

农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力 核算方法研究与应用

龙雯琪, 吴根义*, 林毅青

(湖南农业大学 资源环境学院, 长沙 410128)

摘要: 基于农业环境保护的相关要求, 从畜禽养殖废弃物总氮产生量、处理与利用中氮素损失量、土壤可供氮量、农业种植需氮量、农业种植对氮素利用效率等几方面进行了定量分析。提出了以氮素平衡为核算指标的农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力的新核算方法。利用构建的方法, 本研究以湖南省长沙市为例, 核算出该地区当前主要作物种植对畜禽养殖废弃物承纳能力, 并结合其化肥施用比例, 核算出长沙市当前农业种植条件下能承载的最大畜禽养殖量。

关键词: 承纳能力; 畜禽养殖; 畜禽废弃物

中图分类号: X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2014)03-0446-05 doi:10.11654/jaes.2014.03.006

Research and Application of Accounting Method in Carrying Capacity of Livestock and Poultry Waste in Agricultural Cultivation

LONG Wen-qi, WU Gen-yi*, LIN Yi-qing

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

Abstract: Based on the protection of agriculture environmental, quantitative analysis was conducted on the aspects of the total nitrogen of livestock and poultry waste, the losing amount in its processing and utilization, the available soil nitrogen, requirement and using efficiency of nitrogen in agricultural cultivation. And nitrogen balance was taken as index, a new accounting method in carrying capacity of livestock and poultry waste in the base of agricultural cultivation was proposed. In this thesis, Changsha City of Hunan Province as an example, the accurate carrying capacity of the livestock and poultry waste in current agricultural cultivation was calculated by using the method of constructing. Combined with the proportion of chemical fertilizer in this region, the maximum capacity of livestock and poultry breeding in the conditions of current agricultural planting was calculated.

Keyword: carrying capacity; livestock and poultry; livestock and poultry waste

第一次全国污染源普查资料显示,在我国主要污染物排放量中,畜禽养殖业 COD 排放产量已经占农业源总量的 96%,超过全国工业废水和生活污水 COD 排放量^[1],成为污染源之首。畜禽养殖废弃物是一种放错位置的资源,如能根据农业种植面积进行合理规划,养殖废弃物作为农业种植肥料得到利用,一方面可有效解决畜禽养殖污染问题,另一方面也可减少农业种植化肥的施用,降低农业种植过程中氮元素

的流失。目前,我国的畜禽养殖废弃物主要通过农业利用为主的途径得到资源化利用,但我国目前并没有畜禽养殖废弃物农业利用的相关标准,各地对农业种植施用畜禽废弃物的量把握不准确,畜禽废弃物的过量施用,引起作物减产、环境污染的现象时有发生,加之我国各地自然条件差异大,农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力不一样。建立一套核算农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力的核算方法,可为科学推动畜禽粪便农业资源化利用,解决畜禽养殖污染,促进循环农业的发展提供技术支撑。

1 核算指标确定

通过对 2002—2012 年中国几个不同省市和不同

收稿日期: 2014-01-09

基金项目: 环保公益基金(201309035-3)

作者简介: 龙雯琪(1991—),女,湖南衡阳人,硕士研究生,主要从事农业面源污染防治研究。E-mail: longwenqi77@163.com

* 通信作者: 吴根义 E-mail: wugenyi99@163.com

耕作区的N、P、K的平衡情况研究,发现N、P处于平衡或处于稍微盈余状态,K处于严重的亏缺状态。根据已有基于农田氮、磷收支状况分析表明:农田施用粪便氮占总施氮的百分比的平均耕地畜禽承载容量小于施用粪便磷占总施磷的百分比的平均耕地畜禽承载容量。由此可见,基于氮收支的耕地畜禽承载容量小于基于磷收支的耕地畜禽承载容量,相应基于农田氮收支的耕地畜禽负载指数明显小于基于农田磷收支的耕地畜禽负载指数。基于环境保护的角度,以氮元素作为核定耕地消纳能力的指标更能保证环境质量不受影响。

2 核算方法构建

在满足农业种植产量的前提下,通过确定种植单位面积农作物需氮量、单位种植面积土壤供氮量、出栏每头生猪(其他畜禽种类供氮量换算成生猪供氮量计算)的供氮量,综合考虑粪便流失率、畜禽粪便年季利用率和当地平均水平化肥施用百分比,参考《畜禽粪便农田利用环境影响评价标准》GB/T 26622—2011中相关公式,对单位面积农业生产可承载力进行定量分析,提出以氮素平衡为核算指标的农业种植对畜禽养殖废弃物容纳能力的核算公式,公式如下:

$$H = \frac{(ka - 2.25ct)(1-\eta)}{\beta\rho(1-f)} \quad (1)$$

H 为单位面积农业生产可承载当量猪的量, $\text{head} \cdot \text{hm}^{-2}$; k 为单位产量某农作物需从土壤中吸收氮的量, $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; a 为单位面积可产出的某农作物的量, $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 2.25 为土壤养分的“换算系数”, 20 cm 厚的土壤表层 1 hm^2 的总重约为 $2.25 \times 10^6 \text{ kg}$, 那么 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的养分在 1 hm^2 地中所含的量为: $2.25 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \times 1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 即 $2.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$; c 为无肥区(不施用任何肥料)土壤中氮元素的测定值(本研究采用有效氮), 一般取有代表性的土壤样品, 取平均值, $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; t 为土壤养分校正系数, 可实际测定或根据当地科研部门公布的数据进行计算; β 为每头当量生猪产氮系数, $\text{kg} \cdot \text{head}^{-1}$; ρ 为畜禽废弃物年季利用率; f 为畜禽养殖废弃物损失率(包括畜禽废弃物收集过程的损失以及进入土壤前各种处理措施的去除效率); η 为研究区域当前实际农业生产过程中, 考虑化肥利用率后, 化肥施用量占总施肥量的百分比, 以地区平均值计算。

利用公式(1)可以定量计算出在考虑当地平均化肥施用百分比的情况下, 每公顷某种作物种植区土地可承载的当量猪的量。为各地畜禽养殖合理规划和准

确把握农业种植施用畜禽废弃物的量提供量化数据。

由于我国畜禽养殖的主要种类有生猪、奶牛、肉鸡、蛋鸡、鸭和羊等, 各类畜禽废弃物产生量不一致, 且各类畜禽在一定区域内同时存在, 为了全面准确核定一个地区畜禽养殖废弃物产生量, 考虑到国内生猪养殖量最多, 而且生猪养殖污染对环境的影响也最大, 本研究将其他几种畜禽的产污量换算为标准生猪氮的产生量(具体取值见 3.3 节)。

3 核算相关参数的确定

3.1 参数 c 的确定

以当地科研部门数据或实际测定的方法确定 c 的取值。实际测定时一般取用有连续 5 年以上耕种历史的地点作为监测点, 分别在耕作期和闲置期对无肥区土壤进行采样, 采用对角线布点法取 0~20 cm 的混合土样。按照国标《森林土壤水解性氮的测定》LY-T 1229—1999 标准进行土壤样品的检测。

3.2 参数 k 和 a 的确定

总结国内相关研究, 对于不同农业种植情况, 一般来说, 每生产 1 kg 稻谷, 需从土壤中吸收氮(N) 0.018~0.025 $\text{kg}^{[6]}$, 每生产 1 kg 小麦, 需从土壤中吸收氮(N) 0.020~0.042 $\text{kg}^{[7]}$, 每生产 1 kg 玉米, 需从土壤中吸收氮(N) 0.019 3 kg 左右^[8], 每生产 1 kg 大豆, 需从土壤中吸收氮(N) 0.053~0.072 $\text{kg}^{[9]}$ 。由于栽培地区、品种类型、土壤肥力、施肥和产量水平等不同, 水稻对氮的吸收量会发生一些变化。通常可取平均值进行计算。

单位面积可产出的某农作物的量, 需要根据研究区域当地实际单位产量进行分析。选取当地当前最具代表性的典型种植区的单位产量数据, 结合当地农村统计年鉴数据, 确定 a 的取值。

3.3 参数 β 的确定

通过实际测定方法确定, 实测时选取养殖场 1 周内出生的猪 5 头, 饲养 1 周, 再正式开始试验。每天定时(上午 8:00±30 min)收集称量猪粪量及猪尿量, 每隔 15 d 对猪粪和猪尿中的总氮量进行监测分析, 按照国家相关行业检测分析方法进行检测。具体指标、方法和仪器见下表 1。

根据董红敏等对畜禽养殖业产污系数^[10]提出的计算方法, 猪的产氮系数的计算公式如下, $\text{FP}_j = [\text{QF}_j \times \text{CF}_j + \text{QU}_j \times \text{CU}_j] \times T$, 式中, FP_j 为每头猪生长周期内的氮产生系数, 为 $\text{kg} \cdot \text{head}^{-1}$; QF_j 为每头猪粪便产量, $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$; CF_j 为生猪第 j 生产阶段粪便中氮的浓度, $\text{mg} \cdot$

表 1 猪废弃物检测指标、方法、标准及测定仪器

Table 1 The indicators, methods, standards and measuring instruments of the pig waste detection

项目		标准检测方法	方法标准号	主要仪器
粪便	全氮	有机肥料中全氮含量测定	NY 525—2002	定氮蒸馏装置
尿液	全氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(水质)	GB 11894—1989	定氮蒸馏装置

kg^{-1} 或 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$; QU_j 为每头猪尿液产量, $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$; CU_j 为生猪第 j 生产阶段尿液中氮的浓度, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, T 为每次试验样品间隔的时间, 单位为 d 。继而根据公式: 猪的产氮系数=生猪的产氮系数+母猪的年产氮系数/20, 从而可以得出每出栏一头生猪的产氮系数。

为了全面准确核定一个地区畜禽养殖废弃物产生量, 本研究结合现有畜禽养殖统计数据的相关规定, 生猪、肉牛、肉鸡以出栏为统计单位, 而奶牛、蛋鸡以存栏量为统计单位。将每出栏的一头(羽)肉牛、肉鸡的氮产生量折算为出栏一头生猪氮产生量, 将每存栏一头(羽)奶牛、蛋鸡的存栏量折算为出栏一头生猪的氮产生量。

3.4 参数 η 、 ρ 和 f 的确定

对于研究区域当地平均水平的农业生产过程中化肥施用量占总施肥量的百分比, 一方面, 为了保证作物产量必须保证供给足够作物需要的 N 、 P 量; 另一方面, 为了减少 N 、 P 流失对水环境的影响, 只有在施肥中有机肥达到一定的比例, 才有可能既保证作物产量, 又将农业种植 N 、 P 流失降低至环境可承纳的范围。目前关于各地基于农业生产与环境保护协调考虑的化肥施用比例这一值还缺少研究与检测, 因此, η 值需通过实地定量实验分析获取。

对于畜禽废弃物的年季利用率, 有研究表明有机肥的年季利用率在 30%~50% 之间^[11]。由于不同地区气候条件、土壤环境、地貌特征、化肥施用水平等存在差异, 各地区有机肥的年季利用率也不同。在保证作物产量和环境不受影响的前提下, 需要根据当地有关统计部门和当地科研部门公布的实际年降雨量, 结合降雨径流和渗流中氮素含量的采样监测分析^[12], 得出当地实际的畜禽废弃物的年季利用率, 即为 ρ 的取值。

对于畜禽养殖废弃物损失率, 畜禽废弃物损失率包括畜禽废弃物收集过程的损失以及进入土壤前各种处理措施的去除效率。目前中国畜禽废弃物的收集、处理和利用过程中, 其中粪便处理主要有储存还田、堆肥后农用和生产有机肥后农用 3 种方式, 尿液处理主要有储存还田、厌氧处理后农用和厌氧好氧处

理后农用 3 种方式。结合研究区域畜禽废弃物的处理方式、不同处理方式的去除效率以及粪便尿液氮素含量百分比, 计算出研究区域畜禽废弃物的损失率, 即为 f 的取值。

4 核算方法在湖南省长沙市的应用

4.1 长沙市 c 的确定

中国土壤数据库数据显示湖南省种植区土壤共有 9 个土类, 24 个亚类, 418 个土种。由于地区分散, 研究中忽略占地面积较小的土类, 仅研究具有典型代表性的大面积土类。长沙市以水稻土为主, 因此, 在研究中仅对水稻土供肥能力进行实测, 用于计算土壤供氮能力。

本研究在长沙县和望城县各选取一个有连续 5 年以上耕作历史的点。监测点的具体分布见表 2。

表 2 监测点的具体分布

Table 2 The specific distribution of monitoring sites

监测点	编号	土壤类型	耕种方式	地貌类型
长沙县	1 [#]	水稻土	水田-水稻	平原
望城县	2 [#]	水稻土	水田-水稻	平原

对 1[#]-2[#] 号监测点在土地耕作和闲置期间分别进行土壤样品的采集。采用对角线布点法取 0~20 cm 混合土样, 然后四分缩分后留取 1 kg 土样装袋, 编号。土样风干后分别过 100 目筛, 装入玻璃样品瓶中备用。按照《森林土壤水解性氮的测定》LY-T 1229—1999^[13] 标准进行土壤样品的检测。

通过对 2 个监测点不同土壤样品进行采集和检测, 计算分析数据, 得出结果显示长沙水稻土有效氮含量为 $141.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 即 c 的值为 $141.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

4.2 长沙市 k 和 a 的确定

湖南长沙市农作物以水稻种植为主, 大部分地区水稻种植为双季稻, 极少一部分种植一季稻。本研究 k 值取水稻从土壤中吸收氮量的平均值 $0.022 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。根据《2011 湖南省农村统计年鉴》^[14] 所提供的数据, 湖南省长沙市水稻平均单位面积可产出水稻的量(即 a 值)为 $14\,651.3 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

4.3 长沙市 β 值、 t 值、 η 值、 f 值和 ρ 值的确定

引用环保公益基金项目,南方丘陵集约化种植面源污染监测技术方法研究中关于湖南长沙产污系数的实验数据,本研究猪的产氮系数 β 取值为 $3.78 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1}$;以猪的产氮系数为当量,根据第一次污染源普查畜禽养殖产污系数,换算出其他4种畜禽产氮与猪产氮的换算系数如表3所示。

表3 各畜禽品种猪日产氮中全氮换算系数

Table 3 The total nitrogen conversion factor of five varieties of livestock and poultry species

项目	猪	奶牛	肉牛	蛋鸡	肉鸡
TN产生系数($\text{kg} \cdot \text{head}^{-1}$)	3.78	104.14	73.76	0.50	0.06
折算成猪的当量氮量	1.00	27.55	19.51	0.13	0.02

结合国标《畜禽粪便农田利用环境影响评价准则》GB/T 26622—2011中土壤氮素校正系数的取值,本研究土壤氮素校正系数 t 取值为 $0.5^{[17]}$;根据湖南省环境保护厅和农业厅相关资料,基于湖南省长沙县和望城县监测点农业施肥实际检测数据分析,得出湖南省长沙市当前平均化肥施用百分比 η 为45%。

随机选取长沙市范围内的159个规模化养殖场进行分析,区域内规模化养殖场均采用干清粪的养殖方式,粪污直接还田农业利用为湖南省畜禽废弃物处理的主要方式。根据武深树在《湖南洞庭湖区农地畜禽粪便承载力估算及其风险评价》里对洞庭湖区畜禽废弃物损失率的研究结果,本研究湖南目前畜禽废弃物损失率取35%, f 取值为 $35\%^{[18]}$ 。

根据湖南省气象台和长沙市气象台公布的数据,湖南长沙历年平均降雨量约为1400 mm左右。结合刘晓利在《我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况》研究中的相关数据,本研究将湖南长沙畜禽废弃物的年季利用率 ρ 取值为 $50\%^{[19]}$ 。

4.4 长沙市农业种植对畜禽养殖废弃物承纳能力核算结果

将以上各参数取值代入公式(1),计算如下:

$$H = \frac{(0.022 \times 14\ 651.3 - 2.25 \times 141.9 \times 0.5) \times (1 - 45\%)}{3.78 \times 50\% \times (1 - 35\%)}$$

得出 H 为 $72.85 \text{ head} \cdot \text{hm}^{-2}$,即湖南省长沙市,考虑当前农业种植实际化肥施用百分比(化肥氮占总施氮量)的情况下,每公顷种植用地可承载生猪的养殖量约为72头。此结果与国内相关研究《基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型建立与应用》中相应畜禽粪便承载力,每公顷种植用地可承载生猪的养殖量

65.08头相差不多^[20],分析可能是土壤供氮能力以及粪便损失率不同导致的结果差异。

利用《2011年湖南省农村统计年鉴》中关于湖南省长沙市总耕作土壤面积的数据($223\ 604.3 \text{ hm}^2$),得出长沙市目前总体的农业种植对畜禽养殖的承纳能力,即为16 099 510头。结合2011年湖南省农村统计年鉴,折算出湖南省长沙市2010年当量养殖量约为18 997 554头。此养殖量超过了长沙的实际可承载量,据湖南省环境保护厅发布的2012年湖南省环境状况公报发布的数据,长沙饮用水源地水质仅6成达标,长沙是在1月份、10月份、11月份3个月出现了氨氮、铁、锰的超标,而2011年长沙的饮用水源的达标率只有59.6%。

综上,本研究提出的核算方法,通过湖南省长沙市的实例应用,与国内相关研究对比,结果显示本核算方法切实可行,能较准确地核算出某一地区某种作物的农业种植能承纳某种畜禽的养殖量,为畜禽养殖业的合理规划和可持续发展提供有力保障。

参考文献:

- [1] 第一次全国污染源普查公报[R].新华月报,2010:65-68.
The First National Census of Pollution Sources Gazette. [R]. Xinhua Monthly, 2010: 65-68.
- [2] 刘会玲, 陈亚恒, 许 峰, 等. 河北低平原潮土氮磷钾平衡状况及评价研究[J]. 河北农业大学学报, 2002, 25(2): 28-31.
LIU H L, CHEN Y H, XU H, et al. The nutrient balance of N P K in aquent of Hebei alluvial plain and their evaluation[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002, 25(2):28-31.
- [3] 张玉铭, 胡春胜, 毛任钊, 等. 华北太行山前平原农田生态系统中氮、磷、钾循环与平衡研究[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1863-1867.
ZHANG Y M, HU C S, MAO R Z, et al. Nitrogen, phosphorus and potassium cycling and balance in farmland ecosystem at the piedmont of Taihang[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1863-1867.
- [4] 丛万彪. 三江平原白浆土型水稻土氮磷钾养分平衡的研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22(2): 249-253.
CONG W B. Study on the nitrogen phosphorous potassium nutrition balance case of albic rice soils[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22(2): 249-253.
- [5] 董若征, 贾 可, 廖文华, 等. 氮磷钾在冬小麦上的产量效应与养分平衡[J]. 华北农学报, 2012, 27(4): 175-180.
DONG R Z, JIA K, LIAO W H, et al. Yield response of winter wheat to N, P and K fertilizations and nutrient balances [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2012, 27(4): 175-180.
- [6] 傅文义. 水稻需肥规律及施肥技术[J]. 新疆农业科技, 1997, 4: 26.
FU W Y. Fertilizer requirement regularity and fertilizer technology of rice[J]. *Xinjiang Agricultural Science and Technology*, 1997, 4: 26.
- [7] 黄寅玲, 冯晓鸽, 陈海录. 小麦平衡施肥技术[J]. 种业导刊, 2010, 2: 20-21.

- HUANG Y L, FENG X G, CHEN H L. Balanced fertilization technology of wheat[J]. *Seed Industry Guide*, 2010, 2: 20–21.
- [8] 郑在卿. 玉米高产的需肥规律及其栽培技术[J]. 山东省农业管理干部学院学报, 2010, 27(003): 153–154.
- ZHENG Z Q. Fertilizer requirement regularity and cultivation techniques of the high-yielding corn[J]. *Journal of Shandong Agricultural Administrators College*, 2010, 27(003): 153–154.
- [9] 姜莹. 大豆需肥规律及施肥技术[J]. 现代农业科技, 2012, 19: 033.
- JIANG Y. Fertilizer requirement regularity and fertilization technology of soybean[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2012, 19: 033.
- [10] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 303–308.
- DONG H M, ZHU Z P, HUANG H K, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1): 303–308.
- [11] 杜慧. 化肥环境污染及防治措施[J]. 北方环境, 2012, 6: 035.
- DU H. Environmental pollution and control measures of cost [J]. *Northern Environmental*, 2012, 6: 035.
- [12] 井光花, 于兴修, 刘前进, 等. 沂蒙山区不同强降雨下土壤的氮素流失特征分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 120–125.
- JING G H, YU X X, LIU Q J, et al. Characteristics of soil nitrogen loss under different intense rainfalls in Yimeng mountainous area[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(6): 120–125.
- [13] LY/T 1229—1999. 森林土壤水解性氮的测定[S].
- LY/T 1229—1999. Determination of hydrolyzable nitrogen in forest soil[S].
- [14] 湖南省农村统计年鉴: 2011[M]. 中国统计出版社, 2011.
- Hunan Statistical Yearbook of Agriculture: 2011[M]. China Statistics Press, 2011.
- [15] Paraso M G V, Espaldon M V O, Alcantara A J, et al. A survey of waste management practices of selected swine and poultry farms in Laguna, Philippines[J]. *Journal of Environmental Science and Management*, 2010, 13(2).
- [16] Sims J T, Wolf D C. Poultry Waste Management: Agricultural and Environmental Issues[J]. *Advances in Agronomy*, 1994, 52(1): 2–72.
- [17] GBT 26622—2011 畜禽粪便农田利用环境影响评价准则[S].
- GBT 26622—2011 Criteria for environmental impact assessment of the animal manure land application[S].
- [18] 武深树, 谭美英, 黄璜, 等. 湖南洞庭湖区农地畜禽粪便承载量估算及其风险评价[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1245–1251.
- WU S S, TAN M Y, HUANG H, et al. Loading capacity estimation and risk assessment of livestock manure in cultivated lands around Dongting Lake[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(6): 1245–1251.
- [19] 刘晓利, 许俊香, 王方浩, 等. 我国畜禽粪便中氮素养分资源及其分布状况[J]. 河北农业大学学报, 2005, 28(5): 27–32.
- LIU X L, XU J X, WANG F H, et al. The resource and distribution of nitrogen nutrient in animal excretion in china[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2005, 28(5): 27–32.
- [20] 陈天宝, 万昭军, 付茂忠, 等. 基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型建立与应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 191–195.
- CHEN T B, WAN Z J, FU M Z, et al. Modeling and application of livestock suppoaing capacity estimation of cropland based on nitrogen cycling in Southwest China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(2): 191–195.