

DOI: 10.5846/stxb201312022868

王荣, 邓近平, 王敏, 王玉诗, 张玉茹, 颜志成, 谭支良. 基于 IPCC Tier 1 层级分析中国反刍家畜胃肠道甲烷排放格局变化. 生态学报, 2015, 35(21): - .

Wang R, Deng J P, Wang M, Wang Y S, Zhang Y R, Yan Z C, Tan Z L. Using Intergovernmental Panel on Climate Change Tier 1 to analyze the trends and distribution patterns of enteric methane emissions from ruminants in China during 1990—2010. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): - .

基于 IPCC Tier 1 层级分析中国反刍家畜胃肠道甲烷排放格局变化

王 荣^{1,2}, 邓近平², 王 敏^{1,*}, 王玉诗², 张玉茹², 颜志成^{1,3}, 谭支良¹

1 中国科学院亚热带农业生态研究所, 长沙 410125

2 湖南农业大学动物科学技术学院, 长沙 410128

3 湖南农业大学园艺园林学院, 长沙 410128

摘要: 本研究旨在阐明 1990—2010 年中国反刍家畜胃肠道甲烷(CH₄)排放的格局与历史变化过程。该研究依据政府间气候变化委员会(IPCC)2006 年公布的反刍家畜胃肠道 CH₄排放系数(奶牛 61 kg CH₄/头/年, 肉役牛 47 kg CH₄/头/年, 绵羊和山羊均为 5 kg CH₄/头/年)和 IPCC Tier 1 计算方法, 结合《中国统计年鉴》和《中国畜牧业统计年鉴》, 估算了中国以及各个省份 1990—2010 年 CH₄的排放总量, 绘制出中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放格局及历史变化图。研究结果表明: ①1990—2010 年期间, 中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放量(5.90—7.65 Tg)总体呈现先上升(1995 年最高)后下降的趋势, 其中肉役牛(主要是黄牛和水牛)胃肠道 CH₄排放量(> 4.33 Tg)及其所占比例(> 65%)最大。奶牛胃肠道 CH₄排放量及其比例呈现逐年增加的趋势, 2006 年(0.83 Tg, 12.7%)超过山羊和绵羊胃肠道 CH₄排放量及其比例, 成为中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放第二大源。但是, 奶牛单位产奶量所排放的 CH₄量逐年降低, 表明中国奶牛饲养技术与生产性能不断提高。②中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放格局呈现区域集中特点, 主要集中在中西部和北部的各个省份, 其中四川、内蒙古、新疆、河南、西藏、山东、河北、黑龙江、云南和甘肃等 10 个省份的排放量占中国排放总量的 50%以上。总之, 1990—2010 年间, 中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量为(6.77±0.46) Tg(肉役牛为主要排放源), 随时间推移呈现先上升后下降的趋势; 中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放的格局呈区域集中分布, 中西部和北部的各个省份占 60%以上。

关键词: 温室气体; IPCC Tier 1; 中国统计年鉴; 中国畜牧业统计年鉴; 不确定性

Using Intergovernmental Panel on Climate Change Tier 1 to analyze the trends and distribution patterns of enteric methane emissions from ruminants in China during 1990—2010

WANG Rong^{1,2}, DENG Jinping², WANG Min^{1,*}, WANG Yushi², ZHANG Yuru², YAN Zhicheng^{1,3}, TAN Zhiliang¹

1 Institute of Subtropical Agriculture, the Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China

2 College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

3 College of Horticulture Landscape, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China

Abstract: The present study aimed to reveal historical trends and distribution patterns of enteric methane (CH₄) emissions from ruminants in China between 1990 and 2010. Enteric CH₄ emissions were calculated using the Tier 1 equation provided by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The enteric CH₄ emission factors of different ruminant

基金项目: 国家自然科学基金(31472133); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05020700); “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAD14B17, 2012BAD12B02); 中央驻湘科研机构技术创新发展专项(2013TF3006)

收稿日期: 2013-12-02; 网络出版日期: 2015-04-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wing_mail@hotmail.com

subcategories were the corresponding default values provided by the IPCC (2006), such as 61 kg CH₄/ head / year for dairy cows, 47 kg CH₄/ head / year for both beef and draught cattle, and 5 kg CH₄/ head / year for both sheep and goats. In addition, information about the population size of cattle, dairy cows, goats, and sheep was obtained from the Statistical Yearbook of China and Statistical Yearbook of China's animal husbandry. The enteric CH₄ emissions in each province were also estimated to obtain the distribution pattern of national enteric CH₄ emissions from 1990 to 2010. The results showed that the total enteric CH₄ emissions of ruminants ranged from 5.90 to 7.65 Tg, with the maximum value being obtained in 1995. The enteric CH₄ emissions from beef and draught cattle (mainly cattle and buffalo) exceeded 4.33 Tg, accounting for more than 65% of total enteric CH₄ emissions. The enteric CH₄ emissions from dairy cows showed a continuous rising trend with advancing years. In 2006, the amount and proportion of enteric CH₄ emissions from dairy cows (0.83 Tg, 12.7%) exceeded that detected from goats and sheep, and represented the second largest source of enteric CH₄ emissions in the ruminant production system. However, enteric CH₄ emissions per kg of milk production decreased, indicating that the efficiency of dairy farming had greatly improved from 1990 to 2010. The distribution pattern of the enteric CH₄ emissions showed regional variation, and was mainly distributed in the northern, western, and central regions of China. For example, 10 provinces (including Sichuan, Inner Mongolia, Xinjiang, Henan, Tibet, Shandong, Hebei, Heilongjiang, Yunnan, and Gansu) accounted for more than 50% of total enteric CH₄ emissions. The distribution pattern of the enteric CH₄ emissions of ruminant subcategories also exhibited regional variation. The enteric CH₄ emissions of beef and draught cattle were mainly distributed in the southwest and central regions of China, with 10 provinces (including Sichuan, Yunnan, Guangxi, Guizhou, Henan, Shandong, Hunan, Hebei, Tibet, and Anhui) in China accounting for more than 55% of total enteric CH₄ emissions by these ruminants. The enteric CH₄ emissions of dairy cows were mainly distributed in the northern regions of China, with six provinces (including Xinjiang, Inner Mongolia, Heilongjiang, Henan, Hebei, and Shandong) in China accounting for more than 55% of total enteric CH₄ emissions by this group. The enteric CH₄ emissions of goats were mainly distributed in the northern and central regions of China, with five provinces (including Inner Mongolia, Shandong, Sichuan, Henan, and Jiangsu) in China accounting for more than 50% of total enteric CH₄ emissions by this group. The enteric CH₄ emissions of sheep were mainly distributed in the northwest regions of China, with five provinces (including Xinjiang, Inner Mongolia, Tibet, Qinghai, and Gansu) in China accounting for more than 60% of total enteric CH₄ emissions by this group. In summary, ruminants represented 6.77 ± 0.46 Tg (of which more than 65% was from beef and draught cattle) of national enteric CH₄ emissions from 1990 to 2010, which initially increased and then decreased with advancing years. The distribution pattern of national enteric CH₄ emissions exhibited regional variation, with 60% of total enteric CH₄ emissions originating from the northern, western, and central regions of China.

Key Words: Greenhouse gas; IPCC Tier 1; Statistical Yearbook of China; Statistical Yearbook of China's animal husbandry; Uncertainty

近年来,随着全球气候变暖形势的日益严峻,人们越来越关注温室气体的排放问题。在全球范围内,甲烷(CH₄)是仅次于二氧化碳(CO₂)的第二大温室气体,其增温潜能是CO₂的25倍左右^[1]。反刍家畜每年排放CH₄约0.8亿t,占人类活动排放总量的33%^[2]。另外,全球牛、羊的CH₄排放量,估计每年以1%的比例递增^[3]。中国是反刍动物绝对饲养数量最大的国家^[4],其CH₄减排的压力与潜力均面临较大挑战。张仁健报道^[5],1990年中国反刍动物CH₄排放量为5.806 Tg(注:1 Tg=10¹²g),占全球动物排放量的7.2%,1994年反刍家畜CH₄排放量增至约6.795 Tg。因此,反刍家畜胃肠道CH₄排放量的研究受到科学家、政府及社会各界的广泛关注。

目前,有学者已经对中国反刍家畜胃肠道CH₄排放量估算做了相关研究^[6-12],但这些研究大多是针对中国反刍家畜CH₄排放总量的估算方法,几乎没有国家范围内的反刍家畜CH₄排放格局及其历史过程的变化研究。鉴于此,本研究利用政府间气候变化委员会(IPCC,2006)公布的《2006 IPCC 国际温室气体清单指

南》^[13]、《中国统计年鉴》^[14]和《中国畜牧业统计年鉴》^[15]等相关数据资料,估算了中国及各个省份 1990—2010 年反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量,绘制出反刍家畜胃肠道 CH₄排放格局及历史变化图,并分析反刍家畜胃肠道 CH₄排放的时间和空间变化的原因。研究结果可为中国反刍家畜温室气体减排政策的制订提供基础数据服务,对于进一步提出符合发展中国家畜牧业的发展战略也有重要参考价值。

1 研究方法

1.1 数据来源

本研究所使用的数据资料来自政府间气候变化委员会(IPCC)公布的《2006 年 IPCC 国际温室气体清单指南》、《中国统计年鉴》和《中国畜牧业统计年鉴》等。

1.2 计算方法

本研究运用 IPCC Tier 1 提供的方法对反刍家畜胃肠道 CH₄排放进行估算。CH₄排放总量由各类家畜排放量加和求得,计算式如下:

$$E_{CH_4} = \sum EF_T \cdot N_T / 10^{12} \quad (1)$$

公式中: E_{CH_4} 是反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量,Tg/年; EF_T 是第 T 种反刍家畜胃肠道 CH₄排放系数,kg/(头·年); N_T 是反刍家畜种类 T 的年末存栏数,万头或万只; T 为反刍家畜的种类。

本研究估算的反刍家畜种类包括奶牛、肉役牛(黄牛和水牛)、绵羊和山羊。目前,中国官方还没有公布反刍家畜胃肠道 CH₄排放系数,反刍家畜各种类的胃肠道 CH₄排放系数参考《2006 年 IPCC 国际温室气体清单指南》,使用发展中国家的各种类反刍家畜胃肠道 CH₄排放系数(表 1)^[13]。

表 1 主要反刍家畜肠道发酵排放系数(kg/(头·年))

Table 1 The enteric CH₄ emission factors of different ruminant species (kg/herd/year)

反刍家畜种类 ruminant species	胃肠道 CH ₄ 排放系数 Enteric CH ₄ emission factor
绵羊 Sheep	5
山羊 Goats	5
奶牛 Dairy cows	61
肉役牛 Beef and draught cattle	47

所有估值的不确定性均为 ±30%—50%

2 结果与分析

2.1 1990—2010 年中国各类反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量及历史变化

2.1.1 反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量

由表 3 可知,中国 1990—2010 年反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量介于 5.80—7.65 Tg 之间,整体呈现先上升后下降,最后趋于平稳的状态,自 2006 年之后,CH₄排放总量稳定在 6.60 Tg 左右。在各类主要是反刍家畜中,肉役牛对胃肠道 CH₄排放总量贡献最大(> 65.5%)。由表 2 可知,自进入 21 世纪后,肉役牛存栏数量总体呈现下降趋势,这是导致中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量降低的直接原因。1995 年反刍家畜胃肠道 CH₄排放量最大,为 7.65 Tg,其中肉役牛的胃肠道 CH₄排放总量贡献最大,占 1995 年胃肠道 CH₄排放总量的 78.6%;其次为山羊和绵羊,分别占胃肠道 CH₄排放总量的 9.8%和 8.3%;奶牛胃肠道 CH₄排放量最低,仅占反刍家畜胃肠道 CH₄排放总量的 3.3%。但是,随着中国奶牛业的不断发展,截止到 2010 年,奶牛胃肠道 CH₄排放量所占的比例上升到了 13.1%,超过山羊和绵羊胃肠道 CH₄排放量及其比例,成为中国反刍家畜胃肠道 CH₄排放第二大来源。

2.1.2 肉役牛胃肠道 CH₄排放

由表 3 可知,中国肉役牛胃肠道 CH₄排放总量介于 4.28—6.01 Tg 之间,其规律与反刍家畜总排放量一致,自 2007 年之后,肉役牛胃肠道 CH₄排放总量稳定在 4.40 Tg 左右。1990—2010 年内肉役牛胃肠道 CH₄排放比例为 65.5%—80.0%,总体呈现下降的趋势,2010 年肉役牛胃肠道 CH₄排放比例下降到 65.6%。

肉役牛胃肠道 CH_4 排放量与其饲养数量的变化直接相关。肉役牛主要包括黄牛和水牛,它们占牛饲养总量的 85%—95%。由表 2 可以看出,中国 1990—2010 年肉役牛饲养存栏量先上升后下降,最后趋于平稳。相关养殖产业调查报告发现,饲养肉役牛所需的配合饲料价格不断上涨,人工成本也在不断提高,这使肉役牛养殖企业面临着很大的成本压力。另外,肉役牛的饲养周期较长,资金投入较大、周转慢,这极大地降低了养殖户的积极性^[16]。另外,随着农业机械化程度的提高,多数农户已经不再需要肉役牛进行农作,造成肉役牛数量的进一步减少。上述因素是导致中国肉役牛饲养数量和胃肠道甲烷排放量大幅度下降的根本原因。

2.1.3 奶牛胃肠道 CH_4 排放

由表 3 可知,中国奶牛胃肠道 CH_4 排放总量介于 0.16—0.87 Tg 之间,占反刍家畜胃肠道 CH_4 排放总量的 2.8%—13.1%,整体呈现不断上升的趋势。但是,2007 年奶牛胃肠道 CH_4 排放量却由 2006 年的 0.83 Tg 下降到 0.75 Tg,所占比例也由 2006 年的 12.7% 下降到 11.4%,之后又呈现上升趋势。导致这一问题的直接原因是奶牛数量的变化。由表 2 可知:进入 1990 年以后,中国奶牛养殖业一直处于快速增长的状态,奶牛存栏量、牛奶产量成倍增加,2006 年中国已经成为仅次于美国、印度的第三大产奶国^[17]。但自 2006 年以来,中国奶业发展出现了一些新的问题和情况,如消费增长趋势放缓、奶牛饲养成本上升和效益下降,一些地方出现杀牛、卖牛和倒奶现象,奶牛养殖户普遍减少奶牛存栏量^[18]。为解决这些问题,国务院于 2007 年发布了国发[2007]31 号文件“关于促进奶业持续健康发展的意见”,在“促进奶业持续健康发展的主要任务和重点工作”中,强调要推进养殖方式改变,提高原料奶质量。农业部也发布了关于贯彻《国务院关于促进奶业持续健康发展的意见》的通知^[19],国务院的文件和农业部的通知对于解决中国奶业关键阶段出现的新问题和矛盾,确保奶业健康持续发展有重要的指导意义。自 2007 年之后,奶牛年末存量有所回升,中国奶业又迎来了一个新的发展阶段。

虽然中国奶牛胃肠道 CH_4 排放总量不断上升,但是,由表 3 可知,中国奶牛的平均产奶量却不断提高,最终单位产奶 CH_4 的排放量不断下降,这也和中国奶牛饲养技术和生产性能的不断提高密不可分。中国部分规模奶牛场通过奶牛生产性能测定,分析原料奶产量和成分,科学配置奶牛日粮,改进饲养管理措施,有效节约了饲养成本,提高了奶牛生产水平和经济效益,这有助于减少单位产奶 CH_4 的排放量。

2.1.4 绵羊和山羊胃肠道 CH_4 排放

由表 3 可知,中国绵羊和山羊数量变化趋势比较相近,无论是其胃肠道 CH_4 排放总量还是所占比例大体均呈现先上升后平稳的趋势。山羊和绵羊胃肠道 CH_4 排放总量分别介于 0.46—0.76 Tg 和 0.55—0.77 Tg 之间,其所占比例分别介于 7.9%—11.6% 和 8.3%—11.2% 之间。截至 2010 年,绵羊和山羊胃肠道 CH_4 排放总量均稳定在 0.7 Tg 左右,其所占比例均稳定在 11% 左右。羊养殖数量虽然很大,但羊胃肠道 CH_4 排放量及所占

表 2 中国 1990—2010 年反刍家畜年末存栏量/(万头·万只)

Table 2 Amounts of ruminant population in China within 1990—2010 (ten thousand head)

年份 Years	奶牛 Dairy cows	肉役牛 Beef and draught cattle	山羊 Goats	绵羊 Sheep
1990	269.1	10019.3	9270.5	11218.6
1991	294.6	10164.6	9535.5	11085.5
1992	313.9	10470.1	9761.0	10971.9
1993	342.1	10973.6	10569.6	11161.8
1994	384.3	11947.5	12308.3	11744.5
1995	417.4	12788.6	14959.3	12726.3
1996	447.0	10584.8	12315.8	11412.5
1997	444.9 *	11737.3 *	13480.1	12095.6
1998	444.9 *	11997.0 *	14168.3	12735.2
1999	442.8	12255.5	14816.3	13109.5
2000	488.7	11864.5	14945.6	13002.6
2001	566.2	11243.0	14562.3	13062.8
2002	687.3	10880.5	14841.2	13399.7
2003	893.2	10541.2	14967.9	14339.5
2004	1108.0	10127.5	15195.5	15230.5
2005	1216.1	9774.7	14659.0	15133.7
2006	1363.2	9101.9	13768.0	14601.8
2007	1225.9	9368.9	14336.5	14228.2
2008	1233.5	9342.5	15229.2	12855.7
2009	1260.3	9466.2	15050.1	13402.1
2010	1420.1	9206.4	14203.9	13884.0

* 1997 和 1998 年的中国奶牛数量未查出,取 1996 和 1999 两年的平均值;肉役牛的数量是由牛总量与奶牛数量相减所得;奶牛数量的数据来自《中国畜牧业统计年鉴》,其余的来自《中国统计年鉴》

表 3 1990—2010 年反刍家畜胃肠道 CH₄ 排放
Table 3 The enteric CH₄ emissions from different ruminant species during 1990—2010

年份 Years	不同家畜 CH ₄ 排放量 (Tg) Amount of CH ₄ emissions (Tg)		各类家畜 CH ₄ 排放比例(%) Proportion of CH ₄ emissions (%)				奶牛 CH ₄ 排放量 (g/kg milk) CH ₄ emissions from dairy cows (g/kg milk)		CH ₄ 排放总量 (Tg) TotalCH ₄ emissions (Tg)	
	肉役牛 Beef and draught cattle	奶牛 Diary cows	山羊 Goats	绵羊 Sheep	肉役牛 Beef and draught cattle	奶牛 Diary cows	山羊 Goats	绵羊 Sheep		
1990	4.71	0.16	0.46	0.56	79.80	2.80	7.90	9.50	39.50	5.90
1991	4.78	0.18	0.48	0.55	79.80	3.00	8.00	9.30	38.70	5.99
1992	4.92	0.19	0.49	0.55	80.00	3.10	7.90	8.90	38.10	6.15
1993	5.16	0.21	0.53	0.56	79.90	3.20	8.20	8.60	41.90	6.45
1994	5.62	0.23	0.62	0.59	79.60	3.30	8.70	8.30	44.30	7.05
1995	6.01	0.25	0.75	0.64	78.60	3.30	9.80	8.30	44.20	7.65
1996	4.97	0.27	0.62	0.57	77.30	4.20	9.60	8.90	43.30	6.43
1997	5.52	0.27 *	0.67	0.60	78.10 *	3.80 *	9.50 *	8.60 *	40.70 *	7.07 *
1998	5.64	0.27 *	0.71	0.64	77.70 *	3.70 *	9.80 *	8.80 *	41.00 *	7.26 *
1999	5.76	0.27	0.74	0.66	77.60	3.60	10.00	8.80	37.60	7.43
2000	5.58	0.30	0.75	0.65	76.70	4.10	10.30	8.90	36.00	7.27
2001	5.28	0.35	0.73	0.65	75.40	4.90	10.40	9.30	33.70	7.01
2002	5.11	0.42	0.74	0.67	73.60	6.00	10.70	9.60	32.30	6.95
2003	4.95	0.54	0.75	0.72	71.10	7.80	10.70	10.30	31.20	6.96
2004	4.76	0.68	0.76	0.76	68.40	9.70	10.90	10.90	29.90	6.96
2005	4.59	0.74	0.73	0.76	67.30	10.90	10.70	11.10	26.90	6.83
2006	4.28	0.83	0.69	0.73	65.50	12.70	10.50	11.20	26.00	6.53
2007	4.40	0.75	0.72	0.71	66.90	11.40	10.90	10.80	21.20	6.58
2008	4.39	0.75	0.76	0.64	67.10	11.50	11.60	9.80	21.20	6.55
2009	4.45	0.77	0.75	0.67	67.00	11.60	11.30	10.10	21.80	6.64
2010	4.33	0.87	0.71	0.69	65.60	13.10	10.80	10.50	24.20	6.60

1997 和 1998 年中国奶牛数量未查出, 数据取前后两年存栏量的平均数来替代

比例相对较低,主要原因是羊胃肠道 CH_4 排放系数远远小于牛。羊胃肠道 CH_4 排放总量以及其所占比例的不断增加,与中国养羊业的快速发展密切相关。1990—2010 年来,人们生活水平的不断提高,羊毛和羊肉的需求量不断增加,致使山羊和绵羊的养殖规模不断扩大^[20]。另外,国家和各级政府制订了许多规划、标准和管理办法,出台了诸如优良种羊补贴、畜牧机械补贴和养羊合作社补贴等具体的政策措施,以促进中国山羊养殖业的发展^[21]。由表 2 可知,21 世纪之前中国养羊业经历了一段快速发展期,2004 年中国绵羊和山羊总存栏量超过 3.0 亿只。2004 年之后,中国羊总存栏量虽略有增减,养殖数量基本保持在 2.7 亿只左右,表明中国养羊业进入平稳发展期。究其原因,近年来受劳动力和饲料成本上升以及牧区生态环境恶化和饲草短缺等因素的影响,养羊业的发展受到限制,羊养殖产业发展放缓^[22]。

2.2 1990—2010 年中国各类反刍家畜胃肠道 CH_4 排放格局的历史变化

2.2.1 反刍家畜胃肠道 CH_4 排放总量格局变化

由图 1 可知,中国反刍家畜胃肠道 CH_4 排放格局呈现区域集中特点,主要集中在西北和西南部的各个省份。其中,四川、内蒙古、新疆、河南、西藏、山东、河北、黑龙江、云南和甘肃等 10 个省份反刍家畜胃肠道 CH_4 排放量占全国排放总量的 60% 以上,各省的排放量呈均匀分布。

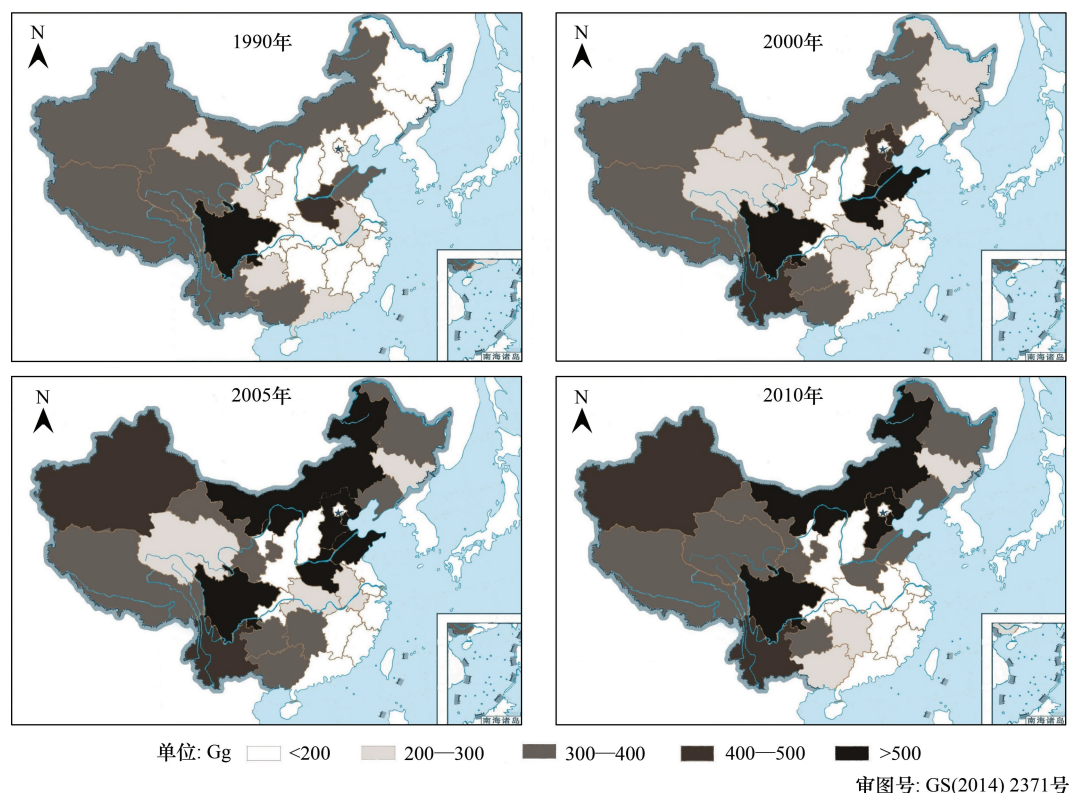


图 1 1990—2010 年中国反刍家畜胃肠道 CH_4 排放格局变化

Fig.1 The changes in distribution pattern of enteric CH_4 emissions from ruminant within 1990—2010

1990—2010 年中国反刍家畜胃肠道 CH_4 排放格局变化主要体现在内蒙古、甘肃、黑龙江和辽宁等各个省份。这些省份的反刍家畜胃肠道 CH_4 排放量不断上升,其中蒙古的反刍家畜胃肠道 CH_4 排放量的变化最为突出,1990 年的排放总量为 0.34 Tg,2010 年增加到 0.72 Tg,排放比例也由 1990 年的 5.70% 上升到 2010 年的 9.79%。究其原因,近年来,内蒙古各级政府高度重视农牧业生产工作并加大投入力度,重点孵化并扶持了一些当地的畜牧业大型龙头企业(蒙牛等),通过实现企业和农户对接并提高了农民的组织化程度,大大推动了该省份农牧业的发展。而河南、山东和河北等各个省份反刍家畜胃肠道 CH_4 排放量先上升后下降。究其原因

因,随着中国经济的不断发展和资源配置的优化,畜牧业生产由饲养成本较高的地区向成本较低的地区转移步伐加快。一种是由城市近郊向远郊农村转移;另一种是跨省区转移。如北京、上海和南方部分省市,已计划逐年减少畜禽饲养数量,陆续将肉、蛋、奶生产基地迁到周边省或北方产粮大省。

2.2.2 肉役牛胃肠道 CH_4 排放量格局变化

由图 2 可知,与反刍家畜排放总量一样,肉役牛胃肠道 CH_4 排放格局亦呈现区域集中特点,主要集中在西南部以及中部的各个省份。其中,四川、云南、广西、贵州、河南、山东、湖南、河北、西藏和安徽等 10 个省份肉役牛胃肠道 CH_4 排放量占全国肉役牛胃肠道 CH_4 排放总量的 55% 以上。

1990—2010 年中国肉役牛胃肠道 CH_4 排放格局变化主要体现在内蒙古、辽宁和吉林等东北部各个省份。这些省份的肉役牛胃肠道 CH_4 排放量不断上升,而广东、浙江和福建等南部各个省份肉役牛胃肠道 CH_4 排放量不断下降。山东、河南、广西和贵州等各个省份肉役牛胃肠道 CH_4 排放量先上升后下降。其中山东最为突出,1990 年山东肉役牛胃肠道 CH_4 排放量为 0.24 Tg,占肉役牛胃肠道 CH_4 排放总量的 5.08%;2000 年 CH_4 排放量及其所占比例分别增加到 0.46 Tg 和 7.98%,而 2010 年却分别下降至 0.19 Tg 和 3.78%。究其原因,进入 21 世纪后,中国在各个省份不断推行农业机械化,多数农户已经不再需要肉役牛进行农作,造成肉役牛数量的进一步减少。

2.2.3 奶牛胃肠道 CH_4 排放格局变化

由图 3 可知,相对于肉役牛而言,奶牛胃肠道 CH_4 排放的省份更为集中,主要集中在北方地区。2010 年,新疆、内蒙古、黑龙江、河北、河南和山东等 6 个省份奶牛胃肠道 CH_4 排放量已占全国奶牛胃肠道 CH_4 排放总量的 71.7%。从 1990—2010 年奶牛胃肠道 CH_4 排放格局的历史变化来看,内蒙古、新疆、黑龙江、河南、河北和山东的奶牛胃肠道 CH_4 排放量持续上升。其中以内蒙古最为突出,1990 年内蒙古奶牛 CH_4 排放量 0.02 Tg,占据中国奶牛 CH_4 排放比例的 14.6%;而 2010 年 CH_4 排放量已经上升到 0.18 Tg,占据中国奶牛 CH_4 排放比例的 20.6%。究其原因,中国目前已经形成以京、津和沪等大城市郊区为主的城郊型奶源基地;以黑龙江和内蒙古为主的东北奶业产区;以河北、山西和内蒙古中南部构成的华北奶业产区;以新疆、甘肃、宁夏和陕西为主的西北农牧区奶业产区等 4 大奶业产业发展带^[18]。这些奶业产业发展带的形成,大大促进了当地奶牛业的快速发展。

2.2.4 山羊胃肠道 CH_4 排放格局变化

由图 4 可知,中国山羊胃肠道 CH_4 排放主要集中在北部以及中部的各个省份。其中内蒙古、山东、四川、河南和江苏等 5 个省份山羊胃肠道 CH_4 排放量已占全国山羊胃肠道 CH_4 排放总量的 50% 以上。

从山羊胃肠道 CH_4 排放格局的历史变化来看,内蒙古、甘肃、四川和湖北等各个省份山羊胃肠道 CH_4 排放持续上升。除此之外,中国大多数省份山羊胃肠道 CH_4 排放量呈现先上升后下降的趋势,其中以河南省最为突出。1990 年河南省山羊胃肠道 CH_4 排放量为 0.057 Tg,占山羊胃肠道 CH_4 排放总量的 11.62%。2005 年 CH_4 排放量及其所占比例分别增加到 0.176 Tg 和 17.66%,而 2010 年却分别下降至 0.089 Tg 和 12.63%。究其原因,自从进入 21 世纪,河南省掀起了外出打工的热潮,许多农户已不再进行反刍家畜养殖,使当地反刍家畜养殖数量大大减少,最终导致 CH_4 排放量也呈现下降趋势。

2.2.5 绵羊胃肠道 CH_4 排放格局变化

由图 5 可知,中国绵羊胃肠道 CH_4 排放主要集中在西北地区,2010 年,新疆、内蒙古、西藏、青海和甘肃等五个省份绵羊 CH_4 排放量占全国绵羊 CH_4 排放总量的 71.3%。其原因是绵羊一般抗干燥和寒冷,而对炎热不适应^[23]。

从绵羊胃肠道 CH_4 排放格局的历史变化来看,中国大多数省份绵羊胃肠道 CH_4 排放量均呈现先上升后下降的趋势,其中以新疆最为突出。1990 年新疆绵羊胃肠道 CH_4 排放量为 0.119 Tg,占中国绵羊胃肠道 CH_4 排放总量的 21.1%,2005 年 CH_4 排放量及其所占比例分别为 0.185 Tg 和 21.2%,而 2010 年却分别下降至为 0.124 Tg 和 17.9%。主要是因为随着劳动力和饲料成本的不断上升、牧区生态环境日益恶化、饲草短缺等,这些因素,都在一定程度上制约了当地养羊业的发展。

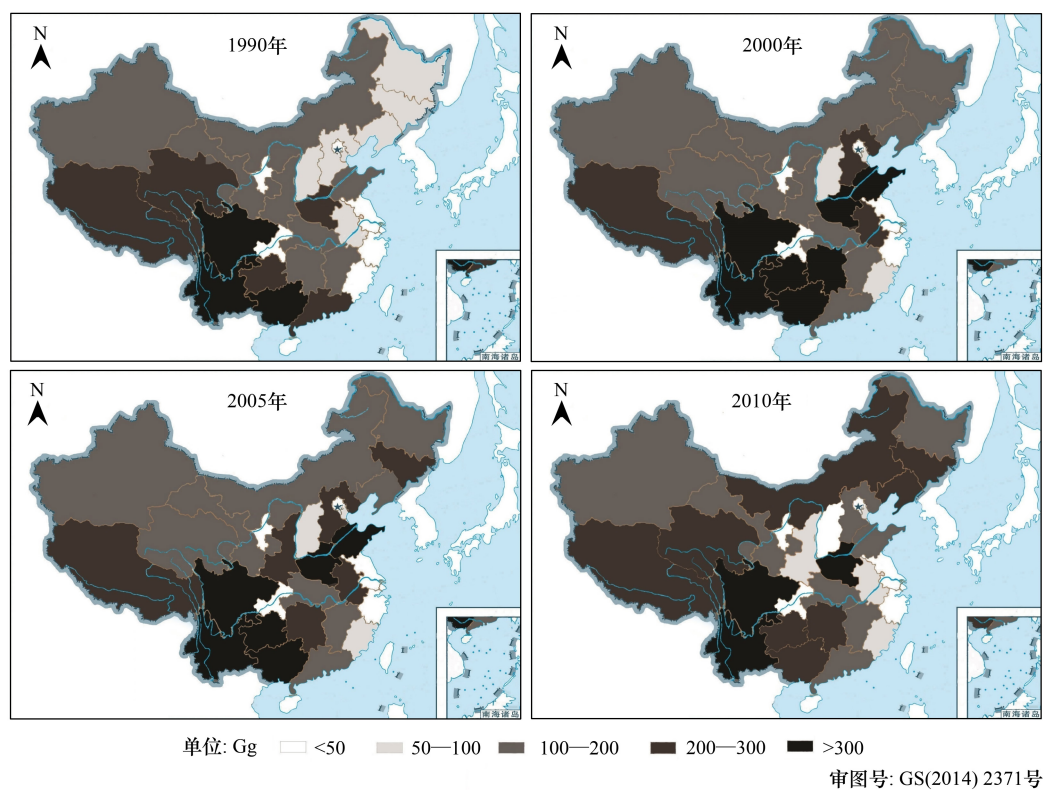


图 2 1990—2010 年中国肉役牛胃肠道 CH_4 排放格局变化

Fig. 2 The trends in distribution pattern of enteric CH_4 emissions from beef and draught cattle during 1990—2010

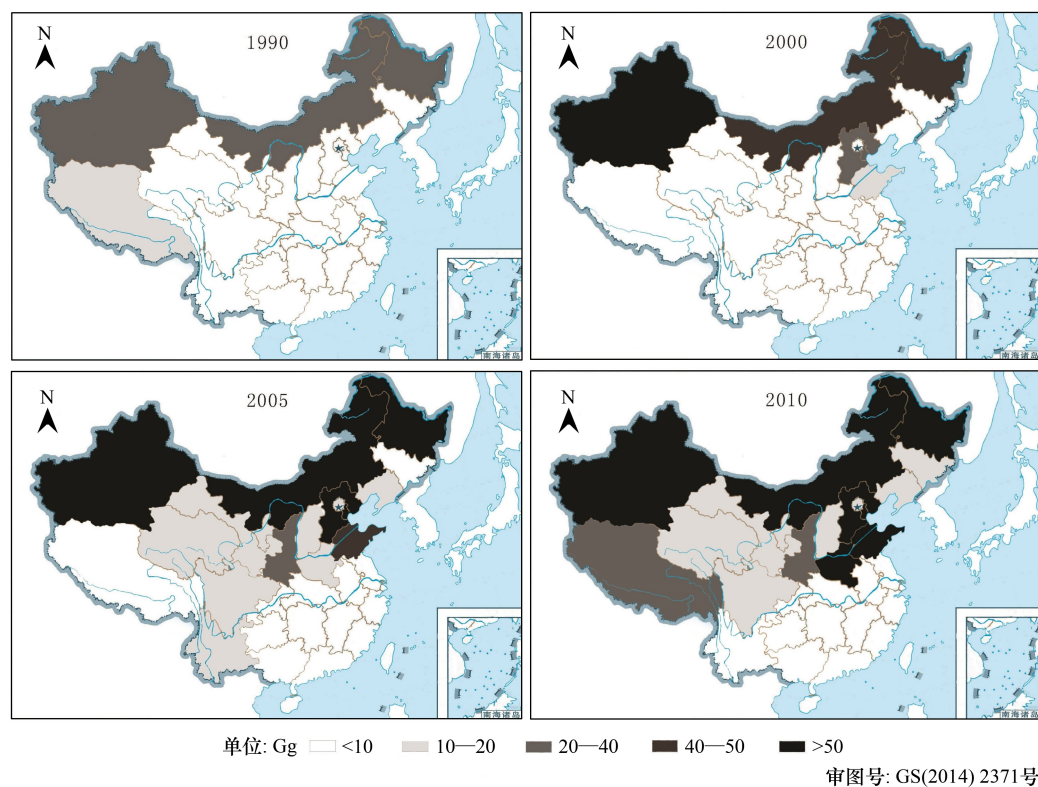
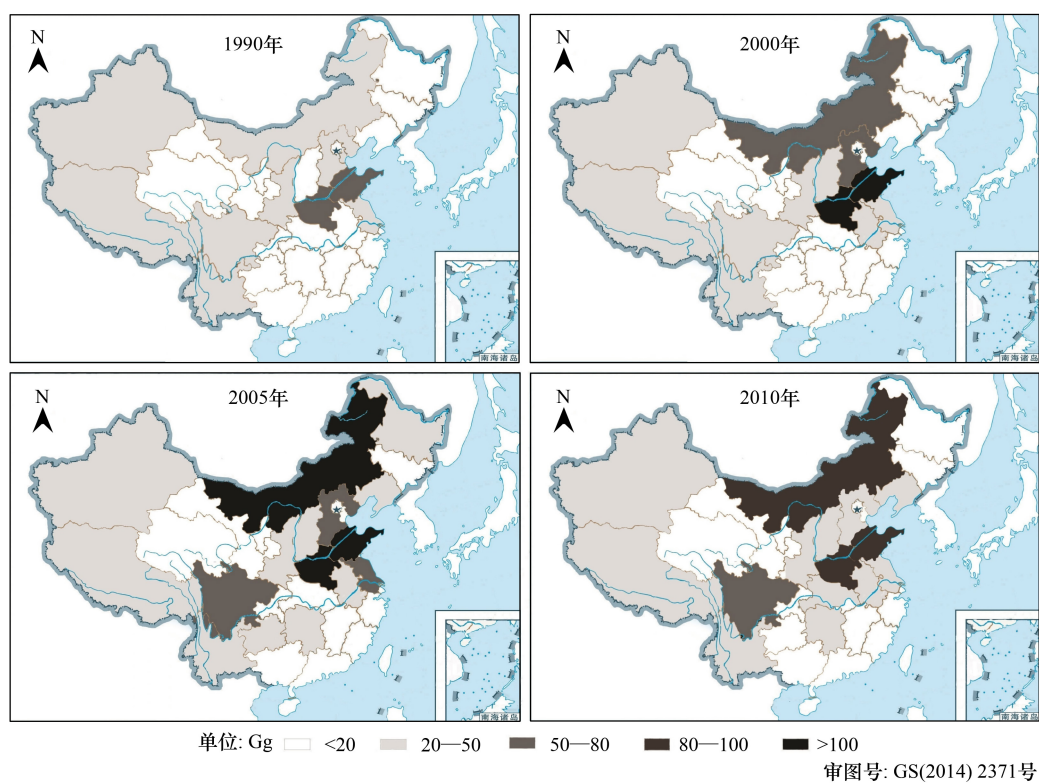
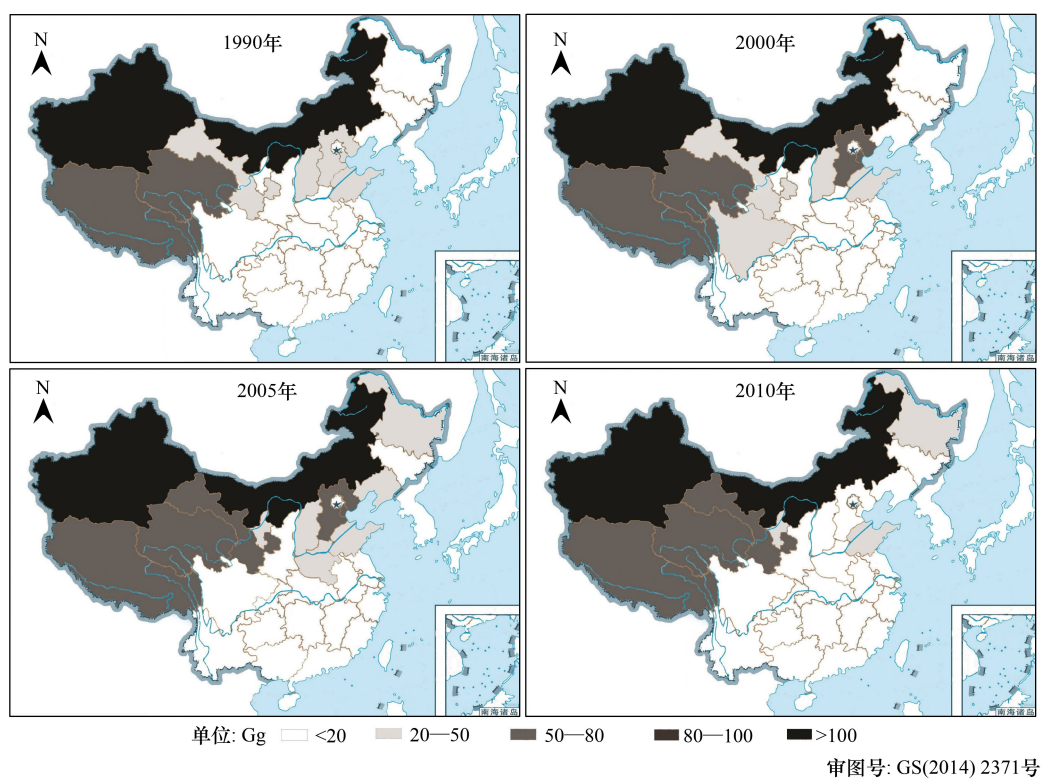


图 3 1990—2010 年中国奶牛胃肠道 CH_4 排放格局的变化

Fig. 3 The trends in distribution pattern of enteric CH_4 emissions from dairy cows during 1990—2010

图 4 1990—2010 年中国山羊胃肠道 CH_4 排放格局的变化Fig. 4 The trends in distribution pattern of enteric CH_4 emissions from goats during 1990—2010图 5 1990—2010 年中国绵羊胃肠道 CH_4 排放格局的变化Fig. 5 The trends in distribution pattern of enteric CH_4 emissions from sheep during 1990—2010

2.3 反刍家畜胃肠道甲烷排放的不确定因素分析

反刍家畜胃肠道 CH_4 排放系数是影响 CH_4 排放量的重要因素之一。目前,中国还没有符合估算本国畜禽温室气体特定的排放系数,本研究采用 IPCC 指南提供的缺省值,这两者之间存在明显差异。冯仰廉^[12]等报道,成年奶牛 CH_4 年排放量为 96.28 kg/头,远远高于 IPCC 指南提供的缺省值(奶牛 61 kg CH_4 /头/年)。但是,冯仰廉的试验结果是基于中国农业大学成年奶牛试验。获取中国奶牛甲烷排放系数还需要更多的省份和试验基地的数据支持。反刍家畜胃肠道 CH_4 排放系数受到许多因素的影响,例如,家畜的体重、生长发育阶段、饲养管理方式、生产水平、环境温度、饲料消化率和采食水平等,这些因素导致了 CH_4 排放系数的不确定性。Karimi-Zindashty^[24]等报道,产奶奶牛和非产奶奶牛胃肠道 CH_4 排放系数的不确定性分别为-19—20%和-21—24%。Monni 等^[25]评估芬兰全国范围内不同种类牛胃肠道 CH_4 排放系数,公布其不确定性范围为-29—39%。政府间气候变化委员会 2006 年公布的反刍家畜胃肠道 CH_4 排放系数的不确定性在 $\pm 30\%$ —50%^[13]。

许多国家同样也利用 IPCC Tier1 估算了当地家畜 CH_4 的排放量以及不确定性的范围。Kaharabata 等报道^[26],乳牛胃肠道 CH_4 排放的不确定性范围为 $\pm 30\%$ 。Rypdal 和 Winiwarter^[27]报道欧洲一些国家估算家畜胃肠道 CH_4 排放量的不确定性范围,其中英国和奥地利分别为 $\pm 20\%$ 和 $\pm 50\%$ 。这些研究结果表明,利用 IPCC Tier1 估算胃肠道 CH_4 排放的不确定性最高可达 $\pm 50\%$ 。为了能够降低家畜胃肠道 CH_4 估测的不确定性,IPCC 指南提供了 Tier 2 估算方法,IPCC Tier2 会考虑反刍家畜的体重、生长发育阶段、饲养管理方式、生产水平、环境温度、饲料消化率和采食水平等相关因素的影响,从而使家畜胃肠道 CH_4 排放量的估测精度大大增加。但是,由于受各类反刍家畜采食量、饲草情况和摄入总能等相关数据的限制,目前无法在全国尺度上利用 IPCC Tier2 估算家畜胃肠道 CH_4 排放量。

3 结论

中国肉役牛、绵羊和山羊胃肠道 CH_4 排放总量呈现先上升,后下降,最后趋于平稳的趋势,其中 CH_4 排放总量分别介于 4.33—6.01 Tg、0.55—0.76 Tg 和 0.46—0.76 Tg 之间。奶牛胃肠道 CH_4 排放总量呈现不断上升的趋势,2010 年达到 0.87 Tg,其中排放比例超过绵羊和山羊,但单位奶产量 CH_4 的排放量却逐年降低。从主要反刍家畜 CH_4 排放的格局特征来看,四川、内蒙古、河南和山东等农业大省的 CH_4 排放总量一直位居中国前列。1990—2010 年间,中国大多数省份反刍家畜胃肠道 CH_4 排放总量呈现先上升后下降的趋势,但内蒙古、西藏和甘肃等省却呈现逐渐上升趋势。根据目前中国反刍家畜饲养水平不高,可以通过优化饲料组成以提高反刍家畜对饲料的利用率和转化率,减少提高反刍家畜生产效率并减少甲烷排放量。

致谢:感谢中国科学院亚热带农业生态研究所谭支良研究员和王敏老师对英文摘要的修改。

参考文献 (References):

- [1] 李胜利, 金鑫, 范学珊, 黄文明, 曹志军. 反刍动物生产与碳减排措施. 动物营养学报, 2010, 22(1): 2-9.
- [2] Beauchemin K A, Kreuzer M, O' Mara F, McAllister T A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture, 2008, 48(2): 21-27.
- [3] 贺永惠, 王清华, 李杰. 降低反刍动物甲烷排放的研究进展. 黄牛杂志, 2001, 27(5): 47-50.
- [4] 钟华宜, 张平, 李铁军, 印遇龙. 广西反刍动物甲烷排放总量的估算. 广西农业生物科学, 2006, 25(3): 269-274.
- [5] 张仁健, 王明星, 李晶, 杨昕, 王秀玲. 中国甲烷排放现状. 气候与环境研究, 1999, 4(2): 194-202.
- [6] 游玉波, 董红敏. 家畜肠道和粪便甲烷排放研究进展. 农业工程学报, 2006, 22(S2): 193-196.
- [7] 高志岭, 马文奇. 反刍动物饲养中甲烷气体排放测定技术的研究进展. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11414-11418.
- [8] 董红敏, 林而达, 杨其长. 中国反刍动物甲烷排放量的初步估算及减缓技术. 农村生态环境, 1995, 11(3): 4-7.
- [9] 李玉娥, 饶敏杰. 动物废弃物源甲烷排放量的初步估算与减缓技术选择. 农村生态环境, 1995, 11(3): 8-10.
- [11] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252.

- [12] 冯仰廉, 李胜利, 赵广永, 张晓明, 莫放, 韩继福. 牛甲烷排放量的估测. 动物营养学报, 2012, 24(1): 1-7.
- [13] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and other Land Use. Geneva, Switzerland: IPCC, 2006.
- [14] 中国统计年鉴编辑委员会. 中国统计年鉴. 1990-2010 年卷.
- [15] 中国畜牧业年鉴编辑委员会. 中国畜牧业年鉴: 1990-1996. 1999-2010 年卷.
- [16] 袁鹏, 杨丽丽. 元旦春节临近, 枣庄牛肉每斤售价逼近 30 元. 大众网——齐鲁晚报, 2012-12-27.
- [17] 田文华, 刘福莲, 李智明. 剖析我国奶业发展形势. 中国牧业通讯, 2007, (16): 27-28.
- [18] 李胜利. 中国奶牛养殖产业发展现状及趋势. 中国畜牧杂志, 2008, 44(10): 45-49.
- [19] 国务院. 《国务院关于促进奶业持续健康发展的意见》(国发[2007]31 号), 2007 年 9 月 27 日.
- [20] 刘征, 庞连海. 我国养羊业的基本现状及发展前景. 中国畜禽种业, 2012, (5): 19-20.
- [21] 李秉龙, 李金亚. 我国肉羊产业的区域化布局、规模化经营与标准化生产. 中国畜牧杂志, 2012, 48(2): 56-58.
- [22] 赵保林, 张青艳, 闫振富, 王学彬. 禁牧舍饲对养羊业的影响及对策. 中国畜牧杂志, 2008, (S1): 206-209.
- [23] 葛延发, 李忠强, 程广仁. 绵羊的生物学特性及饲养管理技术. 当代畜牧, 2007, (11): 7-9.
- [24] Karimi-Zindashty Y, Macdonald J D, Desjardins R L, Worth D E, Hutchinson J J, Vergé X P C. Sources of uncertainty in the IPCC Tier 2 Canadian livestock model. The Journal of Agricultural Science, 2012, 150(5): 556-569.
- [25] Monni S, Perälä P, Regina K. Uncertainty in agricultural CH₄ and N₂O emissions from Finland—possibilities to increase accuracy in emission estimates. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 2007, 12(4): 545-571.
- [26] Kaharabata S K, Schuepp P H, Desjardins R L. Estimating methane emissions from dairy cattle housed in a barn and feedlot using an atmospheric tracer. Environmental Science and Technology, 2000, 34(15): 3296-3302.
- [27] Rypdal K, Winiwarter W. Uncertainties in greenhouse gas emission inventories—evaluation, comparability and implications. Environmental Science and Policy, 2001, 4(2-3): 107-116.