

基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型建立与应用

陈天宝, 万昭军, 付茂忠, 张红, 张金灵, 杨朝武, 蒋小松*

(四川省畜牧科学研究院, 成都 610066)

摘要: 为了避免畜禽粪便大量流失对环境构成威胁, 指导农区畜禽养殖规模合理配置与布局, 建立农牧结合、种养平衡、生态循环、环境友好型现代动物农业可持续发展产业模式, 提供直观、实用、易行的科学方法, 该研究基于农牧生产系统中“耕地—作物—畜禽”氮的流动循环规律及养分收支平衡原则, 运用畜牧生产学及线性规划的理论与方法, 引入猪饲料蛋白当量及粪便氮排泄当量等参数, 设计建立农区耕地畜禽承载能力评估数学模型(N-LSCM)。并以四川农区为案例分析评估表明, 2006年该农区畜禽养殖规模较为合理, 对环境不构成威胁, 且仍有新增22 419 574头猪(杜洛克×长白×大约克夏三元杂交, 出栏体质量100 kg的商品肉猪的头数)的发展潜力。

关键词: 氮素, 模型, 可持续发展, 猪当量, 耕地畜禽承载能力, 负荷预警

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.02.034

中图分类号: S8-0

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-02-0191-05

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 Tianbao, Wan Zhaojun, Fu Maozhong, et al. Modeling and application of livestock supporting capacity estimation of cropland based on nitrogen cycling in southwest China[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 191-195. (in Chinese with English abstract)

0 引言

农牧生产系统是自然环境、农业生物和人类劳动相互结合, 以动植物的生命运动为基础, 生产力、生产关系和生态关系三者通过物质循环、能量流动、价值增值、信息传递相互作用, 而形成自然再生产与经济再生产相互交织的典型的生态经济系统^[1]。农牧生态系统中的氮素循环, 是指氮素通过不同途径进入农牧生产系统, 再经过若干相互联系的转化和移动过程后, 又不同程度地离开这一系统^[2-3]。不合理的氮素流失引起农田面源污染、土壤中矿物质亏损、水体硝酸盐污染和富营养化等一系列环境问题^[4]。在农业发达的美国, 农业面源污染占河流污染总量的46%~56%, 欧洲、日本农业面源污染占水环境污染的50%以上^[5-9]。20世纪中后期以来, 畜牧业的快速发展, 特别是养殖布局不合理或规模过大等诸多问题造成大量畜禽粪便流失, 成为农业面源污染的主要组成部分^[10], 引起国际社会普遍关注。如 Kuipers 等通过大量分析表明, 畜禽养殖排泄粪便的氮的数量过多^[11]。Mallin 等通过对美国北卡罗莱纳州集约化养殖场的研究, 认为畜禽粪便是水生生态系统中氮和病原微生物污染的主要来源^[12]。Aarts 等对荷兰集约化奶牛农场的氮素循环进行研究, 并建立了 De Marke 试验样板奶牛农场^[13]。中国张

绪美等对全国畜禽养殖结构及其粪便氮污染负荷特征进行了研究^[14], 李帷等对东北三省畜禽养殖时空分布特征及粪便养分环境影响进行了研究^[15]等。

在农区, 综合考虑作物生长发育氮肥的合理需求与降低农业面源污染风险的客观要求, 大力推行农牧结合、种养平衡的生产方式, 是合理利用资源、保护生态环境, 促进农区畜牧业可持续发展的高效循环经济模式。本研究基于农牧生产系统中“耕地—作物—畜禽”氮的流动循环规律及养分收支平衡原则, 设计建立农区耕地畜禽承载能力分析数学模型(简称: N-LSCM), 用于指导农区种植业、养殖业合理配置与布局、种养平衡动态分析及养殖环境风险评价等^[16]。

1 基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型的设计与建立

1.1 原理与方法

基于氮素在农业生态系统各介质中的来源去向、数量特征及流动循环规律与原理, 针对农区种植业与养殖业相结合的产业发展模式, 综合考虑作物生长发育氮肥的合理需求与降低农业面源污染风险的客观要求, 运用畜牧生产学及线性规划的理论与方法, 从农牧生产系统工程的角度分析“耕地—作物—畜禽”生态子系统氮素的分布及数量特征, 依据“氮养分收支平衡”的原则, 引入猪等值产量及其饲料蛋白当量、粪便氮排泄当量等通用概念及参数, 设计并建立农区耕地畜禽承载能力分析评估数学模型。

猪等值产量(equivalent production of pig, E_{pp}): 是指1头出栏体质量100 kg, 以大约克夏 Yorkshire 为母本、

收稿日期: 2010-11-26 修订日期: 2011-08-09

基金项目: 四川省畜禽良种繁育专项(SASA2009YZ007)

作者简介: 陈天宝(1971-), 男, 副研究员, 主要从事畜牧业资源环境与可持续发展研究。成都 四川省畜牧科学研究院, 610066。

Email: smwlcib@163.com

*通信作者: 蒋小松(1962-), 男, 研究员, 博导。成都 四川省畜牧科学研究院, 610066。Email: xsjiang@sasa.cn

长白 Landrace 为第一父本、杜洛克 Duroc 为第二父本的三元杂交（简称 DLY）商品肉猪，或性能水平相当的其他商品肉猪。

猪饲料蛋白当量（feed protein equivalent per pig equivalent production, E_{fp} ）：是指生产每份猪等值产量全程所耗饲料中蛋白质的总量，包括其繁殖种猪与仔猪从出生到 100 kg 体质量出栏期间所耗饲料中蛋白质的量之和，kg。

猪粪便氮排泄当量（nitrogen excretion equivalent per pig equivalent production, E_N ）：是指生产每份猪等值产量的全程排泄粪便中的氮总量，包括其繁殖种猪与仔猪从出生到 100 kg 体质量出栏期间排泄粪便中的氮量之和，kg。

作物单位经济产量氮养分消耗量（ n ）：是指形成 1 个单位经济产品（籽粒、果实、块根、块茎等）粮油作物、蔬菜、饲草等从播种（或移栽）到收获的生长、发育全过程氮养分的吸收消耗总量，kg/100kg。

耕地畜禽承载能力（livestock supporting capacity of cropland, C_N ）：是指在农区同时满足作物生长发育氮肥的合理需求和降低环境面源污染风险的客观要求，农牧结合、种养平衡的循环经济生产模式下，一定面积耕地某段时间适宜承载畜禽的数量，a。

耕地畜禽负荷预警值（ δ ）：是指某农区一定面积耕地畜禽承载负荷的程度，即耕地畜禽承载实际数量与非约束条件下耕地畜禽承载最大量的比值。

1.2 模型组成

基于氮素循环的耕地畜禽承载能力评估模型由用户界面（即输入输出界面）和 6 个分析处理模块构成，分别为猪当量测算模块、农作物氮养分消耗估算模块、耕地畜禽承载能力估算模块、耕地畜禽承载实际负荷估算模块、养殖环境风险评价模块、可持续发展潜力预测模块。

1.2.1 猪当量测算模块

猪饲料蛋白当量

$$E_{fp} = E_{fp1} + E_{fp2} \quad (1)$$

$$E_{fp1} = \frac{(E_{fpm1} + 100E_{fpf1}) + (E_{fpm2} + 100E_{fpf2}) \cdot n}{100n \times q} \quad (2)$$

式中， E_{fp1} 为繁殖 1 头 DLY（或性能水平相当类似组合，以下同）仔猪其繁殖种猪所耗饲料中蛋白质的量，kg； E_{fp2} 为每头 DLY 仔猪从出生到 100 kg 体质量出栏期间所耗饲料中蛋白质的量，kg； E_{fpm1} 、 E_{fpf1} 分别为每头后各种公猪、后备母猪从出生至配种繁殖期间所耗饲料中蛋白质的量，kg； E_{fpm2} 、 E_{fpf2} 分别为每头配种公猪、能繁母猪年耗饲料中蛋白质的量，kg/a； n 为种猪使用年限，a；常数 100 为 1 头种公猪可配种能繁母猪数； q 为每头能繁母猪年提供成活仔猪数。

猪粪便氮排泄当量

$$E_N = 0.16\eta E_{fp} \quad (3)$$

式中，常数 0.16 为蛋白质折成纯氮系数； η 为生猪养殖氮排泄参数。

1.3.2 农作物氮养分消耗估算模块

$$T_{Nj} = Y_j n_j \quad (4)$$

$$T_N = \sum_{j=1}^n T_{Nj} \quad (5)$$

式中， T_{Nj} 为某农区种植 j 类作物或蔬菜等的年消耗氮养分量，kg/a； Y_j 为该农区 j 类作物或蔬菜等经济产品年产量，kg/a； n_j 为 j 类作物或蔬菜等单位经济产量氮养分消耗量，参照《肥料手册》^[17] 中的氮养分消耗标准； T_N 为该农区农作物、蔬菜等种植年消耗氮养分总量，t/a。

1.3.3 耕地畜禽承载能力估算模块

$$C_N = \frac{\alpha(1+\gamma)T_N}{\beta(1-\lambda)E_N} \quad (6)$$

式中， α 为畜禽粪便有机肥提供的氮养分占作物、蔬菜等生长、发育全过程氮养分消耗总量的比值，取值范围 0~1（在非约束条件下，即作物、蔬菜等生长、发育全过程所需氮养分全部来自畜禽粪便有机肥，则 $\alpha=1$ ；在完全束条件下，即作物、蔬菜等全过程氮养分消耗都不来自畜禽粪便有机肥，则 $\alpha=0$ ）； γ 为作物、蔬菜等在种植过程中因旱涝等自然灾害、病虫害、田间管理不当等因素造成经济产量失真的氮养分消耗校正系数； β 为畜禽粪便有效收集率； λ 为畜禽粪便有机肥在收集、贮存、运输以及施用过程中氮养分以氨态形式挥发的流失率。

1.3.4 耕地畜禽承载实际负荷估算模块

$$L_N = \sum_{i=1}^n \kappa_i X_i \quad (7)$$

式中， L_N 是指某农区一定面积耕地某段时间实际承载畜禽的数量； i 为某类畜禽； X_i 为某农区 i 类肉用畜禽出栏数或奶牛、蛋禽存栏数； κ 为某类畜禽的猪粪便氮排泄当量折算系数，详见表 1。

表 1 主要畜禽的猪粪便氮排泄当量折算系数（ κ ）

Table 1 Conversion coefficients of representative livestock to pig production excretion equivalent

畜禽名称	每头或每只折算比	畜禽名称	每头或每只折算比
生猪	1/1	肉兔	1/30
肉牛	5/1	蛋禽	1/30
奶牛	10/1	肉禽	1/60
肉羊	1/3		

注：按照《畜禽养殖业污染物排放标准》（GB 18596-2001）折算^[18]。

1.3.5 养殖环境风险评价模块

$$\delta = \frac{L_N}{C_{N(\max)}} \quad (8)$$

种植业所需氮养分主要来源于工业化肥与人畜粪有机肥，其次是大气氮沉降、作物秸秆还田、种子及生物固氮、土壤母岩风化等^[2-3]。参照欧共体农业政策（Nitrate Directives 规定畜禽粪有机肥施入土壤量不得高于 174 kg/(hm²·a)）及国内农田畜禽粪便负荷报警^[14-15,19]分级方法，将耕地畜禽负荷预警划设为 5 级，详见下表 2。

表 2 农区耕地畜禽负荷预警值级标准

Table 2 Prewarning standards of livestock supporting capacity of cropland

负荷预警级	风险程度	负荷预警值	环境影响描述
I	无污染	$0 \leq \delta \leq 0.45$	对环境不构成威胁。
II	稍有污染	$0.45 < \delta \leq 0.6$	对环境稍有威胁。
III	明显污染	$0.6 < \delta \leq 0.8$	对环境构成明显威胁。
IV	严重污染	$0.8 < \delta \leq 1.0$	对环境构成严重威胁。
V	重大污染	$\delta > 1.0$	对环境构成重大威胁。

1.3.6 畜牧业可持续发展潜力预测模块

$$V_N = C_{N(\max)} \delta_{\text{临界值}} - L_N \quad (9)$$

式中， V_N 是指某农区一定面积耕地某时间段可承载新增畜禽生产数量。

2 耕地畜禽承载能力评估模型应用案例

四川地处中国西南，既是长江、黄河中上游重要生态屏障，又是中国畜牧业大省和粮食主产区。全省耕地面积 391.7 万 hm^2 ，草地面积 2 253.9 万 hm^2 、林地面积 2 336.5 万 hm^2 [20]。2006 年，四川种植业、养殖业生产情况详见表 3。

表 3 2006 年四川种植业与养殖业生产情况 [20]

Table 3 Crop production and animal production of Sichuan province in 2006

种植业		养殖业	
作物种类	产量/万 t	畜禽种类	出栏或存栏数
粮食	3 249.78	生猪	9 424.72/万头
油料	217.27	肉牛	394.23/万头
棉花	1.57	奶牛	19.5/万头
麻类	6.58	肉羊	2 743.56/万只
糖料	124.83	蛋禽	1.32/亿只
烟叶	20.01	肉禽	12.95/亿只
药材	28.91	肉兔	1.57/亿只
蔬菜瓜果类	3 082.74	其他（马、驴、骡等）	103.90/万头

2.1 猪饲料蛋白当量及粪便氮排泄当量的确定

通过对四川 5 个不同规模生猪养殖场饲料消耗记录的处理分析（详见表 4），应用“猪当量测算模块”计算得：猪饲料蛋白当量平均为 54.24 kg，粪便氮排泄当量平均为 5.641 kg。

表 4 规模化生猪养殖场猪饲料蛋白当量及氮排泄当量

Table 4 Feed protein equivalent and nitrogen excretion equivalent in scaled pig farms

规模化生猪养殖场名称	各阶段饲料蛋白消耗及相关生产参数					猪当量				备注
	E_{fpm1}/kg	E_{fpn}/kg	$E_{fpm2}/(\text{kg}\cdot\text{a}^{-1})$	$E_{fpn2}/(\text{kg}\cdot\text{a}^{-1})$	n/a	q	$E_{fp2}/(\text{kg})$	饲料蛋白当量 $E_{fp}/(\text{kg})$	氮排泄当量 $E_N/(\text{kg})$	
规模化猪场 1 ^a	51.10	52.52	136.88	131.01	4	15.79	43.78	53.00	5.512	年出栏 10 000 头
规模化猪场 2 ^a	52.93	58.48	161.33	150.46	4	15.90	42.71	53.20	5.533	年出栏 6 000 头
规模化猪场 3 ^b	62.82	61.81	161.24	155.75	4	15.46	42.88	54.07	5.623	年出栏 5 000 头
规模化猪场 4 ^b	77.89	79.26	175.20	150.25	4	15.54	45.11	56.18	5.843	年出栏 3 000 头
规模化猪场 5 ^b	64.16	59.61	109.50	136.88	4	15.62	44.96	54.76	5.695	年出栏 2 500 头
平均值 \bar{x}								54.24	5.641	
标准差 s								1.29	0.134	
变异系数 c.v								2.38	2.383	

注：生猪养殖氮素排泄参数 $\eta=0.65$ [21]。a 饲用的各类饲料均为本企业生产加工的全价料；b 饲用的教槽料、仔猪料从专业饲料生产企业购买的全价料，其余饲料均为购买浓缩料+原料（按浓缩料使用说明）自行配制。 E_{fpm1} 为每头后备公猪从出生至配种繁殖期间所耗饲料中蛋白质的量； E_{fpn} 为每头后备母猪从出生至配种繁殖期间所耗饲料中蛋白质的量； E_{fpm2} 为每头配种公猪年耗饲料中蛋白质的量； E_{fpn2} 为每头能繁母猪年耗饲料中蛋白质的量；n 为种猪使用年限；q 为每头能繁母猪年提供成活仔猪数； E_{fp2} 为每头 DLY 仔猪从出生到 100 kg 体重出栏期间所耗饲料中蛋白质的量。

2.2 四川农区耕地畜禽承载能力估算及环境风险分析

参照国内外相关研究 [14-15, 19, 21-22]，结合四川农区种养业生产及科技、管理水平，氮养分消耗校正系数 γ 设为 0.1，畜禽粪便有效收集率 β 为 80%，畜禽粪便有机肥中氮养分挥发流失率 λ 为 30%。以《四川农村统计年鉴（2006 年）》 [20] 中的主要作物产量和畜牧业生产数据为基础，由评估数学模型分析估算得：四川农区 2006 年农作物氮养分消耗量 ($T_{N(2006)}$) 1 126 199.68 t (表 5)；耕地畜禽承载能力在非约束条件下 ($C_{N(\max)}$) 392 160 601 猪等值产量，在农牧结合、种养平衡状态下 ($C_{N(2006)}$) 176 472 270 猪等值产量 (表 6)；耕地畜禽承载实际数量 ($L_{N(2006)}$) 154 052 696 猪等值产量；耕地畜禽负荷预警值 ($\delta_{(2006)}$) 为 0.39；可承载新增畜禽生产数量 (V_N) 22 419 574 猪等值产量。

表 5 四川省主要农作物生产氮养分消耗情况

Table 5 Nitrogen consumption of main crops in Sichuan province

作物名称	收获物	100 kg 经济产量氮		总产量 [22]/ (万 t·a ⁻¹)	氮养分年消耗 总量/(t·a ⁻¹)	
		消耗量 [18]/kg	消耗量 [18]/kg			
粮食作物	谷物	稻谷	籽粒	2.25	1 391.58	313 105.50
		小麦	籽粒	3.00	557.76	167 328.00
		玉米	籽粒	2.57	582.57	149 720.49
		其他	籽粒	2.60	57.20	14 872.00
	豆类	豆粒	5.15	116.21	19 949.38	
油料作物	薯类	鲜块根	0.40	2 722.28	108 891.20	
	油菜	菜籽	5.80	168.95	97 991.00	
	花生	荚果	6.80	47.10	10 676.00	
	其他	出油部位	5.94	1.22	724.68	

续表

作物名称	收获物	100 kg 经济产量氮消耗量 ^[18] /kg	总产量 ^[22] / (万 t·a ⁻¹)	氮养分年消耗总量/(t·a ⁻¹)
糖料作物	甘蔗 茎	0.19	124.61	2 367.59
	甜菜 块根	0.40	0.22	8.80
蔬菜	可食部位	0.40	3 082.74	123 309.60
青绿伺草料	利用部位	0.30	3 073.00	92 190.00
其它	棉花 籽棉	5.00	1.57	785.00
	麻类 纤维	8.00	6.58	5 264.00
	烟草 鲜叶	4.10	20.01	8 204.10
	药材 药用部位	3.74	28.91	10 812.34
合 计				1 126 199.68

注：①籽实类为风干质量，块根、块茎、果实、伺草等均为鲜质量；②大豆、花生等豆科作物从土壤中吸收氮养分按消耗总量的 1/3 计算。

表 6 在约束条件下四川农区耕地畜禽粪便负荷与承载能力
Table 6 Livestock supporting capacity of cropland under constrained conditions in Sichuan province

畜禽粪便有机氮占作物生产消耗总氮的百分比 $\alpha\%$	耕地畜禽粪便总负荷(折成纯氮)/(t·a ⁻¹)	耕地畜禽承载总量	单位耕地畜禽承载能力/(头 hm ⁻² ·a ⁻¹)
0	0	0	0
5	56 309.98	19 608 030	5.01
10	112 619.97	39 216 060	10.01
15	168 929.95	58 824 090	15.02
20	225 239.94	78 432 120	20.03
25	281 549.92	98 040 150	25.03
30	337 859.90	117 648 180	30.04
35	394 169.89	137 256 210	35.04
39.28 ^I	442 405.73	154 052 696	39.33
40	450 479.87	156 864 240	40.05
45 ^{II}	506 789.86	176 472 270	45.06
50	563 099.84	196 080 300	50.06
55	619 409.82	215 688 330	55.07
60	675 719.81	235 296 360	60.08
65	732 029.79	254 904 390	65.08
70	788 339.78	274 512 420	70.09
75	844 649.76	294 120 450	75.10
80	900 959.74	313 728 480	80.10
85	957 269.73	333 336 510	85.11
90	1 013 579.71	352 944 540	90.11
95	1 069 889.70	372 552 570	95.12
100	1 126 199.68	392 160 601	100.13

注：① I 为 2006 年四川农区耕地畜禽承载实际负荷；② II 为四川农区耕地畜禽承载能力临界点。

3 结论与讨论

1) 养殖规模、布局不合理及畜禽粪便流失成为农业面源污染及水生生态系统中氮和病原微生物污染的主要来源，畜禽粪便的处理利用方式及周围土壤、水等环境对畜禽排泄物的容纳量，是畜牧业健康持续发展的重要影响因素。在农区，根据作物种植对畜禽粪便有机氮养分的消纳能力，建立以适度规模畜禽标准化养殖经营为主体的农牧结合、种养平衡型现代动物农业生产体系^[23]，是促进种养业副产品资源化循环利用，实现畜牧生产与

生态环境协调发展的良好产业模式。

2) 农区耕地畜禽承载能力评估数学模型(N-LSCM)，综合考虑了评估方法的通用性和目标农区的差异性。定义出“猪等值产量及其饲料蛋白当量、粪便氮排泄当量；作物单位经济产量氮养分消耗量；耕地畜禽承载能力；耕地畜禽负荷预警值”等通用概念。在应用中既可采用已给定的参数；也可依据评估目标农区当前实际生产管理水，测算确定模型相关参数，使评价结果更为真实地反映目标农区的客观实际。本评估数学模型用于估算农区耕地畜禽承载能力和实际负荷，评价养殖环境风险程度，分析可新增畜禽发展潜力，进而指导该区域农牧产业结构的调整，畜禽养殖规模的合理规划与布局，促进种养平衡，防止畜禽粪肥过量还田，从源头上管理和控制畜禽养殖环境风险，建立生态循环、环境友好型现代动物农业可持续发展产业体系。

3) 以四川农区为案例分析估算得：2006 年农作物种植等氮养分消耗总量为 1 126 199.68 t，种养平衡状态下耕地畜禽承载能力为 176 472 270 猪等值产量(杜洛克×长白×大约克夏三元杂交，出栏体质量 100 kg 的商品肉猪的头数)，耕地畜禽承载实际数量为 154 052 696 猪等值产量，耕地畜禽负荷预警值为 0.39 (<0.45，属负荷预警 I 级)，表明该农区畜禽养殖规模较为合理，对环境不构成威胁。扣除当年耕地畜禽承载实际数量，四川农区仍有新增 22 419 574 猪等值产量的发展潜力。

[参 考 文 献]

- [1] Boyazoglu J. Livestock farming as a factor of environmental, social and economic stability with special reference to research[J]. Livestock Production Science, 1998, 57: 1—14.
- [2] 李志博, 王起超, 陈静. 农业生态系统的氮素循环研究进展[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 417—421.
Li Zhibo, Wang Qichao, Chen Jing. Research of agroecosystem nitrogen cycle[J]. Soil and Environmental Sciences, 2002, 11(4): 417—421. (in Chinese with English abstract)
- [3] 邱建军, 秦小光. 农业生态系统碳氮循环模拟模型研究[J]. 世界农业, 2002, 281(9): 39—41.
Qiu Jianjun, Qin Xiaoguang. Study on the situation and perspective of simulation model on carbon and nitrogen circulations in agro-ecosystem[J]. World Agriculture, 2002, 281(9): 39—41. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陶春, 高明, 徐畅, 等. 农业面源污染影响因子及控制技术的研究现状与展望[J]. 土壤, 2010, 42(3): 336—343.
Tao Chun, Gao Ming, Xu Chang, et al. Research status and prospect on influential factors and control technology of agricultural non-point source pollution: A Review[J]. Soils, 2010, 42(3): 336—343. (in Chinese with English abstract)
- [5] Miller G T. Living in the environment: an introduction to environmental science. 7th Edition[M]. Belmont: Wadsworth Publishing Company, 1992.
- [6] Ongley E D. Control of water pollution from agriculture[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1996.
- [7] Kronvang B. Diffuse nutrient losses in denmark[J]. Water

- Science and Technology 1996, 33(4/5): 81—88.
- [8] Atsushi I, Kiyoshi Y. Study on characteristics of pollutant runoff into Lake Biwa[J]. Japan. Water Science and Technology, 1999, 39(12): 17—25.
- [9] Boers P C M. Nutrient emission from agriculture in the Netherlands: Causes and remedies[J]. Water Science and Technology, 1996, 33(4/5): 183—189.
- [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, 2002.
- [11] Kuipers A, Mandersloot F, Zom R L G. An approach to nutrient management on dairy farms[J]. Journal of Animal Science, 1999, 77(Suppl.2): 84—89.
- [12] Mallin M A, Cahoon L B. Industrialized animal reduction: a major source of nutrient and microbial pollution to aquatic ecosystems[J]. Population and Environment, 2003, 24(5): 369—385.
- [13] Aarts H F M, Conijn J G, Corre W J. Nitrogen fluxes in the plant component of the 'De Marke' farming system, related to groundwater nitrate content[J]. Netherlands Journal of Agricultural Science, 2001, 49: 153—162.
- [14] 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.
Zhang Xumei, Dong Yuanhua, Wang Hui, et al. Structure of livestock and variation of fecal nitrogen pollution load in China[J]. Environmental Science, 2007, 28(6): 1311—1318. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李帷, 李艳霞, 张丰松, 等. 东北三省畜禽养殖时空分布特征及粪便养分环境影响研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(6): 2350—2355.
- Li Wei, Li Yanxia, Zhang Fengsong, et al. The spatial and temporal distribution features of animal production in three Northeast Provinces and the impacts of manure nutrients on the local environment[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2007, 26(6): 2350—2355. (in Chinese with English abstract)
- [16] 史光华, 孙振钧, 高吉喜. 畜牧业可持续发展的综合评价[J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 909—912.
Shi Guanghua, Sun Zhenjun, Gao Jixi. Comprehensive assessment on sustainable development of livestock production[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(5): 909—912. (in Chinese with English abstract)
- [17] 北京农业大学《肥料手册》编写组. 肥料手册[M]. 北京: 农业出版社, 1979.
- [18] GB 18596—2001, 畜禽养殖业污染物排放标准[S].
- [19] 沈根祥, 汪雅谷, 袁大伟. 上海市郊农田畜禽粪便负荷量及其警报与分级[J]. 上海农业学报, 1994, 10(增刊): 6—11.
- [20] 黄国芹. 2006 四川农村统计年鉴[M]. 四川省统计局农村经济统计处, 2007.
- [21] Heugten E V, Kempen T V. Methods may exist to reduce nutrient excretion[J]. Feed Stuffs, 1999, 26(4): 12—19.
- [22] Smith K A, Frost J P. Nitrogen excretion by farm livestock with respect to land spreading requirements and controlling nitrogen losses to ground and surface waters[J]. Bioresource Technology, 2000, 71(2): 173—181.
- [23] 陈幼春. 现代动物农业: 可持续农业谋略与模式[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

Modeling and application of livestock supporting capacity estimation of cropland based on nitrogen cycling in southwest China

Chen Tianbao, Wan Zhaojun, Fu Maozhong, Zhang Hong,

Zhang Jinling, Yang Chaowu, Jiang Xiaosong*

(Sichuan Animal Science Academy, Chengdu 610066, China)

Abstract: Livestock waste poses a great pollution to the cropland and even results in eutrophication of environment if agricultural farming-animal husbandry ecosystem is not soundly planned. In this study, a mathematic model to estimate livestock supporting capacity of cropland was built based on nitrogen cycling in form of agricultural farming-animal husbandry ecosystem (N-LSCM). The parameters necessary to this model are pig feed protein equivalent, nitrogen excretion equivalent and nitrogen consumption per unit yield of crops. In order to test this model, the actual data of Sichuan province of southwest China were used as a representative situation, and the calculation results showed that in 2006, the agricultural scale of livestock and poultry was reasonable, it did not pose a threat to the environment, and there was still an increase potential in livestock of 22 419 574 pigs (Duroc×Landrace×Yorkshire, slaughtering weight 100 kg). The model can also be used for risk assessment of livestock-environment.

Key words: nitrogen, models, sustainable development, pig equivalent, livestock supporting capacity of cropland, ecological security pre-warning