

黑龙江省农业碳排放影响因素研究

周航

哈尔滨商业大学，黑龙江哈尔滨，150006；

摘要：通过对黑龙江省 2001-2022 年的农业碳排放进行测算，基于 LMDI 加法模型，分析各因素对农业碳排放的贡献水平。结果表明黑龙江省农业碳排放总体呈先上升后下降再上升的趋势，农业碳排放从 2001 年的 735.85 万吨增长至 2022 年的 1207.26 万吨。黑龙江省农业碳排放的主要来源由畜禽养殖转变为农地利用。从 LMDI 分解结果来看，农业生产效率因素、农业结构因素和农业规模因素均是黑龙江省农业碳排放的抑制因素，而农业经济发展水平因素对黑龙江省农业碳排放有促进作用。

关键词：农业碳排放；LMDI 加法模型；因素分解

DOI：10.69979/3029-2700.25.03.062

全球气候变暖带来的极端天气、干旱洪涝等自然灾害频发，并且已经成为全球粮食安全、人类健康和经济社会可持续发展的严重威胁。全球碳排放量一直持续上升，而人类生产生活中排放的二氧化碳，是导致全球气候变暖的关键因素。按照目前的碳排放水平，十年内将消耗全球碳预算的一半。预防全球气候变暖进一步发展，必须践行低碳发展道路，低碳发展是人类未来的发展路径。

根据中国目前碳排放量变化趋势，中国将在未来超越美国成为碳排放量第一的国家，中国作为负责任的大国，为了保障人类未来的生存环境并遵循可持续发展的准则，在全球气候治理中贡献了中国智慧和中国力量。进行农业的绿色低碳转型，实现农业的减排固碳，不仅是中国实现双碳目标的重要途径，为保护世界环境做出重要贡献，也是农业实现自身良好发展的必然选择。

对于农业碳排放问题，以下几个方面是国内研究的热点内容：一、农业碳排放的测算。大部分碳排放从测算都采用不同的碳排放系数测算或模型模拟法来进行测算。专家学者以不同的方式建立了指标体系。有碳排放核算体系分为只关注农业部门本身，不涉及其上下游产业的横向核算体系，以及从全生命周期视角核算农业碳排放的纵向核算体系两种核算方法。目前我国学者主要使用横向的碳排放核算体系，通过碳排放系数法来计算农业碳排放量，通常将农业碳排放分为农用物资投入、农作物种植以及畜禽养殖。二、农业碳排放的影响因素。主要通过 LMDI 模型、Kaya 恒等式、STIRPAT 模型等方法对农业碳排放进行分析，得出农业产业结构对农业碳

排放的影响与地区有关、农业规模与农业碳排放量之间存在 U 型变化关系等结论。

现有研究在进行农业碳排放核算时，主要从农用物资投入的角度进行计算，忽视了农作物种植以及畜牧养殖这两大农业活动所产生的碳排放。因此，本文将从农用物资投入、农作物种植以及畜牧养殖三个角度计算黑龙江省农业碳排放量，分析黑龙江省各要素对黑龙江省农业碳排放量的影响效果，寻求在守住耕地红线、保障我国粮食安全的前提下，黑龙江省农业未来发展的道路和方向。

1 研究方法与数据来源

1.1 数据来源

文中数据来源历年《黑龙江统计年鉴》，其中农药、农膜、柴油以实际使用量表示，化肥以化肥折纯量表示，农业灌溉面积以当年有效灌溉面积表示，翻耕面积采取当年农作物播种量。畜禽养殖量数据进行处理时，对于出栏率小于 1 的牲畜饲养量采用上年与本年年末出栏量均值，出栏率大于 1 的牲畜，即猪和家禽的年均饲养量采用 $(\text{当年出栏量} \times \text{平均生命周期}) / 365$ 计算，猪和家禽的平均生命周期分别为 200 天和 80 天^[2]。

1.2 研究方法

(1) 碳排放测算法

本文以 2001-2022 年黑龙江省农业碳排放量为测算对象，采取 IPCC 的碳排放系数法，对农地利用、农作物种植以及畜牧养殖等农业活动中产生的碳排放进行测算。具体测算公式如下：

$$C = \sum C_i = \sum T_i * \delta_i$$

C 为农业碳排放总量, C_i 为各碳源碳排放量, T_i 为各碳源排放水平, δ_i 为碳排放系数。具体测算系数如表 1、表 2。

表 1 农地利用及农作物种植碳排放系数

	碳源	排放系数	参考来源
农地利用	化肥	0.8956kgC/kg	李波 ^[4]
	农药	4.9314kgC/kg	
	农膜	5.18kgC/kg	
	柴油	0.5927kgC/kg	
	翻耕	312.6kgC/km ²	
农作物种植	灌溉	266.48kgC/hm ²	
	一季稻	83.1kgCH ₄ /hm ²	闵继胜 ^[5]
	小麦	2.05kgNO ₂ /hm ²	
	玉米	2.532kgNO ₂ /hm ²	
	大豆	0.77kgNO ₂ /hm ²	熊正琴 ^[6]

表 2 畜牧养殖碳排放系数

	碳源	肠道发酵	粪便管理	参考文献	
				CH ₄	CH ₄
畜禽养殖	黄牛及肉牛	68	2.23	1.096	闵继胜 ^[5]
	奶牛	47.8	1	1.39	
	马	18	1.64	1.39	
	猪	1	3.5	0.53	
	山羊	5	0.17	0.33	
	绵羊	5	0.15	0.33	
	家禽	-	0.02	0.02	

(2) 碳排放因素分解方法

采取 LMDI 加法模型对黑龙江省农业碳排放进行影响因素分解, LMDI 方法是从 Kaya 恒等式为基础通过变形得到的, 由于具有结果可逆、能消除残差项的特点, 并且各要素相加等于总效用, 可以更好的分析各因素对农业碳排放的影响效应大小, 参考现有文献^[7], 本文从农业生产效率、农业产业结构、农业经济发展水平、农业劳动力规模四个方面, 分析其对农业碳排放的影响, LMDI 分解公式如下:

$$C = \frac{C}{GDP_P} \times \frac{GDP_P}{GDP_A} \times \frac{GDP_A}{P} \times P$$

$$\alpha = \frac{C}{GDP_P}, \beta = \frac{GDP_P}{GDP_A}, \gamma = \frac{GDP_A}{P}$$

其中, C 为农业碳排放总量, GDP_P 为农牧业总产值, GDP_A 为农林牧渔业总产值, P 为农业人口, α 为农业生

产效率, β 为农业产业结构, γ 为农业经济发展水平。

各因素对黑龙江省农业碳排放的贡献为:

$$\Delta C = C_t - C_0 = \Delta \alpha + \Delta \beta + \Delta \gamma + \Delta p$$

$$\Delta \alpha = \sum \frac{C_t - C_0}{\ln C_t - \ln C_0} \times (\ln \alpha_t - \ln \alpha_0)$$

$$\Delta \beta = \sum \frac{C_t - C_0}{\ln C_t - \ln C_0} \times (\ln \beta_t - \ln \beta_0)$$

$$\Delta \gamma = \sum \frac{C_t - C_0}{\ln C_t - \ln C_0} \times (\ln \gamma_t - \ln \gamma_0)$$

$$\Delta p = \sum \frac{C_t - C_0}{\ln C_t - \ln C_0} \times (\ln p_t - \ln p_0)$$

上式中, t 表示现期 ($t=1, 2, \dots, n$), 0 表示基期, $\Delta \alpha$ 、 $\Delta \beta$ 、 $\Delta \gamma$ 、 Δp 分别表示农业生产效率、农业产业结构、农业经济发展水平、农业人口在 t 期与基期之间的变化量对农业碳排放的贡献量, 将逐年累计相加为该因素的累计贡献值。

2 研究结果与分析

2.1 农业碳排放总量变化特征

从图 1 来看, 黑龙江省农业碳排放总量呈现先增后减的趋势, 从 2001 年的 798.85 万吨到 2022 年的 1347.27 万吨, 增长了 50.6%。2001–2005 年是黑龙江省农业碳排放的第一波高速增长期, 2003 年中国取消农业税, 农民的生产热情进一步提高, 同时收入的增加为农民购买化肥农药等提供了支持。2008–2015 年是黑龙江省农业碳排放总量的第二个增长期, 2010 年为了保障粮食安全, 国家提高了粮食收购价, 黑龙江作为主要产粮区, 积极响应国家号召, 调整种植结构, 扩大了水稻、玉米等高产作物的种植面积。2016–2019 年黑龙江省农业碳排放呈下降趋势, 国家对生态文明建设的重视以及绿色农业的发展推动着农业碳排放的下降。2020–2022 年农业碳排放有所回升, 主要是由于上一轮非洲猪瘟情况得到有效控制, 生猪养殖逐渐恢复增长, 乳制品以及农牧公司在黑龙江省扩大养殖规模, 形成产业集群, 畜禽养殖规模化和专业化水平不断提高, 猪牛等动物存栏量和出栏量的增加都对农业碳排放排放起到了促进作用。

2.2 农业碳排放结构变化特征

2001–2022 年黑龙江省年均农业碳排放为 1175.75 万吨, 以畜禽养殖为主, 年均碳排放量达 454.59 万吨, 占碳排放总量的 39.51%; 其次是农地利用年均碳排放量 440.25 万吨, 占碳排放总量的 36%。2001–2022 年间, 由农地利用引起的碳排放量从 31.15% 上升至 38.7%; 由农作物种植引起的碳排放从 20.06% 上升至 27.12%; 而

畜禽养殖产生的农业碳排放由 48.78% 下降到 34.18%。

总体来看, 黑龙江省农业碳排放的主要来源已经从畜禽养殖转为农用物资投入。分析各类碳排放源碳排放量变化趋势发现, 农地利用产生的碳排放量在 2000—2017 年之间一直呈上涨趋势, 并在 2017 年到达最高峰, 2017 年后的下降主要由于化肥、农药和塑料薄膜使用量的减少, 尤其是化肥这一碳源碳排放量的减少所带来的碳排放量下降效果最显著。畜禽养殖产生的农业碳排放量在 2005 年达到巅峰的 623.27 万吨, 在 2006 和 2007 年由于生猪出栏量和牛类饲养量的减少, 农业碳排放大幅下降, 之后一直在 450 万吨左右小幅波动。农作物种植产生的农业碳排放由于种植规模的不断扩大, 一直呈上升趋势。黑龙江省为了保障粮食产量, 种植规模不断扩大, 水稻和玉米等高产作物的种植比例不断上涨, 相对高碳排放作物种类的种植也使得由农作物种植产生的碳排放量一直呈上涨趋势, 由 2001 年的 160.27 万吨, 一直上涨至 2022 年的 365.32 万吨。

黑龙江省农业碳排放总体呈先上升后下降再上升的趋势, 黑龙江省农业向着低碳、绿色农业的方向发展, 但由于农业生产也受气象、政策以及市场因素的影响, 农业碳排放量在个别年份也存在波动情况。由于黑龙江省承担着中国粮食安全压舱石的重任, 牢牢守住耕地红线, 黑龙江省农业碳排放的减少更需要依靠农业生产效率以及农业生产水平的提高。



图 1 黑龙江省农业碳排放量变化情况

3 农业碳排放影响因素分析

在对黑龙江省农业碳排放影响因素分解后, 从图 2 可以看出, 除了农业经济发展水平要素对农业碳排放具有促进作用, 农业生产效率、农业产业结构以及农业劳动力规模均在不同程度上对农业碳排放起到了抑制作用。

用。

农业生产效率因素是减少农业碳排放的第一推动力, 在 2001—2022 年间减少了 1974.73 万吨碳排放。其次是农业劳动力规模因素, 累计减少了 814.75 万吨的碳排放。2010 年后农业劳动力规模因素对农业碳排放一直起到抑制作用。主要是由于 2010 年前黑龙江省农业劳动力人口总体呈上升趋势, 2010 年之后农业劳动力数量逐渐下降。

农业产业结构因素对农业碳排放的总体影响较小, 但也起到了一定的抑制作用, 累计减少了 31.91 万吨的农业碳排放。农牧业在农林牧渔总产值中所占的比重降低时, 对农业碳排放具有抑制效果, 由于种植业和畜牧业的碳排放偏高, 当农业中林业、渔业的规模越大, 农业碳排放量越低。

农业经济发展水平因素是农业碳排放增长的最主要因素, 累计增加了 3338.94 万吨农业碳排放。黑龙江省农业经济的增长主要是由于农业规模的扩大, 种植面积的增加、农用物资投入的增加、牲畜养殖规模的扩大都会产生农业碳排放。

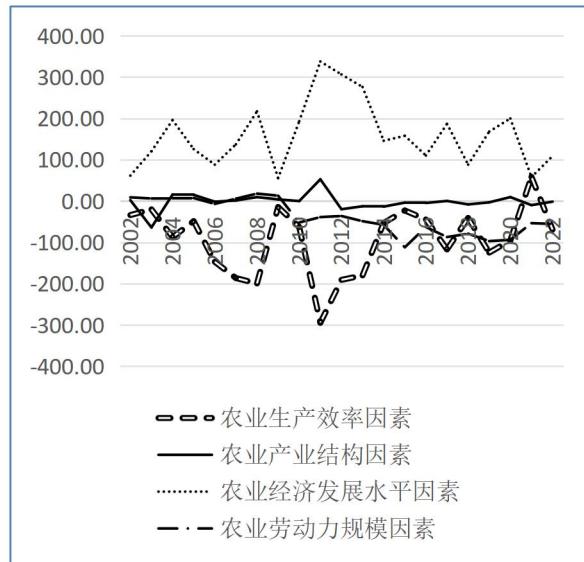


图 2 黑龙江省碳排放的影响因素分解结果

4 结论与建议

4.1 结论

黑龙江省农业碳排放总量呈先上升后下降再上升的趋势。2001—2015 年总体呈上涨趋势, 这期间的农业碳排放主要是由农地利用和农作物种植引起的。2016—2019 年呈下降趋势, 化肥、农药和塑料薄膜的使用量下降是农业碳排放总量减少的主要原因。2020—2022 年农

业碳排放量有小幅回升，主要是原因是农作物种植面积和畜禽养殖规模都有明显扩大。2001-2022 年黑龙江省农业碳排放的主要来源已经从畜禽养殖转为农用物资投入。由农地利用引起的碳排放量从 31.15% 上升至 38.7%；由农作物种植引起的碳排放从 20.06% 上升至 27.12%；而畜禽养殖产生的农业碳排放由 48.78% 下降到 34.18%。

通过分析各因素对农业碳排放作用效果可以得知，农业经济发展水平对黑龙江省农业碳排放具有促进作用，农业生产效率、农业产业结构以及农业劳动力规模因素均在不同程度上对农业碳排放起到了抑制作用，为降低农业碳排放做出了不同程度的贡献。其中，农业生产效率因素是减少农业碳排放的最主要因素，在 2001-2022 年间减少了 1974.73 万吨农业碳排放。劳动力规模因素对农业碳排放的抑制效果明显低于农业生产效率因素，2001-2022 年间劳动力规模因素减少的碳排放量约为农业生产效率因素减少的 1/2。农业产业结构因素对黑龙江省农业碳排放的影响较小，有些年份也会增加农业碳排放量，但在总体上对农业碳排放起到了一定的抑制作用。农业经济发展水平因素在 2001-2022 年间一直对农业碳排放有着促进作用，并且一直是农业碳排放增长的最主要因素。

4.2 建议

虽然农业经济发展水平是农业碳排放增长的主要因素，但黑龙江省作为中国粮食主产区，必须负担起作为粮食压舱石的责任，提高粮食产量、发展农业经济，不能通过抑制农业经济发展的方法降低农业碳排放量。并且在未来很长一段时间依旧是黑龙江省的发展路线，因此需要通过提高农业生产效率，延长农产品产业链，调整农作物种植结构的方式来降低农业碳排放。

(1) 提高农业生产效率。农业劳动力规模呈不断缩小趋势，但劳动力因素在农业中地位不可忽视，通过加强对农民的培训，提高农民素质，能够加快推动新的农业生产方式和技术得到应用。黑龙江省畜牧业产值和规模不断扩大，但畜牧业养殖技术和管理方式变化不大。为提高畜牧业发展水平，降低其所导致的农业碳排放，在畜禽养殖方面可以通过引进优质品种，通过科学的养殖方法，缩短牲畜养殖周期，控制畜禽养殖规模扩大速度，采取生态化养殖方式，对牲畜粪便进行处理，提高养殖过程中的科技含量，降低其所带来的碳排放量。

(2) 延长农产品产业链。黑龙江发挥土地平坦、

耕地面积大，便于使用机械化种植的优势，通过规模化经营，在提高农业生产效率降低农业碳排放的同时，还能产出大批优质农产品。批量种植所保证农产品质量和产量保持稳定，这正是进行农产品深加工的必然要求。充分利用肥沃土地，产出的高质量农产品，打造高端农作物品牌，发挥黑龙江省作为全国最大产粮区的优势，让黑龙江省成为全国最大的农产品生产基地，延长农业产业链，提升农产品附加值。

(3) 调整农作物种植结构。在保障粮食产量的前提下，黑龙江省可合理调整农作物种植结构，提高相对碳排放量低的农作物种植比例，丰富种植农作物类型，发挥黑龙江省土地肥沃，灌溉条件优越的优势。既能降低农作物产出的碳排放，又能提高农民收入，促进农业经济发展，还能为人民群众提供多样化的农产品，丰富人民群众的菜篮子，满足人民群众的需要。

参考文献

- [1] 田云, 张俊巍, 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
- [2] 赵先超, 宋丽美. 湖南省农地利用碳排放与农业经济关系研究 [J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(11): 976-981.
- [3] 田云, 尹志昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应 [J]. 中国农村经济, 2022, (03): 104-127.
- [4] 李波, 张俊巍, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(08): 80-86.
- [5] 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(07): 21-27.
- [6] 熊正琴, 邢光熹, 鹤田治雄, 等. 豆科绿肥和化肥氮对双季稻稻田氧化亚氮排放贡献的研究 [J]. 土壤学报, 2003, (05): 704-710.
- [7] 钱凤魁, 王祥国, 顾汉龙, 等. 东北三省农业碳排放时空分异特征及其关键驱动因素 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2024, 32(01): 30-40.

作者简介: 周航 (1999)，女，汉族，黑龙江省哈尔滨市，哈尔滨商业大学硕士研究生，产业经济学