

应用生命周期法评价我国测土配方施肥项目减排效果

张卫红, 李玉娥*, 秦晓波, 万运帆, 刘 硕, 高清竹

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所/农业部农业环境重点实验室, 北京 100081)

摘要:近年来,我国大力推广测土配方施肥,有效改善了不合理施肥现象。研究测土配方施肥技术的节肥、减少温室气体排放效果,旨在为编制农田温室气体排放清单和制定农业减排对策提供依据。通过查阅相关文献估算我国测土配方施肥技术的节约氮肥量,应用生命周期评价(LCA)方法评估其减排效果,农田减排量依据《2006IPCC 国家温室气体排放清单编制指南》提供的方法进行估算,工业生产过程的减排量依据 Specific(primary) energy consumption(SEC)方法进行估算。结果表明:我国实施测土配方施肥技术可节约氮肥(27.23±7.42) kg N·hm⁻²;到2013年,测土配方施肥技术总计减排量达到了2 500.35万 t CO₂-e,其中由于氮肥田间施用量的减少导致农田总共减排1 171.83万 t CO₂-e,由于工业生产氮肥量的减少而节约标煤583.45万 t,减排1 328.52万 t CO₂-e。测土配方施肥技术不仅可以节约氮肥用量,还可以降低温室气体排放量,因而应加大投资力度,扩大测土配方施肥面积,同时对测土配方施肥技术的适用性和经济性进行评价,进一步提高测土配方施肥技术的节肥减排效果,增强农业减排能力。

关键词:生命周期评价(LCA);测土配方施肥;节约氮肥;温室气体减排

中图分类号:X511 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2015)07-1422-07 doi:10.11654/jaes.2015.07.027

Evaluation of Greenhouse Gas Emission Reduction by Balanced Fertilization in China Using Life Cycle Assessment

ZHANG Wei-hong, LI Yu-e*, QIN Xiao-bo, WAN Yun-fan, LIU Shuo, GAO Qing-zhu

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences/The Key Laboratory for Agricultural Environment, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China)

Abstract: In recent years, China has actively been promoting the technology of balanced fertilization, which has greatly reduced unfavorable effects of fertilization. Studying the effects of this technology on the minimization of nitrogen fertilizer use and the reduction of greenhouse gas emission would provide the basis for establishing inventory of farmland greenhouse gas emissions and proposing measures for agricultural greenhouse gas emission reduction. In this study, data from the relevant literatures was used to estimate the amount of nitrogen fertilizer saving by balanced fertilization. Life Cycle Assessment(LCA) was used to evaluate the reduction of greenhouse gas emissions by balanced fertilization. The amount of emission reduction in farmlands and industrial processes was estimated by the methods used in the 2006 IPCC Guidelines for Nation Greenhouse Gas Inventories and the specific(primary) energy consumption(SEC), respectively. Balanced fertilization reduced the use of nitrogen fertilizers by (27.23±7.42)kg N·hm⁻². In 2013, the total emission reduction by balanced fertilization was 25 003 500 tons CO₂-e, of which 11 718 300 tons CO₂-e was from farmlands. Of farmland sources, 10 142 100 tons CO₂-e was direct N₂O emission reduction and 1 576 100 tons CO₂-e from reduced nitrogen volatilization and leaching/runoff. Industrial processes contributed to the reduction of 13 285 200 tons CO₂-e from the conservation of 5 834 500 tons standard coal by reduced nitrogen fertilizer production. Implementing balanced fertilization could reduce nitrogen fertilizer use and thus greenhouse gas emissions.

Keywords: LCA; balanced fertilization; nitrogen fertilizer use reduction; greenhouse gas emission reduction

收稿日期:2015-01-23

作者简介:张卫红(1987—),女,河北邯郸人,硕士研究生。研究方向为气候变化与农田温室气体排放。E-mail:weihong2008@163.com

* 通信作者:李玉娥 E-mail:yueli@ami.ac.cn

农业是温室气体的主要排放源之一,排放量占全球总温室气体排放的13.5%^[1]。农田施肥是N₂O的主要排放源,我国由于农业施肥造成的N₂O排放占全国N₂O排放总量的74%^[2]。我国农业氮肥施用量约占全球氮肥用量的30%^[3],氮肥施用量从1980年的934.2万t增加到2012年的2399.9万t(折纯量)^[4]。农业部从2005年开始启动测土配方施肥项目,中央一号文件多次提及要实施推广测土配方施肥项目^[5-7]。利用生命周期评价(LCA)方法综合评价测土配方施肥减排效果,对于编制温室气体排放清单和制定农业减排对策具有重要意义。针对测土配方施肥的增产、节肥效果已经开展了较多研究,一致认同测土配方施肥技术有增产作用,但是对氮肥合理用量的研究结果不尽相同。有研究认为,采用测土配方施肥技术能够有效减少氮肥施用量^[8-10],有的则认为采用该技术增加了氮肥施用量^[11]。对不同粮食作物的节约氮肥效果研究也不一致^[12-13]。对于测土配方施肥在减少温室气体排放方面的作用研究很少。本文通过搜集与分析三种主要粮食作物(小麦、水稻和玉米)采用测土配方施肥后的氮肥用量,应用LCA方法核算测土配方对农田直接和间接N₂O排放以及对化肥生产过程CO₂排放的影响,

采用《2006 IPCC 国家温室气体排放清单编制指南》^[14]提供的方法和 Specific (primary) energy consumption (SEC) 方法^[15]估算2006—2013年我国测土配方施肥的温室气体减排效果,为国家采取减少温室气体排放、应对气候变化措施提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于万方、维普和 ScienceDirect、Springer-Link 等数据库。文献选择遵循如下原则:试验处理包括测土配方施肥处理和农民习惯施肥处理;试验数据取自大田试验结果;试验作物包括小麦、玉米、水稻三种主要粮食作物。最终符合标准的文献有73篇,数据覆盖全国24个省、市、自治区,包含了小麦、玉米、水稻三种粮食作物的主要种植区域(图1)。

1.2 配方施肥减少农田N₂O排放效果估算

根据2006 IPCC 清单编制指南,施肥导致的农田N₂O排放计算公式分述如下。

1.2.1 N₂O 直接排放

$$N_2O_{\text{直接-N}} = F_{SN} \cdot EF_1 + F_{SN} \cdot EF_{IFR} \quad (1)$$

其中: $N_2O_{\text{直接-N}}$ 为N₂O-N直接排放,kg N₂O-N·a⁻¹;

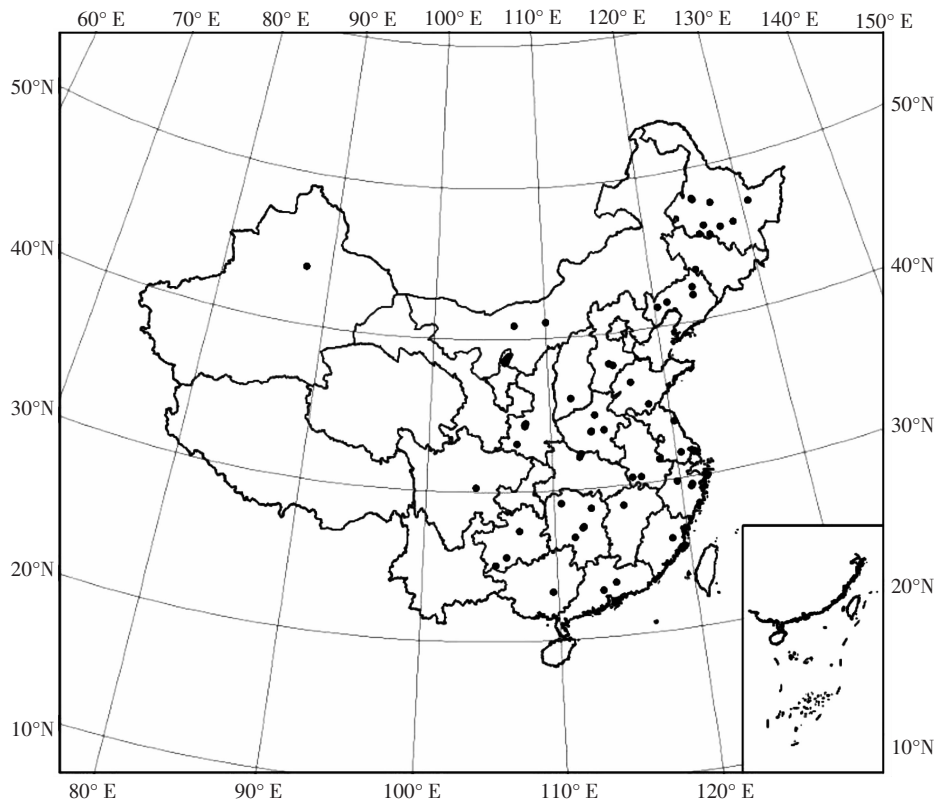


图1 测土配方施肥试验站点分布

Figure 1 Distribution of experimental stations

F_{SN} 为每年无机氮肥施用量, $\text{kg N}\cdot\text{a}^{-1}$; EF_1 为氮肥 N_2O 排放因子, $\text{kg N}_2\text{O}-\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$ 投入; EF_{IFR} 为氮肥投入到稻田引起的 N_2O 排放的排放因子, $\text{kg N}_2\text{O}-\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$ 投入。

采用式(2)将 $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ 排放量换算成 N_2O 排放量:

$$\text{N}_2\text{O}=(\text{N}_2\text{O}_{\text{直接}}-\text{N})\times 44\div 28 \quad (2)$$

2006 IPCC 清单编制指南提供的农田 N_2O 排放因子 $EF_1=0.01$, $EF_{\text{IFR}}=0.003$ 。Gao 等^[16]研究发现中国的排放因子 $EF_1=0.0105$, $EF_{\text{IFR}}=0.0041$ 。氮肥在旱地和稻田的施用比例分别是 68.55%、31.45%^[17]。据此, N_2O 直接排放因子的加权平均值是:

$$0.0105\times 68.55\%+0.0041\times 31.45\%=0.0085$$

1.2.2 N_2O 间接排放

N_2O 间接排放的途径主要有两种:一是以 NO_x 和 NH_3 形式挥发的氮,从大气沉降到土壤后导致的 N_2O 排放;二是氮渗漏和径流后导致的 N_2O 排放。

氮肥挥发导致的 N_2O 排放由式(3)计算:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}-\text{N}=F_{\text{SN}}\cdot\text{Frac}_{\text{GASF}}\cdot EF_2 \quad (3)$$

其中: $\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}-\text{N}$ 为挥发氮从大气沉降到土壤后导致的 $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ 的年排放量, $\text{kg N}_2\text{O}-\text{N}\cdot\text{a}^{-1}$; F_{SN} 为每年无机氮肥施用量, $\text{kg N}\cdot\text{a}^{-1}$; $\text{Frac}_{\text{GASF}}$ 为以 NH_3 和 NO_x 形式挥发的化肥氮比例, kg 挥发 $\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\text{N}$ 投入(表 1); EF_2 为土壤和水面大气沉降氮的排放因子, $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ /挥发的 $\text{kg NH}_3-\text{N}$ 与 NO_x-N (表 1)。

采用式(4)将 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}-\text{N}$ 排放量换算成 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}$ 排放量:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}=(\text{N}_2\text{O}_{(\text{ATD})}-\text{N})\times 44\div 28 \quad (4)$$

淋溶/径流发生地区土壤氮淋溶/径流产生的 N_2O 排放由式(5)计算:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}-\text{N}=F_{\text{SN}}\cdot\text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}}\cdot EF_3 \quad (5)$$

其中: $\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}-\text{N}$ 为淋溶/径流发生地区每年施加到土壤中的氮由于淋溶和径流产生的 $\text{N}_2\text{O}-\text{N}$ 量, $\text{kg N}_2\text{O}-\text{N}\cdot\text{a}^{-1}$; F_{SN} 为淋溶/径流发生地区每年无机氮肥施用量, $\text{kg N}\cdot\text{a}^{-1}$; $\text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}}$ 为淋溶/径流发生地区通过淋溶和径流损失的比例, $\text{kg N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 施氮(表 1); EF_3 为氮淋溶和径流引起的 N_2O 排放因子, $\text{kg N}_2\text{O}-\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}$ 淋溶和径流氮(表 1)。

用式(6)将 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}-\text{N}$ 排放量换算成 $\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}$ 排放量:

$$\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}=(\text{N}_2\text{O}_{(\text{L})}-\text{N})\times 44\div 28 \quad (6)$$

1.2.3 CO_2 排放

尿素和碳酸氢铵作为主要氮肥品种,施入农田以后会直接排放 CO_2 ,但是这两种氮肥在其工业生产过

表 1 IPCC 默认排放因子

排放因子 Emission factors	缺省值 Default value
$\text{Frac}_{\text{GASF}}$	0.10
EF_2	0.01
$\text{Frac}_{\text{LEACH-(H)}}$	0.30
EF_3	0.0075

程也会固定等量的 CO_2 ,因此这部分 CO_2 的排放量在计算时不考虑。

1.3 配方施肥导致的工业氮肥生产的减排效果

选取我国主要氮肥品种,通过查询中国肥料手册^[18]得知单位氮肥产品对主要原材料以及动力消耗数据如表 2 所示。

表 2 每吨氮肥生产能耗

类型 Type	氨 Ammonia/t	蒸汽 Steam/t	电 Electricity/kWh
尿素 Urea	0.585	0.155	155
碳酸氢铵 Ammonia bicarbonate	0.245	0.05	40
硝酸铵 Ammonium nitrate	0.217	0.35	16
氯化铵 Ammonium chloride	0.327	0.21	310

氮肥生产的综合能耗计算采用 SEC 方法,将各类氮肥生产所需的原料以及二级能源根据转化效率全部转化为初级能源后折算成标煤消耗量。公式如下:

$$E=C_{\text{氨}}\cdot E_{\text{氨}}+C_{\text{电}}\cdot R_{\text{电}}+C_{\text{汽}}\cdot R_{\text{汽}} \quad (7)$$

其中: E 为单位氮肥综合能耗; $C_{\text{氨}}$ 为生产 1 t 氮肥产品消耗的氨, $\text{t 氨}\cdot\text{t}^{-1}$; $E_{\text{氨}}$ 为生产 1 t 合成氨的综合能耗, $\text{kg 标煤}\cdot\text{t}^{-1}$ 氨,本文采用我国 2005 年合成氨的单位能耗值 $1700\text{ kg 标煤}\cdot\text{t}^{-1}$ 氨^[19]; $C_{\text{电}}$ 为生产 1 t 氮肥消耗的电量, $\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$; $R_{\text{电}}$ 为生产 1 kWh 电能消耗的标煤, $\text{kg 标煤}\cdot\text{kWh}^{-1}$,本文采用国家发改委 2000 年的数据,生产 1 kWh 电能消耗 0.392 kg 标煤 ; $C_{\text{汽}}$ 为生产 1 t 氮肥消耗的蒸汽, $\text{t 蒸汽}\cdot\text{t}^{-1}$; $R_{\text{汽}}$ 为生产 1 t 蒸汽需要的耗能, $\text{kg 标煤}\cdot\text{t}^{-1}$ 蒸汽,本文取值^[20]为 $101\text{ kg 标煤}\cdot\text{t}^{-1}$ 蒸汽。

根据上式可以计算得出单位氮肥产品的综合能耗,依据氮肥产品含氮量,可以计算得出纯氮综合能耗值,如表 3 所示。

根据中国氮肥工业协会统计资料,2013 年我国尿素产量是 7137 万 t,占主要氮肥产品的 62.69%;碳酸氢铵 2200 万 t,占主要氮肥产品的 19.32%;硝酸铵 798 万 t,占主要氮肥产品的 7.01%;氯化铵 1250 万

表3 我国主要氮肥生产综合能耗

Table 3 Energy consumption for producing nitrogen fertilizer in China

肥料类型 Fertilizer type	尿素 Urea	碳酸氢铵 Ammonia bicarbonate	硝酸铵 Ammonium nitrate	氯化铵 Ammonium chloride
综合能耗 Energy consumption of unit nitrogen fertilizer/kg ce·t ⁻¹ N	1 070.9	437.2	410.5	698.6
含氮量 Nitrogen content/%	46.7	17.7	35	26.2
纯氮综合能耗 Energy consumption of unit pure nitrogen/kg ce·t ⁻¹ N	2 293.2	2 470.2	1 172.9	2 666.5

t,占主要氮肥产品的 10.98%。

结合表 3 数据,纯氮综合能耗的加权平均值是:

$$2\ 293.2 \times 62.69\% + 2\ 470.2 \times 19.32\% + 1\ 172.9 \times 7.01\% + 2\ 666.5 \times 10.98\% = 2\ 289.85 \text{ kg 标煤} \cdot \text{t}^{-1}$$

2 结果与分析

2.1 我国测土配方施肥现状

2005 年农业部开始启动实施测土配方施肥补贴项目。2006 年中央财政安排测土配方施肥补贴资金 5 亿元,推广面积 $1.73 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[21];2011 年,国家免费为 1.7 亿农户提供测土配方施肥技术服务,推广测土配方施肥技术 $8 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 以上^[22];到 2012 年,全国推广测土配方施肥技术 $8.67 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (次)以上,免费为 1.8 亿农户提供测土配方施肥技术服务^[23];2013 年,国家继续增强扶持力度,免费为 1.9 亿农户提供测土配方施肥指导服务,推广测土配方施肥技术 $9.33 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ^[24]。2006 年至 2013 年,测土配方施肥技术得到了广泛应用,由 2006 年的 $1.73 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 增加到了 2013 年的 $9.33 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (图 2)。

2.2 节肥减排估算

通过搜集并分析文献数据,获得主要粮食作物小麦、玉米、水稻因采用测土配方施肥技术而节约的氮肥量(图 3)。依据中国统计年鉴,得出三种主要粮食作物近三年播种面积均值,根据三种主要粮食作物播

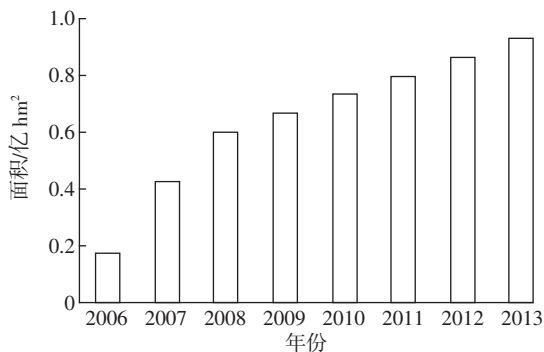


图2 2006—2013年全国测土配方施肥面积

Figure 2 Land area under balanced fertilization in China from 2006 to 2013

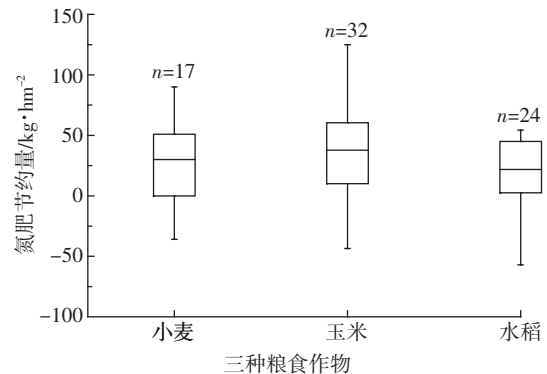


图3 测土配方施肥氮肥节约量

Figure 3 Nitrogen fertilizer saving caused by balanced fertilization

种面积比例,计算得出三种主要粮食作物节约氮肥量的权重值为 $(27.23 \pm 7.42) \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.2.1 N₂O 直接减排量估算

根据上述计算结果,三种主要粮食作物平均节氮量为 $(27.23 \pm 7.42) \text{ kg N} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。根据公式(1)(2),基于统计数据计算得出,2006 年采用测土配方施肥技术以后,节约氮肥用量为 (47.32 ± 12.74) 万 t,随着测土配方施肥面积的增加,2013 年增加到了 (254.80 ± 68.60) 万 t。2006 年 N₂O 直接减排量为 (0.63 ± 0.17) 万 t,相当于减排 188.35 万 t CO₂-e,2013 年 N₂O 直接减排量增加到了 (3.40 ± 0.92) 万 t,相当于减排 1 014.21 万 t CO₂-e(表 4)。

2.2.2 N₂O 间接减排量估算

(1) 由氮肥挥发减少产生的 N₂O 减排量

由节约氮肥量数据以及公式(3)(4),计算 2006—2013 年由于氮肥挥发减少产生的 N₂O 减排量。2006 年 N₂O 间接减排 (0.07 ± 0.02) 万 t,相当于减排 22.16 万 t CO₂-e,到 2013 年,N₂O 减排量增加到了 (0.40 ± 0.11) 万 t,即减排 119.32 万 t CO₂-e(表 4)。

(2) 由氮肥淋溶/径流减少产生的 N₂O 减排量

在计算此部分 N₂O 减排量时,首先需要确定容易发生淋溶/径流的区域,依据 2006IPCC 清单编制指南,易发生淋溶区域的选择标准是:降水量 > 0.5 × 蒸发皿蒸发量。根据全国各省份年平均降雨量以及蒸发皿

表 4 测土配方施肥农田 N₂O 减排量(万 t)Table 4 N₂O emission reduction by balanced fertilization(10⁴ tons)

年份 Year	节氮量 F _N Nitrogen usage reduction	N ₂ O 直接减排量 Direct N ₂ O emission reduction	CO ₂ -e	N ₂ O 间接减排量① Indirect N ₂ O emission reduction①	CO ₂ -e	N ₂ O 间接减排量② Indirect N ₂ O emission reduction②	CO ₂ -e	N ₂ O 总减排量 Total N ₂ O emission reduction	Total CO ₂ -e
2006	47.32±12.74	0.63±0.17	188.35	0.07±0.02	22.16	0.128 5	38.29	0.83±0.19	248.81
2007	116.48±31.36	1.56±0.42	463.64	0.18±0.05	54.55	0.128 5	38.29	1.87±0.47	556.48
2008	163.80±44.10	2.19±0.59	651.99	0.26±0.07	76.71	0.128 5	38.29	2.57±0.66	766.99
2009	182.00±49.00	2.43±0.65	724.44	0.29±0.08	85.23	0.128 5	38.29	2.85±0.73	847.96
2010	200.20±53.90	2.67±0.72	796.88	0.31±0.08	93.75	0.128 5	38.29	3.12±0.80	928.93
2011	218.40±58.80	2.92±0.79	869.33	0.34±0.09	102.27	0.128 5	38.29	3.39±0.88	1 009.89
2012	236.60±63.70	3.16±0.85	941.77	0.37±0.10	110.80	0.128 5	38.29	3.66±0.95	1 090.86
2013	254.80±68.60	3.40±0.92	1 014.21	0.40±0.11	119.32	0.128 5	38.29	3.93±1.02	1 171.83

注:“N₂O 直接减排量”指土壤中 N₂O 直接减排量;“N₂O 间接减排量①”由于氮挥发减少产生的减排量;“N₂O 间接减排量②”淋溶/径流发生地区由于氮淋溶/径流减少产生的减排量。

Note:“Direct N₂O emission reduction”:Direct N₂O emission reduction from soils; “Indirect N₂O emission reduction①”:N₂O emission reduction because of the nitrogen volatilization reduced;“Indirect N₂O emission reduction②”:N₂O emission reduction because of the N leaching/runoff reduced in regions where leaching/runoff occurs.

蒸发量^[25],选择以下 11 个省份作为易发生淋溶/径流的区域:江苏、福建、浙江、上海、湖南、江西、广东、广西、海南、云南、贵州。

受数据获取限制,无法查得以上省份不同年份测土配方施肥推广面积,因此利用文献得到的易发生淋溶/径流区域测土配方施肥的节氮量以及这些省份 2007、2008 年的耕作面积,根据 2007 年和 2008 年全国配方面积占耕作面积的比例推算以上省份的配方面积,再依据以上省份的单位面积节约氮肥用量,最终得到易发生淋溶/径流区域节约氮肥量是 36.35 万 t·a⁻¹。根据公式(5)(6)得到淋溶/径流区域的 N₂O 减排量为 0.128 5 万 t·a⁻¹,相当于减排 38.29 万 t CO₂-e。

2.2.3 N₂O 总减排量估算

基于上述计算的 N₂O 的直接减排量以及由于氮挥发和氮淋溶减少而产生的 N₂O 间接减排量,可知 N₂O 总减排量由 2006 年的(0.83±0.19)万 t 增加到了 2013 年的(3.93±1.02)万 t,即 2006 年减排 248.81 万 t CO₂-e,随着测土配方施肥面积的增加,2013 年减排量达到了 1 171.83 万 t CO₂-e(表 4)。

2.3 工业过程节能减排估算

根据节约纯氮量以及方法中计算出来的纯氮综合能耗加权平均值 2 289.85 kg 标煤·t⁻¹ 纯氮,得出每年减少的标煤用量,每吨标煤的 CO₂ 排放因子以 2.277 为标准^[26],进而计算得出工业过程 CO₂ 减排量从 2006 年的(246.73±66.43)万 t 增加到了 2013 年的(1 328.52±357.68)万 t(表 5)。

表 5 工业过程 CO₂ 减排量(万 t)Table 5 Reduction of CO₂ emissions in industrial processes(10⁴ tons)

年份 Year	节氮量 F _N Nitrogen usage reduction	节约标煤量 Coal usage reduction	CO ₂ 减排量 CO ₂ emission reduction
2006	47.32±12.74	108.36±29.17	246.73±66.43
2007	116.48±31.36	266.72±71.81	607.33±163.51
2008	163.80±44.10	375.08±100.98	854.05±229.94
2009	182.00±49.00	416.75±112.20	948.95±255.49
2010	200.20±53.90	458.43±123.42	1 043.84±281.03
2011	218.40±58.80	500.10±134.64	1 138.74±306.58
2012	236.60±63.70	541.78±145.86	1 233.63±332.13
2013	254.80±68.60	583.45±157.08	1 328.52±357.68

3 讨论

前人关于测土配方施肥的减排效果鲜有研究,大田试验主要是在一个或几个站点进行,搜集文献数据也主要集中在某一特定区域,没有全国尺度的关于测土配方的节肥减排效果估算。本文通过搜集全国大量不同站点的试验数据,估算了全国尺度的节约氮肥量,并且应用 LCA 方法评价其从工业生产到农田施用的总减排量。

2006 年采用测土配方施肥技术后的节约氮肥用量使得农田和工业生产过程总共减排 495.53 万 t CO₂-e。随着配方施肥的推广,到 2013 年,农田和工业减排量已经达到了 2 500.35 万 t CO₂-e。2006—2013 年,农田减排量占总减排的平均比例为 47.6%,其中:

农田 N_2O 直接减排量占农田减排量的 84.3%, 占总减排量的 40.0%; 农田 N_2O 间接减排量占农田减排量的 15.7%, 占总减排量的 7.5%。2006—2013 年, 工业减排量占到了总减排量的 52.4%(图 4)。测土配方施肥技术节氮减排效果显著, 通过测土配方施肥减少温室气体排放有很大的发展空间。

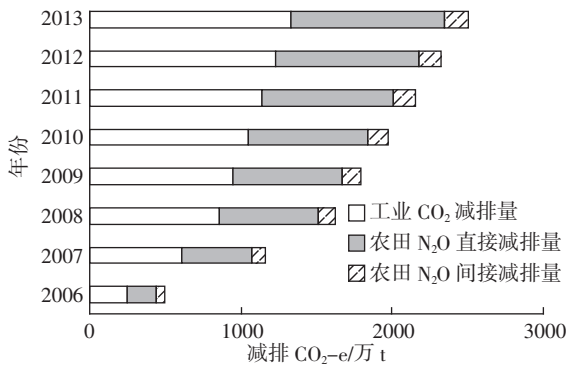


图 4 2006—2013 年农田及工业温室气体减排趋势

Figure 4 Trends of greenhouse gas emission reduction in farmlands and industrial processes from 2006 to 2013

本研究通过搜集文献数据, 估算了测土配方施肥技术的节氮减排效果, 弥补了前人研究的空白, 为我国实施测土配方施肥技术提供了理论依据。但本研究在搜集数据过程中无法精确搜集 2006—2013 年我国不同粮食作物采用测土配方施肥的面积, 以及在淋溶径流区域选择方面条件相对理想化, 而实际情况比较复杂, 年际间也有变化, 因此实际节氮量与估算结果存在差异。另外, 目前没有估算大气中氨气转化为氧化亚氮的方法, 而且关于排放因子、渗漏和挥发所占比例的信息还不是很足, 因此对于估算氧化亚氮间接排放量还存在一定的不确定性^[27]。

4 结论

我国采用测土配方施肥技术, 会使氮肥施用量减少, 小麦节约纯氮 $(25.32 \pm 9.13) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 玉米节约 $(37.40 \pm 6.44) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 水稻节约 $(17.36 \pm 7.15) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。三种主要粮食作物平均节约纯氮 $(27.23 \pm 7.42) \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

氮肥用量减少带来农田和工业生产氮肥两个过程的减排。2013 年, 农田和工业生产氮肥总计减排 2 500.35 万 t $\text{CO}_2\text{-e}$, 其中氮肥施用量减少导致 N_2O 直接减排 3.40 万 t, 相当于减排 1 014.21 万 t $\text{CO}_2\text{-e}$, 由于氮肥挥发和氮淋溶减少导致 N_2O 间接减排 0.53 万 t, 相当于减排 157.61 万 t $\text{CO}_2\text{-e}$; 工业节约标煤用

量 583.45 万 t, 减排 1 328.52 万 t $\text{CO}_2\text{-e}$ 。2006—2013 年, 农田减排量占总减排量的平均比例为 47.6%, 工业减排量占总减排量的平均比例为 52.4%。

参考文献:

- [1] Metz B, Davidson O R, Bosch P R, et al. Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报[EB/OL][2014-09-06]. <http://qhs.ndrc.gov.cn/zcfg/201404/W020140415316896599816.pdf>
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistical Databases[DB/OL][2014-09-23]. <http://data.fao.org/dataset?entryId=d1a87a6c-37a8-43be-bfdc-c5cb398a1956&tab=metadata>
- [4] 国家统计局. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013. National Bureau of Statistics of China. China rural statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2013.
- [5] 农业部. 2005 年中央一号文件: 中共中央、国务院关于进一步强化农村工作提高农业综合生产能力若干政策的意见[EB/OL][2014-10-02]. http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj2014/wjhg/201301/t20130129_3209957.htm.
- [6] 农业部. 2012 年中央一号文件: 中共中央、国务院印发《关于加快推进农业科技创新持续增强农产品供给保障能力的若干意见》[EB/OL][2014-10-02]. http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj2014/wjhg/201302/t20130201_3213495.htm.
- [7] 农业部. 2013 年中央一号文件: 中共中央、国务院印发《关于加快发展现代农业进一步增强农村发展活力的若干意见》[EB/OL][2014-10-02]. http://www.moa.gov.cn/ztl/yhwj2014/wjhg/201401/t20140120_3742607.htm.
- [8] 李玉影, 刘双全, 姬景红, 等. 玉米平衡施肥对产量、养分平衡系数及肥料利用率的影响[J]. 玉米科学, 2013, 21(3): 120-124, 130. LI Yu-ying, LIU Shuang-quan, JI Jing-hong, et al. Effect of balanced fertilization on yield, nutrient balance coefficient and fertilizer use efficiency of corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(3): 120-124, 130.
- [9] 王秀斌, 梁国庆, 周卫, 等. 优化施肥下华北冬小麦夏玉米轮作体系农田反硝化损失与 N_2O 排放特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 48-54. WANG Xiu-bin, LIANG Guo-qing, ZHOU Wei, et al. Effect of optimized nitrogen application on denitrification losses and N_2O emissions from soil in winter wheat-summer maize rotation system in North China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(1): 49-54.
- [10] 同延安, Ove Emteryd, 张树兰, 等. 陕西省氮肥过量施用现状评价[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1239-1244. TONG Yan-an, Emteryd O, ZHANG Shu-lan, et al. Evaluation of over-application of nitrogen fertilizer in China's Shaanxi Province[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(8): 1239-1244.
- [11] 黄志毅. 水稻应用平衡施肥效应分析[J]. 耕作与栽培, 2001(4):

- 39-40.
HUANG Zhi-yi. Analysis of balanced fertilization application on rice [J]. *Culture With Planting*, 2001(4):39-40.
- [12] 杨莉, 段建设, 张圣敏. 襄阳市襄州区主要农作物测土配方施肥效果分析[J]. *现代农业科技*, 2013(3):18-19.
YANG Li, DUAN Jian-she, ZHANG Sheng-min. The analysis of formula fertilization on main crops in Xiangyang City Xiangzhou Area[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2013(3):18-19.
- [13] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省粮食作物施肥状况的评价[J]. *土壤通报*, 1999, 30(5):217-220.
MA Wen-qi, MAO Da-ru, ZHANG Fu-suo. Evaluation of methods for fertilizing food crops in Shandong Province[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(5):217-220.
- [14] Eggleston S, Buendia L, Miwa K, et al. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories[R]. Japan:IGES, 2006.
- [15] Worrell Blok K. Energy saving in the nitrogen industry in the Netherlands[J]. *Energy*, 1994, 19(2):195-196
- [16] Gao B, Ju X T, Zhang Q, et al. New estimates of direct N₂O emissions from Chinese croplands from 1980 to 2007 using localized emission factors[J]. *Biogeosciences Discussions*, 2011, 8(10):3011-3024.
- [17] 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(5):1136-1143.
LI Hong-li, ZHANG Wei-feng, ZHANG Fu-suo, et al. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(5):1136-1143.
- [18] 范可正, 冯元琦, 曾宪坤. 中国肥料手册[M]. 北京:中国化工信息中心出版社, 2001.
FAN Ke-zheng, FENG Yuan-qi, ZENG Xian-kun. China fertilizer manual [M]. Beijing: China National Chemical Information Center Press, 2001.
- [19] 冯元琦. 化肥的布局, 品种和节能: 为“十一五规划”建言献策[J]. *中国农资*, 2006(1):18-19.
FENG Yuan-qi. The layout, breed and energy-saving of the fertilizer-make recommendations for the "11th five-year plan"[J]. *China's Agricultural Materials*, 2006(1):18-19.
- [20] 曹仑. 我国氮肥产业的能耗状况和节能策略研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2007.
CAO Lun. The study on the energy consumption and conservation strategy of China nitrogen fertilizer industry[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.
- [21] 孙钊. 测土配方施肥项目的发展现状与对策[J]. *现代农业科技*, 2009(15):290-291.
SUN Zhao. The present situation and countermeasures of formula fertilization[J]. *Modern Agricultural Sciences and Technology*, 2009(15):290-291.
- [22] 中华人民共和国农业部. 2011年全国测土配方施肥工作方案[EB/OL]. [2014-10-21]. http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tz/201103/t20110310_1869341.htm
- [23] 中华人民共和国农业部. 2012年全国测土配方施肥技术普及行动方案[EB/OL]. [2014-10-21]. http://www.moa.gov.cn/sjzz/zzys/ctpfsl/201203/t20120302_2494563.htm.
- [24] 中华人民共和国农业部. 2013年测土配方施肥补贴项目实施指导意见[EB/OL]. [2014-10-21]. http://www.moa.gov.cn/zwl/m/tzgg/tfw/201304/t20130408_3426734.htm.
- [25] 曾燕, 邱新法, 刘昌明, 等. 1960—2000年中国蒸发皿蒸发量的气候变化特征[J]. *水科学进展*, 2007, 18(3):311-318.
ZENG Yan, QIU Xin-fa, LIU Chang-ming, et al. Changes of pan evaporation in China in 1960—2000[J]. *Advances in Water Science*, 2007, 18(3):311-318.
- [26] 国家发展和改革委员会. 中国应对气候变化国家方案[EB/OI] [2014-11-12]. National Development and Reform Commission. National response to climate change.[EB/OI]. http://www.ndrc.gov.cn/xwt/200706/t20070604_139527.html
- [27] 李迎春, 林而达, 甄晓林. 农业温室气体清单方法研究最新进展[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(10):1076-1080.
LI Ying-chun, LIN Er-da, ZHEN Xiao-lin. Advances in methods of agricultural greenhouse gas inventories[J]. *Advances in Earth Science*, 2007, 22(10):1076-1080.