

吉林省农业温室气体排放核算及特征分析

那伟, 赵新颖, 高星爱, 王鑫, 祝延立* (吉林省农业科学院农村能源与生态研究所, 吉林长春 130033)

摘要 分析了吉林省农业生产温室气体排放系数, 对 2000—2014 年吉林省温室气体排放量进行了估算。结果表明: ①2000—2014 年吉林省温室气体排放量由 1 927.94 万 t 增长到 2 445.25 万 t, 经历了快速上升、快速下降和缓慢上升 3 个阶段, 目前吉林省正处于农业温室气体排放上升阶段, 减排压力较大; ②2000—2014 年吉林省温室气体中 CH_4 的排放贡献率为 41.41%, N_2O 的排放贡献率为 58.69%; ③2000—2014 年农用地 N_2O 是吉林省温室气体第一排放源, 年均所占比重为 46.32%, 其他温室气体排放量从大到小依次为动物肠道 CH_4 、动物粪便管理 N_2O 和稻田 CH_4 , 所占比重分别为 29.83%、14.11%、10.41%。最后, 依据吉林省温室气体排放量和结构特征, 从农业生产角度提出了减排措施。

关键词 温室气体; 核算; 农业; 吉林省

中图分类号 S181 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2016)34-0076-04

Estimation and Characteristics of Agricultural Greenhouse Gas Emissions in Jilin Province

NA Wei, ZHAO Xin-ying, GAO Xing-ai, ZHU Yan-li* (Institute of Rural Energy and Ecology, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun, Jilin 130033)

Abstract The agricultural production activity coefficient of greenhouse gas, and estimated the agricultural production greenhouse gas emissions in Jilin Province from 2000 to 2014 were analyzed. Results showed that: ① Agricultural greenhouse gas emissions increased from 19.279 4 million tons to 24.452 5 million tons in Jilin Province from 2000 to 2014. It experienced three stages of rapid rise stage, rapid decline stage and slow rise stage from 2000 to 2014. At present, the pressure to reduce emissions is increasing with the increase of agricultural greenhouse gas emissions in Jilin Province. ②The CH_4 emissions of greenhouse gases accounted for 41.41%, the N_2O emissions of greenhouse gas accounted for 58.69% in Jilin Province from 2000 to 2014. ③ N_2O emission of agricultural land was the first source of emissions in Jilin greenhouse gas emissions, accounted for annual average of 46.32% from 2000 to 2014. . Other greenhouse gas emissions in turn were animal intestinal fermentation CH_4 emission, animal waste management N_2O emission and paddy field CH_4 emission, accounted for 29.83%, 14.11% and 10.41%, respectively. Finally, the mitigation measures were put forward from the aspect of agricultural production according to emissions and structure characters of greenhouse gas in Jilin Province

Key words Greenhouse gas; Estimation; Agriculture; Jilin Province

大气中 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体引起的全球变暖已成为当今社会面临的重大挑战, 它们对全球变暖的贡献率分别为 60%、15% 和 5%^[1]。农业生产是温室气体的主要排放源之一, 大气中每年有 5%~20% 的 CO_2 来源于土壤^[2]; 农业土壤排放的 N_2O 约占人类活动 N_2O 总排放量的 52%^[3]; 稻田排放的 CH_4 占全球人为 CH_4 总排放量的 12%~16%^[4]。农业生产对温室气体总排放量的贡献率约为 20%^[5-6]。全球气候变化背景下, 农业活动温室气体排放越来越受到社会各界的关注。因此, 科学准确地核算温室气体排放量对于合理制订农业减排措施具有重要意义。

吉林省是我国农业大省, 种植业和养殖业发展水平较高, 农业生产活动中的温室气体排放量逐年增加。笔者借鉴前人研究, 根据《IPCC 国家温室气体清单指南》(简称《指南》)^[7]的计算方法, 对 2000—2014 年吉林省农业生产活动主要温室气体 CH_4 和 N_2O 的排放量进行核算, 分析吉林省温室气体的排放总量及其变化特征, 预测未来温室气体排放趋势, 提出农业节能减排的重点对象, 以期为吉林省制订合理的农业减排措施提供决策依据。

1 材料与方法

1.1 排放源及排放因子的确定

1.1.1 排放源。根据前人研究^[8-11], 结合吉林省农业生产的实际情况, 确定吉林省农业温室气体排放源主要包括 4 个部分: ①稻田 CH_4 排放; ②农用地施肥的 N_2O 排放; ③动物肠道发酵的 CH_4 排放; ④动物粪便管理过程中的 CH_4 和 N_2O 排放。

1.1.2 排放因子的确定。

1.1.2.1 稻田 CH_4 排放因子。依据吉林省稻田有机肥施用水平、管理模式、气候条件等因素, 结合《指南》推荐数值和相关研究^[12], 确定吉林省稻田 CH_4 排放因子为 168 kg/hm²。

1.1.2.2 农用地施肥 N_2O 排放因子。农用地 N_2O 排放分为直接排放和间接排放, 间接排放包括大气氮沉降、氮淋溶和径流损失。根据吉林省化肥、有机肥施用和秸秆还田输氮量的情况, 结合《指南》推荐的排放因子和相关研究^[8-10], 确定吉林省 N_2O 直接排放因子为 0.011 4 kg。间接排放排放因子采用《指南》推荐的排放因子, 即大气氮沉降引起的氮间接排放因子为 0.010 0 kg N_2O /kg N, 氮淋溶和径流损失引起的氮间接排放因子为 0.007 5 kg N_2O /kg N。

1.1.2.3 动物肠道 CH_4 排放因子。根据吉林省畜禽养殖结构特征, 结合相关研究^[9,13]与《指南》的推荐值和动物专家咨询数值, 确定吉林省各种动物肠道 CH_4 排放因子(表 1)。

1.1.2.4 动物粪便管理 CH_4 和 N_2O 排放因子。根据吉林省畜禽养殖结构特征, 结合相关研究^[9,13]与《指南》的推荐值和动物专家咨询数值, 确定吉林省动物粪便管理 CH_4 和 N_2O

基金项目 国家科技支撑计划项目(2012BAD14B05); 吉林省科技厅成果项目; 吉林省环保厅科研项目。

作者简介 那伟(1977—), 男, 吉林梅河口人, 副研究员, 博士, 从事循环农业与农村生态研究。* 通讯作者, 研究员, 硕士, 从事循环农业和农村生态研究。

收稿日期 2016-10-12

排放因子(表 2)。

1.2 估算方法

1.2.1 稻田 CH₄ 排放量。采用《指南》中的计算方法核算稻田 CH₄ 排放量,根据式(1)计算排放量:

$$E_{CH_4} = \sum EF \times AD_i \tag{1}$$

式中, E_{CH_4} 为稻田 CH₄ 排放总量; EF 为吉林省稻田 CH₄ 的排放因子; AD_i 为吉林省各地区的水稻播种面积; i 对应的吉林省不同地区。

表 1 动物肠道发酵 CH₄ 排放因子
Table 1 Emission factors of animal intestinal fermentation CH₄

排放源 Emission source	规模化饲养 Large-scale feeding	农户散养 Household's scatter breeding	放牧饲养 Free-range raising
奶牛 Dairy cow	88.100	89.300	99.300
非奶牛 Non dairy cow	52.900	67.900	85.300
绵羊 Sheep	8.200	8.700	7.500
山羊 Goat	8.900	9.400	6.700
猪 Pig	1.000		
马 Horse	18.000		
驴/骡 Mule	10.000		
鹿 Deer	8.000		

1.2.2 农用地 N₂O 排放量。农用地 N₂O 排放量等于各类排放过程的氮输入量乘以相应的 N₂O 排放因子,如式(2)所示:

$$E_{N_2O} = \sum (N_{\text{输入}} \times EF) \tag{2}$$

式中, E_{N_2O} 为农用地 N₂O 排放总量(包括直接排放和间接排放); $N_{\text{输入}}$ 为吉林省各排放过程的氮输入量; EF 为对应的 N₂O 排放因子。

1.2.2.1 农用地 N₂O 直接排放量。农用地氮输入量主要包括化肥氮(氮肥和复合肥中的氮)($N_{\text{化肥}}$)、粪肥氮($N_{\text{粪肥}}$)、秸秆还田氮(包括地上秸秆还田氮和地下根氮)($N_{\text{秸秆}}$)。根据

式(3)计算农用地 N₂O 直接排放量, $N_{\text{化肥}}$ 采用式(4)估算, $N_{\text{粪肥}}$ 采用公式(5)计算, $N_{\text{秸秆}}$ 采用公式(6)估算。

$$N_{2O\text{直接}} = (N_{\text{化肥}} + N_{\text{粪肥}} + N_{\text{秸秆}}) \times EF_{\text{直接}} \tag{3}$$

$$N_{\text{化肥}} = N_{\text{氮肥}} + N_{\text{复合肥}} \tag{4}$$

$$N_{\text{粪肥}} = [(\text{粪肥总排泄氮量} - \text{放牧} - \text{做燃料}) + \text{乡村人口总排泄氮量}] \times (1 - \text{淋溶径流损失率} 15\% - \text{挥发损失率} 20\%) - \text{畜禽封闭管理系统 } N_2O \text{ 排放量} \tag{5}$$

$$N_{\text{秸秆}} = \text{地上秸秆还田氮量} + \text{地下根氮量} = (\text{作物籽粒产量} / \text{经济系数} - \text{作物籽粒产量}) \times \text{秸秆还田率} \times \text{秸秆含氮率} + \text{作物籽粒产} / \text{经济系数} \times \text{根冠比} \times \text{根或秸秆含氮率} \tag{6}$$

根据吉林省种植结构、秸秆还田情况、有机肥及化肥使用情况,通过实地调查获得各类农作物性状情况(表 3)。

1.2.2.2 农用地 N₂O 间接排放量。农用地 N₂O 间接排放($N_{2O\text{间接}}$)源于施肥土壤和畜禽粪便 NO_x 和 NH₃ 挥发经过大气氮沉降,引起的 N₂O_{沉降}排放及土壤淋溶或者径流损失进入水体而引起的 N₂O_{淋溶}排放。

表 2 动物粪便管理 CH₄ 及 N₂O 排放因子
Table 2 Emission factors of animal waste management CH₄ and N₂O

排放源 Emission source	CH ₄ 排放因子 CH ₄ emission factor	N ₂ O 排放因子 N ₂ O emission factor
奶牛 Dairy cow	2.230	1.096
非奶牛 Non dairy cow	1.020	0.913
绵羊 Sheep	0.150	0.057
山羊 Goat	0.160	0.057
猪 Pig	1.120	0.266
家禽 Poultry	0.010	0.007
马 Horse	1.090	0.330
驴/骡 Mule	0.600	0.188
鹿 Deer	0.500	0.120

表 3 吉林省主要农作物参数及还田比例
Table 3 Parameters and returning proportion of major crop in Jilin Province

农作物 Crop	干重比 Dry weight ratio	籽粒含氮量 Grain nitrogen content // t/t	秸秆含氮量 Straw nitrogen content // t/t	经济系数 Economic coefficient	根冠比 Root-shoot ratio	秸秆还田比例 Straw return proportion // %
水稻 Rice	0.855	0.010 0	0.006 6	0.564	0.125	4.10
玉米 Corn	0.860	0.012 4	0.007 1	0.515	0.170	4.13
大豆 Soybean	0.860	0.057 0	0.017 6	0.440	0.130	0.60
高粱 Sorghum	0.870	0.017 0	0.007 3	0.393	0.185	4.00
蔬菜 Vegetable	0.150	0.008 0	0.008 0	0.830	0.250	1.20
葵花籽 Sunflower seed	0.900	0.050 0	0.013 1	0.385	0.180	0.60
烟叶 Tobacco leaves	0.830	0.041 0	0.014 4	0.830	0.200	1.00
麻类 Fiber crops	0.830	0.013 1	0.013 1	0.830	0.200	0
小麦 Wheat	0.870	0.014 0	0.005 2	0.434	0.166	0.80

(1)大气氮沉降引起的 N₂O 间接排放量。大气氮沉降引起的 N₂O 排放量用式(7)计算,大气氮主要来源于畜禽粪便($N_{\text{畜禽}}$)和农用地氮输入($N_{\text{输入}}$)的 NH₃ 和 NO_x 挥发。由于当地缺少 $N_{\text{畜禽}}$ 和 $N_{\text{输入}}$ 的挥发率观测数据,因此根据《指南》提供的推荐值,分别将其确定为 20% 和 10%。排放因子采用 IPCC 的排放因子 0.01。

$$N_{2O\text{沉降}} = (N_{\text{畜禽}} \times 20\% + N_{\text{输入}} \times 10\%) \times 0.010 0 \tag{7}$$

(2)淋溶径流引起的 N₂O 间接排放量。农田氮淋溶和径流引起的 N₂O 间接排放量采用式(8)计算,其中,氮淋溶和径流损失的氮量占农用地总氮输入量的 20%。

$$N_{2O\text{淋溶和径流}} = N_{\text{输入}} \times 20\% \times 0.007 5 \tag{8}$$

1.2.3 动物肠道 CH₄ 排放量。按照《指南》中的计算方法核算动物肠道发酵 CH₄ 排放量,计算见下:

$$E_{CH_4, \text{肠道}, i} = \sum EF_{CH_4, \text{肠道}, i} \times AP_i \tag{9}$$

式中, $E_{CH_4, \text{肠道}, i}$ 为 i 动物肠道 CH_4 排放量, 万 t/a; $EF_{CH_4, \text{肠道}, i}$ 为 i 动物肠道 CH_4 排放因子, kg/(头·a); AP_i 为 i 动物的数量。

1.2.4 动物粪便管理 CH_4 和 N_2O 排放量。

1.2.4.1 动物粪便管理 CH_4 排放量。按照《指南》中的计算方法核算吉林省动物粪便管理 CH_4 排放量。计算公式见下:

$$E_{CH_4, \text{粪便}, i} = EF_{CH_4, \text{粪便}, i} \times AP_i \quad (11)$$

式中, $E_{CH_4, \text{粪便}, i}$ 为吉林省 i 动物粪便管理 CH_4 排放量; $EF_{CH_4, \text{粪便}, i}$ 为吉林省 i 动物粪便管理 CH_4 排放因子; AP_i 为吉林省 i 动物的数量。

1.2.4.2 动物粪便管理 N_2O 排放量。按照《指南》中的计算方法核算吉林省动物粪便管理 N_2O 排放量, 计算公式见下:

$$E_{N_2O, \text{粪便}, i} = EF_{N_2O, \text{粪便}, i} \times AP_i \quad (12)$$

式中, $E_{N_2O, \text{粪便}, i}$ 为 i 动物粪便管理 N_2O 排放量; $EF_{N_2O, \text{粪便}, i}$ 为 i 动物粪便管理 N_2O 排放因子; AP_i 为 i 动物的数量。

1.3 温室气体排放总量计算 由于 CH_4 和 N_2O 的增温效应各不相同, 它们对全球变暖的影响亦不相同。为了统一比较, 根据《指南》中的评估数据, 确定 CH_4 和 N_2O 的增温潜势分别是 CO_2 的 21 和 310 倍, 按照该换算系数将 CH_4 和 N_2O 转化为等量 CO_2 , 计算温室气体排放总量。

2 结果与分析

2.1 农业生产温室气体排放总量变化 从图 1 可以看出, 吉林省农业温室气体排放总量由 2000 年的 1 927.94 万 t 增长到 2014 年的 2 445.25 万 t, 增加了 517.31 万 t, 年均增长 1.71%。其中, CH_4 由 2000 年的 801.65 万 t 增加到 2014 年的 911.93 万 t, 年均增长 0.90%, CH_4 排放对温室气体的年均增温贡献为 41.41%。 N_2O 由 2000 年的 1 126.29 万 t 增加到 2014 年的 1 533.32 万 t, 年均增长 2.23%, N_2O 排放对温室气体的年均增温贡献为 58.59%。可见, N_2O 排放是吉林省农业活动温室气体排放的主要来源。

根据图 1 可将吉林省农业温室气体排放总量变化分为 3 个阶段: 第 1 阶段: 2000—2008 年快速增长阶段, 该阶段种植规模不断扩大, 农作物施用化肥量不断增大, 养殖业规模化程度加快, 温室气体排放量由 2000 年的 1 927.94 万 t 增加到 2008 年的 2 833.81 万 t, 年均增长 4.93%; 第 2 阶段: 2008—2010 年, 受畜禽疫病和农产品市场的影响, 养殖规模急剧下降, 种植规模和结构调整, 2010 年温室气体排放量为 2 312.95 万 t, 比 2008 年下降了 520.86 万 t; 第 3 阶段, 2010—2014 年温室气体排放量缓慢增长, 年均增长 1.40%。

2.2 农业生产温室气体排放结构(图 2)

2.2.1 稻田 CH_4 排放量。吉林省稻田 CH_4 排放受稻米种植面积变化的直接影响。2000—2014 年吉林省水稻种植面积增加了 26.32 万 hm^2 。稻田 CH_4 由 2000 年的 170.72 万 t 增加到 2014 年的 263.58 万 t, 年均增长 3.15%。2000—2014 年吉林省稻田 CH_4 排放量总体持续增长, 对温室气体排放的贡献率年均均为 10.41%。

2.2.2 农用地 N_2O 排放量。农用地 N_2O 的排放总量由 2000 年的 871.10 万 t 增加到 2014 年的 1 280.30 万 t, 年均增长 2.78%。吉林省种植业规模逐年扩大, 化肥施用量大, 农作

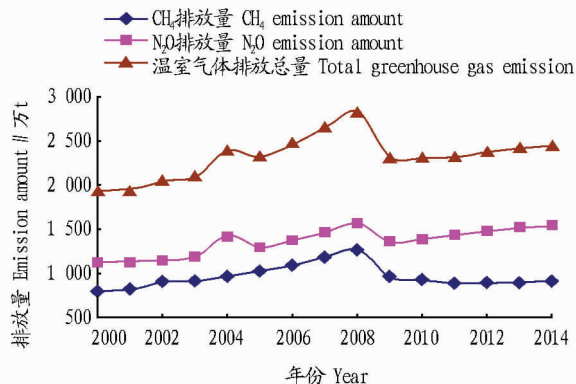


图 1 2000—2014 年吉林省农业生产温室气体排放总量

Fig. 1 Total agricultural greenhouse gas emission in Jilin Province from 2000 to 2014

物秸秆还田利用效率低下是农用地 N_2O 排放的重要原因。据核算, 2000—2014 年农用地 N_2O 的年均排放量占温室气体排放总量的 46.32%, 是吉林省农业活动温室气体第一大排放源。

农用地 N_2O 的排放包括直接排放和间接排放。2000—2014 年吉林省农用地 N_2O 直接排放量由 1.37 万 t 增加到 2.63 万 t, 年均增长 2.94%, 间接排放量由 0.42 万 t 增加到 0.57 万 t, 年均增长 2.19%。2000—2014 年吉林省农用地直接排放量占年均农用地 N_2O 排放总量的 77.10%, 间接排放为 22.90%。可见, 直接排放是农用地 N_2O 的排放的主体。

2000—2014 年农用地输入氮量由 2000 年的 120.18 万 t 增长到 2014 年的 180.35 万 t, 年均增长 2.94%。2000 年以来, 吉林省种植业规模不断扩大, 化肥施用量大, 秸秆还田利用效率低下, 导致农用地温室气体直接排放量加速增长。

2.2.3 动物肠道 CH_4 排放量。吉林省动物肠道 CH_4 排放与饲养动物数量、种类、饲料、饲养方式等相关, 2000—2014 年动物肠道 CH_4 排放量变化较大。2000—2008 年动物肠道 CH_4 排放量快速增加, 年均增长 6.40%; 2009—2011 年受动物疫病和畜产品市场波动影响, 畜禽养殖规模大幅下降, 温室气体排放量迅速下降, 2011 年比 2008 年下降 366 万 t; 2012—2014 年温室气体排放量缓慢增长。2000—2014 年动物肠道 CH_4 年均排放量占温室气体排放总量的 29.83%。可见, 动物肠道 CH_4 排放是吉林省农业活动温室气体第二大排放源。

2.2.4 动物粪便管理 CH_4 和 N_2O 排放量。动物粪便管理温室气体的排放包括畜禽粪便施入土壤前粪便贮存和处理所产生的甲烷和氧化亚氮, 与畜禽饲养种类、粪便数量、管理方式和当地气候条件有关。2000—2014 年动物粪便管理温室气体排放量与动物肠道温室气体的变化规律相似。2000—2008 年动物粪便管理温室气体排放量持续增加, 年均增长 5.76%; 2009—2011 年由于养殖规模大幅下降, 动物粪便管理温室气体排放量迅速下降; 2011—2014 年温室气体排放量缓慢增长。2000—2014 年动物粪便管理温室气体年均排放量占温室气体排放总量的 14.11%, 是吉林省农业活动温室气体第三大排放源。

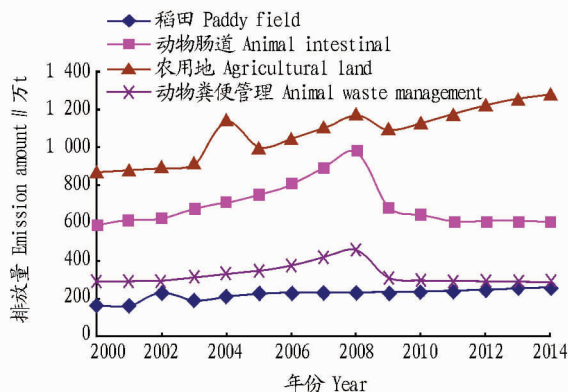


图2 2000—2014年吉林省农业生产温室气体排放结构

Fig. 2 Structure of agricultural greenhouse gas emission in Jilin Province from 2000 to 2014

3 结论与建议

3.1 结论

(1) 2000—2014年吉林省农业活动温室气体总量由1 927.94万t增长到2 445.25万t,年均增长1.72%。其中, CH_4 排放量为由801.65万t增加到911.93万t,年均增长0.92%; N_2O 由1 126.29万t增加到1 533.32万t,年均增长2.22%。从增温潜势看, N_2O 是温室气体排放的主要来源,占全部温室气体年均排放总量的58.59%。

(2) 从吉林省农业温室气体排放源看,农用地 N_2O 是吉林省温室气体第一大排放源,年均排放量占温室气体排放总量的46.32%;其次是动物肠道 CH_4 ,年均排放量占温室气体排放总量的29.83%;第三位是动物粪便管理,年均排放量占温室气体排放总量的14.11%,稻田 CH_4 年均排放量占温室气体排放量的10.41%。

(3) 2000—2014年吉林省农业生产温室气体排放经历了持续增长、快速下降、缓慢上升3个阶段。2000—2008年种植业规模不断扩大,化肥施用量大幅增加,秸秆资源利用效率低,养殖规模快速增长,导致这个阶段的温室气体排放量持续增长;2009—2011年受动物疫病和畜产品市场波动的影响,养殖规模急剧缩小,温室气体排放量快速下降;2012—2014年养殖规模缓慢增长,种植业规模扩大,温室气体排放量出现缓慢增长,并呈现增长态势,减排压力增大。

3.2 建议

3.2.1 改进种植生产方式,减少农田 N_2O 排放。农用地 N_2O 是吉林省农业温室气体排放的第一大排放源。因此,从农业生产活动角度,减少化肥施用量,提高氮肥利用效率,改进生产方式,减少农用地 N_2O 排放量。首先,在吉林省推广测土配方施肥,提高氮肥利用效率。据试验研究,氮肥利用率从20%提高到30%,可相应降低10%的 N_2O 排放量^[14-16]。其次,增施缓释肥和长效肥料,降低农田 N_2O 排放量。

3.2.2 改善饲料质量,优化饲养方式,减少动物肠道发酵 CH_4 排放。动物肠道 CH_4 排放是吉林省农业温室气体第二大排放源,来源于养殖业的第一大排放源。董红敏等^[17]研究表明,动物肠道 CH_4 排放与动物体重和饲料采食量呈正相

关,与饲料消化率相关。因此,提高饲料质量、优化饲养方式、提高动物生产力可有效减少动物 CH_4 排放量。首先,大力推广秸秆青贮、氨化饲料化技术,提高饲料质量。秸秆是反刍动物饲养的重要日粮成分,其纤维素含量高、能量含量低,有利于维持瘤胃的正常功能。通过青贮和氨化等措施处理秸秆,可有效提高秸秆的适口性和消化率,提高秸秆饲料利用率,减少动物肠道甲烷排放量。其次,构建吉林省饲料粮生产标准,合理搭配日粮,优化饲养方式。调整饲料粮的粗细搭配,优化粗饲料的粗纤维,提高动物能量的摄入水平及动物生产力。

3.2.3 改善粪便管理和处理方式,促进畜禽粪便资源化利用。动物粪便管理 N_2O 和 CH_4 排放是吉林省农业温室气体中来源于养殖业的又一大排放源。樊霞等^[18]研究表明,动物粪便管理的温室气体排放与动物采食饲料的能量和消化率、粪便液体程度呈正相关。因此,针对动物粪便的处理方式,重点对排放潜力大的粪便减少液体贮存方式,并通过厌氧发酵回收 CH_4 ,减少温室气体排放量。首先,大力发展畜禽粪便干燥处理加工有机肥,减少液体粪便的堆放量,从而减少温室气体排放量,同时提供优质的有机肥,提高农业废弃物利用效率;其次,大力发展大中型沼气工程,优化畜禽粪便预处理技术,通过干清粪和固体液体分离改变清粪方式,实现湿清粪为干清粪,提高粪便收集率,提高沼气产气效率,替代化石能源消费,从而有效减少温室气体排放量。

3.2.4 改善稻田种植方式,减小 CH_4 排放量。稻田 CH_4 排放是种植业 CH_4 排放的主要来源,主要与种植方式、施肥和品种相关。首先,改变稻田的水分管理,改变甲烷菌生存的厌氧环境,控制 CH_4 的产生和排放,实施间歇性灌溉;其次,利用沼肥替代农家有机肥,以有效减少 CH_4 排放;最后,推广种植生物总量大的杂交水稻品种。李晶等^[19]研究表明,杂交水稻生物总量大,可将更多的碳固定在植株上,减少 CH_4 排放量。因此,推广种植杂交水稻既可以提高水稻产量,又能降低 CH_4 排放量。

参考文献

- [1] IPCC. Climate change mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]//Cambridge united kingdom cambridge university Press, 2007:63-67.
- [2] ZHENG X, HUANG Y, WANG Y, et al. Seasonal characteristics of nitric oxide emission from a typical chinese rice-wheat rotation during the non-waterlogged period[J]. Global change biology, 2003, 9(2): 219-227.
- [3] 彭晓培. 六氟化硫示踪法估算反刍动物(牛)甲烷排放量的研究[D]. 华南农业大学, 2002.
- [4] 樊霞. 肉牛甲烷排放与粪便肥料成分含量快速预测方法和模型的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [5] 李娜, 董红敏, 孟海岭. 冬季猪场污水处理设施温室气体排放测试[J]. 农业工程学报, 2006, 22(S2): 202-206.
- [6] IPCC. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, volume 4 - Agriculture, forestry and other land use[M]//Prepared by the IPCC national greenhouse gas inventories program. Kanagawa, Japan: IGES, Japan, 2006.
- [7] IPCC 国家温室气体清单工作组. IPCC 国家温室气体清单指南[M]. 京都: 日本全球环境战略研究所(IGES), 2006.
- [8] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 269-273.

(下转第81页)

2.2 标准曲线 分别吸取一定浓度的丙烯腈中间液,用去离子水配制成系列标准工作溶液,浓度依次为 0.2、0.5、1.0、3.0、10.0 mg/L。配制好的标准溶液在上述色谱分析条件下直接进样,测定结果以峰高作为纵坐标,质量浓度作为横坐标绘制标准曲线,得到回归方程 $y = 0.932\ 8x + 0.017\ 7$,相关系数 $r = 0.999\ 5$ 。结果表明,丙烯腈的质量浓度与仪器响应值呈很好的线性关系,这与姜燕等^[10]的研究结果一致。

2.3 检出限 根据《环境监测 分析方法标准制修订技术导则》^[11]的要求,对于空白试验中未检测出目标物质的,应按照样品分析的全部步骤对以浓度或含量为估计方法检出限值 2~5 倍的样品进行 n 次 ($n \geq 7$) 平行测定,通过计算 n 次平行测定的标准偏差来计算方法检出限,即 $MDL = t_{(n-1,0.99)} \cdot S$ 。笔者采用浓度为 0.2 mg/L 的标准溶液进行了 7 次平行测定,得到丙烯腈的标准偏差 (S) 为 0.009 4,该方法的检出限为 0.03 mg/L。该检出限低于地表水环境质量和渔业水质的标准限值,能够达到环境监测的技术要求。

2.4 精密度和准确度 任意选用 1 个水样进行加标回收试验,在该水样中加入丙烯腈标准溶液,使样品中丙烯腈的浓度分别为 0.2、0.5 mg/L。将这 2 个不同浓度的样品分别进行 6 次平行测定,测定结果见表 1。由表 1 可知,平行样品的相对标准偏差均低于 5.000%,表明该方法具有较好的稳定性。从加标回收的试验结果来看,平均回收率为 95.7%~101.0%,表明该方法的准确度良好,能够满足检测需求。对比其他研究结果^[12],发现利用毛细管柱直接进样测定丙烯腈是一种可行的方法。

3 结论

该研究采用强极性色谱柱小体积直接进样具有操作简便、无有机溶剂损耗的优点。通过优化试验条件,运用 FID 检测器分析丙烯腈可得到较好的精密度和准确度,标准曲线的相关系数和方法检出限均能达到检测要求,表明该方法能够适用于地表水常规水样的测定。

表 1 精密度和加标回收率
Table 1 The precision and recovery rate

平行次数 Parallel times	精密度 Precision//mg/L	
	0.2 mg/L	0.5 mg/L
1	0.184	0.509
2	0.189	0.516
3	0.204	0.506
4	0.187	0.504
5	0.200	0.491
6	0.186	0.509
本底值 Background value//mg/L	ND	ND
平均值 Mean//mg/L	0.191	0.506
相对标准偏差 RSD//%	4.300	1.600
平均回收率 Average recovery//%	95.700	101.000

注:ND 表示未检出。
Note:ND stands for not detected.

参考文献

[1] 龙加洪,谭菊,王燕,等.吹扫捕集-气相色谱法测定水中乙醛、丙烯醛和丙烯腈的方法研究[J].环境科学与管理,2013,38(2):128-132.
[2] 郑锦辉,李津津.顶空气相色谱法测定水中乙醛、丙烯醛、丙烯腈和吡啶[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2016,34(3):85-88.
[3] 吴银菊,龙加洪,许雄飞,等.水中乙醛、丙烯醛和丙烯腈 3 种测定方法的对比[J].环境监测管理与技术,2013,25(2):50-53.
[4] 胡小芳,曾东宝,巢猛.顶空气相色谱法测定水中丙烯腈的研究[J].环境研究与监测,2010,22(1):6-7.
[5] 杜新丽.气相色谱法测定水中乙腈、丙烯腈[J].陕西环境,1997,4(3):18-20.
[6] 中国环境科学研究院.地表水环境质量标准:GB 3838—2002[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
[7] 渔业水质标准修订组.渔业水质标准:GB 11607—89[S].北京:中国标准出版社,1990.
[8] 中国疾病预防控制中心环境与健康相关产品安全所.生活饮用水标准检验方法 有机物指标:GB/T 5750.8—2006[S].北京:中国标准出版社,2007.
[9] 国家环境保护总局.水质 丙烯腈的测定 气相色谱法:HJ/T 73—2001[S].北京:中国环境科学出版社,2001.
[10] 姜燕,冷俊,张益民.直接进样气相色谱法同时测定水中二甲亚砷、二甲砷、丙烯腈和环丁砜[J].环境科技,2013,26(5):52-54.
[11] 环境保护部环境监测 分析方法标准制修订技术导则:HJ 168—2010[S].北京:中国环境科学出版社,2010.
[12] 徐立,刘正丹,曹美龄.氢火焰-气相色谱法测定水中乙腈和丙烯腈的应用[J].中国卫生检验杂志,2010,20(12):3530-3531.

(上接第 79 页)

[9] 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.
[10] 李苒.安徽省农业温室气体排放核算与特征分析[J].河南农业科学,2014,43(12):77-82.
[11] 杨谨,鞠丽萍,陈彬.重庆市温室气体排放清单研究与核算[J].中国人口·资源与环境,2012,22(3):63-69.
[12] 王明星.中国稻田甲烷排放[M].北京:科学出版社,2001:216-219.
[13] 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.
[14] 焦燕,黄耀.影响农田氧化亚氮排放过程的土壤因素[J].气候与环境

研究,2003,18(14):457-466.
[15] 于萍萍,张进忠,林存刚.农田土壤 N₂O 排放过程影响因素研究进展[J].环境与可持续发展,2006(5):20-22.
[16] 黄耀.中国反刍温室气体排放、减排措施与对策[J].第四纪研究,2006,26(5):722-732.
[17] 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[J].农村生态环境,1995,11(3):4-7.
[18] 樊霞,董红敏,韩鲁佳,等.肉牛甲烷排放影响因素的试验研究[J].农业工程学报,2006,22(8):179-183.
[19] 李晶,王明星,陈德章.水稻田甲烷的减排方法研究及评价[J].大气科学,1998,22(3):354-362.