计年鉴(2001-2015)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2015. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Rural Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2001-2015.]
- [14] 曹玉香, 徐丙臣. 基于低碳经济生态畜牧业发展的研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011, (12): 16-17. [Cao Y X, Xu B C. Research

- on low carbon economy ecological animal husbandry development [J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2011, (12): 16-17.]
- [15] 王效琴, 梁东丽, 王旭东, 等. 运用生命周期评价方法评估奶牛养殖系统温室气体排放量[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 179-184. [Wang X Q, Liang D L, Wang X D, et al. Estimation of greenhouse gas emissions from dairy farming systems based on LCA [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(13): 179-184.]
- [16] 孙亚男, 刘继军, 马宗虎. 规模化奶牛场温室气体排放量评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 296-301. [Sun Y N, Liu J J, Ma Z H. Evaluation of greenhouse gas emissions from scale dairy farm[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(6): 296-301.]
- [17] 曹丽红, 齐振宏, 罗丽娜, 等. 中国养猪业碳排放时空特征及因素分解研究[J]. 科技管理研究, 2015, (12): 224-228. [Cao L H, Qi Z H, Luo L N, et al. Research on temporal and spatial characteristics of carbon emissions and influencing factors decomposition in pig industry in China[J]. *Science and Technology Management Research*, 2015, (12): 224-228.]
- [18] 林余. 中国动物源CH₄排放空间分布和时间变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. [Lin Y. Estimating Spatiotemporal Dynamics of Methane Emissions from Livestock in China[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011.]
- [19] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252. [Hu X D, Wang J M. Estimation of livestock greenhouse gases discharge in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(10): 247-252.]
- [20] 孟祥海, 张俊飏, 李鹏, 等. 畜牧业环境污染形势与环境治理政策综述[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(1): 1-8. [Meng X H, Zhang J B, Li P, et al. Summary of livestock environmental pollution and environmental management policies[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30(1): 1-8.]
- [21] IPCC. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use[R]. Geneva: IPCC, 2006.
- [22] 闵继胜. 农产品对外贸易对中国农业生产温室气体排放的影响研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012. [Min J S. Agricultural Products in International Market on Greenhouse Gas Emissions in the Chinese Agricultural[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2012.]
- [23] 谭秋成. 中国农业温室气体排放: 现状及挑战[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(10): 69-75. [Tan Q C. Greenhouse gas emission in China's agriculture: Situation and challenge[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(10): 69-75.]
- [24] Seinfeld H, Wassenaar T, Jutzi S. Livestock production systems in developing countries: Status, drivers, trends[J]. *Revue Scientifique Et Technique*, 2006, 25(2): 505-516.
- [25] 谢鸿宇, 陈贤生, 杨木壮, 等. 中国单位畜牧产品生态足迹分析[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 3264-3270. [Xie H Y, Chen J S, Yang M Z, et al. The ecological footprint analysis of 1 kg livestock product of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 3264-3270.]
- [26] 张腾飞, 杨俊, 盛鹏飞. 城镇化对中国碳排放的影响及作用渠道[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(2): 47-57. [Zhang T F, Yang J, Shen P F. The impacts and channels of urbanization on carbon dioxide emissions in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(2): 47-57.]
- [27] 邵同尧. 风险投资、创新与创新累积效应-基于系统GMM估计的动态面板分析[J]. 软科学, 2011, 25(6): 6-10. [Shao T Y. Venture capital, innovation and its cumulative effect- dynamic panel analysis based on system GMM[J]. *Soft Science*, 2011, 25(6): 6-10.]
- [28] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编(2001- 2015) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001- 2015. [National Development and Reform Commission Price Department. National Agricultural Product Cost and Income Data Compilation (2001- 2015) [M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2015.]
- [29] 国家统计局. 中国统计年鉴(2001-2015) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2015. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistical Yearbook of China[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2001-2015.]
- [30] 国家统计局人口和就业统计司. 中国人口和就业统计年鉴(2001-2014) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2001-2014. [The Population and Employment Statistics Division of the National Bureau of Statistics. China Population and Employment Statistics Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2001-2014.]
- [31] 国家卫生和计划生育委员会. 中国卫生和计划生育统计年鉴 [M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2015. [National Health and Family Planning Commission. Chinese Journal Health Informatics[M]. Beijing: Beijing Union Medical University Press, 2015.]
- [32] 陈海燕, 陈佳阳. 重庆市农村居民收入差距及其影响因素分析[J]. 经济研究导刊, 2014, (13): 222-226. [Chen H Y, Chen J Y. Analysis of the rural income disparity and its influencing factors in Chongqing[J]. *Economic Research Guide*, 2014, (13): 222-226.]
- [33] 关浩杰. 收入结构视角下中国农民收入问题研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2013. [Guan H J. Study on Farmer's Income Issues in China from the Perspective of Income Structure[D].

2017年4月

- Beijing: Capital University of Economics and Business, 2013.]
- [34] 王强,郑颖,伍世代,等. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应[J]. 地理学报, 2011, 66(6): 741-749. [Wang Q, Zheng Y, Wu S D, et al. Mechanism of energy efficiency response to industrial restructuring and energy consumption structure change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(6): 741-749.]
- [35] 尧波,郑艳明,胡丹,等. 江西省县域农业碳排放的时空动态及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 311-318. [Yao B, Zheng Y M, Hu D, et al. Spatial and temporal variations of county based agricultural carbon emissions and associated effect factors in Jiangxi Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2014, 23(3): 311-318.]
- [36] 王艳. 中国牧区扶贫开发问题研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014. [Wang Y. Study on Poverty Alleviation and Development Issues in Pastoral Areas of China[D]. Changchun: Jilin University, 2014.]
- [37] 农业部. 全国畜牧业发展第十二个五年规划[J]. 江西畜牧兽医杂志, 2011, (5): 34-39. [Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. The twelfth five- year plan for national animal husbandry development[J]. *Jiangxi Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2011, (5): 34-39.]
- [38] 邓宗兵,封永刚,张俊亮,等. 中国粮食生产空间布局变迁的特征分析[J]. 经济地理, 2013, 33(5): 117-123. [Deng Z B, Feng Y G, Zhang J L, et al. Analysis on the characteristics and tendency of grain production's spatial distribution in China[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(5): 117-123.]
- [39] Arellano M, Bond S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment Equations[J]. *Review of Economic Studies*, 1991, 58(2): 277-297.
- [40] 姚成胜,李政通,易行. 中国粮食产量变化的驱动效应及其空间分异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 72-81. [Yao C S, Li Z T, Yi X. Driving effects of grain production change and its spatial differences in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(9): 72-81.]
- [41] 姚成胜,黄琳. 中国食物资源安全状况评价及其对策研究[J]. 农业现代化研究, 2014, 35(6): 703-709. [Yao C S, Huang L. Security assessment and countermeasures for China's food resources[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2014, 35(6): 703-709.]
- [42] 尚旭东,李秉龙. 中国城乡居民畜产品消费特征与问题分析-基于消费结构与收入差距视角[J]. 生态经济, 2012, (6): 45-52. [Shang X D, Li B L. An analysis on consumption characteristic and question of animal products by urban and rural residents in China: Based on the perspective of consumption structure and income disparities[J]. *Ecological Economy*, 2012, (6): 45-52.]
- [43] 袁学国. 中国城乡居民畜产品消费研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2001. [Yuan C G. Study on the Consumption of Animal Products in China[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2001.]
- [44] 姚成胜,邱雨菲,黄琳,等. 中国城市化与粮食安全耦合关系辨析及其实证分析[J]. 中国软科学, 2016, (8): 75-88. [Yao C S, Qiu Y F, Huang L, et al. Coupling relationship between urbanization and food security in China: An empirical study[J]. *China Soft Science*, 2016, (8): 75-88.]
- [45] 王仁贵,宫超. 国家新型城镇化规划[M]. 北京: 人民出版社, 2014. [Wang R G, Gong C. National Plan on New Urbanization [M]. Beijing: People's Publishing House, 2014.]
- [46] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 中国食物与营养发展纲要(2014-2020年)[J]. 粮食科技与经济, 2014, 36(4): 111-113. [National Health and Family Planning Commission. The development of Chinese food and nutrition program[J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2014, 36(4): 111-113.]

Provincial animal husbandry carbon emissions in China and temporal-spatial evolution mechanism

YAO Chengsheng^{1,2}, QIAN Shuangshuang^{1,2,3}, LI Zhengtong^{1,2,3}, LIANG Longwu^{3,4}

(1. Center for Central China Economic Development Research, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. School of Economics and Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

3. Econometric Research Institutions, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

4. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Using life cycle assessment (LCA) methods, animal husbandry carbon emissions in 31 provinces of China from 2000-2014 were measured and spatial and temporal characteristics revealed. Using dynamic panel data model (GMM), the interaction mechanisms between animal husbandry carbon emissions, per capita net income of rural residents (PCNIRR), per capita disposable income of urban residents (PCDIUR) and urbanization were also analyzed. We found that from 2000 to 2014, the total amount of animal husbandry carbon emissions in China increased from 126.936 million tons to 131.335 million tons, with average annual growth rate of 0.244%, of which gastrointestinal fermentation of livestock and manure management systems carbon emissions were the two main sources, accounting for 74.14%~79.67% of total animal husbandry carbon emissions. During the study period, China's high and low animal husbandry carbon emissions areas were relatively stable, while slightly high and moderate animal husbandry carbon emission areas showed clear dynamic evolution. High animal husbandry carbon emissions areas were mostly located in prairie areas or major grain producing areas of China, and the top 10 animal husbandry carbon emissions provinces accounted for 57.50% of the total animal husbandry carbon emissions in China. During 2000-2007, prairie pastoral areas were increasingly the center of animal husbandry carbon emissions, however this shifted to farming pastoral areas from 2007-2014. The coefficients of PCNIRR, PCDIUR and urbanization to animal husbandry carbon emission were 0.078, 0.127 and -0.145, respectively, meaning that interactions between these three factors will determine future temporal and spatial evolution patterns of animal husbandry carbon emission growth in China.

Key words: animal husbandry carbon emissions; life cycle assessment; urbanization; rural per capita net income; urban residents disposable income; evolution mechanism; China