

郑微微, 易中懿, 沈贵银. 江苏省耕地过剩氮排放评价及减排对策——基于农牧结合视角[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(10): 472–474.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.136

江苏省耕地过剩氮排放评价及减排对策 ——基于农牧结合视角

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: 农牧业的快速发展导致氮、磷等营养元素的投入和排放超出了耕地环境承载能力, 造成严重的农业面源污染问题, 直接威胁农业的可持续发展。基于农牧结合视角, 采用过剩氮计算方法测算江苏省各市的过剩氮排放现状, 并探寻过剩氮形成的原因, 提出过剩氮治理的对策。治理过剩氮主要可从 3 个方面进行, 即降低化肥施用强度, 提高化肥利用效率; 合理安排农牧业生产, 形成良性物质循环; 降低耕地生产强度, 完善农作物轮作生产体系, 适当实施休耕。

关键词: 江苏省; 耕地; 过剩氮; 减排; 对策; 农牧结合

中图分类号: F323.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0472-03

21 世纪以来, 江苏省农业农村经济发展取得了巨大成就, 粮食生产实现了“十二连增”, 产量在全国排名第 4 位至第 5 位, 畜牧业产值从 2000 年的 430 亿元增加至 2014 年的 1 180 亿元^[1], 翻了近 3 番, 且一直保持着生猪主产区地位。然而, 随着农牧业的发展, 种植业生产过程中化肥过量施用且利用效率低、畜牧业粪污排放量大且处置不当等问题日益突出, 导致氮、磷等营养元素的投入和排放超出了耕地的环境承载能力, 成为江苏省耕地农业面源污染的重要污染源。

根据养分循环使用的原理, 畜牧业粪污中含有大量氮、磷等, 是植物生长所必需的有机质和营养元素, 大部分经适当处理可转变为农业生产资料。如畜禽养殖固体排泄物制成的有机肥, 以及液体排泄物经发酵产生的沼渣沼液均是优质高效的肥料, 可广泛应用于蔬菜、水果、苗木等种植业生产^[2]。尽可能多地实现畜牧业粪污转化, 不仅可减少对化肥的需求, 还可从总量上控制氮、磷等营养元素的使用和排放, 减轻对环境的压力。

目前, 关于农业生产系统养分排放的研究可分为技术学派和统计学派。技术学派主要采用试验技术方法对某一生产系统中的养分排放、损失等进行测量或模拟评价^[3-6], 但该方法对试验条件要求较高, 无法进行大规模、大范围的测算。统计学派主要基于养分平衡法理论, 从宏观角度对农业生产系统中的冗余养分进行评估。有学者通过计算过剩氮量来表征农业面源污染程度^[7-9], 或通过过剩氮的计算对畜牧业水资

源承载能力进行评价^[10]。然而, 已有研究多集中于对冗余养分未来发展趋势的预判, 或对环境承载能力的评价, 从排放根源入手分析其治理办法的研究有待进一步加强, 且对其支撑技术的研究较少。

本研究在曲劳(truog)养分平衡法理论的指导下, 立足农牧结合, 采用过剩氮计算方法, 同时借鉴已有研究中的农作物耗(含)氮系数, 在测算并分析江苏省各市耕地过剩氮排放现状的基础上, 从排放根源入手剖析耕地过剩氮产生的原因, 进而从技术、模式、制度等方面提出耕地过剩氮的治理办法, 对持续提高江苏省农田环境承载能力具有重要意义。

1 研究方法与数据来源

1.1 过剩氮测算方法

根据曲劳的养分平衡法理论, 当进入土地的氮素超过作物的需要时, 就会发生富营养问题, 导致资源的浪费和环境的污染。氮素包括牲畜粪便中的氮素、化学肥料中的氮素、土壤本身蓄积的氮素。过剩氮的计算公式为:

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

式中: N_{animal} 、 N_{CF} 、 N_{land} 、 N_{crop} 分别为牲畜粪肥中的含氮量、化肥中的含氮量、土壤的蓄积氮量、作物的氮素需求量。 N_{animal} 、 N_{CF} 、 N_{land} 、 N_{crop} 的计算公式分别为:

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

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

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

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

式中: α_i 、 β_j 、 γ_k 、 δ_k 分别为 i 种牲畜的粪肥含氮系数 j 种化肥的含氮系数、 k 种作物土壤中的氮蓄积系数、 k 种作物的耗氮系数, X_i 、 Y_j 、 Z_k 、 W_k 分别为 i 种牲畜的饲养量 j 种化肥的使用量、 k 种作物的播种面积、 k 种作物的产量。出于考虑数据的可获得性, 本研究计算的牲畜品种包括猪、牛、羊、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, 瓜果。

收稿日期: 2016-04-01

基金项目: 江苏省社会科学基金(编号: 15WTA008); 中国博士后科学基金(编号: 2015M581756)。

作者简介: 郑微微(1987—), 女, 浙江台州人, 博士, 助理研究员, 主要从事农业产业经济研究。Tel: (025) 84391165; E-mail: starxiaowei168@163.com。

通信作者: 易中懿, 博士, 研究员, 主要从事农业经济管理研究。E-mail: yzy201@163.com。

单位耕地过剩氮负载指数的计算公式为：

$$N_{index} = N_{surplus} / land。$$
 (6)

式中： N_{index} 为耕地过剩氮负载指数， $land$ 为耕地面积。

1.2 数据来源及说明

本研究的基础数据来源于《江苏统计年鉴》(2007—2015 年)、《江苏省农村统计年鉴》(2007—2015 年)，各类耗(含)氮系数参考相关部门公布的数据及公开发表的期刊论文。

2 江苏省耕地过剩氮排放现状

2.1 江苏省农牧业生产状况

根据《江苏统计年鉴》数据统计(图 1)，2006—2014 年江苏省农牧业发展迅速。农作物播种面积从 760 万 hm^2 增加至 785 万 hm^2 ，增加了 3.3%；畜禽养殖肉类总产量从 330 万 t 增加至 436 万 t，增加了 32.1%。随着农牧业的发展，农业生产系统中氮素的投入和排放也在不断变动。其中，种植业生产中化肥氮素的投入量于 2009 年达到峰值 224 万 t 后开始下降，于 2014 年下降至 210 万 t，比 2006 年下降了 5.4%，畜禽粪尿氮素的排放则比 2006 年增长了 6.5%；但从绝对量来看，化肥氮素的投入量远大于畜禽粪尿氮素的排放量。可见，

充分推进农牧结合可使种植业生产完全消纳畜牧业生产产生的营养元素，并能减少种植业对化肥的需求，从总量上控制冗余养分的排放，降低对环境的压力。

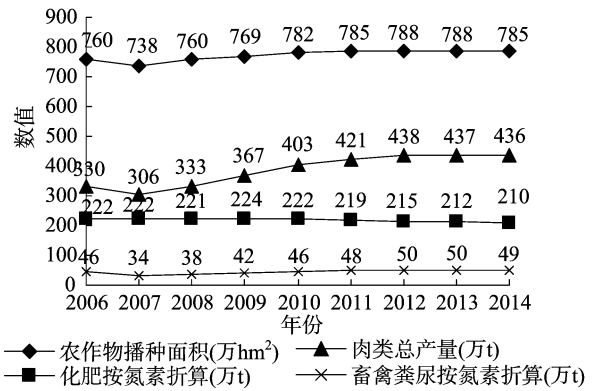


图1 江苏省农牧业生产状况

2.2 江苏省耕地过剩氮排放测算及分析

根据过剩氮测算方法对江苏省各市的过剩氮及耕地过剩氮负载情况进行测算，结果见表 1。

表 1 江苏省各市过剩氮及耕地过剩氮负载情况

区域	市	过剩氮(万 t)				耕地过剩氮负载(kg/hm ²)			
		2006 年	2010 年	2014 年	增长率(%)	2006 年	2010 年	2014 年	增长率(%)
苏南地区	南京市	5.93	3.10	1.90	-13.26	243.35	128.34	79.36	-13.07
	镇江市	4.16	1.95	0.73	-19.55	240.86	115.29	44.07	-19.13
	苏州市	5.09	4.23	2.78	-7.28	212.39	195.88	142.87	-4.84
	无锡市	5.21	2.98	1.99	-11.34	358.40	225.13	165.11	-9.23
	常州市	3.81	2.92	2.61	-4.62	213.53	181.91	180.75	-2.06
苏中地区	扬州市	7.81	6.30	6.31	-2.63	255.65	212.37	219.04	-1.91
	泰州市	7.99	5.65	3.75	-9.02	251.62	180.88	122.04	-8.65
	南通市	11.31	8.84	8.05	-4.16	240.58	189.86	174.56	-3.93
苏北地区	徐州市	38.47	40.89	36.64	-0.61	644.60	695.12	631.94	-0.25
	连云港市	16.41	14.84	14.56	-1.48	444.89	401.04	392.22	-1.56
	宿迁市	15.05	18.47	18.31	2.48	343.19	422.03	419.22	2.53
	淮安市	14.03	15.45	17.02	2.44	287.71	310.40	334.99	1.92
	盐城市	26.73	23.83	19.19	-4.06	343.49	304.42	243.69	-4.20
全省		162.00	149.45	133.84	-2.36	341.56	319.98	290.68	-2.00

注：2010—2014 年耕地面积根据 2006—2009 年耕地平均变化率进行推测。

江苏省耕地过剩氮现状令人堪忧。(1)江苏省各市氮过剩现象普遍存在。苏北地区各市土壤中的过剩氮量均在 10 万 t 以上，其中徐州市的过剩氮量最高，高达 36.64 万 t；苏中地区各市的过剩氮量绝大多数在 5 万 ~ 10 万 t 之间；苏南地区各市的过剩氮量基本在 5 万 t 以内，其中镇江市的过剩氮量最低，为 0.73 万 t。过剩氮量的存在不仅对环境产生威胁，还对资源造成严重浪费。(2)近 10 年过剩氮情况有转好趋势，但没有根本改变。江苏省经历了“十一五”“十二五”农牧业结构调整以及技术创新与进步，过剩氮情况有所好转，总量从 2006 年的 162.00 万 t 下降至 2014 年的 133.84 万 t，仅下降了 28.16 万 t。其中，苏南地区年均下降率约为 10%，苏中地区年均下降速度约为 5%；苏北地区的过剩氮量居高不下，年均下降速度不足 1%，宿迁市、淮安市的过剩氮量仍以年均约 2.5% 的速度不断增加。单位耕地氮素负载水平严重超标，环境污染程度严重。江苏省耕地投入的平均氮素水平约

为 590 kg/hm² (按照江苏省 1 hm^2 耕地投入的化肥量折算得到)，耕地负载的过剩氮水平约为 290 kg/hm²。其中，苏南地区各市的过剩氮水平较低，约为 122.43 kg/hm²；苏中地区次之，约为 171.88 kg/hm²；苏北地区最高，约为 404.41 kg/hm²。为防止化肥对水体的污染，国际上公认 225 kg/hm² (折合氮素约 146 kg/hm²) 为安全上限，江苏省与其对比存在严重超标现象，环境污染程度十分严重。

3 江苏省耕地形成过剩氮的原因

根据对过剩氮计算方法的分析得出，导致单位耕地氮素负载水平超标的原因可能包括以下 3 个方面。

(1)化肥过量施用。据统计，2014 年江苏省化肥施用强度(化肥施用强度等于化肥投入量与农产品产量的比值)为 327.40 万 t/亿 t，其中苏南、苏中、苏北地区分别为 246.85、310.87、417.87 万 t/亿 t^[1]，远超过国际公认的适宜消耗强度

范围 142~250 万 t/亿 t。过量的化肥施用是造成农田氮素过量的主要原因。

(2) 畜禽粪污处置不当。江苏省尤其苏北地区历来是传统的生猪主产区, 畜禽粪污产量巨大。以氮素计, 年均产氮量约 50 万 t, 约为化肥投入量(按化肥中的含氮系数折算)的 25%。目前为止, 江苏省对畜禽粪污的有效利用率仍不高, 浪费资源且污染环境。还田的畜禽粪便主要作为基肥施用, 但大多数农户并不因施用了有机肥而减少生产过程中的化肥施用, 畜禽有机肥对化肥的替代功能尚未得到充分发挥。

(3) 耕地过度开发。江苏省人均耕地仅 0.061 hm² (苏南、苏中、苏北地区人均耕地分别为 0.030、0.066、0.089 hm²), 比全国平均水平约少 30%, 但耕地复种指数为 1.68 (苏南、苏中、苏北地区分别为 1.38、1.82、1.76), 比全国平均水平约高 50%。耕地的开发水平远高于全国平均水平, 且轮作体系单一, 以稻麦轮作、小麦玉米轮作为主。过高的耕地复种指数带来了化学品氮素的富集, 单一的轮作方式降低了作物固氮和土壤固氮的能力。

4 江苏省耕地过剩氮治理的建议

解决过剩氮的关键思路分为 3 个方面, 即降低化肥施用强度, 提高化肥利用效率; 合理安排农牧业生产, 形成良性物质循环; 降低耕地生产强度, 完善农作物轮作生产体系, 适当实施休耕。江苏省在构建过剩氮治理体系时, 必须立足于种植业和养殖业生产发展阶段的实际情况, 以实现农牧产业和环境保护协调发展为目标, 在充分尊重农牧业生产污染排放特征和经济属性的基础上来构建。具体建议如下。

(1) 构建减少施肥、提高肥料利用率的技术体系, 实现化肥“零增长”。推广精准施肥技术, 通过深入推广测土配方施肥技术, 科学分析基于目标产量的施肥量, 合理调整基肥、分蘖肥、穗肥的施用比例, 防止过量施肥。推广节肥增效技术, 在化肥减量的基础上进行有机肥无机肥配施, 使用缓控释肥、掺混肥等, 减少氮素损失。完善基肥深施、肥料运筹、控制氮挥发等过程管理技术, 提高氮素利用效率。

(2) 建立农牧循环生产体系, 实现资源循环利用, 减少排放。建立畜禽养殖禁养、限养、宜养制度, 在水源保护区、风景名胜区、自然保护区、工业及人口集中等地区建立禁养区, 在禁养区周围适当范围内以及污染排放超标地区建立限养区, 其他地区设为宜养区, 实现畜禽养殖与环境承载相协调。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, 促进畜禽粪便还田、秸秆还田、秸秆饲料化等资源化利用, 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。探寻符合江苏省农业生态特点的种养循环模式, 将畜禽养殖业发展与绿色食品、有机食品生产基地建设相结合, 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协调发展。

(3) 调整农业产业结构, 建立合理的农作物轮作、休耕制度。在保障粮食安全的基础上, 建立与豆科等固氮作物的轮作、混套作制度。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。粮食产能富余的地区, 在满足粮食生产的前提下实施适当休耕, 实现耕地肥力自然恢复, 减少用于肥力恢复部分的化学肥料投入。适度发展草食畜牧业, 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。

(4) 加强政府政策规制与补贴, 构建控肥减肥的制度体系。将氮素纳入到土地质量等级评价体系, 真实反映氮素排放对土地产能的影响。对高等别耕地实施重点保护, 对中等别耕地进行投入控制, 对低等别耕地进行整改或逐步调出, 明确土地整治方向, 系统控制氮素排放。充分运用强制性政策工具, 在区域性养殖发展规划、养殖总量控制、养殖排放标准、畜禽规模养殖场市场准入、种养布局调整、环境监管等方面做好顶层设计, 完善法律规章, 掌握污染防治主动权, 从源头减少过剩氮排放。建立绿色生态导向的补贴制度, 减少并逐步取消对化肥企业的财政补贴和税收优惠, 提高对新型环保肥料和测土配方施肥等的补助力度, 从外源投入控制农牧系统中的过量养分。同时, 加强对减肥技术研发、生产、推广、使用的全程补贴, 建立减肥技术科研成果权益分享机制, 形成完整的农业“减肥”政策体系。

(5) 运用市场机制, 调动市场主体应用环境友好型技术的积极性。提高环境友好型技术的经济效益, 通过补贴环境友好型技术的正外部性, 提高经济效益并增加市场竞争力, 充分调动种养主体应用环境友好型技术。扶持污染第三方治理相关产业的发展, 积极推进粪便收集处理中心、有机肥生产厂商、沼渣沼液中介服务组织等第三方治理的模式, 拓宽环境友好型技术的市场服务。建立氮总量和强度双控示范基地, 对环境友好型技术进行试验、示范、推广, 并为各类种养主体提供技术培训和他服务, 全面推广环境友好型技术。

参考文献:

- [1] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [2] 李冉, 沈贵银, 金书秦. 畜禽养殖污染防治的环境政策工具选择及运用[J]. 农村经济, 2015(6): 95-100.
- [3] 高德才, 张蕾, 刘强, 等. 旱地土壤施用生物炭减少土壤氮损失及提高氮素利用率[J]. 农业工程学报, 2014, 30(6): 54-61.
- [4] 王桂良. 中国三大粮食作物农田活性氮损失与氮肥利用率的定量分析[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [5] 王少丽, Prasher S O, Chun-chieh Y, 等. 排水氮运移模型对地表和地下排水量和硝态氮损失的模拟评价[J]. 水利学报, 2004(9): 111-117.
- [6] 吴雅丽, 许海, 杨桂军, 等. 太湖水体氮素污染状况研究进展[J]. 湖泊科学, 2014, 26(1): 19-28.
- [7] 刘烨, 刘玮晶, 赵言文. 江苏省农业过剩氮与农村居民消费关系拟合分析[J]. 水土保持通报, 2012, 32(5): 82-86.
- [8] 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): 48-71.
- [9] 张锋, 胡浩, 张晖. 江苏省农业面源污染与经济中增长关系的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(8): 80-85.
- [10] 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.