

# 黑龙江省农业温室气体排放量的估算研究及 低碳农业发展建议

刘 杰<sup>1</sup>, 王 粟<sup>1</sup>, 柴永山<sup>2</sup>, 裴占江<sup>1</sup>, 史风梅<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省农业科学院 农村能源研究所/农业部种养结合重点实验室/黑龙江省秸秆能源化  
重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**农业生产过程产生的温室气体在全球温室气体排放总量中占有较大比例, 黑龙江省作为中国重要的农业大省, 其农业温室气体排放的估算分析, 对实现农业低碳减排具有重要意义。基于 2005-2015 年黑龙江农业生产数据, 估算了农业生产过程中主要排放源  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放量, 并提出了低碳农业发展的规划建议。结果表明: 2015 年, 黑龙江省农业温室气体排放总量已上升至 117.845 万 t, 其中养殖业温室气体排放总量达 51.967 万 t, 主要来自反刍畜禽肠道内发酵  $\text{CH}_4$  排放, 以及畜禽粪便管理过程  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放, 分别达到了 48.527 万、2.058 万和 1.382 万 t; 种植业温室气体排放量达 65.878 万 t, 主要来自水稻种植  $\text{CH}_4$  排放, 以及农业种植土壤底和施肥  $\text{N}_2\text{O}$  的排放, 分别达到了 61.949 万、2.764 万和 1.165 万 t。

**关键词:** 黑龙江省; 农业温室气体; 排放估算; 低碳农业

**中图分类号:** F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-2767(2017)10-0104-07 DOI: 10.11942/j.issn1002-2767.2017.10.0104

随着全球经济和社会的发展, 人类生产活动排放大量温室气体导致全球气候变暖已是不争的科学事实<sup>[1-2]</sup>。据 2010 年数据显示, 中国农业温室气体排放达 15.9 亿 t  $\text{CO}_2$  当量, 占世界农业领域温室气体排放总量的 33.69%<sup>[3-5]</sup>, 成为目前农业温室气体排放量最大、增长速度最快的国家<sup>[5-6]</sup>。

我国农业温室气体排放的主要来源包含动物肠道和粪便管理中的  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放、稻田  $\text{CH}_4$  排放、农地管理中的间接和直接排放、以及农作物残余物燃烧排放<sup>[7-8]</sup>。研究数据表明<sup>[9-10]</sup>, 2005 年全球  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放量分别达到了 66.07 亿 t 和 37.89 亿 t  $\text{CO}_2$  当量, 农业活动产生的温室气体  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  排放量分别占 43.10% 和 82.56%, 而种植业和养殖业的温室气体排放可占全球排放量的 30% 和 18%; 董红敏等<sup>[11]</sup>估算了 1994-2004 年中国农业温室气体排放情况, 结果表明, 农业活动  $\text{CH}_4$  排放量为 1 719.6 万 t, 占全国  $\text{CH}_4$  排放总量 50.15%; 阎继胜等<sup>[12]</sup>研究

结果表明, 1991-2008 年中国种植业  $\text{CH}_4$  排放量呈下降趋势, 从 999.5 万 t 下降到 931.44 万 t, 而  $\text{N}_2\text{O}$  排放量却由 34.67 万 t 增加到 48.74 万 t; 胡向东等<sup>[13]</sup>测算了中国 1949-2003 年畜禽的温室气体排放量, 结果表明, 1949-2003 年中国畜禽的温室气体排放总量从 0.82 亿 t  $\text{CO}_2$  当量增加到 2003 年的 3.10 亿 t  $\text{CO}_2$  当量。

黑龙江省是我国重要的农业大省, 种植业粮食产量占全国的 10% 以上, 畜禽养殖量及其副产品占全国的 6%, 农业温室气体排放不容忽视, 而发展低碳农业、减少农业源温室气体排放, 对缓解我国乃至全球气候变暖都具有重要意义<sup>[14-15]</sup>。本文通过测算 2005-2015 年黑龙江省农业生产的温室气体排放情况, 分析温室气体排放各因素的时空变化趋势, 对黑龙江省低碳农业发展提出切实可行的规划建议, 从而为把握黑龙江省农业温室气体排放结构提供数据支撑, 为制定相关节能减排政策提供理论依据。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

本研究所需数据来自 2010-2015 年《黑龙江省统计年鉴》《中国农业年鉴》和《中国畜牧年鉴》等相关资料。农业温室气体排放部分补充数据通过布点, 采用采样箱法获得。其中动态式箱主要用于开放畜舍、粪污堆放处理的温室气体采样检测。静态式箱主要用于粪污添加施肥的温室气体

收稿日期: 2017-08-13

基金项目: 中国清洁发展机制基金资助项目(2014101); 中国农业国际交流与合作资助项目(2130114)

第一作者简介: 刘杰(1974-), 男, 黑龙江省延寿县, 博士, 研究员, 从事农村能源与生态环境领域研究。E-mail: liujie1677@126.com。

通讯作者简介: 柴永山(1961-), 男, 黑龙江省哈尔滨市人, 硕士, 研究员, 从事遗传育种与高产栽培领域研究。E-mail: mdjcsy@126.com。

排放检测。

1.2 方法

田间温室气体排放检测采用静态式箱—气相色谱法,测定 N<sub>2</sub>O 和 CH<sub>4</sub> 浓度,再利用内插法计算未检测日之间的温室气体排放通量,最终累加获得季节或年度气体交换总量<sup>[16-17]</sup>。

目前,我国通用的农业温室气体排放量计算方法以国际 IPCC(政府间气候变化专家委员会)推出的“温室气体统计准则”为基准,多采用 IPCC 推荐的方法 1(Tier1)来计算,主要农业温室气体排放参数、调整系数、转换系数、畜禽粪污排放量、饲养周期、作物种植周期等数据,根据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》《沼气工程》《家畜环境卫生学》等相关材料,以及省级温室气体清单编制中采用的估算系数作为依据来源<sup>[12-13,19-24]</sup>。农业温室气体排放量估算内容主要包括:畜禽粪便管理过程 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的温室气体排放量,反刍畜禽胃肠道内发酵 CH<sub>4</sub> 排放量,水稻种植过程 CH<sub>4</sub> 排放量、农业化肥施用产生的 N<sub>2</sub>O 排放量。不包括反刍畜禽胃肠道内发酵 N<sub>2</sub>O 排放量、部分作物 CH<sub>4</sub> 排放量、农业生产资料温室气体排放等,主要是由于其排放量相对较少或影响因素较多,本文中忽略不计。

表 1 主要畜禽产污系数及温室气体排放系数

Table 1 Emission coefficient and greenhouse gas emission coefficient of main livestock and poultry					
畜禽 Main livestock and poultry	CH <sub>4</sub> 排放系数/ (kg•(a•头(只)) <sup>-1</sup> )		N <sub>2</sub> O 排放系数/ (kg•(a•头(只)) <sup>-1</sup> )	产污系数/ (kg•(a•头(只)) <sup>-1</sup> )	饲养周期/d Feeding cycle
	CH <sub>4</sub> emission coefficient				
	肠胃	粪便			
	Stomach	Faeces			
奶牛 Cow	92.23	2.23	1.096	33.47	365
肉牛 Beef cattle	68.70	1.02	0.913	13.89	365
猪 Pig	1.00	1.12	0.266	2.17	180
家禽 Poultry		0.01	0.007	0.17	蛋鸡 365/肉鸡 55
羊 Sheep	8.33	0.16	0.057	2.60	365
马 Horse	18.00	1.09	0.330	10.00	365
驴(骡) Donkey (mule)	10.00	0.60	0.188	10.00	365

1.2.2 种植业温室气体排放量计算方法 土壤中 CH<sub>4</sub> 来源主要源于水稻种植,因此按照主导性原则,旱地排放可以忽略,仅考虑水田 CH<sub>4</sub> 排放,作物种植农田 CH<sub>4</sub> 排放量计算公式:

$$CH_4_{\text{水稻}} = \sum_{i,j,k} (EF_{i,j,k} \cdot t_{i,j,k} \cdot A_{i,j,k} \cdot 10^{-6})$$

(4)<sup>[12,18]</sup>

式中:CH<sub>4</sub><sub>水稻</sub> 为水稻种植年 CH<sub>4</sub> 排放量;t<sub>*i,j,k*</sub>

1.2.1 养殖业温室气体排放量计算方法 计算公式为:

$$CH_4_{\text{肠道排放}} = \sum_{(T)} (EF_{(T)} \cdot \frac{N_{(T)}}{10^6})$$

(1)<sup>[5,13,25-26]</sup>

式中:CH<sub>4</sub><sub>肠道排放</sub> 为特定畜禽种群肠道发酵甲烷排放量;EF<sub>(*T*)</sub> 为该畜禽种群排放因子,N<sub>(*T*)</sub> 是种群数量;*T* 为畜禽种类。

$$CH_4_{\text{粪便}} = \sum_{(T)} (EF_{(T)} \cdot \frac{N_{(T)}}{10^6})$$

(2)<sup>[5,13,25-26]</sup>

式中:CH<sub>4</sub><sub>粪便</sub> 为特定畜禽种群畜禽粪便管理过程中甲烷排放量;EF<sub>(*T*)</sub> 为该畜禽种群排放因子,N<sub>(*T*)</sub> 是种群数量;*T* 为畜禽种类。

$$N_2O_{D(mm)} = [\sum_{(S)} [EF_{3(S)} \cdot \sum_T MS_{(T,S)} \cdot N_{(T)} \cdot N_{ex(T)}]] \cdot \frac{44}{28}$$

(3)<sup>[5,13,25-26]</sup>

式中:N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub> 为畜禽 N<sub>2</sub>O 年排放量;N<sub>(*T*)</sub> 为畜禽饲养量;N<sub>ex(*T*)</sub> 为平均每头(只)每年 N 排泄量;MS<sub>(*T,S*)</sub> 为 *T* 种畜禽排泄物 *S* 处理方式的处理比例;EF<sub>3(*S*)</sub> 为 *S* 处理方式下 *N* 排泄量转化为 N<sub>2</sub>O-N 的比例;*S* 为排泄物处理系统;*T* 为畜禽种类;44/28 为 N<sub>2</sub>O-N 转化成 N<sub>2</sub>O<sub>D(mm)</sub> 的排放量。

为*i,j* 和*k* 条件下水稻种植期;A<sub>*i,j,k*</sub> 为*i,j* 和*k* 条件下水稻年收获面积;*i,j* 和*k* 为分别代表不同的生态系统、水分状况和有机添加物类型及用量,以及其它可以引起 CH<sub>4</sub> 水稻排放变化条件;EF<sub>*i,j,k*</sub> 为在*i,j* 和*k* 条件下的日排放因子。

$$N_2O = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF \times 44/28$$

(5)<sup>[12,18]</sup>

式中： $F_{SN}$  为土壤中化学氮肥年施用量； $F_{ON}$  为土壤中堆肥、污水和有机添加氮的年添加量； $F_{CR}$  为作物残余物中年氮量； $F_{SOM}$  为矿质土壤矿化年氮量，与土地利用或管理变化引起的土壤有机质中土壤碳损失相关联； $EF$  为氮投入量引起的  $N_2O$  排放因子。

表 2 主要农作物温室气体排放系数  
Table 2 The greenhouse gas emission coefficients of main crops

农作物 Main crops	CH <sub>4</sub> 排放系数/ (kg·(hm <sup>2</sup> ·d) <sup>-1</sup> ) CH <sub>4</sub> emission coefficient	N <sub>2</sub> O 排放系数 N <sub>2</sub> O emission coefficient		
		氮肥/(kg·kg <sup>-1</sup> ) Nitrogenous fertilizer	本底排放/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Background emission	复合肥排放/(kg·kg <sup>-1</sup> ) Compound fertilizer emission
水稻 Rice	1.30	0.300	0.240	0.11
玉米 Maize		0.830	2.532	0.11
大豆 Soybean		6.605	2.290	0.11
小麦 Wheat		0.150	0.400	0.11
蔬菜 Vegetables		0.830	4.944	0.11
其它 Others		0.300	0.950	0.11

2 黑龙江省农业温室气体排放现状与分析

整体上,黑龙江省农业温室气体排放呈逐渐上升趋势(见表 3),2005-2015 年温室气体 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放量分别从 2005 年的 102.096 万 t、5.100 万 t,上升至 2015 年的 112.534 万 t、5.311 万 t。随着黑龙江省农业生产结构的不断调整,其养殖业和种植业的温室气体排放也呈现出不同的特征和差异性。

表 3 黑龙江省农业温室气体排放量  
Table 3 Agricultural greenhouse gas emissions in Heilongjiang province

年份 Years	CH <sub>4</sub> 排放量/万 t CH <sub>4</sub> emission				N <sub>2</sub> O排放量/万 t N <sub>2</sub> O emission				温室气体排放总量/万 t Total greenhouse gas emissions
	养殖业 Breeding industry			种植业 Planting	养殖业 Breeding industry			种植业 Planting	
	合计 Total	反刍动物肠道排放 Ruminant intestinal emissions	粪便管理排放 Fecal management emissions	水稻排放 Rice emissions	合计 Total	粪便管理排放 Fecal management emissions	本底排放 Background emission	施肥排放 Fertilization emission	
2005	102.096	69.693	2.581	29.822	5.100	1.886	2.060	1.155	107.196
2006	80.364	46.364	1.889	32.111	4.703	1.312	2.171	1.219	85.067
2007	88.706	50.311	2.077	36.318	4.839	1.427	2.199	1.213	93.545
2008	98.665	56.659	2.480	39.526	5.061	1.636	2.184	1.241	103.726
2009	95.736	51.329	1.915	42.492	5.402	1.370	2.607	1.425	101.138
2010	100.258	50.344	1.957	47.957	5.411	1.366	2.623	1.421	105.669
2011	106.744	49.213	1.949	55.582	5.223	1.350	2.596	1.277	111.967
2012	113.626	50.009	2.039	61.578	5.138	1.393	2.594	1.151	118.765
2013	113.798	46.810	2.008	64.980	5.092	1.345	2.637	1.111	118.890
2014	114.270	47.758	2.080	64.432	5.395	1.379	2.693	1.323	119.664
2015	112.534	48.527	2.058	61.949	5.311	1.382	2.764	1.165	117.845

2.1 养殖业温室气体排放情况分析 & 分布特征

黑龙江省养殖业的温室气体排放主要来自反刍畜禽胃肠道内发酵 CH<sub>4</sub> 排放,以及畜禽粪便管理过程 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 的排放。如表 3 所示,2005-

2010年,黑龙江省养殖业的温室气体排放总量呈先下降后上升的趋势(自2010年左右开始趋于平稳),CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的排放量分别达到(53.641±6.824)万t,(1.441±0.170)万t,其中2005年养殖业温室气体排放量最高,CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的排放量分别为72.274万t和1.886万t。分析原因,主要是随着农业生产结构的不断调整,黑龙江省畜禽养殖朝着规模化生产、标准化管理、产业化经营的方向发展,自2005年养殖量逐渐下降,随后在政府扶持和调控下,自2010年左右养殖量开始趋于平稳,到2015年全省畜禽规模化饲养比重已达到48%,大牲畜数量由2005年的840.2万头,降至2015年的543.5万头,家禽数量由16680.8万只降至14546.1万只。

2015年,黑龙江省肉牛存栏量为317.3万头、奶牛存栏量为193.4万头、出栏生猪量为1863万头、家禽存栏量为15085万只。养殖业温室气体排放总量达51.967万t,反刍畜禽肠道内发酵CH<sub>4</sub>排放量达48.527万t,成为农业温室气体最主要排放源之一,占养殖业排放总量的93%,占农业温室气体排放总量的41%。另外,全省畜禽养殖业粪污年排泄量达6000万t以上,其中肉牛年排粪污量为1700万t、奶牛1550万t、生猪2000万t、家禽780万t,畜禽粪便管理过程CH<sub>4</sub>和N<sub>2</sub>O的排放量分别达到2.058万t和1.382万t。

自2005年以来,黑龙江省不同畜禽种类对养殖业温室气体的排放贡献比率,变化相对较小,且主要分布于哈尔滨、齐齐哈尔、大庆、绥化、佳木斯等畜禽养殖集中地区。至2015年,反刍畜禽肠道内发酵CH<sub>4</sub>排放贡献最大的为肉牛,平均CH<sub>4</sub>排放量为24.805万t·a<sup>-1</sup>,占肠道内发酵CH<sub>4</sub>年排放的51%;其次为奶牛,平均CH<sub>4</sub>排放量为17.679万t·a<sup>-1</sup>,占36%;另外,羊CH<sub>4</sub>年排放占15%,骡马和猪平均CH<sub>4</sub>排放所占比例不足3%(见图1)。畜禽粪便管理过程产生CH<sub>4</sub>排放贡献最大的为猪粪,平均CH<sub>4</sub>排放量为1.010万t·a<sup>-1</sup>,占畜禽粪便管理CH<sub>4</sub>年排放49%;其次为牛粪,平均CH<sub>4</sub>排放量为奶牛0.427万t·a<sup>-1</sup>,肉牛0.368万t·a<sup>-1</sup>,分别占粪便管理CH<sub>4</sub>年排放的

21%和18%;此外,羊、家禽和骡马粪便的CH<sub>4</sub>年排放量所占比例相对较少,分别为7%、5%和2%(见图2)。在畜禽粪便管理过程N<sub>2</sub>O排放方面,不同畜禽种类的平均N<sub>2</sub>O排放量依次为肉牛0.455万t·a<sup>-1</sup>、猪0.382万t·a<sup>-1</sup>、奶牛0.333万t·a<sup>-1</sup>、家禽0.118万t·a<sup>-1</sup>、羊0.080万t·a<sup>-1</sup>、骡马0.015万t·a<sup>-1</sup>,其占年N<sub>2</sub>O排放量的平均百分率分别为33%、28%、24%、8%、6%、1%。

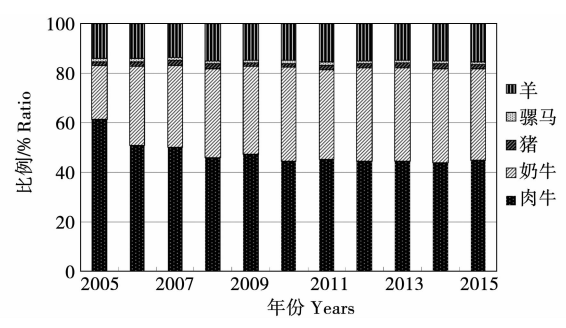


图1 不同畜禽种类胃肠道发酵CH<sub>4</sub>年排放比例  
Fig.1 CH<sub>4</sub> annual emission ratio of gastrointestinal fermentation in different livestock and poultry breeds

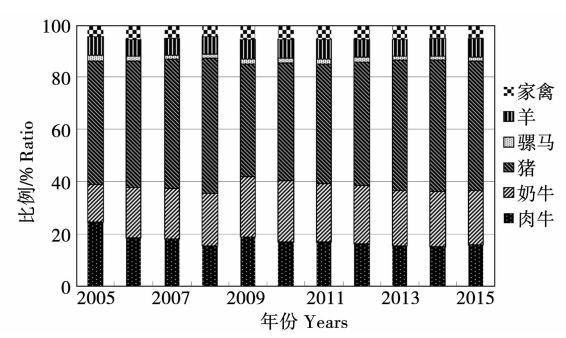


图2 不同畜禽种类粪便管理过程CH<sub>4</sub>年排放比例  
Fig.2 CH<sub>4</sub> emission ratio in manure management processes of different livestock and poultry

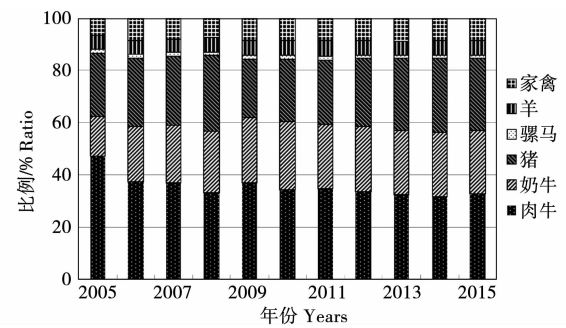


图3 不同畜禽种类粪便管理过程N<sub>2</sub>O年排放比例  
Fig.3 N<sub>2</sub>O emission ratio in manure management processes of different livestock and poultry

## 2.2 种植业温室气体排放情况分析 & 分布特征

黑龙江省种植业温室气体排放主要来自水稻种植  $\text{CH}_4$  排放,以及农业种植土壤本底和施肥  $\text{N}_2\text{O}$  的排放。黑龙江省是我国重要的商品粮基地,随着作物种植面积不断增加,两大平原农业机械化水平不断提高,2005-2015 年,全省种植业的温室气体排放总量呈明显上升趋势,增长速率为  $3.284 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放量分别达到  $(48.795 \pm 13.451) \text{ 万 t}$ ,  $(3.712 \pm 0.301) \text{ 万 t}$ 。2005 年黑龙江省农作物播种面积为  $1\,132.2 \text{ 万 hm}^2$ ,2015 年增加到  $1\,479.5 \text{ 万 hm}^2$ ,种植业温室气体  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放由  $29.822 \text{ 万 t}$ 、 $3.215 \text{ 万 t}$ ,增加到  $61.949 \text{ 万 t}$ ,  $3.929 \text{ 万 t}$ 。

目前,黑龙江省农作物种植趋势愈加集中连片,哈尔滨市、绥化市、齐齐哈尔、佳木斯和农垦系统的作物产量占全省近  $2/3$ ,其中南部和西部以玉米种植为主,北部以大豆为主,东部以水稻为主。2015 年,全省水稻种植面积达  $384.3 \text{ 万 hm}^2$ ,是 2005 年水稻种植面积的 2.07 倍,水稻种植过程  $\text{CH}_4$  排放量达  $61.949 \text{ 万 t}$ ,占农业温室气体  $\text{CH}_4$  排放的 55%,占农业温室气体总排放量的 53%。此外,全省种植业年化肥施用量为  $255.3 \text{ 万 t}$  (折纯量),其中,氮肥  $88.5 \text{ 万 t}$ 、磷肥  $52.1 \text{ 万 t}$ 、钾肥  $37.3 \text{ 万 t}$ 、复合肥  $77.5 \text{ 万 t}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  排放量达  $1.165 \text{ 万 t}$ ,而耕地土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  年排放量达  $2.764 \text{ 万 t}$ 。作为农业大省,黑龙江省农作物秸秆总量达  $9\,439 \text{ 万 t}$ ,部分地区由于缺乏有效的管理和利用技术,秸秆田间焚烧或废弃比率达 30% 以上,直接导致  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放分别可达到  $4.9 \text{ 万 t}$  和  $7.1 \text{ 万 t}$ ,所以,秸秆资源化、能源化的高效利用,是黑龙江省发展低碳农业工作的重中之重。

自 2005 年以来,黑龙江省不同作物种植对温室气体排放贡献比率存在一定差异。其中种植业  $\text{CH}_4$  主要来源于水稻种植过程,较浅水体形成厌氧环境导致的  $\text{CH}_4$  排放,旱田土壤的好气性,使得  $\text{CH}_4$  通过生物作用而被氧化,因此种植业的  $\text{CH}_4$  排放基本来自水稻种植,旱田系统可忽略不计。

种植业温室气体  $\text{N}_2\text{O}$  的排放主要来自土壤本底排放及施肥过程中氮肥和复合肥的排放。其中土壤本底年排放占种植业温室气体  $\text{N}_2\text{O}$  排放的 66%,近年来,随着黑龙江省玉米种植面积的不增加,2015 年,种植面积达  $772.3 \text{ 万 hm}^2$ ,占全省作物种植总面积的 52%,其土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  的排放量也由 2005 年的  $0.691 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,增至 2015 年的  $1.955 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,占土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的 71%,而大豆种植作为另一土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  主要排放源,由于近年来种植面积的不断减少,  $\text{N}_2\text{O}$  排放量由 2005 年的  $0.965 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,降至 2015 年  $0.539 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,占土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的 20%,而水稻、小麦等作物种植其土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  排放量相对较低,仅占土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  排放总量的 8%。

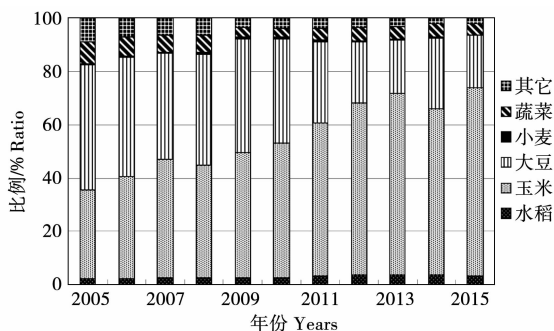


图 4 不同作物种类土壤本底  $\text{N}_2\text{O}$  年排放比例

Fig. 4 Potions of  $\text{N}_2\text{O}$  emission from blank farming soil for different crops

作物施肥过程中氮肥和复合肥的  $\text{N}_2\text{O}$  排放方面,复合肥施用平均年  $\text{N}_2\text{O}$  排放量仅占施肥排放量的 5%,其它均为氮肥施用排放,  $\text{N}_2\text{O}$  排放贡献比率最大的为大豆种植氮肥施用,  $\text{N}_2\text{O}$  平均年排放量达  $0.784 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,占氮肥施用  $\text{N}_2\text{O}$  排放量的 50%~76%;其次为玉米种植,受播种面积因素影响,其氮肥施用  $\text{N}_2\text{O}$  平均年排放量为  $0.383 \text{ 万 t} \cdot \text{a}^{-1}$ ,占氮肥施用  $\text{N}_2\text{O}$  排放量比率由 2005 年的 10%,上升至 2015 年的 35%;此外,水稻作为全省第二大粮食作物,年平均  $\text{N}_2\text{O}$  排放已占氮肥施用排放的 6%,蔬菜种植氮元素需求较多,年平均排放所占比率为 7%,而小麦等其它作物种植氮肥施用,  $\text{N}_2\text{O}$  排放贡献相对较少,占氮肥施用  $\text{N}_2\text{O}$  排放量比率仅为 1%。

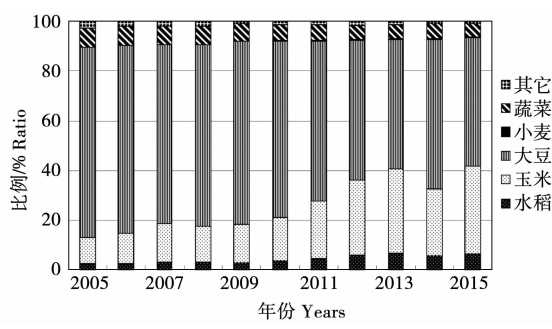


图5 不同作物种类氮肥施用N<sub>2</sub>O年排放比例  
Fig. 5 Potions of N<sub>2</sub>O emission from fertilization for different crops

### 3 黑龙江省农业温室气体减排规划建议

#### 3.1 合理规划农业布局,大力发展种养结合模式

黑龙江省发展低碳农业,需充分考虑区域生产生活特点、环境承载力,兼顾经济效益和生态效益,综合考量区域种植业和养殖业发展规划要求及环境容量标准。倡导“从环境中来,到环境中去”,建立“以种定养”“以养促种”的种养结合模式,适度发展养殖规模,合理规划农业种植,建立“猪(牛)-沼-稻”“牧-果(蔬)-草”“鸭-稻”等多位一体的特色种养结合模式,从而提升农业综合管理水平,提高农产品质量和效益,推动绿色低碳农业发展,降低温室气体排放量,形成农业生态循环的良好格局。

#### 3.2 转变传统畜禽养殖方式,建立标准化畜禽养殖体系

饲料营养可影响反刍动物CH<sub>4</sub>排放量,改变传统畜禽饲料喂养方式,增加日粮中精料比例,推广秸秆氮化和青贮饲料,在提高畜禽对饲料利用的同时,也是减少肠胃发酵CH<sub>4</sub>排放的主要途径之一。研发应用具有高效、环保、低成本的除原虫和CH<sub>4</sub>抑制饲料添加剂,在科学利用的同时,减少对畜禽的影响。另外,对饮水设施、粪水收储设施、清粪设施进行规范化设计管理;畜禽垫料或发酵床原料需经杀菌消毒后,配以发酵菌种进行处理后应用,从而减少粪污掺混,去除病原微生物,降低反刍畜禽胃肠CH<sub>4</sub>排放量。

#### 3.3 加大新型肥料的生产推广,实现农业“三减”目标

针对化肥长期过量施用引起的环境污染和农

产品质量安全等问题,因地制宜地开展实施有机肥替代化肥方案,着力开发生物有机肥、高效生物固氮肥料、沼渣沼液肥、土壤修复剂等产品。开展测土配方施肥技术。另外,以生物质气化多联产技术为依托,开发一系列减肥增效的生物炭基肥。从而减少化肥用量,提高肥料利用率,增加土壤碳库容,提高土壤肥力,控制农田氧化亚氮和甲烷的排放,使耕地酸化、盐渍化、污染等问题得到有效控制,推进黑龙江省高产标准农田建设。

#### 3.4 改善传统种植模式,加快生物质资源化利用技术应用

根据黑龙江省资源禀赋和农业生产特点,在不同生态区域因地制宜开展秸秆覆盖还田、翻埋还田、碎混还田、搅浆还田、原位堆腐还田等秸秆还田技术模式。采用旱地测灌、水田节水间歇灌溉、浸润灌溉等方式,优化土地灌溉技术。针对农业废弃物综合利用的特点和难点,开展寒地畜禽粪便快速堆肥、秸秆栽培食用菌循环利用、新型育苗基质等技术模式,从而减少畜禽粪便排放和作物秸秆焚烧,实现农业废弃物再循环和资源化利用,降低以水稻种植为主的农业生产对温室气体排放的影响。

#### 3.5 推动可再生能源技术推广,建设美丽乡村

针对畜禽粪污和作物秸秆特性,以美丽乡村建设为纽带,发展农村可再生能源,降低温室气体排放量。采用“一村一厂”模式,推进寒区沼气工程建设及其配套的分布式能源供给设施,利用作物秸秆制备生物质成型燃料以及生物质炭,从而进一步消纳畜禽粪污及作物秸秆,提高农村清洁能源的供给,减少化石能源的消耗。另外,可根据地域资源禀赋、生态环境压力,合理发展太阳能光伏发电技术、地热能技术、节能炉灶等,改善农村用能消费结构,推动绿色村镇、低碳农业的建设发展。

### 4 展望

黑龙江省作为农业大省,农业生产过程中温室气体的排放不容忽视。研究表明:黑龙江省农业温室气体排放呈逐渐上升趋势,2015年,农业温室气体排放总量达117.845万t,其中养殖业温室气体排放总量达51.967万t,主要来自反

当畜禽胃肠道内发酵  $\text{CH}_4$  排放,以及畜禽粪便管理过程  $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  的排放,分别达到了 48.527 万、2.058 万和 1.382 万 t;种植业温室气体排放量达 65.878 万 t,主要来自水稻种植  $\text{CH}_4$  排放,以及农业种植土壤本底和施肥  $\text{N}_2\text{O}$  的排放,分别达到了 61.949 万、2.764 万和 1.165 万 t。

所以,大力发展低碳农业,对推动黑龙江省农业供给侧改革,保护黑土资源和绿水青山,保障绿色食品安全都有着重要意义。目前,针对部分农业减排工作黑龙江省提出了规划和目标。在养殖业方面,因地制宜建设畜禽养殖场大中型沼气工程。控制畜禽温室气体排放,推进标准化规模养殖,推进畜禽废弃物综合利用,到 2020 年规模化养殖场、养殖小区配套建设废弃物处理设施比例达到 75% 以上。

种植业方面,黑龙江省已出台的《关于深入推进农业“三减”行动的实施意见》,提出开展农业减化肥、化学农药和化学除草剂的“三减”行动。计划到 2020 年,化肥总用量减至 220 万 t(折纯量),化肥施用量要控制在  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以下;推进测土配方施肥,不断扩大面积,到 2020 年累计实施 22.5 亿  $\text{hm}^2$ ,减少化肥用量 10 万 t,化肥利用率要提高 6.7%;农药利用率提高 9%;除草剂使用量减少 1.4 万 t 以上,减少 20%;推广秸秆直接还田,到 2020 年,全省秸秆还田面积达到 400 万  $\text{hm}^2$ ,比 2015 年增加 66.67 万  $\text{hm}^2$ 。

#### 参考文献:

- [1] Jones P D, Moberg A. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: an extensive revision and an update to 2001[J]. *Journal of Climate*, 2003, 16(2): 206-223.
- [2] 朱小红, 马友华, 杨书运, 等. 施肥对农田温室气体排放的影响研究[J]. *可持续发展*, 2011(5): 42-46.
- [3] IPCC. Climate Change 2006: The scientific basis. Contribution of working group I to third assessment report of intergovernmental panel of climate change[M]. Cambridge: Cambridge university press, 2006.
- [4] Beach, Robert H, Benjamin J, et al. Mitigation potential and costs for global agricultural greenhouse gas emissions[J]. *Agricultural Economics*, 2008, 38(2): 109-115.
- [5] 谭秋成. 中国农业温室气体排放: 现状及挑战[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 69-75.
- [6] Zeng N, Ding Y H, Pan J H, et al. Sustainable development

climate change the Chinese challenge[J]. *Science*, 2008, 319: 730-731.

- [7] 马翠萍, 刘小和. 低碳背景下中国农业温室气体排放研究[J]. *现代经济探讨*, 2011(12): 67-71.
- [8] 章永松, 柴永松, 付丽丽, 等. 中国主要农业源温室气体排放及减排对策[J]. *浙江大学学报*, 2012, 38(1): 97-107.
- [9] 新能源与低碳行动课题组. 低碳经济与农业发展思考[M]. 北京: 中国时代经济出版社, 2011.
- [10] 尚杰, 杨果, 于法稳. 农业温室气体排放量测算及影响因素研究[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(3): 354-364.
- [11] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 等. 中国农业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.
- [12] 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.
- [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] 师帅, 陈红. 黑龙江省发展低碳农业的影响因素回归分析[J]. *东北农业大学学报(社会科学版)*, 2012, 10(3): 15-18.
- [15] 程云, 贾永全. 黑龙江省畜禽粪便排放量估算与温室气体排放现状的分析[J]. *黑龙江八一农垦大学学报*, 2016, 28(6): 126-131.
- [16] 王立刚, 邱建军. 农业源温室气体监测技术规程与控制技术研究[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [17] 王久臣, 宋振伟, 李虎, 等. 粮食作物节能减排技术与政策初探[M]. 北京: 中国农业出版社, 2017.
- [18] 邢光熹, 颜晓元. 中国农田  $\text{N}_2\text{O}$  排放的分析估算与减缓对策[J]. *农村生态环境*, 2000, 16(4): 1-6.
- [19] 邱炜红, 刘金山, 胡承孝, 等. 种植蔬菜地与裸地氧化亚氮排放差异比较研究[J]. *生态环境学报*, 2010, 19(12): 2982-2985.
- [20] 王智平. 中国农田  $\text{N}_2\text{O}$  排放量的估算[J]. *农村生态环境*, 1997, 13(2): 51-55.
- [21] 于可伟, 陈冠雄, 杨思河, 等. 几种旱地农作物在农田  $\text{N}_2\text{O}$  释放中的作用及环境因素的影响[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 387-391.
- [22] 苏维翰, 宋文质, 张桦, 等. 华北典型冬麦区农田氧化亚氮通量[J]. *环境化学*, 1992, 11(2): 36-32.
- [23] 黄国宏, 陈冠雄, 吴杰, 等. 东北典型旱地农田  $\text{N}_2\text{O}$  和  $\text{CH}_4$  排放通量研究[J]. *应用生态学报*, 1995, 6(4): 383-386.
- [24] 王明星, 李晶, 郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. *大气科学*, 1998, 22(4): 600-610.
- [25] 李孟伟, 陈清华. 利用 IPCC 法分析湖南省畜禽养殖业温室气体排放趋势[J]. *湖南饲料*, 2014(3): 8-11.
- [26] 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]. *农村生态环境学报*, 1995, 11(3): 4-7.

# 户县农村土地集约利用研究

苏发强,李富忠,张国瑞  
(山西农业大学 经济管理学院,山西 太谷 030801)

**摘要:**为了更好地合理利用土地资源,减少土地资源浪费、土壤污染等问题的发生,使农用地的集约利用更多地引起相关政府部门的关注。以陕西省西安市户县为例,通过对户县土地利用现状和有关农用地的评价指标的分析,提出相关农村土地利用方面的建议及措施。

**关键词:**户县;农用地;集约利用

中图分类号:F301;F321.1;F323.211 文献标识码:A 文章编号:1002-2767(2017)10-0111-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2017.10.0111

现如今,土地的浪费、污染等问题日益严重,社会要想进一步的发展,就必须重视土地问题,必须对当下依存的土地进行合理的利用,处理好农用地集约利用的问题。在处理农用地集约利

用的有关问题上,可以使用一些专业方法来对其进行评价。比如土地定性、定量的评价手段,进而建立起农用地集约利用方面的评价指标标准体系的框架。根据国家建立资源节约型社会的要求和促进土地利用转型方式的要求,总结近几年土地利用的变化情况结合实际情况实事求是地进行研究分析。以户县为研究对象,对户县农用地的集约利用程度进行辩证分析,在建立评价指标体系的过程当中依据相关数据来进行多角度全方位的探究分析,发现在研究中所涉及土地集约利用方

收稿日期:2017-08-12  
基金项目:国家公益基金资助项目(201311088)  
第一作者简介:苏发强(1991-),男,山西省孝义市人,在读硕士,从事农业科技组织与服务研究。E-mail: 775880845@qq.com。  
通讯作者:李富忠(1969-),男,山西省浑源县人,博士,教授,从事农林经济管理研究。E-mail:836825952@qq.com。

## Study on Estimation of Agricultural Greenhouse Gase Emission and Suggestions on Agricultural Development in Heilongjiang Province

LIU jie<sup>1</sup>, WANG Su<sup>1</sup>, CHAI Yong-shan<sup>2</sup>, PEI Zhan-jiang<sup>1</sup>, SHI Feng-mei<sup>1</sup>

(1. Rural Energy Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Combining Farming and Animal Husbandry, Ministry of Agriculture, P. R. China, Key Laboratory of Energy Utilization of Main Crop Straw Resources, Harbin, Heilongjiang 150086; 2. Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin, Heilongjiang 150086)

**Abstract:** The greenhouse gases form agriculture production process accounts for a relatively large portion of the world's total emission. Heilongjiang is an important agricultural province in China. Estimation and analysis on agricultural greenhouse gases have great significance for low-carbon agriculture. Based on the data of agricultural production in Heilongjiang form 2005 to 2015, the main emission sources CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in agricultural production process were estimated, and the suggestions on low-carbon agriculture were put forward. The results showed that in 2015, Heilongjiang province agricultural greenhouse gas emissions had increased to 1.178 45×10<sup>6</sup> tons, including 5.196 7×10<sup>5</sup> tons greenhouse gases from livestock which mainly CH<sub>4</sub> from gastrointestinal fermentation of ruminants, and the livestock and poultry manure management process of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O, respectively, 4.852 7×10<sup>5</sup> tons, 2.058 0×10<sup>4</sup> tons and 1.382 0×10<sup>4</sup> tons; total emission of crop-plantation greenhouse gases in Heilongjiang province attained to 6.587 8×10<sup>5</sup> tons, including 6.194 9×10<sup>5</sup> tons CH<sub>4</sub> from rice planting, 2.764 ×10<sup>4</sup> tons CH<sub>4</sub> from blank farming soil and 1.165×10<sup>4</sup> tons N<sub>2</sub>O from fertilization.

**Keywords:** Heilongjiang province; agriculture greenhouse gases; emissions estimates; low carbon agriculture