

李仲铭¹ 付伟¹ 陈建成² 罗明灿¹ 岳天祥^{3,4} 孙志刚^{3,4} 邓祥征^{3,4}

美丽中国背景下云南省农业活动甲烷排放量计算与情景预测分析

摘要

运用 CH4MOD 模型和排放因子法对云南省农业活动 CH₄ 排放量进行计算分析,并运用情景分析法对云南省农业活动 CH₄ 排放量进行预测.研究结果表明:1)云南省 2010—2019 年农业源 CH₄ 排放总量变化趋势为先波动上升再迅速减少最后趋于平稳,其中动物肠道发酵排放量贡献最大;2)云南省 2010—2019 年农业源 CH₄ 单位农业增加值排放强度呈下降趋势,单位农地面积排放强度为波动状态;3)云南省 2020—2029 年不同情景下农业活动 CH₄ 排放量预测均为上升趋势.由此从水稻种植和畜禽养殖两方面提出减排措施,以期实现“双碳”目标和美丽中国建设.

关键词

温室气体;农业;CH₄ 排放;云南省

中图分类号 X511;F062.2

文献标志码 A

收稿日期 2022-01-16

资助项目 云南省教育厅科学研究基金(2022Y622);国家社会科学基金(18BGL052);云南省哲学社会科学规划项目(YB2020054)

作者简介

李仲铭,女,硕士生,主要从事林业经济研究.2961499123@qq.com

付伟(通信作者),女,博士,副教授,主要从事生态经济与可持续发展研究.fuweiylnzd@163.com

- 1 西南林业大学 经济管理学院,昆明,650224
- 2 北京林业大学 经济管理学院,北京,100083
- 3 中国科学院地理科学与资源研究所,北京,100101
- 4 中国科学院大学,北京,100049

0 引言

党的十九大报告指出:“建设美丽中国,为人民创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献”^[1].2018 年 5 月,习近平总书记在全国生态环境保护大会上强调,“要通过加快构建生态文明体系,确保到 2035 年,生态环境质量实现根本好转,美丽中国目标基本实现”^[2].美丽中国的建设与生态环境息息相关,结合我国政府提出的“碳达峰”“碳中和”目标,关注温室气体的排放可为全球气候变化、中国生态安全维护等做出重要贡献.目前,中国是世界最大的碳排放国^[3],占全球总排放的 29%^[4].虽然在大气中温室气体含量排序 CH₄ 次于 CO₂,但其增温潜能是 CO₂ 的 25 倍左右.因此,研究 CH₄ 排放量对“双碳”目标实现及美丽中国建设均具有重要意义.

有关农业源 CH₄ 等温室气体排放量的计算,目前主要集中于 Huang's 模型^[5]、CH4MOD 模型^[6]、IPCC 清单方法^[7]等.朱思明等^[8]运用 CH4MOD 模型估算了福建省 1980—2011 年农业源 CH₄ 排放量.李阳等^[9]基于 IPCC 清单方法对中国农业源 CH₄ 等非 CO₂ 温室气体排放量进行计算,并引入 Tapio 弹性脱钩理论和 LMDI 方法研究了影响因素.王平等^[10]创造性地将 CH4MOD 模型和 GIS 结合,对 1955—2005 年中国稻田 CH₄ 排放量进行估算.有关 CH₄ 排放量的预测,任肇雯等^[11]采用 SPSS 的回归曲线估计预测了 2020 年江西省农业源 CH₄ 排放量,发现其呈增长趋势.李阳等^[12]采用脱钩弹性理论对长江经济带的农业源非 CO₂ 温室气体排放量进行了预测,并分析了其时空变化特征.李莉等^[13]结合峰值模型和情景模拟法基于三种环境规制情景对新疆能源消费碳排放进行预测分析.

美丽中国建设的根本目标是让广大人民群众享有更多的生态福祉,重要措施是坚持节约资源和保护环境的基本国策.基于此,我国兑现碳达峰碳中和的庄严承诺成为建设美丽中国的必然要求.大气中 70%的 CH₄ 产生于农业活动等过程,对农业源 CH₄ 进行减排可推进“双碳”目标的实现,为美丽中国目标的实现奠定基础.云南省的生态环境在全国一直名列前茅,但是 CH₄ 等非 CO₂ 温室气体的排放量仍不可小觑.因此,基于农业源对云南省 2010—2019 年的 CH₄ 排放量进行估算分析,并依据政策等进行情景设定,从而对云南省 2020—2029

年的农业源 CH₄ 排放量进行预测,为云南省的政策目标实施及美丽中国建设提供理论依据。

1 研究方法 with 数据来源

云南地处我国西南部构造板块与岩溶地区的交界处,是我国边境线最长的省份之一.根据 2008 年 9 月发布的《全国生态脆弱区保护规划纲要》,中国有八类生态脆弱区,其中包括中国西南喀斯特山脉石漠化生态脆弱区,涉及云南^[14].

1.1 研究方法

IPCC 曾指出,大气中 CH₄ 的产生主要来源于人类.本文选取 CH4MOD 模型和排放因子法对云南省农业源 CH₄ 排放量进行核算,并核算了两类农业源 CH₄ 排放强度,最后运用情景分析法对云南省 2020—2029 年农业源 CH₄ 排放量进行预测.

1.1.1 农业活动 CH₄ 排放核算方法

选用精确度较高的 CH4MOD 模型对水稻 CH₄ 排放进行核算,动物肠道发酵以及粪便管理的 CH₄ 排放采用排放因子法进行核算.

1) 水稻 CH₄ 排放

水稻 CH₄ 的排放量采用由张稳等^[6]提出的 CH4MOD 模型.CH4MOD 模型具有输入参数少且易于获得的优点,并且可用于估算不同耕作制度和水管理方式下的水稻 CH₄ 排放.计算公式如下:

$$E_{\text{CH}_4, \text{水稻}} = EF_{\text{水稻}} \times A_{\text{水稻}} \times 10^{-7}, \quad (1)$$

其中, $E_{\text{CH}_4, \text{水稻}}$ 为水稻 CH₄ 排放量(万 t), $EF_{\text{水稻}}$ 为《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[15]提供的全国各区域不同水稻的 CH₄ 排放因子中西南地区的各季节平均值,其值为 161.4 kg/hm², $A_{\text{水稻}}$ 为水稻播种面积(hm²).

2) 动物肠道发酵 CH₄ 排放

除了水稻对于 CH₄ 的排放,随着畜禽业的发展,动物肠道发酵 CH₄ 排放也不可小觑,这是由于动物的瘤胃会形成甲烷菌合成 CH₄ 排放到体外^[16].本文采用《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[15]所推荐的排放因子对动物肠道发酵排放 CH₄ 进行核算,计算公式如下:

$$E_{\text{CH}_4} = \sum EF_{\text{CH}_4, \text{enteric}, i} \times AP_i \times 10^{-7}, \quad (2)$$

其中, E_{CH_4} 为动物肠道发酵 CH₄ 总排放量(万 t/a), $EF_{\text{CH}_4, \text{enteric}, i}$ 为第 i 种动物的 CH₄ 排放因子(kg/(头·a)), AP_i 为第 i 种动物的数量(头).

3) 动物粪便管理 CH₄ 排放

动物粪便管理是畜禽业的另一个 CH₄ 排放源.动物粪便会产生 CH₄ 是因为粪便在作为肥料添加到土地前,储存和处理的过程中会产生 CH₄.同样,使用排放因子计算动物粪便管理的 CH₄ 排放量:

$$E_{\text{CH}_4, \text{manure}, i} = \sum EF_{\text{CH}_4, \text{manure}, i} \times AP_i \times 10^{-7}, \quad (3)$$

其中, $E_{\text{CH}_4, \text{manure}, i}$ 为动物粪便管理 CH₄ 总排放量(万 t/a), $EF_{\text{CH}_4, \text{manure}, i}$ 为第 i 种动物粪便的 CH₄ 排放因子(kg/(头·a)), AP_i 为第 i 种动物的数量(头).

1.1.2 农业活动 CH₄ 排放强度核算方法

农业源 CH₄ 排放强度核算了两类排放强度(GHGI),即单位农业增加值排放强度(GHGI₁)^[17]和单位农地面积排放强度(GHGI₂)^[18],计算公式分别为

$$\text{GHGI}_1 = \frac{E}{G}, \quad (4)$$

$$\text{GHGI}_2 = \frac{E}{A}, \quad (5)$$

其中, GHGI₁ 单位为 t/万元, GHGI₂ 单位为 t/hm², E 为农业源 CH₄ 排放量(t), G 为农业增加值(万元), A 为农地面积(hm²),即耕地面积加牧草地面积.

1.1.3 农业活动 CH₄ 排放预测方法

目前,关于温室气体排放量预测的方法主要包括 STIRPAT 模型、情景分析法、系统动力学、时间序列法等.本文选用情景分析法对农业源 CH₄ 进行排放量预测.情景分析法是一种直观的定性定量相结合的预测方法^[19].为了进行预测,情景分析法可根据实际情况制定几种可行情景,以达到对未来的构想,可满足不同情景下对 CH₄ 排放进行预测的需求.

根据曹国良等^[20]的研究,结合国家和云南省相关政策规划以及各参数的发展趋势,设定符合云南省实际情况的情景.共设置三种情景:基准情景(按照现有相关政策发展)、优化情景(减排政策略高于现有规划)和严格减排情景(为实现 2030 年前碳达峰,政府提出更严格的减排要求).其中,各排放源的排放因子不变,将以 2019 年数据为依据预测 2020—2029 年云南省农业源 CH₄ 排放量.不同情景参数设置如表 1 所示.

1.2 数据来源

本文以 2006 年《IPCC 国家温室气体清单指南》^[7]中农业活动的 CH₄ 排放源分类为基准,从水稻种植、动物肠道发酵、动物粪便管理三个方面对云南省 2010—2019 年 CH₄ 排放量进行估算和分析.计算方法采用 CH4MOD 模型和排放因子法;数据主要

来源于《云南统计年鉴》等官方公开数据;排放因子选用《省级温室气体清单编制指南(试行)》^[15]提供的数值.结果如表2所示.

云南省农业活动 CH₄ 排放强度计算中所需的农业增加值和农地面积等数据均来源于《云南统计年鉴(2011—2020)》.

2 结果与分析

参照前文计算方法,分别计算云南省 2010—2019 年水稻种植、动物肠道发酵、动物粪便管理的 CH₄ 排放量以及 GHGI₁ 和 GHGI₂,用以分析云南省农业源的 CH₄ 排放情况,并运用情景分析法对云南省 2020—2029 年的农业源 CH₄ 排放情况进行预测.

2.1 2010—2019 年云南省农业活动 CH₄ 排放情况

运用 CH4MOD 模型和排放因子法对 2010—2019 年云南省农业源 CH₄ 排放量以及排放强度进行估算,并从时间变化角度对云南省农业活动产生的 CH₄ 排放情况进行分析.

2.1.1 CH₄ 排放总量

2010—2019 年水稻 CH₄ 共排放 127.64 万 t,总体趋势呈下降趋势,年均下降率为 1.41%.2010 年水稻 CH₄ 排放量最高,达到 16.48 万 t,2016 年的排放

量最低,为年均排放量的 86.44%.排放量减少主要是由于水稻的种植面积减少;2010 年,云南省水稻种植面积为 102.10 万 hm²,而 2019 年云南省水稻种植面积为 84.15 万 hm²,减少了 17.95 万 hm².水稻 CH₄ 对云南省农业活动 CH₄ 年均排放贡献率为 10.30%.

2010—2019 年云南省动物肠道发酵 CH₄ 排放呈先逐渐上升再急剧下降后趋于平稳的过程,这与当年牲畜的数量密切相关.2016 年,云南省猪、牛、羊、马等大型牲畜的数量均急剧下降,仅为 2015 年的 66.29%.2010—2019 年,云南省 CH₄ 动物肠道发酵总排放量为 914.14 万 t,年平均排放量为 91.41 万 t,占农业源 CH₄ 年平均排放量的 73.75%.其中,牛肠道发酵 CH₄ 的排放量最大,是动物肠道 CH₄ 的主要排放源.

2010—2019 年动物粪便共排放 197.69 万 t CH₄,占农业源 CH₄ 年均排放的 15.95%.同样受到牲畜数量的影响,动物粪便管理 CH₄ 排放呈先上升后下降最终趋于平稳的趋势.其中,2015 年排放量最高为 25.50 万 t,是动物粪便管理 CH₄ 排放年均值的 128.98%,2019 年排放量最低为 13.62 万 t,占动物粪便管理 CH₄ 排放年均值的 68.89%.

表 1 不同情景参数设置

Table 1 Parameter settings of three scenarios

排放源	主要影响参数	情景模式	变化速率/%	设定依据
水稻种植	稻田种植面积	基准	-0.24	《云南统计年鉴》
		优化	-0.39	
		严格减排	-0.82	
动物肠道发酵	牛存栏量	基准	+0.40	《云南省支持肉牛产业加快发展若干措施》 《云南统计年鉴》
		优化	+0.32	
		严格减排	+0.23	
动物粪便管理	规模化养殖率	基准	+0.35	《云南省 2020 年中央农业生产发展项目实施方案》
		优化	+0.40	
		严格减排	+0.45	
动物粪便管理	畜禽废弃物利用率	基准	+1.1	《云南省畜禽养殖废弃物资源化利用工作考核办法(试行)》
		优化	+2.8	
		严格减排	+3.6	

表 2 云南省农业活动 CH₄ 排放清单资料来源

Table 2 Data sources of agricultural CH₄ emission inventory in Yunnan province

排放源	数据来源	计算方法	排放因子
水稻种植	《云南统计年鉴(2011—2020)》	CH4MOD 模型	《省级温室气体清单编制指南(试行)》
动物肠道发酵	《云南统计年鉴(2011—2020)》	排放因子法	《省级温室气体清单编制指南(试行)》
动物粪便管理	《云南统计年鉴(2011—2020)》	排放因子法	《省级温室气体清单编制指南(试行)》

2010—2019年,云南省农业源CH₄的总排放量经历了三个阶段:波动上升、快速下降和稳定.2010—2015年,云南省农业源CH₄的总排放量波动并增加,从2010年的110.55万t增加到2015年的150.80万t,年均增速为6.54%.2015年以29.83%的比例快速下降,2016年达到最小值105.82万t.2016—2018年以1.68%的年均增速微幅回升,后逐渐趋于稳定.随着云南省经济结构逐渐优化,产业发展的重心逐渐从第一产业向第二、第三产业转移,从而导致农业活动排放的CH₄量存在明显地下降,如图1所示.

2.1.2 CH₄ 排放强度

云南省的GHGI₁呈下降趋势,由2010年的0.99t/万元下降至2019年的0.35t/万元,单位农业增加值的温室气体代价逐渐减少,如图2所示.由于《云南统计年鉴(2011—2013)》中云南省当年耕地面积和牧草地面积的数据均为2008年所统计的数据,因此仅在计算2012年GHGI₂时使用该数据.云

南省的GHGI₂存在波动现象,2012—2015年稳步上升,2016年由0.24t/hm²急剧下降至0.17t/hm²,2017—2019年趋于稳定,如图3所示.

日本的土地面积与云南省相似,且同样存在人多地少的现象,其以适度规模和循环经济为标志的农业可持续发展模式对云南省的农业发展具有一定的借鉴意义^[21].根据FAOSTAT数据库的预计总排放量和世界银行公布的农业增加值数据,2016年,日本GHGI₁为0.46,GHGI₂为0.43.云南省2016年的GHGI₁为0.47,与日本相似.但是,GHGI₂为0.17,低于日本较多,说明云南省的单位农地面积排放程度较低.并且,日本的农业用地面积低于云南省农地面积,说明目前日本的农业可持续发展经营优于云南省.

2.2 2020—2029年云南省农业活动CH₄ 排放预测

由上述依据情景设定的参数,对2020—2029年三种情景下云南省农业源CH₄排放量进行预测分析,如图4所示.

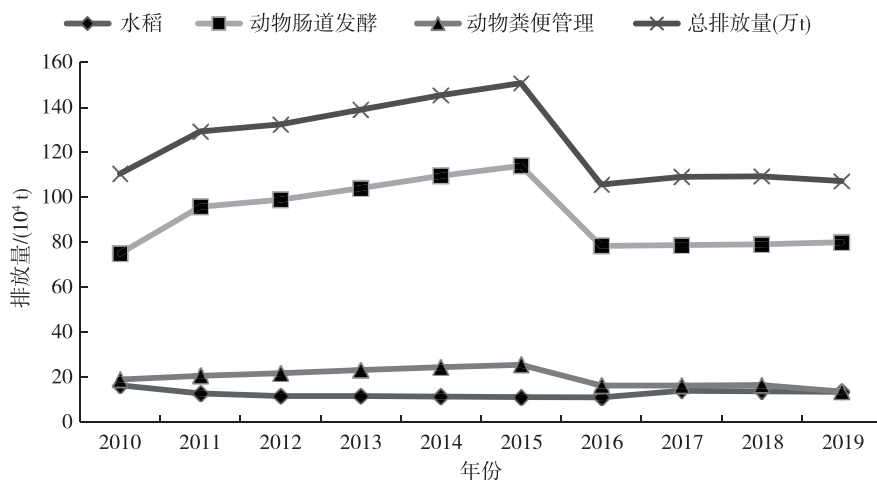


图1 2010—2019年云南省农业活动CH₄排放量变化

Fig. 1 Trends of CH₄ emission from agricultural activities in Yunnan province from 2010 to 2019

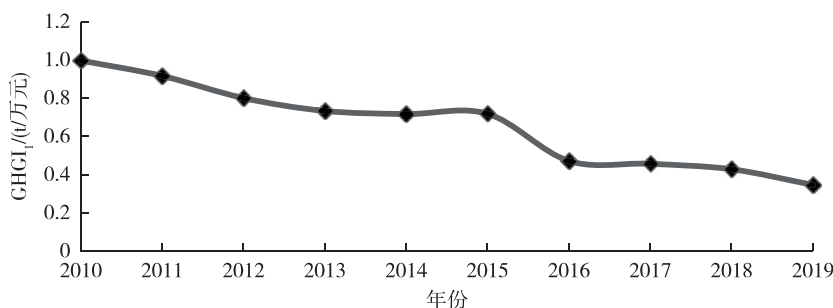
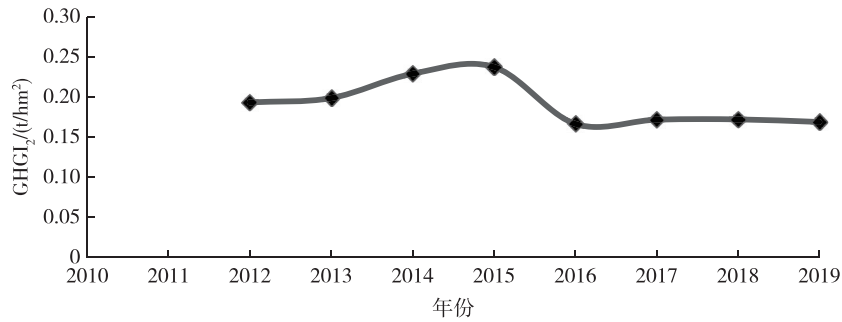
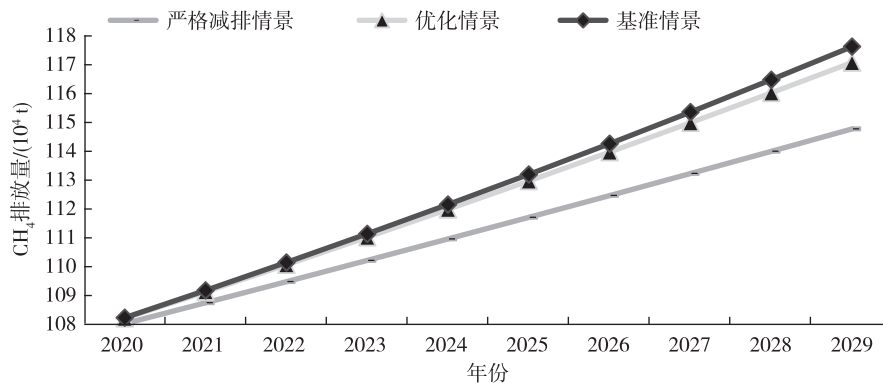


图2 2010—2019年云南省农业活动CH₄排放强度GHGI₁年际变化情况

Fig. 2 Interannual variation of CH₄ emission intensity GHGI₁ from agricultural activities in Yunnan province from 2010 to 2019

图3 2010—2019年云南省农业活动CH₄排放强度GHGI₂年际变化情况Fig. 3 Interannual variation of CH₄ emission intensity GHGI₂ from agricultural activities in Yunnan province from 2010 to 2019图4 云南省2020—2029年不同情景下农业活动CH₄排放量预测Fig. 4 Projections of CH₄ emission from agricultural activities in Yunnan province under three scenarios from 2020 to 2029

从图4中可以看出:云南省2020—2029年农业活动CH₄排放量在基准情景下逐年增加,其排放量由2020年的108.23万t增长到2029年117.63万t,年均增长率为0.93%;在优化情境下,CH₄排放量也随着年份的增长而增大,年均增长率为0.88%,到2029年CH₄排放量为117.08万t,比基准情景下减排0.55万t CH₄;严格减排情景下,CH₄排放量最低,且在2029年达到峰值,峰值为114.77万t,比基准情景下减排2.86万t,比优化情境下减排2.31万t。

3 结论与政策建议

本文以云南省为研究对象,分析2010—2019年农业活动CH₄的排放量及排放强度,预测2020—2029年农业活动CH₄的排放量及变化情况。在此基础上得出相关结论,并分析其原因,提出相关减排措施。

3.1 结论

为实现碳减排的双重目标,云南省不仅要考虑

未来CH₄排放趋势,还要考虑国民经济各部门的减排潜力与减排路径的差异性。在此基础上,研究得出以下结论:

1)随着年份的增加,农业活动产生的CH₄总排放量呈现出先上升再下降,最后趋于平稳的波动趋势。在过去10年中,2015年云南省CH₄的总排放量最大,2016年CH₄的总排放量最低,这与当年的水稻播种面积和动物养殖数量有关,其中动物肠道发酵CH₄排放量占CH₄总排放量的比例一直最大。鉴于此,研究认为控制动物肠道发酵CH₄排放量是云南省农业源CH₄减排的要点,动物肠道发酵CH₄排放量与畜禽养殖数量与畜禽排放系数密切相关,可通过调整畜禽养殖比例,着重养殖排放系数较低的畜禽等手段改善云南省CH₄排放量。

2)从云南省未来10年农业活动CH₄排放预测分析中可得出,无论处于何种情景下,CH₄的总排放量仍将不同程度地增加,因此控制云南省农业活动CH₄排放处于严格减排情景下具有必要性。转变农业部门的经济发展模式,优化消费结构,提高利用效率是云南省农业源CH₄减排的关键。

3.2 政策建议

针对本文研究结论,从水稻种植和畜禽养殖两个角度提出减排措施,以期降低云南省 CH_4 排放量,推进美丽中国建设.

3.2.1 水稻 CH_4 减排措施

水稻的 CH_4 排放量主要受水稻种植面积和水稻排放因子的影响,在过去 10 年中,2016 年水稻 CH_4 排放量最少是由于当年水稻种植面积减少,但依据国情和人口问题,减少水稻种植面积或水稻种植量的方法并不可行,应将目光集中在降低水稻排放系数的方法上.因此,选择排放因子较低的品种、选用合适的肥料等方式均可有效降低水稻种植产生的 CH_4 排放量.同时,推进农业现代化也可成为云南省实现 CH_4 减排的重要手段之一.

3.2.2 畜禽养殖 CH_4 减排措施

在过去 10 年中,畜禽养殖 CH_4 的排放量处于波动状态,主要取决于当年的畜禽养殖数量及结构.动物肠道发酵和粪便管理在 2016 年存在一个明显的下降波动,主要原因为当年畜禽养殖数量大幅度下降,特别是牛马等 CH_4 排放因子、猪等粪便排放因子较高的畜禽数量下降,起到明显的 CH_4 减排效果.因此,有关畜禽养殖方面的 CH_4 减排可从减少养殖数量、推进养殖规模化、调整养殖结构三方面着手:

1) 减少畜禽养殖数量

经济、社会的发展使居民的饮食结构中畜禽所占的比例逐渐增加,因此畜禽养殖数量持续上升.云南省的畜禽养殖与我国大部分地区相同,以猪牛羊为主.根据联合国粮农组织(FAO)发布数据,俄罗斯的猪牛羊比例接近 1:1:1,但是我国的猪牛羊比例却严重失调,云南省的猪牛羊比例约为 6:2:3,表明云南省的畜禽养殖数量与全球趋势尚有较大差异.为响应国际趋势、健康化居民饮食结构,减少畜禽养殖数量意义重大.而从 CH_4 排放的角度进行考虑,应着重选择减少排放系数较高的畜禽,例如肉牛等.

2) 推进畜禽养殖规模化

畜禽养殖规模化是未来的主要趋势.从动物肠道发酵的角度,规模化养殖的排放因子更小,排放量也有相应减少.从动物粪便管理的角度,畜禽养殖规模化便于更加系统、科学地处理动物粪便,在提升工作效率的同时增加了粪便等的利用效率.在经济层面上,畜禽养殖规模化既可以减少原材料投入又可以增加产量,实现收入增长,还可以有效减少 CH_4 的排放.因此,畜禽养殖规模化可实现环保与经济的合

作共赢.

3) 调整畜禽养殖结构

由式(2)、(3)可知, CH_4 的排放量与动物数量和动物排放因子均密切相关,选择肠道发酵和粪便排放因子较低的畜禽养殖可有效减少 CH_4 排放量.因此,对肠道发酵排放因子较高的牛、羊和粪便排放因子较高的猪均要重点关注.通过养殖条件现代化、改进技术设备等方式可有效减少 CH_4 排放.在减少畜禽养殖数量的讨论中,也曾发现云南省猪牛羊比例失调,对生猪的依赖性较大,因此调整畜禽养殖结构具有必要性.

参考文献

References

- [1] 习近平.决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[N].人民日报,2017-10-28
- [2] 习近平.坚决打好污染防治攻坚战 推动生态文明建设迈上新台阶[N].人民日报,2018-05-20
- [3] 胡鞍钢.中国实现 2030 年前碳达峰目标及主要途径[J].北京工业大学学报(社会科学版),2021,21(3):1-15
- HU Angang. China's goal of achieving carbon peak by 2030 and its main approaches[J]. Journal of Beijing University of Technology (Social Sciences Edition), 2021, 21(3):1-15
- [4] Quéré L, Peters G P, Andres R J, et al. Global carbon budget 2013 [J]. Earth System Science Data, 2014, 6(1):235-263
- [5] Huang Y, Sass R L, Fisher F M. A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils [J]. Global Change Biology, 1998, 4:247-268
- [6] 张稳,黄耀,郑循华,等.稻田甲烷排放模型研究:模型及其修正[J].生态学报,2004,24(11):2347-2352
- ZHANG Wen, HUANG Yao, ZHENG Xunhua, et al. Modeling methane emission from rice paddies: model and modification [J]. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11):2347-2352
- [7] Penman J, Gytarsky M, Hiraishi T, et al. Guidelines for national greenhouse gas inventories [R]. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006
- [8] 朱思明,吴群,毛艳玲,等.1980—2011 年福建省农业甲烷排放估算研究[J].河南农业大学学报,2017,51(2):250-257
- ZHU Siming, WU Qun, MAO Yanling, et al. Estimation of the amount of agricultural methane emission in Fujian province from 1980 to 2011 based on model CH4MOD and GIS [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2017, 51(2):250-257
- [9] 李阳,陈敏鹏.中国农业源甲烷和氧化亚氮排放的影响因素[J].环境科学学报,2021,41(2):710-717
- LI Yang, CHEN Minpeng. Influencing factors of methane and nitrous oxide emissions from agricultural sources in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2021, 41(2):

- 710-717
- [10] 王平,黄耀,张稳.1955—2005年中国稻田甲烷排放估算[J].气候变化研究进展,2009,5(5):291-297
WANG Ping, HUANG Yao, ZHANG Wen. Estimates of methane emission from rice paddies in China over the period 1955-2005 [J]. Advances in Climate Change Research, 2009, 5(5): 291-297
- [11] 任肇雯,汪家权,胡淑恒,等.江西省农业活动甲烷排放估算[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2019,42(11):1551-1556
REN Zhaowen, WANG Jiaquan, HU Shuheng, et al. Estimation of methane emission from agricultural activities in Jiangxi province [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2019, 42(11): 1551-1556
- [12] 李阳,陈敏鹏.长江经济带农业源非二氧化碳温室气体排放的时空特征[J].中国环境科学,2020,40(5):2030-2039
LI Yang, CHEN Minpeng. Spatial and temporal characteristics of non-carbon dioxide greenhouse gas emissions from agricultural sources in the Yangtze River Economic Belt [J]. China Environmental Science, 2020, 40(5): 2030-2039
- [13] 李莉,董棒棒,敬盼.环境规制背景下新疆能源碳排放峰值预测与情景模拟研究[J].生态与农村环境学报,2020,36(11):1444-1452
LI Li, DONG Bangbang, JING Pan. Prediction and scenario simulation of energy carbon emission peak in Xinjiang under the background of environmental regulation [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(11): 1444-1452
- [14] Fu W, Luo M C, Chen J C, et al. Carbon footprint and carbon carrying capacity of vegetation in ecologically fragile areas: a case study of Yunnan [J]. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 2020, 120: 102904
- [15] 国家发展和改革委员会.省级温室气体清单编制指南(试行)[M].2011
- [16] 孙凯佳,朱建营,梅洋,等.降低反刍动物胃肠道甲烷排放的措施[J].动物营养学报,2015,27(10):2994-3005
SUN Kaijia, ZHU Jianying, MEI Yang, et al. Measures of reducing methane emission in ruminants gut [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2015, 27(10): 2994-3005
- [17] 李波,刘雪琪,王昆.中国农地利用结构变化的碳效应及时空演进趋势研究[J].中国土地科学,2018,32(3):43-51
LI Bo, LIU Xueqi, WANG Kun. Study on carbon effects and spatial-temporal evolution trend based on the changes of agricultural land use in China [J]. China Land Science, 2018, 32(3): 43-51
- [18] 林伯强,毛东昕.中国碳排放强度下降的阶段性特征研究[J].金融研究,2014(8):101-117
LIN Boqiang, MAO Dongxin. Characteristics of China's carbon emission intensity in different development stages [J]. Journal of Financial Research, 2014(8): 101-117
- [19] 任志杰.陕西省CO₂排放计算及减排潜力分析[D].西安:西安建筑科技大学,2020
REN Zhijie. Calculation of CO₂ emissions and analysis of potential emission reduction in Shaanxi province [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2020
- [20] 曹国良,楚若男,于婷.陕西省CH₄排放量计算与情景预测分析[J/OL].安全与环境学报.[2021-11-15].
<https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0242>
CAO Guoliang, CHU Ruonan, YU Ting. Calculation and scenario prediction analysis of CH₄ emissions in Shaanxi province [J/OL]. Journal of Safety and Environment. [2021-11-15]. <https://doi.org/10.13637/j.issn.1009-6094.2021.0242>
- [21] 刘佳奇.日本农业循环经济的发展及启示[J].农业经济问题,2015,36(8):105-109
LIU Jiaqi. Development and enlightenment of agricultural circular economy in Japan [J]. Issues in Agricultural Economy, 2015, 36(8): 105-109

Calculation and scenario projection of CH₄ emission from agricultural activities in Yunnan province

LI Zhongming¹ FU Wei¹ CHEN Jiancheng² LUO Mingcan¹ YUE Tianxiang^{3,4}
SUN Zhigang^{3,4} DENG Xiangzheng^{3,4}

¹ College of Economics and Management, Southwest Forestry University, Kunming 650224

² School of Economics & Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083

³ Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101

⁴ University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract This paper used CH₄MOD model and emission factor method to calculate and analyze the CH₄ emission from agricultural activities in Yunnan province, and used scenario analysis to project the agricultural CH₄ emission in Yunnan province. The results showed that the total agricultural CH₄ emission in Yunnan province rose in fluctuation, followed by a sharp decrease, and then remained stable from 2010 to 2019, in which the emission from animal

intestinal fermentation contributed the most. From 2010 to 2019, the agricultural emission intensity of CH_4 per unit agricultural added value in Yunnan province showed a downward trend, while the agricultural emission intensity per unit agricultural land area was fluctuating. The CH_4 emission from agricultural activities in Yunnan province was projected to be in upward trends under three scenarios from 2020 to 2029. Therefore, CH_4 emission reduction measures should be taken in rice cultivation, livestock and poultry breeding in order to achieve the goal of “double carbon” and build a beautiful China.

Key words greenhouse gases; agriculture; CH_4 emission; Yunnan province