

## 中国夏秋粮生产化肥施用环境成本估算

刘建霞<sup>1</sup> 徐卫华<sup>2</sup> 黄璜<sup>1,3\*</sup> 郑华斌<sup>1,3\*</sup> 贺慧<sup>1</sup> 姚林<sup>1</sup> 陈灿<sup>1,3</sup>

(1. 湖南农业大学 生物科学与技术学院/南方粮油作物协同创新中心,长沙 410128;

2. 中国科学院 生态环境研究中心/城市与区域生态国家重点实验室,北京 100085;

3. 湖南农业大学 农学院,长沙 410128)

**摘要** 为估算2000、2005、2010年全国主要夏粮(早稻和小麦)与秋粮(中稻、晚稻和玉米)化肥施用环境影响的能值成本和宏观经济价值,以及计算2000—2010年的夏秋粮生产化肥施用环境成本的增长率,以化肥施用的污染产生剂量分析为基础,借助能值分析理论和伤残调整生命年评估手段来进行研究。结果表明:2010年,夏粮化肥施用环境成本高达171亿元,约占农业增加值的0.75%;秋粮化肥施用环境成本高达327亿元,约占农业增加值的1.44%;时间序列来看,2000—2010年全国夏粮与秋粮化肥施用引致的环境成本增加,2010年全国主要的粮食作物使用化肥引致的环境成本比2000年增长了4.68倍,其中夏粮增长了3.55倍,秋粮增长了5.53倍,夏粮的环境成本增速稍有下降,秋粮的增速大致保持不变。空间分布特征来看,夏粮在北部及沿海地区的影响强度大于南部与内陆地区,秋粮在西部耕地资源稀缺区的化肥环境影响强度趋于强烈。因此,农业生产中土地要素相较稀缺的地区,更加依赖于化肥的大量投入来提高产量,化肥环境成本负荷相应较大。

**关键词** 环境成本;能值;夏粮;秋粮

中图分类号 S 143-01

文章编号 1007-4333(2015)06-0225-08

文献标志码 A

## Estimation of environmental cost of chemical fertilizer usage in China's summer & autumn grain production

LIU Jian-xia<sup>1</sup>, XU Wei-hua<sup>2</sup>, HUANG Huang<sup>1,3\*</sup>, ZHENG Hua-bin<sup>1,3\*</sup>,

HE Hui<sup>1</sup>, YAO Lin<sup>1</sup>, CHEN Can<sup>1,3</sup>

(1. College of Bio-science & Technology/Collaborative Innovation Center for Grain and Oil Crop in Southern Paddy Field, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China;

3. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

**Abstract** To estimate the energy costs and macro-economic values of the environmental impact of chemical fertilizer between summer grain crops (early rice, wheat) and autumn crops (mid-rice, late rice and maize) in 2000, 2005, 2010 year in China, and its average annual growth rate 2000 - 2010, this study was designated with the theory of energy analysis and assessment method of disability adjusted life years (DALYs). The result showed that: The environmental cost of chemical fertilizer between summer grain crops and autumn grain crops in 2010 year was 17.1 billion RMB and 32.7 billion RMB, respectively, which account for 0.73% and 1.47% of the add value of agriculture. From time series, there was an increase with years in the environmental cost of chemical fertilizer from 2000 to 2010 in China. The environmental cost of chemical fertilizer use in China's main food crops in 2010 year increase by 4.68 times with that of

收稿日期: 2015-01-06

基金项目: 环保部、中科院全国生态环境10年变化调查与评估项目(STSN-04-00); 国家科技支撑计划项目(2013BAD07B11)

第一作者: 刘建霞, 硕士研究生, E-mail: 152492467@qq.com

通讯作者: 黄璜, 教授, 主要从事农业生态研究, E-mail: hh863@126.com

郑华斌, 讲师, 主要从事农业生态研究, E-mail: zhbb107@126.com

2000 year, 3.55 times in summer grain crops and 5.53 times in autumn grain crops. In addition, a slight decline was observed in the rate of increase in summer grain crops and no obvious change was observed in the rate of increase in autumn grain crops. From the spatial distribution features, Impact strength of chemical fertilizer use in north China and coastal areas in summer grain crops was greater than that of south China and inland areas; impact strength of chemical fertilizer use in west China and the area of cultivated land that is scaring, was enhanced. Therefore, the increase of crop production was more relies on the large amount of chemical fertilizer usage in the areas of limited cultivated land, and the environmental cost of chemical fertilizer increased accordingly.

**Key words** environmental cost; energy; summer grain crop; autumn grain crop

我国按照收获季节将粮食分为夏粮(早稻、小麦)和秋粮(中稻、晚稻和玉米),由于夏粮和秋粮生产的气候条件、耕作方式以及种植作物等的不同,所引起的各种污染强度也有所不同,其造成的环境成本存在极大差异,因此,差异化的评价我国夏秋粮生产的环境影响,对粮食生长中化肥使用的合理性提供理论依据,也对我国经济的持续发展有重要意义。前人已对全国或地区化肥施用引起的环境损失进行了成本估算,如赖力等<sup>[1]</sup>对1990—2005年我国化肥施用的环境影响进行研究认为2005年全国化肥施用环境成本共计188亿元,且1990—2005年来全国化肥施用环境成本年均增长7.1%,并在21世纪以来呈明显的增速下降趋势。向平安等<sup>[2]</sup>对1999年洞庭湖区水稻生产的环境成本的估算值为 $41.91 \times 10^8$ 元。李季等<sup>[3]</sup>对1995年湖南、湖北水稻生产进行环境成本估算得到结论认为两省的环境成本在25~110亿元。但对不同生产季节施用化肥引起的环境损失成本估算甚少。因此,本研究试图借助能

值分析(Emergy analysis, EMA)手段和伤残调整生命年评估手段进行夏秋粮环境成本估算,旨在有效避免传统环境估值手段的不足,避免方法的主观性和随意性对我国夏粮与秋粮化肥施用引致的环境损失进行成本估算。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料与数据来源

各作物化肥折纯量数据来源于2001、2006和2011年的中国统计年鉴<sup>[4-6]</sup>、全国农产品成本收益资料汇编<sup>[7-9]</sup>。不同年份间的成本比较按照中国统计年鉴公布的GDP指数进行换算,统一为各年公布价格。环境成本负荷专题地图用Mapinfo7.0绘制,分类按等计数选项划分。

### 1.2 核算方法

通过借助能值分析手段,采取剂量影响法对全国主要夏秋粮化肥施用环境成本进行估算,技术路线如图1所示。

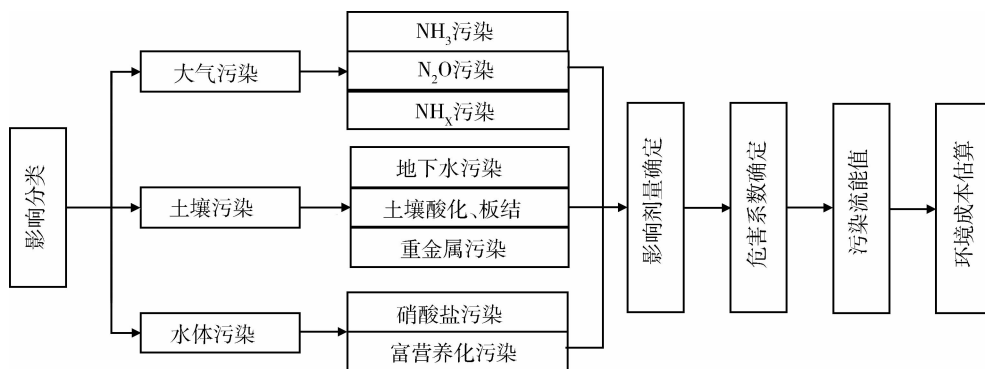


图1 全国夏秋粮化肥施用的环境成本估算路线图<sup>[1]</sup>

Fig. 1 Route of the estimation of environmental costs of fertilizer utilization of summer grain crops and autumn grain crops in China

第一步,将化肥施用产生的污染进行大分类,在此基础上,对各种可能存在的污染物的污染方式、产生途径进行归纳。

第二步,归纳夏粮和秋粮主要粮食作物中氮磷素运移转化比例和污染物产生剂量的研究成果数据,对我国化肥施用的营养物质流向和污染产生物

的影响剂量进行分析,其中夏粮化肥施用的污染产生物的影响剂量是早稻与小麦化肥施用的污染产生物的影响剂量之和,秋粮化肥施用的污染产生物的影响剂量是中稻、晚稻和玉米化肥施用的污染产生物的影响剂量之和。

$$Dose_i = M * C_{ei} * (W_c / W_f) \quad (1)$$

式中: $Dose_i$ 表示污染物*i*的产生剂量,t; $M$ 表示氮肥或磷肥的施用折纯量,t; $C_{ei}$ 表示营养元素的流转系数; $W_f$ 表示N或 $P_2O_5$ 的分子量; $W_c$ 表示所产生污染物的分子量。综合国内外关于化肥养分运移、转化方面的研究成果得出以下数据:

假定氮肥施用中,早稻、中稻、晚稻氮肥利用率分别约为32.60%、33.60%、38.80%<sup>[10-12]</sup>;大气流失率分别为5.25%、5.41%、6.26%<sup>[10,13]</sup>,其中早稻 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别约为3.63%、0.93%、0.69%,中稻 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别约为3.74%、0.96%、0.71%,晚稻 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别约为4.33%、1.11%、0.82%;流向土壤分别约为46.28%、47.77%、55.24%<sup>[10,14]</sup>,其中土壤残留分别约为44.79%、46.23%、53.46%,土壤淋溶分别约为1.49%、1.54%、1.78%;地面径流率分别约为10.42%、10.75%、12.43%,其中硝态氮分别约为6.42%、6.62%、7.66%,铵态氮分别约为4.00%、4.13%、4.77%。

小麦氮肥利用率约为35.5%<sup>[12,14]</sup>;大气流失率6.82%,其中 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别为5.60%、0.70%、0.52%;流向土壤约51.20%,其中土壤残留约为49.20%,土壤淋溶约为2.00%;地面径流率约为7.46%,其中硝态氮约为5.00%,铵态氮约为2.46%。

玉米氮肥利用率约为40.50%<sup>[15]</sup>;大气流失率5.85%,其中 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别为4.80%、0.60%、0.45%;流向土壤约39.80%,其中土壤残留约为38.80%,土壤淋溶约为1.00%;地面径流率约为13.90%,其中硝态氮约为9.30%,铵态氮约为4.60%。玉米氮肥利用率约为40.50%;大气流失率5.85%,其中 $NH_3$ 、 $N_2O$ 、 $NO_x$ 分别为4.80%、0.60%、0.45%;流向土壤约39.80%,其中土壤残留约为38.80%,土壤淋溶约为1.00%;地面径流率约为13.90%,其中硝态氮约为9.30%,铵态氮约为4.60%。

施用的磷肥中:早稻,中稻,晚稻磷肥利用率分别约为13.60%、11.70%、11.30%<sup>[11-12,14,16-21]</sup>;大气

损失分别约为4.77%、4.13%、4.00%;土壤吸附固定分别约为75.75%、65.51%、63.46%<sup>[19-20]</sup>;地表水径流分别约为16.65%、14.40%、13.95%;地下淋溶分别约为0.29%、0.25%、0.24%<sup>[17]</sup>。小麦的磷肥利用率约为13.70%<sup>[10-21]</sup>;大气损失约为4.80%;土壤吸附固定69.00%;地表水径流约为12.00%;地下淋溶0.50%。玉米磷肥利用率约为11.20%<sup>[14,16]</sup>;大气损失约为5.50%;土壤吸附固定72.30%;地表水径流约为10.00%;地下淋溶1.00%。 $CO_2$ 暂不参入计算,磷肥中Cd含量按0.2~2.5 mg/kg剂量比例核算<sup>[22]</sup>。

第三步,对于大气、土壤和水体三大类环境质量影响,采用伤残调整生命年(Disability Adjusted Life Years, DALY<sub>s</sub>)法,估算全国夏秋粮化肥施用带来污染物所造成的人类健康影响。

$$DALY_i = Cd_i \times Dose_i \quad (2)$$

式中: $DALY_i$ 表示某种污染造成的生命损害年累计数, $Dose_i$ 表示污染物*i*的剂量, $Cd_i$ 表示单位污染物剂量引致的生命损害年数,年/kg(表1),取值采用Eco-indicator99等<sup>[23]</sup>的系列评估值,其中磷酸盐和硫酸盐的 $Cd_i$ 根据其潜在化学势估算<sup>[24]</sup>。

第四步,依据国内外有关单位劳动力的能值消费数据,乘以生命损害年累计数,估算全国夏秋粮化肥施用对环境质量影响的能值。最后汇总,得出全国夏秋粮化肥施用产生的环境影响的总能值。

$$U = \sum_{i=1}^n Energy_i = (DALY_i \times C_m) \quad (3)$$

式中: $U$ 表示化肥环境影响的总能值成本,sej; $Energy_i$ 表示污染物*i*的能值成本; $C_m$ 表示单位劳动力的年能值消费量,2005年取的数值为 $9.35E+13sej$ <sup>[1]</sup>,通过劳动力数量和能值的增长量折算为 $1.26E+14sej$ 。 $DALY_i$ 表示某种污染造成的生命损害年累计数。

第五步,依据我国各年份的能值货币比率数据,折算全国夏秋粮化肥施用的综合环境成本。

$$Emdollar = U / C_g \quad (4)$$

式中: $Emdollar$ 表示化肥环境影响的宏观经济价值,元; $U$ 表示化肥环境影响的总能值成本,sej; $C_g$ 表示单位宏观经济价值的能值载荷,即一国家或地区单位时间内使用的能值与GDP比,sej/元。根据李双成等<sup>[25]</sup>对全国社会经济和环境系统的能值核算结果,1996年我国单位GDP的能值载荷(全部可更新资源和不可更新资源)为 $1.43E+12sej/元$ 。

如此,参照李双成等<sup>[25]</sup>的能值转换率取值,按照历年统计年鉴公布的物质流基础数据进行相应的比例调整,可得出不同年份的  $C_g$  取值。

第六步,计算全国夏秋粮化肥施用的环境成本负荷。

$$B = \text{Emdollar}/M_{\text{ui}} \quad (5)$$

式中:  $B$  表示单位面积化肥环境成本负荷,元; Emdollar 表示化肥环境影响的宏观经济价值,元;  $M_{\text{ui}}$  表示各省粮食种植面积,  $\text{hm}^2$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 夏秋粮化肥施用的环境影响能值评估

#### 2.1.1 环境健康损害

根据 1.2 中的核算方法,将全国夏粮和秋粮化肥施用的环境影响分为土壤、大气和水体 3 大类共计 10 小项污染物,并估算出污染物的影响剂量,再

结合专著 Eco-indicator99 中采用伤残调整生命年对各类污染物的危害因子评估结果,对我国主要夏秋粮化肥施用的人类健康影响进行估算。表 1 中分析的结果表明,2010 年全国主要夏秋粮化肥施用导致的环境影响总计  $6.13\text{E}+05a$ ,其中夏粮污染  $2.11\text{E}+05a$ ,秋粮污染  $4.03\text{E}+05a$ 。夏粮污染中以水体污染中的硝态氮、大气污染中的氨气和土壤污染中的镉、硝酸盐贡献较多,分别达到了  $3.83\text{E}+04a$ 、 $1.72\text{E}+04a$ 、 $8.56\text{E}+04a$  和  $5.67\text{E}+04a$ 。4 项总计贡献了 93.99% 的健康损害;秋粮污染中,以水体污染中的硝态氮、土壤污染中的镉、硝酸盐和大气污染中的氨气、氮氧化物贡献最多分别达到了  $1.17\text{E}+05a$ 、 $1.30\text{E}+05a$ 、 $9.70\text{E}+04a$ 、 $2.81\text{E}+04a$  和  $1.08\text{E}+04a$ ,这 5 项的总计贡献了 95.07%。并且各项分类账户中秋粮的伤残调整生命年都要比夏粮中的高。

表 1 全国夏粮和秋粮化肥污染物影响剂量及 DALYs 估算(2010 年)

Table 1 Contamination dose and DALYs of chemical fertilizer utilization of summer grain crops and autumn grain crops in China (in 2010)

分类账户 Categories	污染类型 Impact categories	影响剂量/ $10^4$ t Impact dose		影响强度/ (年/kg) DALYs	伤残调整生命年 DALYs	
		夏粮 Summer grain crops	秋粮 Autumn grain crops		夏粮 Summer grain crops	秋粮 Autumn grain crops
		大气影响 Atmosphere impact				
氨气 $\text{NH}_3$	酸雨、呼吸系统	33.73	55.10	$5.10\text{E}-05$	$1.72\text{E}+04$	$2.81\text{E}+04$
氧化二氮 $\text{N}_2\text{O}$	温室效应、臭氧层破坏	6.18	12.40	$4.00\text{E}-06$	$2.47\text{E}+02$	$4.96\text{E}+02$
氮氧化物 $\text{NO}_x$	臭氧层破坏、呼吸系统	7.94	15.95	$6.79\text{E}-05$	$5.39\text{E}+03$	$1.08\text{E}+04$
土壤影响 Soil impact						
硝酸盐 Nitrate	地下水污染、盐渍化	115.77	198.04	$4.90\text{E}-05$	$5.67\text{E}+04$	$9.70\text{E}+04$
硫酸盐 Sulphate	土壤酸化、土壤板结	4.81	7.22	$1.70\text{E}-06$	$8.18\text{E}+01$	$1.23\text{E}+02$
镉 Cadmium	重金属污染	14.06	21.31	$6.09\text{E}-04$	$8.56\text{E}+04$	$1.30\text{E}+05$
水体影响 Water impact						
硝态氮 $\text{NO}_3^- - \text{N}$	富营养化、致癌效应	125.60	383.77	$3.05\text{E}-05$	$3.83\text{E}+04$	$1.17\text{E}+05$
铵态氮 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$	富营养化	32.18	101.76	$1.67\text{E}-05$	$5.37\text{E}+03$	$1.70\text{E}+04$
磷酸盐 Phosphate	富营养化	43.51	62.70	$3.60\text{E}-06$	$1.57\text{E}+03$	$2.26\text{E}+03$

#### 2.1.2 夏秋粮化肥施用的能值成本评估

根据 1.2 中的第四和第五步,结合单位劳动力

的年能值消费量和我国各年份的能值货币比率数据,估算出我国夏秋粮化肥施用的环境成本(表 2)。

表2 全国夏粮和秋粮化肥施用环境影响的能值成本评估(2010年)

Table 2 Emerge accounting of environmental impact caused by fertilizer utilization of summer grain crops and autumn grain crops in China (The year 2010)

分类账户 Categories	原始数据(DALY s) Original data		总能值/sej Total emerge		宏观经济价值/元 Macro-economic value	
	夏粮 Summer grain crops	秋粮 Autumn grain crops	夏粮 Summer grain crops	秋粮 Autumn grain crops	夏粮 Summer grain crops	秋粮 Autumn grain crops
	大气影响 Atmosphere impact					
氨气 NH <sub>3</sub>	1.72E+04	2.81E+04	7.87E+20	1.29E+21	1.40E+09	2.28E+09
氧化二氮 N <sub>2</sub> O	2.47E+02	4.96E+02	1.13E+19	2.27E+19	2.01E+07	4.03E+07
氮氧化物 NO <sub>x</sub>	5.39E+03	1.08E+04	2.47E+20	4.96E+20	4.37E+08	8.79E+08
土壤影响 Soil impact						
硝酸盐 Nitrate	5.67E+04	9.70E+04	2.6E+21	4.44E+21	4.60E+09	7.88E+09
硫酸盐 Sulphate	8.18E+01	1.23E+02	3.75E+18	5.62E+18	6.64E+06	9.97E+06
镉 Cadmium	8.56E+04	1.30E+05	3.92E+21	5.94E+21	6.95E+09	1.05E+10
水体影响 Water impact						
硝态氮 NO <sub>3</sub> -N	3.83E+04	1.17E+05	1.75E+21	5.36E+21	3.11E+09	9.50E+09
铵态氮 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	5.37E+03	1.70E+04	2.46E+20	7.78E+20	4.36E+08	1.38E+09
磷酸盐 Phosphate	1.57E+03	2.26E+03	7.17E+19	1.03E+20	1.27E+08	1.83E+08
总计 Total			9.63E+21	1.84E+22	1.71E+10	3.27E+10

宏观经济价值核算表明：2010年，全国夏粮化肥施用的环境成本共计1.71E+10元；其中大气污染1.85E+09元，占总成本的10.85%；土壤污染1.16E+10元，占总成本的67.66%；水污染3.67E+09元，占总成本的21.49%；全国秋粮化肥施用的环境成本共计3.27E+10元；其中大气污染3.27E+10元，占总成本的9.79%；土壤污染1.84E+10元，占总成本的56.36%；水污染1.11E+10元，占总成本的33.85%。

## 2.2 夏秋粮化肥施用的环境影响的环境成本评估

表3表明，2010年，我国夏粮化肥施用环境成本高达1.71E+10元，约占农业增加值的0.75%；我国秋粮化肥施用环境成本高达3.27E+10元，约占农业增加值的1.44%；2000、2005、2010这3年，全国每年夏粮与秋粮化肥施用引致的环境成本都是逐步增加，全国主要的粮食作物使用化肥引致的环境成本2010年比2000年增长了4.68倍；其中夏粮增长了3.55倍，秋粮增长了5.53倍。分析来看，3年中秋粮的环境成本都比夏粮高，另一方面，夏秋粮

的化肥施用环境影响加剧的态势也随着时间的推移开始得到部分缓和，其中夏粮的环境成本增速稍有下降，秋粮的增速大致保持不变。

表3 2000、2005和2010年我国夏、秋粮化肥施用环境影响的能值流及环境成本核算

Table 3 Energie flow and environmental costs caused by fertilizer utilization of summer grain crops and autumn grain crops in the year 2000, 2005 and 2010

粮食作物 Grain crop	年份 Year	能值/sej Emergy	环境成本/元 Environmental cost
夏粮	2000	3.84E+21	3.75E+09
	2005	7.37E+21	8.29E+09
	2010	9.63E+21	1.71E+10
秋粮	2000	5.11E+21	5.00E+09
	2005	1.14E+22	1.28E+10
	2010	1.84E+22	3.27E+10

### 2.3 夏秋粮化肥施用环境成本的区域特征分析

从我国 31 个省市自治区(除港澳台)夏秋粮化肥施用的环境成本总量来看,夏粮最高的是河南、山东、河北、安徽、江苏五省,环境成本总量超过 1.0E+09 元;而环境成本总量不足 1.0E+07 元的只有辽宁,吉林 2 处。秋粮较高的是黑龙江、四川、吉林、云南、江苏、山东、辽宁、河南、河北、湖南、内蒙古、安徽、湖北、山西、广西、江西 16 处,环境成本总量超过 1.0E+09 元;而环境成本总量不足 1.0E+07 元的只有青海与西藏两处。

从化肥的环境影响强度来看(图 2 和图 3),夏粮生产中内蒙古、陕西、天津、北京、河北 5 地较高,耕地面积的环境成本负荷在 700 元/hm<sup>2</sup> 以上。而耕地面积的环境成本负荷在 400 元/hm<sup>2</sup> 以下的有贵州、西藏、江西、辽宁、吉林、黑龙江 6 处。秋粮生产中甘肃、西藏、云南 3 地较高,耕地面积的环境成本负荷在 800 元/hm<sup>2</sup> 以上,不足 400 元的只有黑龙江跟上海。

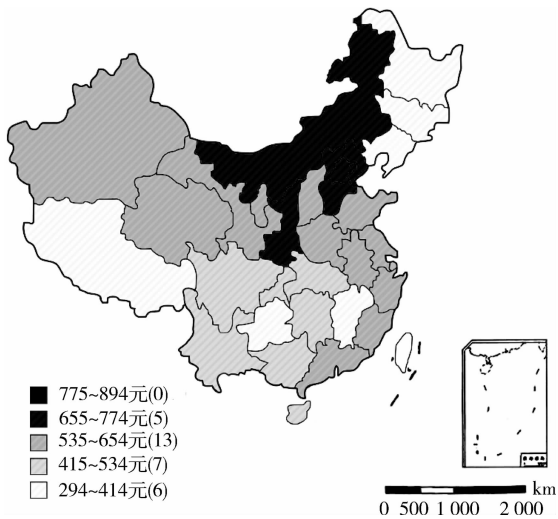


图 2 2010 年全国 31 个省市生产单位耕地面积主要夏粮的化肥施用环境成本负荷(除港澳台)

Fig. 2 Environmental costs per arable land area caused by fertilizer utilization of main summer grain crops in 31 provinces in the year 2010 (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan)

因此,我国化肥施用环境成本的区域分布呈以下特征:一是夏粮在北部及沿海地区的影响强度强于南部与内陆地区,秋粮在西部耕地资源稀缺区的化肥环境影响强度趋于强烈。二是秋粮生产中黑龙江的环境成本很高,但单位耕地面积的环境成本负

荷强度很弱,反之西藏的环境成本较低,但单位耕地面积的环境成本负荷强度很大,说明在农业生产中土地要素相较稀缺的地区,更加依赖于化肥等其他要素的大量投入来提高产量。

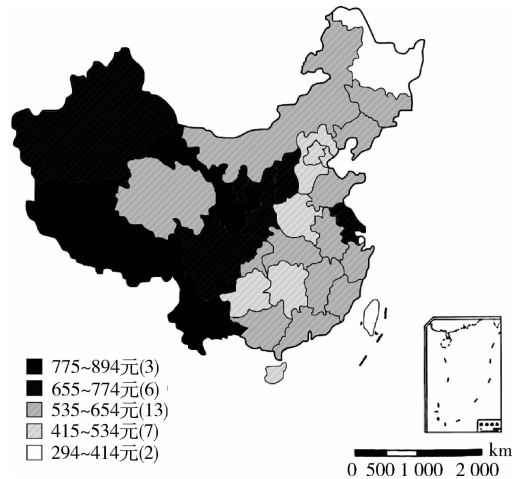


图 3 2010 年全国 31 个省市生产单位耕地面积主要秋粮的化肥施用环境成本负荷(除港澳台)

Fig. 3 Environmental costs per arable land area caused by fertilizer utilization of main autumn grain in 31 provinces in the year 2010 (excluding Hong Kong, Macao and Taiwan)

## 3 结论与讨论

### 3.1 结论

研究从夏秋粮化肥施用的影响剂量分析入手,借助能值分析的理论,核算了 2000、2005 和 2010 年共 3 年我国夏秋粮化肥施用的环境成本。结果表明:1) 2010 年,我国夏粮化肥施用环境成本高达 1.71E+10 元,约占农业增加值的 0.75%;我国秋粮化肥施用环境成本高达 3.27E+10 元,约占农业增加值的 1.44%,环境影响比较显著,其中秋粮的环境影响比夏粮的环境影响高;2) 2000、2005 和 2010 这 3 年,全国夏粮与秋粮化肥施用引致的环境成本都是逐步增加,全国主要的粮食作物使用化肥引致的环境成本 2010 年比 2000 年增长了 4.68 倍;其中夏粮增长了 3.55 倍,秋粮增长了 5.53 倍。夏秋粮的化肥施用环境影响加剧的态势也开始得到部分缓和,夏粮的环境成本增速稍有下降,秋粮的增速大致保持不变。3) 对 2010 年我国 31 个省市的夏秋粮生产中化肥施用环境影响进行定量分析,结果显示夏粮在北部及沿海地区的影响强度强于南部与内

陆地区,秋粮在西部耕地资源稀缺区的化肥环境影响强度趋于强烈。秋粮生产中黑龙江的环境成本很高,但单位耕地面积的环境成本负荷强度很弱,反之西藏的环境成本较低,但单位耕地面积的环境成本负荷强度很大。

通过本研究的估算与分析研究提出以下改善环境成本的意见与建议:

第一:加大新型肥料研发力度。新型肥料的出现是顺应有机绿色农业持续健康发展,但目前新型肥料研发技术还不成熟,应用效果不稳定,且由于利益的驱动,往往有人故意夸大新型肥料的效用,市场管理混乱。纵观欧美各国肥料使用现状新型肥料只是在某些特殊作物、特殊土壤上或者在其他的具体条件下进行应用。对于新型肥料的研究与推广需要我国政府大力支持与管理。

第二:合理灌溉。合理灌溉可以提高肥料利用率,减少肥水流失,继而减少化肥使用导致的环境污染。目前我国灌溉技术与施肥技术并不是一体的,发展灌溉施肥是提高肥料利用率的有效方法。

第三:加强对农户科学施肥的指导。针对越来越多有环保意识的粮食生产大户,政府应提供更多的指导,以大户带动小户的方法,推广科学施肥。

第四:加大推广科学施肥技术。目前农作物生产过程中过量施肥现象普遍严重,农户在种植作物时奉行省时、省力、省事、省钱原则,过度忽略环境成本问题。对于科学测土施肥技术不了解,因此,国家应加大推广力度,减少过量施肥现象。

### 3.2 讨论

能值分析为自然核算和经济核算之间架起了便捷的桥梁。但采用能值方法评价生态环境影响的相关研究还较少。本研究通过能值方法量化评估夏粮与秋粮化肥施用的环境成本,是一种创新与便利相结合的环境价值评估的好方法。在分析环境成本的区域特征中发现秋粮生产中黑龙江的环境成本很高,但单位耕地面积的环境成本负荷强度很弱,反之西藏的环境成本较低,但单位耕地面积的环境成本负荷强度很大。这可能是由于黑龙江省主要耕地土壤为黑土,土壤肥力足,化肥施用量少,对化肥的依赖性比较少。西藏处于农业生产用地紧缺的地区,对施用化肥等来提高产量的依赖性大。本研究中秋粮环境成本比夏粮高,可能原因有:近年来,在国家最低保护收购价政策作用下,作为主要口粮的小麦、稻谷价格呈稳步上扬态势,但是随着畜牧业和农产

品深加工的快速发展,玉米的需求更加旺盛,价格上涨更多。秋粮的收益高于夏粮,并且秋粮的种植面积大于夏粮,为保证更高的收益,可能导致农民秋粮的化肥施用量大于夏粮,再者,夏秋粮生产的气候差异,对肥料的利用率存在一定影响,造成秋粮环境成本高于夏粮。本研究亦存在几点不足:一是采取剂量影响法的环境健康损害做为环境成本,没有考虑农产品和水产品的损失,存在估算值偏小的不争事实;二是由于气候条件,耕作方式,化肥品质、施肥水平特征都相同,往往化肥施用的环境成本影响也大相径庭,需要将不同研究区域进行相应的参数调整,出于资料数据限制,本研究将全国各地化肥流转系数、污染物剂量产生系数、能值货币功率等参数均质化考虑,不能体现不同区域的差异,尤其是水土资源配置条件差异大、气候气候状况差异大等的区域。三是本研究只考虑了水稻、小麦、玉米3种粮食作物的环境成本,对于大豆、高粱等没有进行计算,这是本研究欠缺之处,有待进一步完善。

### 参 考 文 献

- [1] 赖力,黄贤金,王辉.中国化肥施用的环境成本估算[J].土壤学报,2009,46(1):63-69
- [2] 向平安,黄璜,燕惠民,等.湖南洞庭湖区水稻生产的环境成本评估[J].应用生态学报,2005,16(11):2187-2193
- [3] 李季,靳百根,崔玉亭,等.中国水稻生产的环境成本估算:湖北湖南案例研究[J].生态学报,2001,21(9):1474-1483
- [4] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2001[M].北京:中国统计出版社,2001
- [5] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2006[M].北京:中国统计出版社,2006
- [6] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2011[M].北京:中国统计出版社,2011
- [7] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业统计年鉴2001[M].北京:中国农业出版社,2001
- [8] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业统计年鉴2006[M].北京:中国农业出版社,2006
- [9] 中国农业年鉴编辑委员会.中国农业统计年鉴2011[M].北京:中国农业出版社,2011
- [10] 尹娟,费良军,田军仓,等.水稻田中氮肥损失研究进展[J].农业工程报,2005,21(6):189-191
- [11] 王继红,刘景双,于家宝,等.农田生态系统氮、磷肥的环境效应[J].吉林农业大学学报,2003,25(3):327-331
- [12] 李学平,孙燕,石孝均.紫色土稻田磷素淋失特征及其对地下水的影响[J].环境科学学报,2008,28(9):1832-1838
- [13] 苏成国,尹斌,朱兆良,等.农田氮素的气态损失与大气氮湿沉

- 降及其环境效应[J]. 土壤, 2005, 37(2): 113-120
- [14] 梁加寺, 王先如, 吴明. 磷肥在水稻上的使用效果研究[J]. 大麦与谷类科学, 2013(1): 51-52
- [15] 陈欣, 宇万太, 沈善敏. 磷肥低量施用制度下土壤磷库的发展变化 I: 土壤总磷库和有机, 无机磷库[J]. 土壤学报, 1996, 33(4): 373-379
- [16] 单艳红, 杨林章, 王建国. 土壤磷素流失的途径, 环境影响及对策[J]. 土壤, 2004, 36(6): 602-608
- [17] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924
- [18] 马保国, 杨太新, 郭凤台, 等. 麦稻轮作体系中磷素平衡的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005(2): 371-374
- [19] 王激清, 刘社平, 韩宝文. 施氮量对冀西北春玉米氮肥利用率和土壤硝态氮时空分布的影响[J]. 水土保持学报, 2011, 25(2): 138-143
- [20] 吕忠贵, 杨圆. 浅析氮磷化肥的使用、利用及对农业生态环境污染[J]. 农业环境与发展, 1997, 14(3): 31-35+49
- [21] 高阳俊, 张乃明. 施用磷肥对环境的影响探讨[J]. 中国农学通报, 2003, 19(6): 162-165
- [22] 鲁如坤, 时正元, 雄礼明. 我国磷矿磷肥中镉的含量及其生态环境影响的评价[J]. 土壤学报, 1992, 29(2): 150-157
- [23] Goedkoop M, Spriensma R. The Eco-indicator99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment [M]. Amensfoot, Pre Consultants, 1999
- [24] Szargut J, Morris D R, Steward F R. Energy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes [M]. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1988
- [25] 李双成, 傅小锋, 郑度. 中国经济持续发展水平的能值分析[J]. 自然资源学报, 2001, 16(4): 297-304

责任编辑: 王燕华