

李昭阳,高镜婷,宋明晓. 吉林省中部地区畜禽养殖温室气体排放特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(7):242-246.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.07.061

吉林省中部地区畜禽养殖温室气体排放特征

李昭阳,高镜婷,宋明晓

(吉林大学环境与资源学院,吉林长春 130026)

摘要:为了解吉林省中部地区畜禽养殖温室气体的排放量和空间分布特征,根据联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change,简称 IPCC)(2006)提供的方法,通过获取 2005—2015 年吉林省中部地区畜禽产量和排放因子,估算农业畜禽养殖温室气体排放量。结果表明,2005—2014 年平均甲烷排放总量为 1 175.70 万 t CO₂-eq/年,氧化亚氮排放总量 243.66 万 t CO₂-eq/年;2005—2015 年期间畜禽温室气体排放量呈先上升后下降趋于平缓趋势,2007—2010 年排放量高于 11 年平均均值(1 419.36 万 t CO₂-eq/年),这与吉林省其他牛、猪、奶牛和山羊养殖数量变化有着明显关系;2005—2015 年四平市、吉林市、榆树市、农安县和德惠市平均温室气体排放量为 6 719.9 万 t CO₂-eq,占吉林省中部温室气体排放量的 44.21%。

关键词:吉林省中部;畜禽养殖;温室气体;排放量;时空分布

中图分类号: S181;X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)07-0242-05

气候变化已经成为当今人类面临的最为严峻的全球性环境问题之一,温室气体减排压力日益增大^[1]。全球接近 35% 的温室气体来源于农业,农业温室气体排放作为全球温室气体的主要来源,同样面临减排压力^[2]。畜禽养殖业是农业产业体系的重要组成部分,也是农业温室气体排放的重点领域。联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations,简称 FAO)2006 年的报告显示,每年由牛、羊、马、骆驼、猪和家禽排放温室气体的 CO₂ 当量占全球排放量的 18%^[3]。畜禽温室气体主要为甲烷(CH₄)和氧化亚氮

(N₂O),甲烷(CH₄)排放主要来自于各畜种的肠道,畜禽废弃物在管理过程中同时产生甲烷(CH₄)和氧化亚氮(N₂O)^[4]。国内外学者对畜禽温室气体排放特征进行了大量的研究。胡向东等利用联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change,简称 IPCC)(2006)公布的畜禽温室气体排放系数和计算方法,结合我国畜牧业发展实际,估算了全国 2000—2007 年和各省(市、区)2007 年畜禽温室气体的排放量,结果表明,2000—2007 年畜禽温室气体排放量总体呈现下降的趋势,黄牛甲烷排放量最大,生猪氧化亚氮排放量最大^[5];FAO 利用 IPCC 的方法和系数,估算了我国 2004 年主要畜禽的温室气体排放量^[3];徐兴英等估算了江苏省 2000—2009 年畜禽温室气体排放量,结果表明,2000—2009 年期间江苏省畜禽温室气体排放量总体呈下降的趋势^[6]。刘月仙等估算了 1978—2009 年期间北京地区畜禽养殖温室气体排放的时空分布,结果表明,北京地区畜禽温

收稿日期:2017-10-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:41201080);吉林省环境保护科研项目(编号:吉环科字第 2012-15 号)。

作者简介:李昭阳(1978—),女,吉林长春人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事生态环境系统工程与数字化管理研究。E-mail: lizhaoyang227@163.com。

量精度,设定流量与实际流量之间的最小相对误差为 1.72%,平均相对误差为 2.63%。

参考文献:

- [1]傅兵,曹卫星. 美国农业信息化的特点与启示[J]. 江苏农业科学,2006(6):7-10.
- [2]胡豹,楼洪兴. 我国农作物病虫害防治技术的专利战略与管理[J]. 浙江农业学报,2014,26(2):495-502.
- [3]夏敬源. 公共植保,绿色植保的发展与展望[J]. 中国植保导刊,2010,30(1):4-7.
- [4]赵春江,薛绪掌,王秀,等. 精准农业技术体系的研究进展与展望[J]. 农业工程学报,2003,19(4):7-12.
- [5]傅泽田,祁力钧,王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. 农业机械学报,2007,38(1):189-192.
- [6]张波,翟长远,李瀚哲,等. 精准施药技术与装备发展现状分析[J]. 农机化研究,2016(4):1-5.
- [7]翟长远,朱瑞祥,张佐经,等. 精准施药技术现状分析[J]. 农机

- 化研究,2010,32(5):9-12.
- [8]袁会珠,杨代斌,闫晓静,等. 农药有效利用率与喷雾技术优化[J]. 植物保护,2011,37(5):14-20.
- [9]刘瑾,杨海马. 蓝牙技术在流量检测中的应用[J]. 仪器仪表学报,2005,26(增刊2):584-585.
- [10]白云飞,王平,孙攀,等. 基于蓝牙通信的流量测控系统设计与实现[J]. 自动化与仪表,2007,22(1):13-15.
- [11]翟长远,朱瑞祥,黄胜,等. 基于单片机的施药监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(8):70-74.
- [12]贺中华,魏文雄,谢云山,等. 基于 C8051F020 与 HART 的液体涡轮流量计设计[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版),2011,23(4):473-477.
- [13]罗长海,孟志军,王沛东,等. 基于超声波的农药流量计设计[J]. 农机化研究,2014(3):194-198.
- [14]Solanelles F,Escola A,Planas S,et al. An electronic control system for pesticide application proportional to the canopy width of tree crops[J]. Biosystems Engineering,2006,95(4):473-481.

温室气体排放自20世纪90年代初逐步增长,到2004年达到顶峰,之后有所回落^[7]。我国目前研究中计算温室气体排放量中排放因子值多采用IPCC推荐的缺省值和以往研究中的经验值[估值的不确定性均为±(30%~50%)]；根据地区养殖品种特征,计算畜禽的总能量摄取,从而计算排放因子值的相对较少^[8-16]。

吉林省是传统农业大省,多年来,吉林省粮食商品率、人均粮食占有量以及人均肉类占有量居全国第1位。2015年吉林省畜牧业产值占农业总产值比重已达40%以上。但吉林省畜禽养殖分布不均,主要集中在长春市、吉林市、四平市和辽源市,其中生猪、肉牛、鸡的养殖密度比较高^[17]。根据吉林省畜禽养殖空间分布特点,本研究旨在通过IPCC推荐的排放因子计算方法,估算2005—2015年吉林省中部畜禽养殖和粪便管理过程中温室气体的排放量及11年间各个县(市)的温室气体排放强度,为吉林省中部温室气体减排提供依据。

1 研究区概况

本研究的研究范围为吉林省中部(图1),地理位置为123°20′~127°45′E,42°18′~45°15′N,冬季平均气温在-11℃以下,夏季平原平均气温在23℃以上,年平均降水量为400~600mm,包括长春市、吉林市、四平市、辽源市4个地级市市辖区和15个县。2015年吉林省中部农林牧渔业总产值为1743.2亿元,其中牧业总产值为800.6亿元,占总产值45.9%。吉林省中部养殖品种以猪、牛、鸡为主,羊、马、驴、骡、家兔较少。

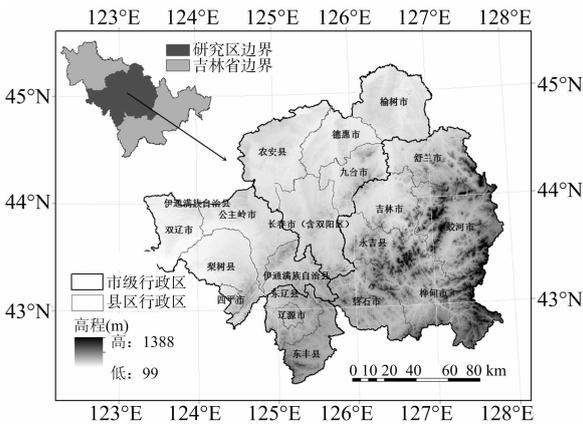


图1 研究区地理位置

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

吉林省中部地区畜禽养殖量数据来自中国经济社会大数据研究平台(<http://data.cnki.net/>)。

2.2 畜禽年均饲养量计算

IPCC(2006)报告指出,畜禽饲养过程中季节性的出生或屠宰可能会引起畜禽数量在1年中不同时间的增加或减少,因此应对生命周期不足1年的牲畜——猪、鸡(生命周期为110、49d)的数量用出栏量作出调整:

$$AAP = Days_alive \times \left(\frac{NAPA}{365} \right) \quad (1)$$

式中:AAP为年均饲养量,头或只;NAPA为每年生产的家畜

数量,头或只;Days_alive为畜禽平均生命周期,d。

2.3 畜禽肠道发酵CH₄排放量的估算方法

在畜禽正常的代谢过程中,寄生在其消化道内的微生物发酵消化道内饲料时会产生CH₄,反刍动物是动物肠道发酵CH₄排放的主要排放源,非反刍禽类肠道CH₄排放量小,IPCC和FAO推荐不予考虑。我国养猪数量较大,占世界存栏量的50%以上,吉林省数量位居全国第二。由于养猪数量较大,本研究计算猪肠道发酵CH₄排放量。

2.3.1 排放因子计算 《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中推荐奶牛和其他牛根据总能量摄取量和特定牲畜类别甲烷换算系数计算排放因子值,见公式(2)和公式(3)。

$$EF = GE \times \left(\frac{Y_m}{100} \right) \times \frac{365}{55.65} \quad (2)$$

式中:EF为排放因子,kg/(头·年);GE为总能量摄取,MJ/(头·d);Y_m为甲烷转化因子,即饲料中总能量转化甲烷的百分比;55.65为甲烷的能量含量。

$$CE = \left[\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_1 + NE_{劳动} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g + NE_{羊毛}}{REG} \right) \right] \quad (3)$$

式中:GE为总能,MJ/d;NE_m为家畜维持需要的净能,MJ/d;NE_a为家畜活动净能,MJ/d;NE₁为泌乳净能,MJ/d;NE_{劳动}为劳动净能,MJ/d;NE_p为妊娠所需的净能,MJ/d;REM为日粮中可供维持净能与消耗的可消化能的比例;NE_g为生长所需净能,MJ/d;NE_{羊毛}为产毛1年所需净能,MJ/d;REG为日粮中可供生长净能与消耗的可消化能的比。DE%为可消化能占总能的百分比。吉林省中部地区奶牛、其他牛肠道发酵CH₄排放因子计算结果见表1。其他牲畜使用以前研究中推荐的排放因子值(表2)。

表1 吉林省中部地区奶牛、其他牛肠道发酵CH₄排放因子

项目	参数值	
	奶牛	其他牛
体质量(kg)	506.800	375.000
平均日增质量(kg)	0	0.450
平均产奶量(kg/d)	26.200	0
乳脂率(%)	3.500	0
平均日工作量(h/d)	0	0.960
维持净能(MJ/d)	50.210	31.530
活动净能(MJ/d)	0	5.360
生长净能(MJ/d)	0	5.920
泌乳净能(MJ/d)	38.880	0
挽力净能(MJ/d)	0	3.030
产毛净能(MJ/d)	0	0
妊娠净能(MJ/d)	5.021	3.153
总能(MJ/d)	316.860	121.350
Y _m (%)	6.580	6.610
甲烷排放因子[kg/(头·年)]	136.750	52.610

注:数据取自第一次全国污染源普查产排污系数测算项目;参照《2006年IPCC国家温室气体清单指南》得出各类牲畜DE%=60%。

2.3.2 肠道发酵CH₄排放量计算 畜禽肠道发酵CH₄排放量等于各种牲畜的排放因子乘以年均饲养量的加和,根据公式(4)计算。

$$E_{CH_4,enteric,i} = \sum EF_{CH_4,enteric,i} \times AP_i \times 10^{-7} \quad (4)$$

式中: $E_{CH_4,enteric,i}$ 为第*i*种动物甲烷排放量,万 ν /年; $EF_{CH_4,enteric,i}$ 为第*i*种动物的甲烷排放因子,kg/(头或只·年); AP_i 为第*i*种动物的数量,头或只。

2.4 畜禽粪便管理系统温室气体排放量的估算方法

畜禽粪便在施入到土壤之前的贮存和处理会产生 CH_4 和 N_2O 。采用《2006年IPCC国家温室气体清单指南》中的推荐计算公式估算畜禽粪便管理中温室气体排放总量,见公式(5)。

$$E_{S_{粪便}} = \sum EF_{S_{manure,i}} \times AP_i \times 10^{-7} \quad (5)$$

式中: $E_{S_{粪便}}$ 为动物粪便管理温室气体排放总量, S 为 CH_4 时, $E_{S_{粪便}}$ 为粪便管理 CH_4 排放量(万 ν /年), S 为 N_2O 时, $E_{S_{粪便}}$ 为粪便管理 N_2O 排放量(万 ν /年); $EF_{S_{manure,i}}$ 为第*i*种动物粪便管理甲烷排放因子,kg/(头或只·年)。其中 EF 值数据来源于《省级温室气体清单编制指南》(表2)。

表2 不同畜禽的排放因子 kg/(头·年)

畜禽种类	肠道发酵中的 CH_4 排放因子	粪便管理中的 CH_4 排放因子	粪便管理中的 N_2O 排放因子
奶牛	见表1	2.23	1.096
其他牛	见表1	1.02	0.913
山羊	8.9	0.16	0.057
绵羊	8.2	0.15	0.057
马	18.0	1.09	0.330
驴/骡	10.0	0.60	0.188
猪	1.0	1.12	0.266
鸡	0	0.01	0.007

2.5 温室气体全球变暖潜势

IPCC用全球变暖潜势(global warming potential,简称

GWP)的概念衡量温室气体对全球变暖的影响。将特定气体和相同质量的 CO_2 比较,衡量各气体造成全球变暖的相对能力。以 CO_2 的GWP值为1, CH_4 为25, N_2O 为298。畜禽温室气体排放量计算见公式(6)。

$$C = C_{CH_4} + C_{N_2O} = \sum E_{CH_4} \times 25 + \sum E_{N_2O} \times 298 \quad (6)$$

式中: C 为畜禽温室气体排放量,万 ν /年; C_{CH_4} 为 CH_4 温室气体排放量,万 ν /年; C_{N_2O} 为 N_2O 温室气体排放量,万 ν /年; E_{CH_4} 为畜禽甲烷排放量,万 ν /年; E_{N_2O} 为畜禽氧化亚氮排放量,万 ν /年;25和298分别为 CH_4 和 N_2O 转化为 CO_2 当量的转化系数。

3 结果与分析

3.1 不同畜禽种类温室气体排放特征

本研究计算了吉林省中部19座城市2005—2015年11年间不同畜禽的温室气体排放量(表3)。畜禽肠道发酵中的 CH_4 排放中其他牛和奶牛的年均温室气体排放量最大,分别为973.88万、77.07万t CO_2 -eq/年,分别占畜禽胃肠发酵 CH_4 年均总排放量的85.1%、6.7%,非反刍牲畜猪、驴、骡温室气体排放量较小,分别占胃肠发酵 CH_4 年均总排放量的0.6%、0.3%、0.2%。粪便管理过程中的 CH_4 排放中其他牛的年均温室气体排放量最大为18.88万t CO_2 -eq/年,占粪便管理 CH_4 年均总排放量的61.3%,其次是猪,占年均总排放量的25.8%,这与猪的高养殖量密切相关。粪便管理过程中 N_2O 排放中其他牛、猪、奶牛的年均温室气体排放量分别为201.46万、22.5万、7.36万t CO_2 -eq/年,分别占粪便管理中 N_2O 年均总排放量的82.7%、9.2%、3.0%。

表3 2005—2015年不同畜禽温室气体排放量

温室气体	畜禽种类	排放量(万t CO_2 -eq)										
		2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
肠道发酵中的 CH_4 排放	奶牛	53.54	56.77	56.77	62.21	84.57	103.60	102.42	54.80	73.60	62.72	136.81
	其他牛	859.60	926.72	1043.83	1163.70	1220.76	1224.65	850.69	834.95	905.18	910.89	771.66
	山羊	47.62	48.58	52.56	60.25	63.39	67.15	59.94	42.58	48.42	47.67	45.47
	绵羊	17.91	8.62	16.66	17.96	19.11	19.15	9.78	11.02	7.31	10.45	25.41
	马	15.24	14.95	14.70	15.53	14.93	13.78	13.12	12.92	10.35	8.93	8.12
	驴	3.00	3.10	2.98	3.42	3.45	3.52	3.71	3.97	2.99	2.83	1.98
	骡	3.21	3.32	3.03	3.36	3.01	2.96	2.93	3.07	2.14	1.95	1.83
	猪	5.23	5.48	6.17	7.09	7.05	9.12	6.72	4.53	5.15	5.54	15.99
	鸡	0.87	0.93	0.93	1.01	1.38	1.69	1.67	0.89	1.20	1.02	2.22
粪便管理过程中 CH_4 排放	奶牛	0.87	0.93	0.93	1.01	1.38	1.69	1.67	0.89	1.20	1.02	2.22
	其他牛	16.67	17.97	20.24	22.56	23.67	23.74	16.49	16.19	17.55	17.66	14.96
	山羊	0.86	0.87	0.94	1.08	1.14	1.21	1.08	0.77	0.87	0.86	0.82
	绵羊	0.33	0.16	0.30	0.33	0.35	0.35	0.18	0.20	0.13	0.19	0.46
	马	0.92	0.91	0.89	0.94	0.90	0.83	0.79	0.78	0.63	0.54	0.49
	驴	0.18	0.19	0.18	0.21	0.21	0.21	0.22	0.24	0.18	0.17	0.12
	骡	0.19	0.19	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18	0.13	0.12	0.11
	猪	5.86	6.13	6.91	7.93	7.89	10.21	7.53	5.08	5.77	6.21	17.91
	鸡	0.19	0.24	0.28	0.32	0.27	0.41	0.24	0.20	0.27	0.24	1.15
粪便管理过程中 N_2O 排放	奶牛	5.11	5.42	5.42	5.94	8.08	9.90	9.78	5.24	7.03	5.99	13.01
	其他牛	177.82	191.70	215.93	240.72	252.53	253.33	175.97	172.72	187.25	188.45	159.63
	山羊	3.64	3.71	4.01	4.60	4.84	5.13	4.58	3.25	3.70	3.64	3.47
	绵羊	1.48	0.71	1.38	1.49	1.58	1.59	0.81	0.91	0.61	0.87	2.11
	马	3.33	3.27	3.21	3.39	3.26	3.01	2.87	2.82	2.26	1.95	1.77
	驴	0.67	0.69	0.67	0.77	0.77	0.79	0.83	0.89	0.67	0.63	0.44
	骡	0.72	0.74	0.68	0.75	0.67	0.66	0.66	0.69	0.48	0.44	0.41
	猪	16.58	17.37	19.56	22.46	22.35	28.91	21.30	14.37	16.33	17.58	50.70
	鸡	1.61	1.97	2.32	2.65	2.23	3.44	2.00	1.69	2.27	2.01	9.62

3.2 畜禽温室气体排放时间变化特征

2005—2010年吉林省中部地区畜禽肠道发酵中的CH₄温室气体排放量从1 005.34万t CO₂-eq增加到1 443.93万t CO₂-eq,到达峰值,2012年下降至967.83万t CO₂-eq后排放量走势趋于平缓。畜禽粪便管理中的CH₄温室气体排放量于2010年达到最大值38.85万t CO₂-eq。粪便管理过程中N₂O排放量与总排放量趋势相同,2010年达到最大值后走势趋于平缓(表4)。

表4 2005—2015年吉林省中部畜禽温室气体排放量

年份	CH ₄ 排放量 (万t CO ₂ -eq)		粪便管理 N ₂ O排放量 (万t CO ₂ -eq)	总计 (万t CO ₂ -eq)
	胃肠发酵	粪便管理		
2005	1 005.34	26.07	210.98	1 242.39
2006	1 067.54	27.59	225.61	1 320.74
2007	1 196.71	30.85	253.21	1 480.77
2008	1 333.51	34.59	282.82	1 650.92
2009	1 416.26	35.99	296.34	1 748.59
2010	1 443.93	38.85	306.83	1 789.61
2011	1 049.30	28.39	218.89	1 296.58
2012	967.83	24.54	202.64	1 195.01
2013	1 055.14	26.74	220.67	1 302.55
2014	1 051.07	27.02	221.64	1 299.73
2015	1 006.64	38.28	241.49	1 286.41

2005—2015年畜禽肠道发酵中的CH₄温室气体年均排放量1 144.84万t CO₂-eq/年,粪便管理过程中CH₄温室气体年均排放量30.81万t CO₂-eq/年,粪便管理过程中N₂O温室气体年均排放量243.74万t CO₂-eq/年,分别占总排放量的80.7%、2.2%、17.2%。

3.3 畜禽温室气体排放空间变化特征

3.3.1 吉林省中部各地区畜禽温室气体排放 图2显示的是2005—2015年吉林省中部地区畜禽温室气体总排放量的空间分布,高排放集中市(县)为四平市、吉林市、榆树市、农安县、德惠市和辽源市,排放量较少的是永吉县、伊通满族自治县、桦甸市、东辽县、舒兰市和东丰县。其中肠道发酵甲烷排放量较大的市(县)依次为四平市(2 000.09万t CO₂-eq)、吉林市(1 484.93万t CO₂-eq)、榆树市(930.96万t CO₂-eq);粪便管理中甲烷排放量最大的为四平市(89.81万t CO₂-eq)、吉林市(58.83万t CO₂-eq)、农安县(35.45万t CO₂-eq);粪便管理中氧化亚氮排放量最大的为四平市(506.18万t CO₂-eq)、吉林市(364.62万t CO₂-eq)、榆树市(226.93万t CO₂-eq)。结果综合显示,吉林省中部地区畜禽温室气体排放量大的地区主要集中在四平市、吉林市、榆树市和农安县。

3.3.2 吉林省中部各地区畜禽养殖温室气体排放强度 排放强度是衡量某地区单位面积内污染物的年排放量。计算公

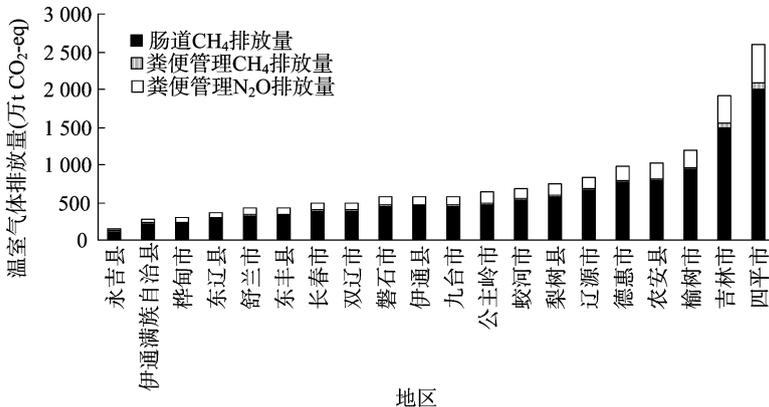


图2 2005—2015年吉林省中部地区畜禽温室气体排放量的空间分布和组成

式(7)如下:

$$S = E_{\text{温室气体}} / A \quad (7)$$

式中:S代表单位面积温室气体年均排放强度,t CO₂-eq/(km²·年);E_{温室气体}为某城市温室气体排放总量,t/年;A为某市面积,km²。

本研究的吉林省中部地区畜禽温室气体排放强度为区域11年平均温室气体排放量与区域面积的比值(图3)。其中,四平市、辽源市和吉林市是排放强度较大的3个市,排放强度分别为0.64万、0.37万、0.11万t CO₂-eq/(km²·年)。四平市和辽源市中养殖场数量较多,年温室气体排放量大且区域面积小,排放强度大。排放强度较小的为舒兰市[0.009万t CO₂-eq/(km²·年)]、桦甸市[(0.005万t CO₂-eq/(km²·年)]和永吉县[0.003万t CO₂-eq/(km²·年)],这与当地的经济增长速度慢和人口对畜禽品的需求低有着密切的关系。

4 讨论与结论

全国畜禽养殖温室气体排放量计算多采用IPCC(2006)采用的经验值,估值的不确定性为±(30%~50%),本研究根据吉林省畜禽养殖数量、排放因子贡献值特征和IPCC推荐的计算方法,计算了奶牛和其他牛的甲烷排放因子值,以增加结果的准确性。

但本研究关于计算温室气体排放量值仍存在着2个问题:(1)根据IPCC报告中年均饲养量计算公式计算年牲畜养殖量,虽然可一定程度上消除误差,却不能完全消除对不同牲畜年饲养量的高估或低估,2005—2015年吉林省畜禽养殖温室气体排放贡献比例较大的是畜禽肠道甲烷排放量,肠道甲烷排放量中其他牛、奶牛和山羊贡献量占96%,不足1年牲畜排放比例较小,过高或过低的估算牲畜饲养量对畜禽温室气体排放量值的计算和时间与空间维度的分析影响较小。(2)在排放因子计算中,未根据畜龄、生产类型和性别将每年

