

种养结构对区域农田系统土壤氮素承载力的影响

——以湘潭县为例

林毅青, 吴根义*, 余磊, 刘永丰

(湖南农业大学资源环境学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要: 以 2011 年为例, 采用土壤表观养分平衡理论(soil-surface balance), 分析湖南湘潭县区域农田系统的种养结构对湘潭县农田系统土壤氮素承载力的影响。结果表明, 1990—2008 年, 湘潭县区域农田系统耕地面积增加了 7 180 hm², 农作物播种面积减少了 26 530 hm², 复种指数下降了 58.06%; 农作物产量增长了 11.57%, 生猪存栏量增长了 111.94%。2011 年, 湘潭县区域农田系统氮素供给能力为 540.94 kg/hm², 氮素消纳能力为 236.40 kg/hm², 土壤氮素承载力为 304.54 kg/hm², 表现为“盈余”状态。较高的氮素盈余主要源自于过量化肥氮的施入。

关 键 词: 种养结构; 农田系统; 土壤氮素平衡; 承载力; 湖南湘潭县

中图分类号: S19; F304.5

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2013)03-0310-05

Effect of crop-livestock structure on environmental capacity of soil nitrogen in regional farmland system: A case study of Xiangtan county

LIN Yi-qing, WU Gen-yi*, SHE Lei, LIU Yong-feng

(College of National Research and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Based on statistical data (1990–2008, and 2011), the effect of crop-livestock structure on environmental capacity of soil nitrogen was studied at a farmland system in Xiangtan county of Hunan province, China. The soil-surface balance method was used to calculate environmental capacity of soil nitrogen. The results showed that the arable area of farmland system in Xiangtan county increased by 7 180 hm² from 1990 to 2008, the crop area decreased by 26 530 hm², and the multiple cropping index declined 58.06%. The crop yields increased by 11.57%, while the breeding stock of pigs climbed to 111.94%. The nitrogen supply capacity was 540.94 kg/hm², the assimilative capacity was 236.40 kg/hm², the nitrogen carrying capacity of soil was 304.54 kg/hm² at farmland system. It indicated that the nitrogen was surplus. The study demonstrated that the large amounts of nitrogen of farmland system were provided by fertilizers.

Key words: crop-livestock; regional farmland system; soil nitrogen balance; carrying capacity; Xiangtan county of Hunan province

畜禽养殖业快速发展的同时也对各国生态环境构成了严重威胁^[1-3]。第一次全国污染源普查结果显示, 在中国主要污染物排放量中, 农业源占大部分, 中国农业生产(包括畜禽养殖业、水产养殖业与种植业)排放的 COD、氮、磷等主要污染物量已远远超过工业源与生活源, 成为污染源之首^[4]。畜禽养殖污染是农业污染的主要来源^[5-6], 已逐步超

过土壤所能承载的最大容量。

关于畜禽养殖结构对土壤氮素承载的影响已有大量的研究: 山东省禹城地区农田系统的氮素输入、氮素输出和氮素盈余均呈逐年增加趋势^[7]; 胡浩等^[8]根据土壤表观养分平衡理论, 以单位耕地面积畜禽粪便猪粪当量负荷及其警报值作为判断某地区畜禽养殖与环境是否相适应的指标, 并以江苏省为例测

收稿日期: 2013-03-15

基金项目: 国家环境保护部环保公益项目(201009017)

作者简介: 林毅青(1988—), 男, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事环境保护研究, lyq501@hotmail.com; *通信作者, wugenyi99@163.com

算了 2009 年畜禽养殖空间布局和耕地畜禽粪便猪粪当量及其警报值；张绪美等^[9]根据中国 31 个省(市) 畜禽养殖数据，分析了中国不同省的畜禽养殖结构变化及不同地区的畜禽粪便农田负荷量。笔者根据湘潭县区域农田系统种养结构的变化，以 2011 年为例，分析该区域农田系统的氮素承载力，旨在为研究区域经济的可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

湘潭县 1990—2008 年主要畜禽养殖量、农作物产量及耕地面积变化等数据均来源于《湖南农村统计年鉴》；2011 年湘潭县农田氮肥中的氮素施用量根据当年湖南省氮肥施用实物量与折纯量进行折算。

1.2 分析方法

参照 2011 年《湖南农村统计年鉴》中的方法，将湘潭县可用于耕种的农田面积拟合成一个整体，根据量化的氮素输入与输出总量，采用土壤表观养分平衡理论(soil-surface balance, SNB)进行分析(图 1)，并以 2011 年为列，对湘潭县区域农田系统土壤氮素承载力进行分析。

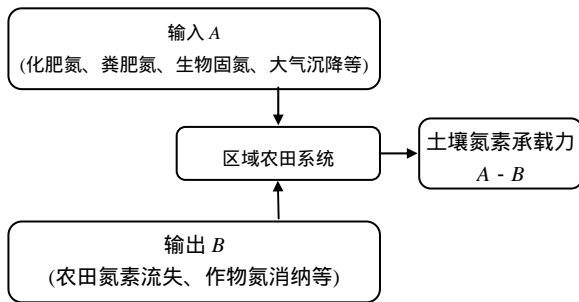


图 1 区域农田系统土壤氮素承载力计算法

Fig.1 Scheme of nitrogen budget

输入端 A 主要考虑化肥、粪肥等氮素投用量及生物固氮和大气沉降等对土壤中氮素平衡的影响；输出端 B 主要考虑区域农田系统内水稻、玉米、大豆、薯类作物、油菜、柑橘等生长所需吸收的土壤中氮素的总量以及氮素流失对土壤中氮素迁移的影响，即：

$$SNB = S_{\min} + S_{\text{org}} + N_{\text{msi}} + N_{\text{atm}} - S_{\text{wyn}} - S_{\text{wln}} \quad (1)$$

SNB 为土壤氮素承载力；

S_{\min} 为化肥氮素投入量。将实际氮肥投入量折

算成氮素投入量进行计算。

S_{org} 为畜禽粪便氮素年产出量，根据当年存栏量进行计算。畜禽的粪便排泄系数参照文献[10]中的参数。猪的饲养周期约 110 d，每年出栏 3 批，则猪的粪便排泄量=存栏量×110×3×日排泄系数。鸡的排泄系数取肉鸡、蛋鸡排泄系数的平均值。其他畜禽粪便排泄量均按存栏量×年排放系数进行计算。年施入农田系统的粪肥氮素量按粪便年产出的 30% 进行计算。

N_{msi} 为生物固氮量，由区域农田系统固氮作物种植面积和固氮系数进行计算。大豆固氮系数取每年 180 kg/hm²；花生固氮系数取每年 100 kg/hm²^[9]。

N_{atm} 为大气氮素沉降速率。中国南方地区降水氮素质量浓度多为 1~2 mg/L，带入地表的氮素量基本维持在每年 9.0~19.5 kg/hm²^[11]。本研究中取氮素沉降最大值每年 19.5 kg/hm² 为计算参数。

S_{wyn} 为农田作物氮素消纳。选取水稻、玉米、大豆、花生、薯类作物、油菜、柑橘等几种主要种植作物进行分析，以作物产出总量及其每生产 100 kg 产品所需氮素计算系统的整体氮素消纳量。

S_{wln} 为农田氮素流失率。湘潭县的农田类型基本为水稻田，主要农田作物为水稻。中国稻田氮素(N)流失量占当季施肥量的 6%~10%^[12-14]。本研究中取 8% 作为农田氮素流失率。

若区域农田系统氮素输入端总量 A 值与输出端总量 B 值相等，则表明系统内氮素平衡；A 值与 B 值的差为正值，则表明系统内氮素为“盈余”状态；若 A 值与 B 值的差为负值，则表明系统内氮素为“亏缺”状态^[15]。

2 结果与分析

2.1 1990—2008 年湘潭县区域农田系统种养结构的变化

2.1.1 种植结构的变化

1990—2000 年，湘潭县区域系统耕地面积变化不大，平均值为 68 500 hm²，而农作物播种面积呈现下降趋势；2001—2008 年，湘潭县区域系统耕地面积平均增加到 76 375 hm²，农作物播种面积呈现略微上升趋势(图 2、图 3)。整体看来，湘潭县区域系统耕地面积由 1990 年的 69 060 hm² 上升到 2008 年的

76 240 hm², 而作物播种面积由 170 620 hm² 下降至 144 090 hm², 复种指数由 247.06% 减少至 189.00%, 下降了 58.06 个百分点。造成此现象的原因可能是城镇建设侵占了农业耕地面积, 也可能是农村人口涌入城市, 导致传统种植区耕种人数减少。

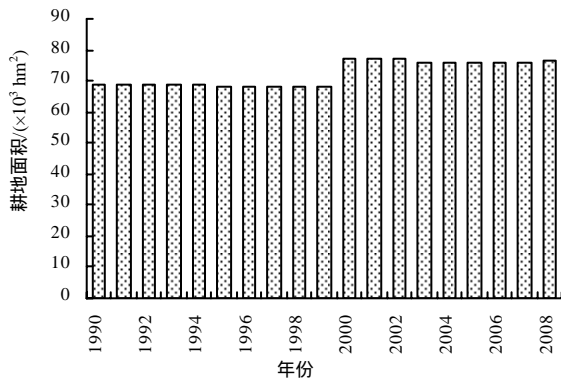


图2 1990—2008年湘潭县区域农田系统的耕地面积

Fig.2 Arable area in Xiangtan county from 1990 to 2008

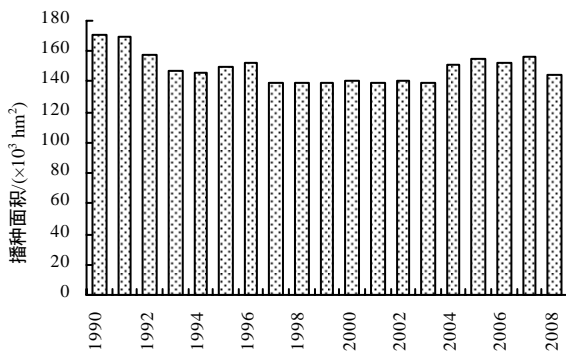


图3 湘潭县区域农田系统的作物播种面积

Fig.3 Cultivated area of crop in Xiangtan county

由图4可见, 1990—2008年, 在稻谷、玉米、大豆、薯类、油菜和柑橘等6种作物中, 稻谷产量始终最大, 总体呈上升趋势: 1992—1994年, 稻谷产量逐年下降; 1995—2002年, 稻谷产量经短时间上升后再呈逐年下降趋势; 2003—2008年, 稻谷产量虽然逐步增加, 但2008年仍有一定的下降。稻谷产量的大幅波动可能是由区域经济因素、政策因素及环境因素等的影响导致的, 如1997年的亚洲金融风暴和1998年湖南爆发的特大洪水直接导致了粮食产量减小; 2000年中央实行税费改革等一系列保护农民利益的政策, 农民种粮的积极性大大提高, 粮食产量呈增长趋势。

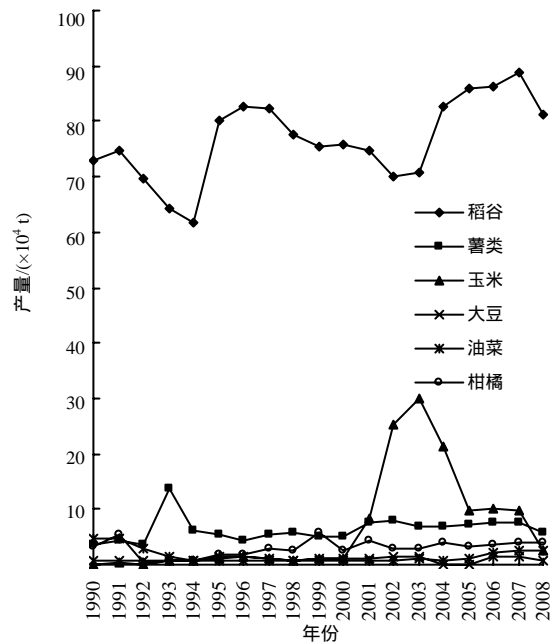


图4 1990—2008年湘潭县区域农田系统的农作物产量

Fig.4 Crop yields in Xiangtan county from 1990 to 2008

玉米产量从2002年开始迅速增加, 这可能是由国际玉米价格一路攀升所致, 2008年随着国际玉米价格的理性回归, 其产量也回落到一个相对较低的水平。其他农田作物的产量相对稳定。

2.1.2 养殖结构的变化

从畜禽养殖规模上看, 湘潭县以生猪养殖为主, 1990—2008年, 湘潭县生猪存栏数呈逐年上升趋势, 由1990年的63.38万头增至2008年的134.33万头, 增长了111.95%(图5)。这表明近10年来人民生活水平的提高对畜禽产业发展的影响明显。

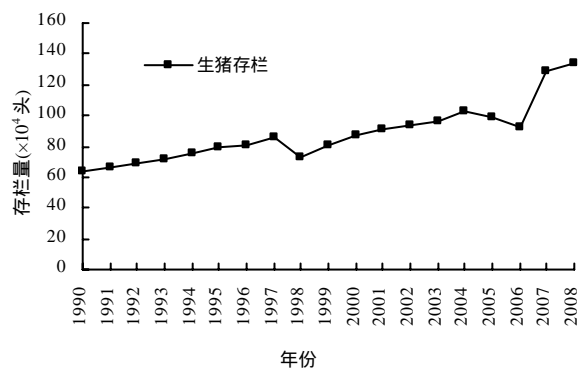


图5 1990—2008年湘潭县区域农田系统的生猪存栏量

Fig.5 Number of pigs in Xiangtan county from 1990 to 2008

2.2 2011 年湘潭县区域农田系统土壤氮素承载力分析

2.2.1 输入端的氮素供给量

1) 2011 年湘潭县区域农田系统耕种面积约为 $7.749 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，每年通过大气沉降作用输入系统的氮素总量约为 1 511 t。

2) 大豆和花生的种植面积分别为 310、350 hm^2 ，通过生物固氮作用输入系统的氮素总量约为 90.8 t。

3) 氮肥施入量(折纯 N)约为 37 935.3 t。

4) 湘潭县区域系统内猪、禽类养殖量占总养殖量的 97.85%。由于禽类粪便排放系数较小，所以区域内粪便氮素(N)产生量主要以猪粪排放为主，猪、牛、禽类、羊的氮素(N)产生量依次减小，通过粪便排放产生的氮素总量约为 7 927.1 t，按粪便年产量的 30%投入农田计算，则粪肥输入系统的氮素总量约为 2 378.1 t(表 1)。

表 1 2011 年湘潭县养殖业氮素产生及投入量
Table 1 Nitrogen outputs and inputs of breeding industry of Xiangtan country in 2011

养殖动物	存栏数/ ($\times 10^4$)	粪便产生量/ ($\times 10^4 \text{ t}$)	氮素 产生量/t	氮素 投入量/t
猪	114.1 头	199.6	4 749.5	1 424.9
牛	3.34 头	45.3	1 425.6	427.7
羊	6.06 头	5.3	534.6	1 217.3
禽类	313.3 只	11.8	1 217.3	365.2

对以上输入系统的各类氮素量求和，则 2011 年湘潭县区域农田系统输入端氮素总量为 41 915.2 t。

2.2.2 输出端的氮素消纳量

1) 湘潭县区域农田系统化肥与粪肥输入氮素总和约 40 313.4 t，按照农田氮素流失率 8%进行计算，区域农田系统氮素实际输入量只有 37 088.3 t，流失量约为 3 225.0 t。

2) 湘潭县区域农田系统稻谷、玉米、大豆、薯类作物、花生、油菜、柑橘等作物产量为 72.24 万 t，其氮素消纳量约为 15 093 t，稻谷、油菜、玉米、大豆、柑橘、花生、红薯、马铃薯的氮素消纳量依次减小(表 2)。

表 2 2011 年湘潭县区域农田系统的作物产量及氮素消纳量
Table 2 Crop yields and nitrogen requirements of Xiangtan country in 2011

农产品 种类	产量/t	单位产量氮素 需求量/($\text{kg} \cdot (100 \text{ kg})^{-1}$)	氮素消纳量/t
稻谷	712 051	2.05	14 597.1
玉米	2 254	3.45	77.8
大豆	438	6.25	27.4
红薯	556	0.35	2.0
马铃薯	203	0.55	1.1
花生	540	5.45	2.9
油菜	3 686	10.0	368.6
柑橘	2 693	0.6	16.2

对以上输出系统的各类氮素量求和，则 2011 年湘潭县区域农田系统输出端氮素总量为 18 318 t。

2.2.3 区域农田系统土壤氮素承载力

按耕地面积对湘潭县区域农田系统土壤氮素承载力进行分析。2011 年区域农田系统输入端大气沉降氮素量为 $19.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，经豆科作物固氮所承载的氮素量为 $1.17 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，土壤化肥、粪肥实际氮素投入承载量分别为 489.58 、 $30.69 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ；农田系统氮平衡输出端氮素流失量为 $41.62 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，农田作物生长所承载的氮素总量为 $194.78 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。将输入、输出端氮素承载量代入(1)式，得出湘潭县 2011 年区域农田系统土壤氮素承载力为 $304.54 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，土壤氮素平衡表现为“盈余”状态。

3 结论与讨论

1990—2008 年，湘潭县区域农田系统耕地面积由 $69 060 \text{ hm}^2$ 增长至 $76 240 \text{ hm}^2$ ；作物播种面积由 $170 620 \text{ hm}^2$ 降至 $144 090 \text{ hm}^2$ ；复种指数由 247.06% 减少至 189.00%；农作物总产量由 742 762 t 增加至 828 693 t，增长了 11.57%；生猪存栏量由 63.38 万头增加至 134.33 万头，增长了 111.94%。

2011 年，湘潭县区域农田系统氮素输入端化肥、粪肥、大气沉降、生物固氮输入系统的氮素量分别为 489.58 、 30.69 、 19.5 、 $1.17 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，总氮素供给能力为 $540.94 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ；输出端农作物生长消纳氮素 $194.78 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 和农田系统氮素自然流失 $41.62 \text{ kg}/\text{hm}^2$ ，总消纳能力为 $236.40 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。采用 Soil-surface balance 氮素平衡计算方法，得出湘潭县区

域农田系统土壤氮素承载力为 304.54 kg/hm^2 , 土壤氮素表现为“盈余”状态。

湘潭县既是传统的产粮大县, 也是养殖大县, 区域内种植和畜禽养殖量都名列湖南省前茅, 但由于种养结构不合理, 导致养殖粪便大多没有较好地得以返田利用, 使得种植业中氮肥施用量大, 环境污染严重。统计数据表明, 湘潭县氮肥施入总量占湘潭地区总氮肥施入量的 57.92%, 居湘潭地区施入量的第一位。氮肥投入量增加使得土壤氮素承载力加大。本研究结果表明, 湘潭县的农田面积还可能减少, 而畜禽养殖数量却有可能增加, 随之带来的土壤承载问题、环境污染问题将更加突出。为减少农田系统氮素盈余, 湘潭县应尽量减少农田系统化肥氮素的施用, 转而以施用粪肥替代, 并调整种养结构, 形成以“种”带“养”的良性循环模式。

参考文献:

- [1] Dinar A, Xepapadeas A. Regulating water quantity and quality in irrigated agriculture[J]. *Journal of Environmental Management*, 1998, 54: 273-289.
- [2] Rejesus R M, Hornbaker R H. Economic and environmental evaluation of alternative pollution-reducing nitrogen management practices in central Illinois [J]. *Agricultural, Ecosystems and Environment*, 1999, 75: 41-53.
- [3] Schou J S, Skop E, Jensen J D. Integrated agri-environmental modeling: A cost-effectiveness analysis of two nitrogen tax instruments in the Vejle Fjord watershed, Denmark [J]. *Journal of Environmental Management*, 2000, 58: 199-212.
- [4] 宋福忠. 畜禽养殖环境系统承载力及预警研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [5] 张晖. 中国畜牧业面源污染研究——基于长三角地区生猪养殖户的调查[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [6] 张秋菊. 关中地区农村畜禽养殖污染治理技术集成研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.
- [7] 武兰芳, 欧阳竹. 种养结合生产区农田氮素平衡分析——以山东省禹城为例[J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4): 1312-1319.
- [8] 胡浩, 郭利京. 农区畜牧业发展的环境制约及评价——基于江苏省的实证分析[J]. *农业技术经济*, 2011(6): 36-42.
- [9] 张绪美, 董元华, 王辉, 等. 中国畜禽养殖结构及其粪便 N 污染负荷特征分析[J]. *环境科学*, 2007, 28(6): 1311-1318.
- [10] Kopinski J, Tujaka A, Igras J. Nitrogen and phosphorus budgets in Poland as a tool for sustainable nutrients management[J]. *Acta Agriculturae Slovenica*, 2006, 87(1): 173-181.
- [11] 王方浩, 马文奇, 龚争霞, 等. 中国畜禽粪便产生量估算及环境效应[J]. *中国环境科学*, 2006, 26(5): 614-617.
- [12] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤氮素[M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992: 288-303.
- [13] 王家玉, 王胜佳, 陈义, 等. 稻田土壤中氮素淋失的研究[J]. *土壤学报*, 1996, 33(1): 28-36.
- [14] 高效江, 胡雪峰, 王少平, 等. 淹水稻田中氮素损失及其对水环境影响的试验研究[J]. *农业环境保护*, 2001, 20(4): 196-198.
- [15] 陈国军, 曹林奎, 陆贻通, 等. 稻田氮素流失规律测坑研究[J]. *上海交通大学学报*, 2003, 21(4): 320-324.

责任编辑: 王赛群

英文编辑: 王 库