

基于 LMDI 模型的东北地区农业碳排放测度与分解

李政通^{1,2}, 白彩全³, 肖薇薇¹

(1. 南昌大学经济管理学院, 江西 南昌 330031; 2. 南昌大学计量经济研究会, 江西 南昌 330031;
3. 山东大学经济研究院, 山东 济南 250100)

摘要: 通过对东北三省的农业碳排放进行测度, 并基于 LMDI(对数平均迪氏分解)模型将其分解为碳排放强度、农业收入、就业结构与人口总量四种驱动效应。研究结果:(1) 从东北地区的农业碳排放总量来看, 1996—2013 年间黑龙江、吉林和辽宁三省的农业碳排放呈现逐年上升的趋势, 分别增加了 0.72、0.63 倍和 0.52 倍, 年平均增长率分别为 3.23%、2.92% 和 2.51%, 黑龙江碳排放总量和增速最大;(2) 从东北地区农业碳排放的内部结构来看, 农用资本与农地利用带来的碳排放是东北地区的主要碳源, 占比 58.65%, 其次是牲畜养殖碳排放, 占比 22.59%; (3) 碳排放强度效应对农业碳排放的影响为负, 且表现出黑龙江 > 辽宁 > 吉林的特征; 1996—2013 年间, 农业收入效应推动黑龙江、吉林和辽宁的农业碳排放分别增加了 1480.57、883.17 万 t 和 839.10 万 t; 就业结构效应对黑龙江和辽宁的农业碳排放有正向影响, 但对吉林则呈现显著的负向作用; 人口总量效应对农业碳排放总量的影响均为正, 驱动辽宁的农业碳排放增加了 51.02 万 t。

关键词: 农业碳排放; LMDI 模型; 驱动效应; 东北地区

中图分类号: F323; X22 **文献标志码:** A

The measurement and decomposition of agricultural carbon emissions in Northeast China based on LMDI model

LI Zheng-tong^{1,2}, BAI Cai-quan³, XIAO Wei-wei¹

(1. School of Economics & Management, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China;
2. Econometric Research Institute, Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330031, China;
3. The Center for Economic Research, Shandong University, Shandong, Jinan 250100, China)

Abstract: This study measured the agricultural carbon emissions in Northeast China and adopted LMDI (logarithmic mean Divisia index) model to dissect their driving effects into carbon emission intensity, agricultural income, employment structure and gross population. The results showed that the agricultural carbon emissions in Heilongjiang, Jilin and Liaoning increased year by year during 1996—2013, their growth rates were 72%, 63% and 52% respectively, and average annual growth rates were 3.23%, 2.92% and 2.51% respectively. The total emissions and the growth rate in Heilongjiang were the largest. From the point of internal structure of agricultural carbon emissions, the carbon sources were mainly from agricultural capital and agricultural land use which accounts for 58.65% of total emissions, followed by livestock breeding which accounts for 22.59% of total emissions. In addition, the effect of carbon emission intensity had a negative impact on agricultural carbon emissions and this impact was greatest in Heilongjiang, followed by Liaoning and then Jilin. During the period of 1996 to 2013, the agricultural carbon emissions in Heilongjiang, Jilin and Liaoning driven by agricultural income effect respectively increased by 14.8057, 8.8317 and 8.391 million tons. However, the effect of employment structure had a positive impact on agricultural carbon emissions in Heilongjiang and Liaoning, but a significantly negative impact on that in Jilin. The effect of the gross population had a positive effect on agricultural carbon emissions in the three provinces, driving the agricultural carbon emission in Liaoning increased by 510,200 tons.

Keywords: agricultural carbon emissions; LMDI model; driving effects; northeast China

收稿日期: 2016-03-20

基金项目: 国家社会科学基金项目(15CJL029); 国家级大学生创新创业训练项目(201510403006); 江西省大学生创新创业训练计划项目(201410403067)

作者简介: 李政通(1993—), 男, 湖北咸宁人, 硕士研究生, 主要从事区域计量与农业资源经济研究。E-mail: pacing_lee@163.com。

通信作者: 白彩全(1989—), 男, 甘肃兰州人, 博士研究生, 主要从事人口资源环境经济研究。E-mail: baicaiquan0815@163.com。

随着人类经济发展水平逐步提高,对资源的需求利用也显著增强,碳排放量已经成为影响世界气候的重要因素,构建低碳社会成为人类的共同诉求。农业生产虽然是以种植业、畜牧业、水产养殖业等行业为主体的基础性产业,但是在农业生产过程中,农业生产投入直接或间接造成了大量的碳排放^[1]。研究表明,农业发展与碳排放之间存在协整关系,两者有相同的发展趋势^[2-3];且我国农业碳排放存在阶梯差异,中东部农业大省是我国高排放地区,其次是中西部地区,而非农业城市或者西部落后地区则是我国低排放区^[4]。产生这种阶梯差异的原因主要在于地区的农业发展水平,其中中部地区通过提高农业生产效率、西部地区则可以通过优化农业结构和推动农业劳动力转移来减少农业碳排放^[5]。近年来,诸如庞丽^[5]、张小平^[6]等运用 LMDI 方法对农业碳排放进行分解,综合考虑农业生产结构、效率、劳动力与农业经济等多个要素对农业碳排放的影响,一方面突破了只关注总量的局限,另一方面从各要素分析农业碳排放的演变对如何减少农业碳排放更具指导作用。从农业发展的角度来看,推动农业经济发展是实现粮食安全的必然要求,然而减少农业发展过程中的碳排放也是关系人类福祉的必要条件,在保护生态环境的基础上实现农业生产发展是社会发展的必经之路。

黑龙江、吉林和辽宁均是我国重要的粮食主产区,在我国农业生产发展中占据重要地位。新中国成立以来,东北地区农业生产取得了显著发展,依靠丰富的黑土资源和科技实力成为我国著名的“北大仓”。数据显示,2013 年东北三省稻谷、小麦、玉米、豆类和薯类五大类粮食作物产量占比全国比重为 16.16%、0.34%、34.58%、30.73% 和 5.95%;而牛、马、驴、骡、猪、山羊和绵羊等常见牲畜年末存栏头数占全国比重分别为 12.50%、13.52%、23.62%、12.11%、7.25%、5.01% 和 8.31%;从东北地区的农业生产条件来看,化肥、农药、农膜和柴油使用量分别占全国比重为 10.38%、10.82%、21.29% 和 13.11%。由此可见,东北三省在我国农业生产中占据重要地位,是我国重要的种植业与畜牧业地区,但东北三省农业生产带来的碳排放如何,各种碳源对碳排放总量的影响如何,东北地区如何才能实现农业生产低碳化? 这些问题亟待解决。为此,本文基于 1996—2013 年东北三省的农业生产相关数据,首先对东北三省的农业生产碳排放总量进行测度,接

着运用 LMDI 方法将其对碳排放强度、农业收入、就业结构与人口总量四种效应进行分解。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

所用数据均来源于《中国农村统计年鉴(1997—2014)》^[7],其中,农用化肥施用量(按折纯计)、农药使用量、农膜使用量、农用柴油消耗量、农业灌溉面积、农作物播种面积、水稻种植面积、大豆种植面积、玉米种植面积均以当年实际情况为准;翻耕土地面积数据用当年农作物实际总播种面积替代;牛、马、驴、骡、生猪、羊等牲畜数量依据年末存栏量以及出栏率进行修正,参考陈瑶^[8]、胡向东^[9]等的研究,对于出栏率大于 1 的牲畜,当年饲养量用出栏量除以 365 天再乘以其生命周期进行估计;而对于出栏率小于 1 的牲畜,则其饲养量用相邻两年年末存栏量平均数表示。在本文考虑的牲畜产品中,除生猪外其余牲畜产品出栏率均小于 1,生猪的生产周期按照 200 天计算^[9]。在对东北地区的农业碳排放进行 LMDI 分解时,本文首先以 1978 年为基期,对农业总产值根据当年居民消费价格指数进行除价格影响处理,得到实际的农业总产值。为保证数据的完整性,搜集黑龙江、吉林和辽宁三省 1996—2013 年的数据进行分析。

1.2 研究方法

1.2.1 农业碳排放总量测度 在对中国农业碳排放的研究中,张小平和王龙飞^[6]、李立^[10]、李波^[2]、高鸣和陈秋红^[11]、鲁钊阳^[12]将农业碳排放的碳源分为化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉和农地翻耕,而未考虑土壤 N_2O 排放、农作物(如稻田等)的碳排放和牲畜养殖的碳排放;田云等^[13]将农业碳排放源分为化肥、农药、农膜和农用柴油 4 个方面,除了没有考虑土壤 N_2O 排放、农作物的碳排放和牲畜养殖的碳排放之外,对农业灌溉和土地翻耕引起的碳排放也没有进行考虑。然而,田云等^[14-16]的计算结果显示,农业灌溉、土地翻耕、土壤 N_2O 排放、农作物的碳排放和牲畜养殖的碳排放等在农业碳排放中占有非常大的比重,特别是农作物(如稻田等)和牲畜养殖的碳排放量,其与化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉和翻耕 6 个方面的碳排放量总和和相差不大甚至超过这 6 个方面的碳排放量总和。同时,田云等^[14-18]和吴贤荣等^[19]的研究全面考虑了农业碳排放的各类碳源,不仅考虑了化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉和农地翻耕 6 个方面的碳

源,还考虑了土壤 N_2O 排放、农作物的碳排放和牲畜养殖的碳排放 3 大方面的碳源。因此,参考田云等^[14-18]和吴贤荣等^[19]对农业碳排放碳源因子的选取与分类研究,将农业碳排放碳源因子分为农用物资与农地利用、土壤 N_2O 排放、稻田 CH_4 排放和牲畜养殖四大类:(1) 农用物资与农地利用碳排放主要来源于四个方面:① 化肥、农药、农膜等农用物质投入直接或间接导致的碳排放;② 农用机械使用耗费的柴油所引发的碳排放;③ 翻耕破坏土壤表层造成的有机碳流失;④ 农业灌溉电能耗费所带来的碳排放。这些碳源因子的碳排放系数已由学者们计算得出。(2) 农作物种植对土壤表层的破坏易导致大量温室气体流失到大气中,其中以 N_2O 最为突出。相较于其他温室气体,由于 N_2O 具有增温潜势大、滞留大气时间长、破坏臭氧层等特点,其负面作用更为严重^[20]。国内学者已通过大量实验测算了我国主要农作物品种土壤的 N_2O 排放系数。具体到东北三省,主要农作物为玉米、水稻和大豆,同时考虑到数据的可获得性,本文只计算这三种农作物土壤的 N_2O 排放。(3) 稻田是温室气体 CH_4 (甲烷)的重要排放源之一,闵继胜等^[21]对中国各地区水稻生长周期内的 CH_4 排放系数进行了测算,本文根据该研究结果,对黑龙江省、吉林省和辽宁省稻田的碳排放系数分别取值 $8.31gCH_4 \cdot m^{-2}$ (约合 $56.6742 gC \cdot m^{-2}$)、 $5.57 gCH_4 \cdot m^{-2}$ (约合 $37.9874 gC \cdot m^{-2}$)和 $9.24 gCH_4 \cdot m^{-2}$ (约合 $63.0168 gC \cdot m^{-2}$)。(4) 牲畜特别是反刍牲畜的养殖是 CH_4 的另一重要排放源,其主要来源于肠道发酵所造成的 CH_4 排放和粪便管理系统中的 CH_4 排放两方面。对中国而言,引起 CH_4 排放的牲畜主要有牛、马、驴、骡、猪、羊等品种,其各自的碳排放系数同样也通过借鉴田云等^[15]的研究而得到。需要说明的是,为了方便研究,本文对碳排放量进行加总时,将 CH_4 、 N_2O 排放量统一转换为标准 C 排放量,根据 IPCC 第四次评估报告^[22]可知,1 t CH_4 、1 t N_2O 所带来的温室效应分别相当于 25 t CO_2 (约合 6.82 t C)、298 t CO_2 (约合 181.27 t C)所带来的温室效应。以上各碳源因子的碳排放系数如表 1 所示,表中已按照上述原则,对各碳源因子的碳排放系数进行了转换。

借鉴张秀梅等^[23]、田云等^[15]的研究,本文构建农业碳排放公式如下:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中, E 为农业碳排放总量; E_i 为各类碳源的碳排

放量; T_i 为各碳源因子的量; δ_i 为各碳源因子的碳排放系数。

1.2.2 基于 LMDI 模型的农业碳排放分解
Yoichi Kaya 首先构建了碳排放的分解公式^[29],其公式表示为:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P \quad (2)$$

在式(2)中, CO_2 、 E 、 GDP 和 P 分别表示碳排放总量、能源消费、地区生产总值与总人口。本文在 Yoichi Kaya 所构建模型的基础上,同时借鉴戴小文等^[30]的研究构建我国东北地区农业碳排放分解公式:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{Y} \times \frac{Y}{P_R} \times \frac{P_R}{P} \times P \quad (3)$$

其中, CO_2 表示农业碳排放; Y 表示农业总产值; P_R 表示农业从业人口总数; P 表示人口总数。令 $CO_2 = G$, CO_2/Y 、 Y/P_R 、 P_R/P 和 P 分别表示 G_1 、 G_2 、 G_3 和 G_4 。则 $G = G_1 \times G_2 \times G_3 \times G_4$ 。其中, G_1 表示农业碳排放总量与农业总产值之比,体现的是农业生产过程中的碳排放强度效应; G_2 则表示农业总产值与从事农业生产的劳动力之比,表示的是农民收入效应; G_3 则显示的是从事农业劳动人口总数占总人口数的比重,体现的是农业碳排放的就业结构效应; G_4 则是地区的总人口,表示的是农业碳排放的人口总量效应。为此,本文将农业碳排放分解为碳排放强度效应、农业收入效应、就业结构效应与人口总量效应,也即这 4 种驱动效应解释了农业的碳排放变化。

在对农业碳排放效应划分的基础上,本文运用 LMDI 方法进行分解。Ang^[31]研究认为,LMDI 方法在现有的分解方法中具有更加突出的优势。该方法最早由 Albrecht^[32]提出,其最大的特点是分解后不存在残差项,且加法分解与乘法分解可以相互转化,操作简便。近年来,LMDI 模型在农业碳排放的分解中得到了广泛应用,庞丽^[5]、贺亚亚^[33]等将农业碳排放分解为农业效率、农业结构、农业经济水平三种驱动效应,而张小平等^[6]则进一步考虑了碳排放的劳动力规模效应。研究表明,现有研究从强度、经济、结构与人口四个方面对农业碳排放的驱动效应进行研究,对于建设低碳农业具有较好的参考价值;诸如田云等^[15-16]虽然将农业碳排放划分为四种碳源,但并没有分析各种驱动因素对单个碳源的影响,从而忽视了农业碳排放内部结构差异。为此,本文运用 LMDI 方法将碳排放总量及其分碳源排放总量分解为碳排放强度效应、农业收入效应、就业结构效

应与人口总量效应 4 种效应。

表 1 各碳源因子的碳排放系数

Table 1 Carbon emission coefficients of various carbon sources

类别 Type	碳源因子 Carbon sources	碳排放系数 Carbon emission coefficient		参考来源 Data sources	
		数值 Value	单位 Unit		
农用物资 与农地利用 Agricultural inputs and farmland use	化肥 Chemical fertilizer	0.8956	kgC·kg ⁻¹	ORNL	
	农药 Pesticide	4.9341	kgC·kg ⁻¹	ORNL	
	农膜 Agricultural film	5.18	kgC·kg ⁻¹	IREEA	
	柴油 Diesel	0.5927	kgC·kg ⁻¹	IPCC	
	翻耕 Plowing	312.6	kgC·km ⁻²	IABCAU、伍芬琳,等 ^[24] 、吴贤荣,等 ^[19] IABCAU, WU Fenlin, et al ^[24] , WU Xianrong, et al ^[19]	
	灌溉 Irrigation	266.48	kgC·hm ⁻²	段华平,等 ^[25] DUAN Huaping, et al ^[25]	
土壤 N ₂ O 排放 N ₂ O emissions from soil	水稻土壤 N ₂ O 排放 N ₂ O emissions from paddy soil	43.5048	kgC·hm ⁻²	根据王智平 ^[26] 转换得到 Through conversion from Wang Zhiping ^[26]	
	大豆土壤 N ₂ O 排放 N ₂ O emissions from Soybean soil	139.5779	kgC·hm ⁻²	根据熊正琴,等 ^[27] 转换得到 Through conversion from XIONG Zhengqin, et al ^[27]	
	玉米土壤 N ₂ O 排放 N ₂ O emissions from maize soil	458.9756	kgC·hm ⁻²	根据王少彬,等 ^[28] 转换得到 Through conversion from WANG Shaobin, et al ^[28]	
	黑龙省 Heilongjiang	56.6742	gC·m ⁻²	根据闵继胜,等 ^[21] 转换得到 Through conversion from MIN Jisheng, et al ^[21]	
稻田 CH ₄ 排放 CH ₄ emission from paddy soil	吉林省 Jilin	37.9874	gC·m ⁻²	根据闵继胜,等 ^[21] 转换得到 Through conversion from MIN Jisheng, et al ^[21]	
	辽宁省 Liaoning	63.0168	gC·m ⁻²	根据闵继胜,等 ^[21] 转换得到 Through conversion from MIN Jisheng, et al ^[21]	
牲畜 养殖 Livestock breeding	奶牛 Cow	肠道发酵 Enteric fermentation	416.02	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	其他牛 Other cattle	粪便管理 Feces	122.76	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	347.82	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	马 Horse	粪便管理 Feces	10.23	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	122.76	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	驴 Donkey	粪便管理 Feces	11.1848	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	68.2	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	骡 Mule	粪便管理 Feces	6.138	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	68.2	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	猪 Pig	粪便管理 Feces	6.138	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	6.82	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	山羊 Goat	粪便管理 Feces	27.28	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	34.1	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
	绵羊 Sheep	粪便管理 Feces	1.1594	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
		肠道发酵 Enteric fermentation	34.1	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹	IPCC
			粪便管理 Feces	1.023	kgC·头 ⁻¹ ·a ⁻¹

注: ORNL 即为美国橡树岭国家实验室, IREEA 即为南京农业大学农业资源与生态环境研究所, IPCC 即为联合国政府间气候变化专门委员会, IABCAU 即为中国农业大学农学与生物技术学院。

Note: the ORNL, IREEA, IPCC and IABCAU respectively refer to Oak Ridge National Laboratory, Institute of Resource, Ecosystem and Environment of Agriculture of Nanjing Agricultural University, Intergovernmental Panel on Climate Change, and College of Agronomy and Biotechnology of China Agricultural University.

首先, 设定初始时刻的农业碳排放为 G^0 , T 时期后农业碳排放变为 G^T 。依据 Ang 的研究可以得到乘法分解和加法分解^[32], 如下:

$$D = G^T/G^0 = D_{G_1} \times D_{G_2} \times D_{G_3} \times D_{G_4} \quad (4)$$

$$\Delta G = G^T - G^0 = \Delta G_1 + \Delta G_2 + \Delta G_3 + \Delta G_4 \quad (5)$$

式(4)和式(5)分别表示农业碳排放的乘法与加法分解结果, 其中 D 和 ΔG 分别表示乘法分解与

加法分解; $D_{G_i}, i = 1, 2, 3, 4$ 表示各个要素的乘法分解, $\Delta G_i, i = 1, 2, 3, 4$ 则表示各个要素的加法分解。在此基础上,可以进一步得到各个要素的分解,如下:

$$D_{G_k} = \exp\left(\sum_i W_i \ln(G_k^T/G_k^0)\right), i = 1, 2, 3, 4 \quad (6)$$

$$\Delta G_k = \sum_i W_i L(G^T, G^0) \ln(G_k^T/G_k^0), i = 1, 2, 3, 4 \quad (7)$$

式(6)和式(7)表示各个要素的乘法分解与加法分解,其中 W_i 表示为 $L(G_k^T, G_k^0)/L(G^T, G^0)$,且 $L(a, b) = (a - b)/(\ln a - \ln b), a \neq b$ 或 $L(a, b) = a, a = b, a, b$ 为参数,无特殊含义。

2 结果与分析

2.1 东北地区农业碳排放演变分析

首先,依据表 1 可以计算出东北地区的农业碳

排放量,其演变趋势如图 1 所示。从图 1 中可以看出:(1)东北三省的农业碳排放呈现逐年上涨的趋势。研究显示,黑龙江、吉林和辽宁三省的农业碳排放分别从 1996 年的 877.91、540.71 万 t 和 519.52 万 t 增加到 2013 年的 1506.75、882.23 万 t 和 792.24 万 t,年平均增长率分别为 3.23%、2.92% 和 2.51%,相比较 1996 年的农业碳排放量分别增加了 0.72、0.63 倍和 0.52 倍。这表明,随着东北三省农业生产发展,其碳排放量也呈现较为显著的增长趋势,对生态环境产生的压力越来越大。(2)黑龙江是东北三省中碳排放量最大的省份,与其他两省的差距呈现扩大化趋势。从三者的碳排放量增速来看,黑龙江 > 吉林 > 辽宁,且黑龙江碳排放总量在 1996 年分别是吉林和辽宁的 1.62 倍和 1.69 倍,这一比值在 2013 年增加到 1.71 和 1.90,这表明黑龙江省不仅是东北三省中农业碳排放量最大的省份,也是增速最快的省份。

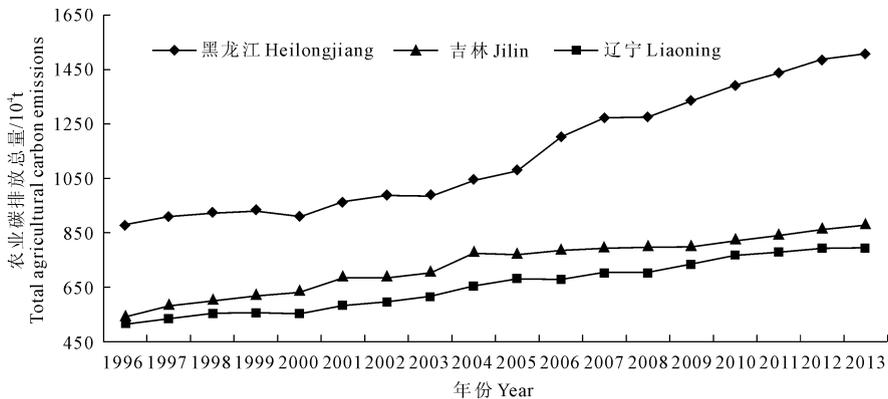


图 1 东北三省农业碳排放总量/10⁴t

Fig.1 Total agricultural carbon emissions in Northeast China

从农业碳排放的构成来看,农用物资与农地利用是主要的农业碳排放来源,其次是牲畜养殖碳排放。表 2 根据表 1 中的划分显示了东北三省 2013 年四个碳源的农业碳排放量。从东北三省整体来看,农用物资与农地利用带来的农业碳排放占比 58.65%,牲畜养殖碳排放则占比 22.59%,两者累计占比高达八成,表明农用物资与农地利用带来的碳排放最高,牲畜养殖也是推高农业碳排放的重要原因;而分地区来看,除黑龙江外,吉林与辽宁两省的牲畜养殖碳排放量占总体碳排放的比重仅次于农用物资与农地利用碳排放,两者累计占比分别为 80.78% 和 85.91%,是农业碳排放的主要构成,与东北三省农业碳排放构成相似;不仅如此,黑龙江的 4 种碳源所产生的碳排放均高于吉林和辽宁,除牲畜养殖碳排放外其他碳源所带来碳排放的比重也高于其余 2 省,而相对于黑龙江和吉林而言,辽宁在牲畜

养殖方面碳排放量较多(占比 28.62%)。

2.2 东北三省农业碳排放分解

图 1 和表 2 显示了我国东北三省的农业碳排放演变趋势,在此基础上,本文运用 LMDI 模型对东北三省的农业碳排放进行分解。依据公式(3),本文将东北三省的农业碳排放分解为碳排放强度、农业收入、就业结构与人口总量共四种效应。表 3 显示了东北三省农业碳排放分解结果,表 4 在表 3 的基础上显示了 1996—2013 年东北三省四种碳源的分解效应。

从表 3 中可以看出,1996—2013 年,黑龙江、吉林和辽宁的碳排放总量分别增加了 628.84、341.53 万 t 和 272.72 万 t,其中黑龙江的增量最大。依据公式(3),东北三省的农业碳排放可以分解为碳排放强度、农业收入、就业结构与人口总量共 4 种效应。研究显示:(1)碳排放强度效应(G_1)衡量的是碳排放

表 2 东北三省 2013 年农业碳排放总量及其分量/ 10^4t

Table 2 Total agricultural carbon emissions and their components in Northeast China in 2013

指标 Indicator	东北三省 Northeast China	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning
农业碳排放总量 Total agricultural carbon emissions	3085.20	1506.75	882.23	792.24
农用物资与农地利用排放 Carbon emissions from agricultural inputs and farmland use	1865.70 58.65%	912.01 60.53%	499.80 56.65%	453.88 57.29%
土壤 N_2O 排放 N_2O emissions from soil	572.01 17.98%	297.76 19.76%	166.76 18.90%	107.50 13.57%
稻田 CH_4 排放 CH_4 emissions from paddy soil	24.85 0.78%	18.00 1.19%	2.76 0.31%	4.09 0.52%
牲畜养殖碳排放 Carbon emissions from livestock breeding	718.67 22.59%	278.98 18.52%	212.92 24.13%	226.77 28.62%

注：“%”表示该碳排放分量与总量的比值。 Note:“%” were the ratio of components and total carbon emissions.

表 3 1996—2013 年东北地区碳排放总量分解/ 10^4t

Table 3 The decomposition of total carbon emissions in Northeast China from 1996 to 2013

地区 Region	碳排放变动 Change in carbon emissions	碳排放强度效应 Effect of carbon emission intensity	农业收入效应 Effect of agricultural income	就业结构效应 Effect of employment structure	人口总量效应 Effect of gross population
黑龙江 Heilongjiang	628.84	-1118.20	1408.57	305.52	32.95
吉林 Jilin	341.53	-499.29	883.17	-87.43	45.08
辽宁 Liaoning	272.72	-623.20	839.10	5.81	51.02

总量与农业总产值之比对农业碳排放总量的影响,当 G_1 增大,表明一单位农业总产值带来的碳排放增加,经济发展对环境的破坏加重;与此相反则表示经济发展表现出可持续性。从表 3 中可以看出, G_1 对东北三省农业碳排放的作用为负,且从绝对值来看黑龙江 > 辽宁 > 吉林,表明东北三省农业经济发展所带来的碳排放呈现减少趋势。不仅如此,表 4 还表明,碳排放强度效应对各种类型的碳源均呈现主要负向影响,且碳排放强度效应对农用物资与农地利用碳排放的作用是形成碳排放强度效应的主要来源。这是由于碳排放强度减小表明一单位经济所带来的碳排放量减少,经济发展得到优化升级,从而推动农业科技投入,在保证土地产出的前提下对化肥、柴油、农药、农膜等农资投入具有很好的削减作用。(2) 农业收入效应(G_2)则是推高农业碳排放的主要因素,1996—2013 年东北三省农业收入效应对农业碳排放的影响分别为 1480.57、883.17 万 t 和 839.10 万 t(表 3),这成为东北地区农业碳排放增高的主要驱动效应,而农业收入效应体现的是从事农业生产劳动力的平均农业总产值收入对农业碳排放的影响。农业收入对农用物资与农地利用的碳排放驱动效应最大,这是由于农民在收入效应的驱动下,加大农业投入(尤其是化肥、农药、农膜、柴油等投入),在提升自身经济效益的同时,形成了大量的农业碳排放。其次,农业收入效应还显著地作用于牲

畜养殖行业,这是由于牲畜养殖行业的产出效益要高于种植业,因而在经济收益的驱动下,农业资本被大量投入到牲畜养殖行业,从而推高了农业碳排放。(3) 就业结构效应(G_3)则表示的是从事农业生产的劳动人口占地区常住人口的比重,当这一比值较高时,说明当地从事农业劳动的人口所占比重大,第一产业从业占据较大的份额。表 3 显示,黑龙江、吉林和辽宁的就业结构效应对农业碳排放的影响分别是 305.52、-87.43 万 t 和 5.81 万 t,结合表 4 可以看出,就业结构效应对黑龙江呈现较为显著的正向作用,而对吉林则呈现显著的负向作用,对辽宁则呈现不明显的正向作用。其中,就业结构效应对黑龙江的农用物资与农地利用碳排放驱动效应最大,为 179.961 万 t,说明黑龙江省就业结构改善会对碳排放有缓解作用;而这一指标在吉林则为 -47.665 万 t,说明吉林省就业结构优化将会带来更多的碳排放。(4) 从人口总量效应(G_4)来看,黑龙江、吉林与辽宁三省的人口总量效应对碳排放总量的影响均为正,其中辽宁最高(51.02 万 t),黑龙江最小(32.95 万 t)。表 4 显示,人口总量对农用物资与农地利用碳排放的驱动作用是该效应的主要组成部分,其次是牲畜行业。其原因在于在人口总量的压力下,为保障粮食安全,需要加大农业资本投入,提高土地利用效率,从而成为碳排放增加的驱动力。

表4 东北三省分碳源碳排放驱动效应分解/ 10^4 t

Table 4 The decomposition of driving effects of carbon emissions from various carbon sources in Northeast China

地区 Region	碳排放种类 Carbon sources	碳排放变动 Change in carbon emissions	碳排放强度效应 Effect of carbon emission intensity	农业收入效应 Effect of agricultural income	就业结构效应 Effect of employment structure	人口总量效应 Effect of gross population
黑龙江 Heilongjiang	农用物资与农地利用 Agricultural inputs and farmland use	411.628	-617.435	829.693	179.961	19.408
	种植土壤排放 Planting soil	140.636	-189.511	266.184	57.736	6.227
	稻田排放 Paddy field	11.721	-4.977	13.463	2.920	0.315
	牲畜排放 Livestock	64.852	-303.008	296.592	64.331	6.938
吉林 Jilin	农用物资与农地利用 Agricultural inputs and farmland use	218.229	-240.167	481.482	-47.665	24.578
	种植土壤排放 Planting soil	46.849	-124.362	179.834	-17.803	9.180
	稻田排放 Paddy field	1.111	-1.489	2.731	-0.270	0.139
	牲畜排放 Livestock	75.341	-132.591	218.404	-21.621	11.149
辽宁 Liaoning	农用物资与农地利用 Agricultural inputs and farmland use	128.268	-407.087	501.401	3.469	30.485
	种植土壤排放 Planting soil	29.710	-97.599	119.235	0.825	7.249
	稻田排放 Paddy field	1.078	-3.807	4.576	0.032	0.278
	牲畜排放 Livestock	113.662	-112.846	212.141	1.468	12.898

3 结论与建议

3.1 结论

东北三省在我国农业生产中占据重要地位,伴随着粮食生产重心北移,将在我国农业生产中的地位日趋凸显。本文首先对东北三省的农业碳排放量进行测度,再运用 LMDI 分解模型对东北三省的农业碳排放整体及四种碳源排放量进行分解,得出以下主要结论:

(1) 东北地区的农业碳排放呈现逐年上涨的趋势,黑龙江是东北地区农业碳排放增速最快也是总量最大的地区。研究结果显示,黑龙江、吉林和辽宁三省的农业碳排放分别从 1996 年的 877.91、540.71 万 t 和 519.52 万 t 增加到 2013 年的 1506.75、882.23 万 t 和 792.24 万 t,年平均增长率分别为 3.23%、2.92% 和 2.51%,相比较 1996 年的农业碳排放量分别增加了 0.72、0.63 倍和 0.52 倍。这表明,黑龙江的农业碳排放增速最快,也是东北地区主要的碳排放省份,辽宁是东北地区农业碳排放最少的地区,但牲畜养殖排放量较其它两省比重更大。

(2) 农用物资与农地利用带来的碳排放是东北地区的主要碳源,其次是牲畜养殖带来的碳排放,稻田 CH_4 排放带来的碳排放所占比重最小。总体上,东北三省农用物资与农地利用带来的农业碳排放与牲畜养殖碳排放分别占比 58.65% 和 22.59%,累计占比高达八成,农用物资与农地利用及牲畜养殖对东北三省农业碳排放的贡献最大;其中,牲畜养殖碳排放对吉林与辽宁的农业碳排放贡献要大于黑龙江,其中辽宁最大,为 28.62%。不仅如此,黑龙江的 4 种碳源所产生的碳排放均高于吉林和辽宁,除

牲畜养殖碳排放外其他碳源所带来碳排放的比重也高于其余 2 省。

(3) 碳排放强度效应与农业收入效应是地区农业碳排放的主要效应构成。由于碳排放强度效应具有一定的农业经济与技术属性,地区的农业碳排放强度效应越大,表明其经济发展水平更高或农业生产技术得到改进,故碳排放强度效应对东北地区的碳排放表现为显著负向作用;与此相反,地区的农业收入效应由于能够刺激地区从事农业生产的积极性,导致农业生产规模扩大,从而显著推动农业碳排放增加。研究结果还显示,就业结构效应对吉林的农业碳排放有减小的作用,而人口总量效应则对地区农业碳排放有增大的作用,但就业结构效应与人口总量效应对地区农业碳排放变化的影响作用较小。

3.2 建议

农业碳排放是整个农业生态系统生产过程中所排放的碳总量,减少农业碳排放主要是为了减少温室气体排放,从而减轻农业生产对气候环境的破坏,形成低能耗、低排放和低污染的生态农业是农业发展的必然要求^[33]。东北三省拥有我国最大的黑土地片区,一直是我国重要的农业生产区域,黑龙江、吉林和辽宁均是我国三大粮食主产区;不仅如此,东北地区也是我国重工业基地,有利于农用机械研发成果的就地转化,因而东北地区也是我国农机化程度最高的地区。在优势的自然条件和科技条件带动下,东北地区在我国农业生产中占据重要地位。但是近年来东北农业生产发展存在资源环境意识淡薄、产业结构不合理和农户滥用化肥和农药等问题,导致东北地区的农业发展只注重眼前利益而忽视了长远利益,对生态环境有较大的破坏。在此背景下,

为促进东北地区的农业生态发展,实现东北地区农业生产低碳化,根据研究结果,提出如下政策建议:

(1) 加大农业科技投入与转化。研究表明碳排放强度效应对农业碳排放呈现主要的负向作用,加大农业科技投入与转化将推动单位农业产值带来的碳排放减少,而这是减少农业碳排放的主要动因。

(2) 树立农业生态观念,推动农业收入可持续增长。农业收入效应是拉高农业碳排放的主要因素,这是由于在经济利益驱动下,农民通过加大农业投入以提高经济收入,从而推动农业碳排放较大程度的提高。为此,需要树立生态农业观念,禁止无节制开发,注重保护农业生态。

(3) 开发农业生产技术,调整居民消费结构。研究显示,农用物资与农地利用是农业碳排放的主要来源,而农用物资与农地利用则主要包括化肥、农药、柴油、农膜等物资投入,为此需要加大开发农业技术,提高资源使用效率,降低农用物资对农业碳排放的增量。不仅如此,牲畜养殖也是仅次于农用物资与农地利用的主要碳排放来源,为此需要进一步优化居民的食物消费结构,形成更为低碳的农产品消费模式。

参考文献:

[1] 王敬哲,刘志辉,张波.近 20 年新疆农田生态系统碳足迹时空变化[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):240-248.

[2] 李波.经济增长与农业碳排放关系的实证研究[J].生态环境学报,2012,21(2):220-224.

[3] 朱丽君,王光宇,姚升,等.安徽省农业碳排放结构与效率研究[J].湖北农业科学,2015,(14):3546-3548.

[4] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放与经济发展的实证研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(12):8-13.

[5] 庞丽.我国农业碳排放的区域差异与影响因素分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(12):1-7.

[6] 张小平,王龙飞.甘肃省农业碳排放变化及影响因素分析[J].干旱区地理,2014,37(5):1029-1035.

[7] 国家统计局.中国农村统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,1997—2014.

[8] 陈瑶,尚杰.四大牧区畜牧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.

[9] 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.

[10] 李立,周灿,李二玲,等.基于投入视角的黄淮海平原农业碳排放与经济发展脱钩研究[J].生态与农村环境学报,2013,29(5):551-558.

[11] 高鸣,陈秋红.贸易开放、经济增长、人力资本与碳排放绩效——来自中国农业的证据[J].农业技术经济,2014,(11):101-110.

[12] 鲁钊阳.省域视角下农业科技对农业碳排放的影响研究[J].科学学研究,2013,31(5):674-683.

[13] 田云,张俊飏,李波.基于投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究——以湖北省为例[J].农业现代化研究,

2011,32(6):752-755.

[14] 田云,李波,张俊飏.我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2011,11(1):59-63.

[15] 田云,张俊飏,李波.中国农业碳排放研究:测算、时空比较及脱钩效应[J].资源科学,2012,34(11):2097-2105.

[16] 田云,张俊飏.中国农业生产净碳效应分异研究[J].自然资源学报,2013,28(8):1298-1309.

[17] 田云,张俊飏.中国省级区域农业碳排放公平性研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(11):36-44.

[18] 田云,张俊飏,尹朝静,等.中国农业碳排放分布动态与趋势演进——基于 31 个省(市、区)2002—2011 年的面板数据分析[J].中国人口·资源与环境,2014,24(7):91-98.

[19] 吴贤荣,张俊飏,田云,等.中国省域农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究——基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J].资源科学,2014,36(1):129-138.

[20] 齐玉春,董云社.土壤氧化亚氮产生、排放及其影响因素[J].地理学报,1999,54(6):534-542.

[21] 闵继胜,胡浩.中国农业生产温室气体排放量的测算[J].中国人口·资源与环境,2012,22(7):21-27.

[22] IPCC.气候变化 2017:综合报告[R].日内瓦:政府间气候变化专门委员会,2017.

[23] 张秀梅,李升峰,黄贤金,等.江苏省 1996 年至 2007 年碳排放效应及时空格局分析[J].资源科学,2010,32(4):768-775.

[24] 伍芬琳,李琳,张海林,等.保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J].生态学杂志,2007,26(12):2035-2039.

[25] 段华平,张悦,赵建波,等.中国农田生态系统的碳足迹分析[J].水土保持学报,2011,25(5):203-208.

[26] 王智平.中国农田 N₂O 排放量的估算[J].农村生态环境,1997,13(2):51-55.

[27] 熊正琴,邢光熹,鹤田治雄,等.种植夏季豆科作物对旱地氧化亚氮排放贡献的研究[J].中国农业科学,2002,35(9):1104-1108.

[28] 王少彬,苏维翰.中国地区氧化亚氮排放量及其变化的估算[J].环境科学,1993,14(3):42-46.

[29] Yoichi K. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.

[30] 戴小文,何艳秋,钟秋波.中国农业能源消耗碳排放变化驱动因素及其贡献研究——基于 Kaya 恒等扩展与 LMDI 指数分解方法[J].中国农业生态学报,2015,23(1):1445-1454.

[31] Ang BW. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.

[32] Albrecht J, Francois D, Schoors K. A Shapley decomposition of carbon emissions without residuals [J]. Energy Policy, 2002, 30(9): 727-736.

[33] 贺亚亚,田云,张俊飏.湖北省农业碳排放时空比较及驱动因素分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2013,(5):79-85.

[34] Ang B W, Liu F L, Chew E P. Perfect decomposition techniques in energy and environmental analysis [J]. Energy Policy, 2003, 31(14): 1561-1566.

[35] 何艳芬,张柏,李方,等.东北黑土区农业生态环境问题与对策[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):191-194.