

中国农业生产水环境承载力及污染风险评价

郑微微, 易中懿, 沈贵银

(江苏省农业科学院 农业经济与信息研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: [目的] 对我国各区域农业生产水环境承载能力和污染风险进行评价, 以期实现水环境承载力的可控和生态环境的平衡, 为合理规划农业生产密度与区域布局、实现农业可持续发展提供参考和意见。[方法] 利用 2006—2014 年中国 7 大农区 24 个省份的统计数据, 采用过剩氮和水盈余方法测算农业生产水环境承载力。[结果] 中国农业生产水环境负荷警报值不断向污染威胁临界值靠近, 辽宁、河南、河北、山东、江苏和宁夏 6 个地区的污染风险最为严重。[结论] 污染风险严重的地区应强制实行农业生产总量控制与污染消减措施; 东北平原、长江流域和华南基本不存在污染风险, 可适当扩大农业生产规模; 河套灌区和汾渭平原污染风险较低, 应结合地区产业发展特色, 重点加强污染物消减措施。

关键词: 农业生产; 水环境; 环境承载力; 污染风险

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0261-07

中图分类号: X508

文献参数: 郑微微, 易中懿, 沈贵银. 中国农业生产水环境承载力及污染风险评价[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 261-267. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.039; Zheng Weiwei, Yi Zhongyi, Shen Guiyin. Assessment on Water Environmental Carrying Capacity of Agricultural Production and Pollution Risk in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 261-267. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.039

Assessment on Water Environmental Carrying Capacity of Agricultural Production and Pollution Risk in China

ZHENG Weiwei, YI Zhongyi, SHEN Guiyin

(Institute of Agricultural Economics and Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing, Jiangsu 210014, China)

Abstract: [Objective] In order to control the water environment carrying capacity and achieve the balance of ecological environment, this paper evaluated the water environment carrying capacity of agricultural production and the pollution risk, aimed to provide reference, and opinion for rational planning of agricultural production density and regional distribution, and for further sustainable development of agriculture. [Methods] According to the statistical data of 7 crop-growing areas of 24 provinces in China during 2006—2014, the paper estimated the water environmental carrying capacity of agricultural production with surplus nitrogen and water surplus methods. [Results] Chinese load alarm value of agricultural production on water environment was closed to the critical value of pollution. The pollution risks of Liaoning, Henan, Hebei, Shandong, Jiangsu and Ningxia's was in the highest list. [Conclusion] The highest pollution risk areas should enforce the total amount control of agricultural production and pollution reduction measures. The Northeast plain, the Yangtze River basin and South China had no pollution risk, having some potential to expand the scale of agricultural production. Hetao irrigation district and Fenwei Plain had low pollution risk. The government should also consider the endemic traits of industrial development in the enhancement of pollutant abatement.

Keywords: agricultural production; water environment; environmental carrying capacity; pollution risk

改革开放以来, 中国农业经济取得了巨大增长, 但该增长是以环境损失为代价的, 产生了大量的农业面源污染^[1]。据第一次全国污染源普查资料显示, 中国农业面源污染已远超过工业与生活源污染, 成为污

收稿日期: 2016-08-09

修回日期: 2016-08-31

资助项目: 国家自然科学基金项目“环境目标约束下农户技术选择: 个体行为与制度安排”(71273147); 中国博士后科学资助项目(2015M581756)

第一作者: 郑微微(1987—), 女(汉族), 浙江省台州市人, 博士, 助理研究员, 主要从事农村环境经济方面的研究。E-mail: starxiaoweil68@163.com。

染源之首,主要表现为,畜禽养殖粪便的不合理排放、种植业农药和化肥等农用物资的不合理和过量施用,使氮素和磷素等营养物质、农药及其他有机或无机污染物质,在降水或灌溉过程中通过农田地表径流、壤中流、农田排水和地下渗漏进入水体,进而引起地表和地下水环境的污染^[2-4]。水环境对农业生产污染物具有一定的净化能力,但在一定时间内,该净化能力是有限的,区域农业生产应该符合该地区水环境承载能力,其农业生产密度应不超过该地区水环境的最大承载能力。农业部《关于进一步调整优化农业结构的指导意见》明确指出农业生产新格局当与资源环境承载能力相匹配。因此,对农业生产水环境承载能力进行科学评价是构建农业生产新格局,实现农业可持续发展的前提和基础。水环境承载能力与污染物质排放量和水环境容量相关。目前,我国水环境容量基本维持稳定,“十一五”以来,扣除各业生产用水后的水资源总量徘徊于 $2.08 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 左右,而农业生产污染物质排放量则在大幅增加,如生猪饲养量由 68 050 万头增加至 73 510 万头,伴随产生的粪便排放量也在不断增加;化肥施用量由 369 增加至 443 kg/hm^2 ,超过国际标准用量 255 kg/hm^2 越来越高。如此发展,水环境承载能力将持续弱化,农业生态环境将不断恶化。但与工业污染排放源不同,农业中,畜禽养殖过程中产生的排泄物含有大量氮、磷等植物必需的有机质和营养元素,经过适当处理很大部分可以转变为农业生产资料;种植业生产过程中化肥、农药的施用量已远超过经济最优量^[5-6],适当减少化肥和农药的施用量不仅不影响农业产量,而且节约资源、保护生态环境。2014 年全国农业工作会议明确提出了“一控、两减、三基本”的农业生产目标,即农业用水总量控制;化肥、农药施用量减少;地膜、秸秆、畜禽粪便基本资源化利用。因此,考虑农业污染物的资源化和减量化利用来评估农业生产水环境承载能力将十分必要。本研究在资源化、减量化等循环经济思想的指导下,立足农牧结合,采用养分平衡和水足迹模型,对我国各区域农业生产水环境承载能力进行评价,以期实现水环境承载力的可控和生态环境的平衡,为合理规划农业生产密度与区域布局、实现农业可持续发展提供参考和意见。

1 材料与方法

1.1 研究区的选择与划分

水环境承载能力对农业生产布局具有较高的指导意义,尤其是对农业生产主产区的布局。农业生产主产区往往是农业生产具有比较优势且生产密集度

较高的地区,也是对水环境造成承载压力较高的主要地区。对农业生产主产区进行水环境承载能力评价,提高农业生产与主产区水环境承载之间的适应性,对指导全国农业可持续发展更具有针对性和重要性。因此,本文参考“七区二十三带”农业战略核心区域划分方法,将中国农业生产主产区划分为 7 大主产区:东北平原(包括辽宁、吉林和黑龙江)、黄淮海平原(包括河北、河南和山东)、长江流域(包括安徽、湖北、湖南、江西、浙江、江苏、四川和重庆)、汾渭平原(包括山西和陕西)、河套灌区(包括宁夏和内蒙古)、华南(包括广西、广东、福建和云南)和甘肃新疆(包括甘肃和新疆),覆盖全国 24 个省份,涉及水稻、小麦、玉米、棉花、大豆、油菜、甘蔗、棉花和畜产等全国主要农产品产业。

1.2 计算方法与数据来源

1.2.1 污染物排放量衡量 根据《第一次全国污染源普查公报》统计,农业源污染物排放指标包括化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)。化学需氧量(COD)、总氮(TN)和总磷(TP)对水环境的压力互相独立,任一指标均可在一定程度上表征农业污染程度。饶静等^[7]分别选用化学需氧量、总氮和总磷来统计农业面源污染现状;葛继红等^[8]分别采用总氮(TN)和总磷(TP)2 个指标来表征农业面源污染,并且 2 个指标的研究结论基本一致;张晖等^[9]则以总氮来反映农业面源污染状况。可见,3 类指标对环境压力的体现具有一定的独立性与趋同性。因此,本文以总氮(TN)为例,对中国农业生产的环境压力进行评价,也将具有一定的科学性和代表性。

根据曲劳(Truog)养分平衡法理论,当进入农业生产系统的氮素,包括畜禽粪便中的氮素和化学肥料中的氮素,及土壤本身蓄积的氮素超过了作物需要时,就会发生养分冗余问题。因此,本文以冗余养分的计算方法来测算农业生产对水环境造成的压力,称之为过剩氮,计算公式如下:

$$N_{\text{surplus}} = N_{\text{animal}} + N_{\text{CF}} + 10^{-4} N_{\text{land}} - 10^{-2} N_{\text{crop}} \quad (1)$$

式中: N_{surplus} ——过剩氮量(10^4 t); N_{animal} ——牲畜粪肥中的含氮量(10^4 t); N_{CF} ——化肥中的含氮量(10^4 t); N_{land} ——土壤的蓄积氮量(t); N_{crop} ——作物的氮素需求量(10^2 t)。且, N_{animal} , N_{CF} , N_{land} , N_{crop} 的计算公式分别如下:

$$N_{\text{animal}} = \sum_i \alpha_i X_i \quad (2)$$

$$N_{\text{CF}} = \sum_j \beta_j X_j \quad (3)$$

$$N_{\text{land}} = \sum_k \gamma_k Z_k \quad (4)$$

$$N_{\text{crop}} = \sum_k \delta_k W_k \quad (5)$$

式中: α_i —— i 种畜禽的粪肥含氮系数(t/头、t/只);
 β_j —— j 种化肥的含氮系数(kg/kg); γ_k —— k 种作物
 土壤中的氮蓄积系数(kg/hm²); δ_k —— k 种作物的
 耗氮系数(kg/10⁻² kg); X_i —— i 种畜禽的饲养量
 (10⁴头、10⁴只); Y_j —— j 种化肥的使用量(10⁴t);
 Z_k —— k 种作物的播种面积(10³hm²); W_k —— k
 种作物的产量(10⁴t)。出于数据可获得性的考虑,本文
 计算的畜禽品种包括猪、牛、羊和家禽,化肥以总化肥
 使用量及平均含氮系数表示,作物品种包括谷物、豆

类等粮食作物、棉花、油料、麻类、蔬菜及瓜果等。畜
 禽饲养量数据来源于《中国畜牧兽医年鉴》,化肥使用
 量、作物播种面积及产量数据来源于《中国统计年
 鉴》,化肥平均含氮系数为0.65,各类畜禽粪便的含
 氮系数参考国家环境保护总局2003年公开出版的
 《全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对
 策》^[10],各种作物的耗氮系数及各种作物土壤中的氮
 蓄积系数参考张晖^[11]的研究成果,各类作物的耗氮
 系数及土壤的氮蓄积系数如表1所示。

表 1 作物耗氮系数与土壤氮蓄积系数

作物	每 100 kg 耗氮系数	土壤氮蓄积系数/ (kg·hm ⁻²)	作物	每 100 kg 耗氮系数	土壤氮蓄积系数/ (kg·hm ⁻²)
水稻	2.10	30.00	麻类	5.00	5.00
小麦	3.00	30.00	甘蔗	0.17	5.00
玉米	2.90	5.00	甜菜	0.50	5.00
豆类	6.53	97.50	茶叶	1.30	5.00
薯类	0.45	5.00	烟叶	4.10	5.00
棉花	13.80	5.00	苹果	0.62	32.50
花生	7.00	5.00	柑橘	0.18	32.50
油菜	10.00	5.00	其他瓜果	0.45	32.50
芝麻	10.00	5.00	蔬菜	0.28	32.50

1.2.2 水环境容量测算 水环境容量,即地区水资源
 总量扣除各业用水量后的水盈余量。当水盈余量
 为正时,说明该地区的水资源能够稀释更多的污染物
 至可接受的水平;当水盈余量为负数时,表明该地区
 的水资源量相对短缺,有必要对相关产业生产进行调
 整和控制。参考虞祎等^[12]对水盈余量的测算,其计
 算公式如下:

$$WS = WA - WF_{agr} - WF_{ind} - WF_{liv} - WF_{eco} \quad (6)$$

式中:WS——水盈余量(10⁸m³);WA——水资源总量
 (10⁸m³);WF_{agr}——农业用水(10⁸m³);WF_{ind}——工
 业用水量(10⁸m³);WF_{liv}——生活用水量(10⁸m³);
 WF_{eco}——生态用水量(10⁸m³)。水资源数据来源于
 《中国统计年鉴》。

1.2.3 农业生产水环境承载力测算 根据前文对农
 业生产污染物排放量及水环境容量的测算,本文以单
 位水盈余量对过剩氮负荷来表征农业生产水环境承
 载力,其计算公式为:单位水盈余量过剩氮负荷=过

剩氮量×水盈余量,采用单位水盈余量过剩氮负荷除
 以水资源理论最大适宜氮素承载量,其比值即为地区
 水环境对农业生产污染物负荷量承受程度的警报值,
 随着数值的增大,水环境对农业生产污染物负荷量承
 受能力逐渐下降,农业生产对环境造成的污染威胁性
 越大。

参考土壤污染物负荷警报值分级,本文对水环境
 污染物负荷警报值分级情况如表2所示。以欧盟农
 业政策中推荐的水体含氮量50mg/L作为水环境承
 载力的标准^[13]。值得注意的是,当水盈余量为负数
 时,表明该地区已不存在能够消纳多余污染物质的水
 环境容量,农业生产对水环境的污染威胁极其严重。
 此时,计算得的警报值为负值,表示不仅不能再承载
 农业生产规模的扩大,而且对该地区耗水量大的产业
 都应该进行必要的调整。此处假设其他产业均实现
 污染治理或达标排放,暂不考虑其他产业污染排放对
 水环境容量的挤占。

表 2 水环境污染负荷警报值分级

警报值	0~0.4	0.4~0.7	0.7~1.0	1.0~1.5	1.5~2.5	>2.5
分级级数	1	2	3	4	5	6
对环境的威胁性	无	稍有	有	较严重	严重	很严重
环境污染风险	无	低	有	较高	高	很高

注:警报值<0,表示对环境的威胁性极其严重,环境污染风险极高。

形成过剩氮的主要原因是畜禽粪便排放和化肥过量施用。而在中国“一控二减三基本”的农业面源污染治理政策目标下,畜禽粪便将基本实现资源化利用,化学肥料也将实现减量化,自然而然地,过剩氮量也将逐渐减少。因此,在评估农业生产水环境承载力时应考虑过剩氮减量的影响。但是,由于当前我国技术水平有限,过剩氮减量是一个长期的过程,因此,本文分别假定过剩氮减量 25% 和 50% 来估算各产区农业生产的环境承载能力。

2 结果与分析

根据以上计算方法,测算得到 2006—2014 年 7 大产区农业生产水环境承载力情况(表 3)。表 3 数据显示,2014 年中国农区水盈余过剩氮负荷为 18.66 mg/L,警报值为 0.37,较 2006 年略有增加,说明目前中国的水环境总量能够承载农业生产总量,但其环境警报值已逐渐向污染威胁临界值逼近,这不得不引起相关部门的重视。并且,数据还显示,各农区的水环境负荷还存在显著的区域差异:(1) 2006—2014 年东北平原、长江流域和华南 3 大农区水盈余过剩氮负荷在 8.04~16.34 mg/L,警报值取值分布区间为

0.14~0.33,表明农业生产对水环境污染几乎不存在威胁。主要原因是:东北平原的化肥施用强度较低,2014 年为 262.06 kg/hm²,接近国际标准(255 kg/hm²)施肥量,化肥的有效利用率较高,致使该地区的过剩氮量较少,对水环境的压力较小;而长江流域和华南位于中国南部地区,水资源量较为充沛,使得这两个农区的水盈余量相对较多,对农业污染物质的承载能力较强。(2) 汾渭平原和河套灌区 2014 年水盈余过剩氮负荷警报值在 0.7~1.0,较 2006 年 1.0 以上的警报值有较大改善,表明 2006 年以来,农业生产对水环境污染的威胁有所缓解,但仍存在污染风险。(3) 甘肃新疆的水盈余过剩氮负荷警报值为 1.31,黄淮海平原的警报值为-16.35,表明这 2 个农区的农业生产已超出了水资源的承载负荷,对水环境造成了较为严重的污染威胁,尤其是黄淮海平原,水盈余量为负值,表明农业生产本身已出现水资源短缺现象,再加上农业生产污染物排放对水资源的压力,农业生产对环境污染的威胁难以想象,环境污染风险极高。因此,急需对该农区的农业产业进行控制和调整,包括控制畜禽粪便排放、减少化学投入品、调整耗水量大的产业及提高水资源利用率等。

表 3 主产区农业生产水环境承载力

主产区	2006 年				2014 年			
	过剩氮/ 10 ⁴ t	水盈余/ 10 ⁸ m ³	水负荷/ (mg·L ⁻¹)	警报值	过剩氮/ 10 ⁴ t	水盈余/ 10 ⁸ m ³	水负荷/ (mg·L ⁻¹)	警报值
东北平原(3)	108.37	812.50	13.34	0.27	62.36	757.40	8.23	0.16
黄淮海平原(3)	599.61	340.75	175.97	3.52	643.35	-78.70	-817.47	-16.35
长江流域(8)	996.06	6 097.53	16.34	0.33	1 032.33	7 602.00	13.58	0.27
汾渭平原(2)	116.39	220.65	52.74	1.05	136.77	301.50	45.36	0.91
河套灌区(2)	112.18	165.59	67.75	1.36	112.50	295.60	38.06	0.76
华南(4)	508.60	6 326.60	8.04	0.16	601.80	5 550.40	10.84	0.22
甘肃新疆(2)	123.25	501.90	24.56	0.49	145.49	222.80	65.30	1.31
合计	2 564.46	14 465.52	17.73	0.35	2 734.60	14 651.00	18.66	0.37

注:括号内为农区涵盖的省份数量。

随着科技进步与可持续发展政策引导,立足农牧结合,实现畜禽粪便资源化、化学肥料减量化的农业生产模式是未来农业发展的必然趋势。表 4 测算了过剩氮分别减少 25% 和 50% 情况下的化肥节约量、水负荷和警报值。可以发现:(1) 在畜禽粪便全部用于种植业的前提下,可分别节约化肥施用量 1.05×10⁷ t 和 2.10×10⁷ t,不仅节约资源,而且保护环境;(2) 各农区的水负荷和警报值不断减少,农业生产对环境污染的威胁性逐渐降低。其中,汾渭平原、河套

灌区和甘肃新疆的环境威胁性等级下降较为明显,当过剩氮减量 25% 时,汾渭平原和河套灌区的农业生产对环境污染的威胁性由“有”降为“稍有”,甘肃新疆由“较严重”降为“有”;当过剩氮减量 50% 时,河套灌区农业生产对环境污染的威胁性由“稍有”降为“无”,甘肃新疆则由“有”降为“稍有”。但黄淮海平原受水资源短缺的影响,一直无法承受污染物质的排放,为此,在农业生产资源化、减量化的前提下,控制生产总量或发展节水工程是该农区发展的根本出路。

表 4 主产区基于过剩氮减量的农业生产水环境承载力

主产区	过剩氮减量 25%			过剩氮减量 50%		
	折算成化肥/ 10^4 t	水负荷/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	警报值	折算成化肥/ 10^4 t	水负荷/ $(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	警报值
东北平原	23.98	6.18	0.12	47.97	4.12	0.08
黄淮海平原	247.44	-531.36	-10.63	494.88	-408.74	-8.17
长江流域	397.05	10.18	0.20	794.10	6.79	0.14
汾渭平原	52.60	34.02	0.68	105.21	22.68	0.45
河套灌区	43.27	28.54	0.57	86.54	19.03	0.38
华南地区	231.46	8.13	0.16	462.92	5.42	0.11
甘肃新疆	55.96	48.98	0.98	111.92	32.65	0.65
合计	1 051.76			2 103.54		

图 1 分别显示了 2014 年中国 7 大农区 24 个省份,在现有过剩氮水平和减量 50%水平条件下,水资源对过剩氮负荷的警报值分级情况。由图 1 可以看出:(1)农业生产水环境承载能力不仅存在农区差异,即使在同一农区,不同省份间也存在显著差异。如图所示,除吉林、黑龙江、湖南、江西、浙江、四川、重庆、广西、广东、福建以及云南省外,其他省份均处于污染威胁级别。农业生产对当地环境有“极其严重影响”的地区是河北、山东、江苏和宁夏地区;有“很严重

影响”的地区是辽宁和河南地区;有“较严重影响”的地区是山西、甘肃和新疆;有“有影响”的地区是陕西;安徽、湖北和内蒙古地区对当地环境“稍有影响”。(2)过剩氮减量 50%以后,安徽、湖北和内蒙古退出污染威胁范围;陕西、山西、甘肃和新疆地区的污染威胁级别得到不同程度的下降;辽宁、河南、河北、山东、江苏和宁夏地区的污染威胁仍维持较高级别。因此,有必要因“区”制宜、因“地”制宜地制定农业产业发展和农业污染减排政策。

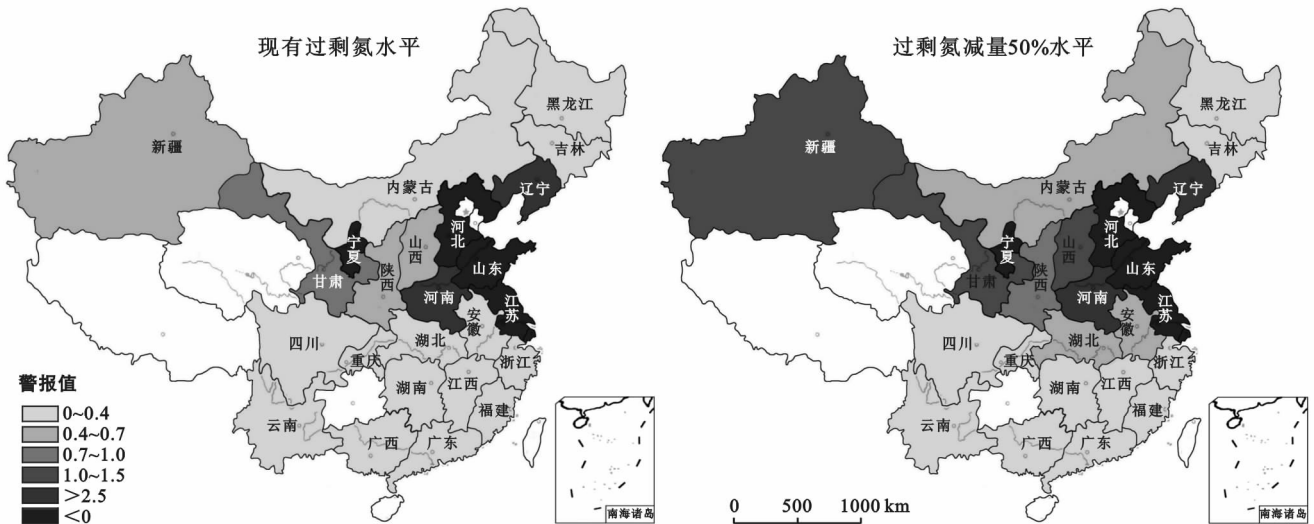


图 1 中国水环境负荷警报值分级情况

3 讨论

3.1 与已有研究成果的对比

目前,关于水环境承载力的研究主要集中 2 个方面:一是对水资源承载力状况的判断^[14-17],二是对水资源承载规模的判断^[18-20],但较少有研究考虑环境污染对水资源承载力的影响^[21],一些学者采用控制水资源利用率的方法进行定量分析,将水资源开发利用控制在 30%~40%,即为生态环境预留 60%~70%的水资源空间^[22]。而本研究采用水资源对过剩氮消纳的办法,可具体量化生态环境用水。从数据结

果来看,在现有经济技术水平下,完全消纳过剩氮量所需的水资源量占水资源总量的 6 成左右。因此,本研究对水资源承载力的判断与前人研究结论基本一致。从分区域的环境承载力来看,虞祎等^[23]采用水资源的最大播种面积及最大载畜量来反映水资源承载力,得出河北、山西、江苏、河南、山东和宁夏 6 省的农业生产规模已经超过了水资源承载力的上限,与本文“辽宁、河南、河北、山东、江苏和宁夏 6 个地区的污染风险最为严重”的研究结论也基本一致。李靖等^[24]采用种植业虚拟水流动合理性指数对我国种植业布局进行评价,得出江苏、山西、山东、河北、河南、

宁夏地区种植过密,超出了水环境承载力,而在本研究结论中,除这些地区外,湖北、新疆和内蒙古地区也均存在一定程度的污染风险,这是因为本研究同时考虑了种植业和畜牧业生产对水环境的压力,得出污染范围大于李靖等的研究结论是合理的。

3.2 化肥减量技术对农业生产水环境承载力的影响

减少化肥施用量是提高农业生产水环境承载力最经济的办法。众多研究和数据表明,我国化肥施用量已远超过经济最优量和国际标准量,适当减少化肥施用量不仅不影响产量,而且节约资源、保护生态环境。化肥减量技术体系建设应包括 3 个方面:(1) 推广精准施肥技术,通过深入推广测土配方施肥等精准施肥技术,科学分析基于目标产量的施肥量,合理调整基肥、分蘖肥和穗肥的施用比例,防止过量施肥;(2) 推广节肥增效技术,在化肥减量的基础上进行有机无机肥配施,使用缓控释肥、掺混肥等,减少氮素损失;(3) 完善过程管理技术,完善基肥深施、肥料运筹、控制氨挥发等过程管理技术,提高氮素利用效率。

3.3 农牧循环生产对农业生产水环境承载力的影响

立足农牧循环生产,促进农业废弃物资源化利用,是提高农业生产水环境承载力最环保的办法。此处农业废弃物资源化利用主要指畜禽粪便的资源化利用。如若将我国所有畜禽粪便进行资源化利用,则可减少 1.47×10^7 t 过剩氮排放,相当于减少 2.26×10^7 t 化肥施用量。而耕地是消纳畜禽粪便最经济有效的办法,实现各地区农牧业生产规模相匹配是畜禽粪便有效消纳的关键。因此,首先,应合理布局农牧业生产。按照耕地承载力划分畜禽养殖禁养、限养、宜养区;其次,完善农牧废弃物综合利用技术体系,创新技术模式,完善技术标准。根据养殖规模、品种类型、区域生产条件等,研发相应的废弃物资源化利用、无害化处理技术集成模式,促进畜禽粪便资源化利用,完善畜禽规模养殖土地消纳配比、沼渣沼液还田等相关技术标准,实现综合利用、达标排放;最后,探寻种养循环模式。把畜禽养殖业发展与绿色食品、有机食品生产基地建设结合起来,通过技术服务与创新,探寻生态养殖—沼气生产—有机肥还田等多级种养循环模式,实现农业生产与生态环境全面协调发展。

3.4 农业产业结构调整对农业生产水环境承载力的影响

不同的农业产业结构对环境的污染程度不同,一些是对污染物质的排放量不同,一些是对污染物质的吸收量不同。从排放量来看,经济作物比粮食作物的化肥施用强度更高且增长更快,对环境的污染程度更

加严重^[25];从吸收量来看,豆科、豆科牧草等作物具有较强的生物固氮功能,对氮素的吸收能力大于其他作物,对环境的污染程度小于其他作物。因此,各地区的产业结构,可在保障粮食安全的基础上,一方面,建立与豆科等固氮作物的轮作、混套作制度,或适当实施休耕制度,缓解单一轮作或长期连作带来的作物产量和质量问题,增强作物固氮能力,提高氮素利用效率;另一方面,适度发展草食畜牧业,发展牧草业替代饲料粮产业,建立豆科、禾本科等固氮牧草轮作制度,完善农牧结合的养殖模式,推动牧草业和草食畜牧业可持续发展。

3.5 农业生产区域布局优化

无污染风险区(东北平原、长江流域和华南):可适当增加农业生产规模,同时要加大“一控二减三基本”推进的步伐。但需要注意的是,这些农区的局部地区仍存在较高的污染风险,如江苏和辽宁省,因此,还需加强对局部地区的污染物消减和总量控制;或是以扩大其他优势产区生产规模为前提,适度调减该地区的农业生产,如江苏省,可适度调减生猪养殖至浙江,充分发挥浙江的生态养殖优势等。此外,在粮食安全不受威胁前提下,还可以推广套种豆类模式。低污染风险区(汾渭平原和河套灌区):结合农区优势产业发展特征,重点加强污染物消减措施。如汾渭平原以小麦和玉米为主导产业,则应在稳定小麦和玉米生产能力的前提下,侧重科学施肥技术的推广与应用,从源头控制污染排放;河套灌区以小麦、肉牛、奶牛和羊为主导产业,则应立足农牧结合,促进循环发展,重点开发有机肥产业,加大畜禽粪便资源化利用的步伐,减少污染排放。此外,宁夏地区还应开发节水品种,发展节水工程。严重污染风险区(甘肃新疆和黄淮海平原):强制实行农业生产总量控制与污染消减措施,以“保生态”为底线,发展旱作农业、特色农业和规模化农业。甘肃和新疆农区:建设新疆地区优势高产棉区,实现棉花全程高标准机械化生产,降低生产成本,减少污染排放;发展草食畜牧业,发展牧草业,提高农业生产系统对冗余养分的利用,减少污染排放。黄淮海平原农区:以“节水”为重点,粮食生产以高标准良田建设为抓手,以节水品种为关键,稳定粮食生产能力;畜禽养殖以园区规模养殖为主要发展模式,促进循环发展。

4 结论

(1) 2006—2014 年中国农区水盈余过剩氮负荷从 17.73 mg/L 增长为 18.66 mg/L ,警报值由 0.35 增加至 0.37,虽然整体上不存在环境污染威胁,但环

境警报值已逐渐向污染威胁临界值(0.4)逼近,并且存在显著的区域差异,黄淮海平原和甘肃新疆的警报值在1.0以上,农业生产污染威胁较高,河套灌区和汾渭平原的警报值在0.7~1.0,环境污染威胁相对较低,东北平原、长江流域和华南的警报值在0~0.4,基本不存在污染威胁。倘若坚持执行国家“一控二减三基本”的政策目标,当污染物质减量50%时,可节省化肥施用量 2.10×10^7 t,降低除甘肃新疆外其他农区污染威胁至少一个等级。

(2) 各省份之间的农业生产环境污染情况更为复杂。河北、山东、江苏和宁夏地区的农业生产对当地环境有“极其严重影响”,辽宁和河南地区有“很严重影响”,山西、甘肃和新疆地区有“较严重影响”,陕西“有影响”,安徽、湖北和内蒙古地区“稍有影响”,其余省份基本“没有影响”。在污染物减量50%条件下,安徽、湖北和内蒙古地区退出污染威胁范围;陕西、山西、甘肃和新疆地区的污染威胁级别得到不同程度的下降;辽宁、河南、河北、山东、江苏和宁夏地区的污染威胁仍维持较高级别。

(3) 有必要因“区”制宜、因“地”制宜地制定农业生产方案。对无污染风险的地区(吉林、黑龙江、湖南、江西、浙江、四川、重庆、广西、广东、福建以及云南地区):可适当增加农业生产规模,同时要加大“一控二减三基本”推进的步伐;低污染风险的地区(安徽、湖北、内蒙古、陕西、山西、甘肃和新疆地区):结合产业特点,重点加强污染物消减措施;严重污染风险的地区(辽宁、河南、河北、山东、江苏和宁夏地区):强制实行农业生产总量控制与污染消减措施,以“保生态”为底线,发展旱作农业、特色农业和规模化农业。

(4) 后期可进一步增加对农业污染排放COD, TP等指标水环境负荷警报值的测算,参考多个指标的警报值,提高环境污染警报值的敏感度。以期更好地实现水环境承载力的可控和生态环境的平衡。

[参 考 文 献]

- [1] 陈锡文. 环境问题与中国农村发展[J]. 管理世界, 2002(1):5-8.
- [2] Lee S L. Non-point source pollution[J]. Fisheries, 1979, 2:50-52.
- [3] 李秀芬, 朱金兆, 顾晓君, 等. 农业面源污染的现状与防治进展[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(4):81-84.
- [4] 段玉杰. 我国农业面源污染现状及改善对策探讨[J]. 环境保护与循环经济, 2010(3):19-21.
- [5] 仇焕广, 栾昊, 李瑾, 等. 风险规避对农户化肥过量施用行为的影响[J]. 中国农村经济, 2014(3):85-96.
- [6] 朱淀, 孔霞, 顾建平. 农户过量施用农药的非理性均衡:来自中国苏南地区农户的证据[J]. 中国农村经济, 2014(8):19-29, 41.
- [7] 饶静, 许翔宇, 纪晓婷. 我国农业面源污染现状、发生机制和对策研究[J]. 农业经济问题, 2011(8):81-87.
- [8] 葛继红, 周曙东. 农业面源污染的经济影响因素分析:基于1978—2009年的江苏省数据[J]. 中国农村经济, 2011(5):72-81.
- [9] 张晖, 胡浩. 农业面源污染的环境库兹涅茨曲线验证:基于江苏省时序数据的分析[J]. 中国农村经济, 2009(4):48-53, 71.
- [10] 国家环境保护总局, 自然生态保护司. 全国规模化畜禽养殖业污染情况调查及防治对策[M]. 北京:中国环境科学出版社, 2003.
- [11] 张晖. 环境库兹涅茨曲线在中国农业生产中的验证:以江苏省为例[C]. 第五届长三角研究生“三农”论坛论文集. 杭州:南京农业大学, 2007:163-171.
- [12] 虞祎, 张晖, 胡浩. 基于水足迹理论的中国畜牧业水资源承载力研究[J]. 资源科学, 2012, 34(3):394-400.
- [13] Oenema O, van Liere L, Plette S, et al. Environmental effects of manure policy options in the Netherlands[J]. Water Science & Technology, 2004, 49(3):101-108.
- [14] 张鑫, 王纪科, 蔡焕杰, 等. 区域地下水资源承载力综合评价研究[J]水土保持通报, 2011, 21(3):24-27.
- [15] 朱一中, 夏军, 谈戈. 西北地区水资源承载力分析预测与评价[J]. 资源科学, 2003, 25(4):43-48.
- [16] 闵庆文, 余卫东, 张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J]. 水土保持研究, 2004, 11(3):14-16.
- [17] 李高伟, 韩美, 刘莉, 等. 基于主成分分析的郑州市水资源承载力评价[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(3):139-142.
- [18] 蒋晓辉, 黄强, 惠泱河, 等. 陕西关中地区水环境承载力研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3):312-317.
- [19] 吴九红, 曾开华. 城市水资源承载力的系统动力学研究[J]. 水利经济, 2003, 21(3):36-39.
- [20] 徐中民, 程国栋. 运用多目标决策分析技术研究黑河流域中游水资源承载力[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2000, 36(2):122-132.
- [21] 张保成, 孙林岩. 国内外水资源承载力的研究综述[J]. 当代经济科学, 2006, 28(6):97-101.
- [22] 黄林楠, 张伟新, 姜翠玲, 等. 水资源生态足迹计算方法[J]. 生态学报, 2008, 28(3):1279-1286.
- [23] 虞祎, 张晖, 胡浩. 农业生产与水资源承载力评价[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(7):978-986.
- [24] 李靖, 张正尧, 毛翔飞, 等. 我国农业生产布局评价及优化建议[J]. 农业经济问题, 2016(3):26-33.
- [25] 金书秦, 周芳, 沈贵银. 农业发展与面源污染治理双重目标下的化肥减量路径探析[J]. 环境保护, 2015(8):50-53.