

陈瑶,薛晶晶. 集约化养殖场的适度规模分析——基于环境成本内部化视角[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 347-351.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.086

集约化养殖场的适度规模分析

——基于环境成本内部化视角

陈瑶, 薛晶晶

(南京工业大学经济管理学院, 江苏南京 211816)

摘要:集约化养殖已成为生猪产业发展的必然趋势,但集约化养殖带来的环境污染也成为世界各国关注的重点。环境成本内部化被认为是解决经济与环境协调发展的最佳途径。以文献述评为基础,从环境成本内部化视角出发,通过比较分析集约化养殖场废弃物处理方式与核心技术,构建以集约化养殖场为核心,配套有机肥厂和种植业的农业生态循环系统,以生态系统农户收益最大化建立农户决策规划模型。根据决策模型,利用 WinQSB 软件整数规划测算出资金投入量、劳动力数量、耕地不同限制条件下生猪养殖的适度规模。最后通过某农业生态公司的案例分析,利用 WinQSB 软件非线性规划测算出在劳动力数量和土地面积资源的约束条件下,种养结合农业生态系统中生猪最佳配置为 40 头/hm²,农业生态系统收益可达 9 万元/hm²。

关键词:集约化养殖场;适度规模;环境成本;种养结合农业生态系统;核心技术;农户决策规划模型

中图分类号: F325; X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)20-0347-05

中国是生猪生产、消费和贸易大国,生猪饲养量和猪肉产量均占世界总量的 50% 左右,多年来生猪出栏量均保持在 6 亿头以上。但同时我国生猪养殖也面临巨大挑战:一是生猪发展方式落后。我国生猪年出栏 50 头以下的散户约 97% 的猪场数的生猪出栏量仅约占总出栏量的 50%;二是猪肉价格波动加剧。由于生猪养殖集约化程度较低及生猪市场供求等因素的影响,猪肉价格一直处于波动态势。中国生猪小户散养方式带来的生产粗放、信息不灵、防疫条件差、标准化程度低、良种化程度不高等问题严重制约了产业的持续健康发展。王俊能等认为,集约化养殖是畜牧业发展的必然趋势,也是产业集中所释放的规模经济效益和未来发展的重要推动力^[1]。另外,随着生猪养殖规模不断扩大,生产集约化程度不断提高,生猪废弃物带来的污染越来越严重。由于畜禽养殖污染处理成本偏高,部分畜禽养殖者粪污处理意识薄弱,大部分集约化养殖场未能对生猪废弃物进行有效处理和利用,专业化特征导致养殖业与传统种植业日益分离,生猪粪便作为农田有机肥的比例大幅度下降,给生态环境造成了严重影响,养殖废弃物污染也成为制约现代畜牧业发展的瓶颈。黄季焜等认为,随着畜禽养殖集约化程度的提高,畜禽粪便的利用率逐渐

下降,畜禽粪便对环境的污染有日益加重的趋势^[2-3]。由于饲料添加剂的广泛使用,一些典型集约化养殖场附近存在潜在的空气污染和水体污染^[4-5],而表层土壤中均存在重金属污染^[6]。散养方式下,农户将畜禽养殖和种植业相结合,畜禽粪便的还田率较高;而当畜禽养殖业集约化程度不断提高时,种、养分离成为普遍趋势,加上近年来建设的专业养殖场主要分布在我国东部和城市郊区,这些都导致缺乏足够的配套耕地循环利用集约化养殖场产生的畜禽粪便^[7]。据 2010 年《全国第一次污染源普查公报》显示,畜禽养殖业主要水污染物排放量中化学需氧量、总氮含量、总磷含量分别为 1 268.26 万、102.48 万、16.04 万 t,分别占排放总量的 41.87%、21.67%、37.9%^[8]。Fischer 等预测,2020 年中国畜禽粪便排放量将会比 2007 年增加 37%^[9]。

1 文献述评

1.1 环境成本的度量及环境成本内部化

国外很多学者从生猪废弃物处理成本的角度分析生猪养殖的环境成本认为,加入环境成本的集约化养殖场(CAFOs)的生产成本高于小规模养殖场,并测算出每头生猪的环境成本为 10.19 元(1.49 美元)^[10-11]。McBride 等测算的环境治污费为 0.55 元/kg(0.08 美元/kg)^[12],Ribaud 等认为大规模化养殖场环境处理成本比不处理增加 4%~5.5%^[13]。国内学者对生猪养殖环境成本的评估差异较大,李桦认为环

收稿日期:2017-05-05

基金项目:南京工业大学青年社科基金(编号:skqn2017002)。

作者简介:陈瑶(1982—),女,江苏扬州人,讲师,主要从事财务管理、环境会计研究。E-mail:cy1087@njtech.edu.cn。

[25] 刘传明,李红,贺巧宁. 湖南省土地利用效率空间差异及优化对策[J]. 经济地理, 2010, 30(11): 1890-1896.

[26] 李明艳. 劳动力转移对区域农地利用效率的影响——基于省级面板数据的计量分析[J]. 中国土地科学, 2011, 25(1): 62-69.

[27] 金福良,王璐,李谷成,等. 不同规模农户冬油菜生产技术效率及影响因素分析——基于随机前沿函数 1 707 个农户微观数据[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(1): 210-217.

[28] 马占新,马生昀,巴斯琴高娃. 数据包络分析及其应用案例[M]. 北京:科学出版社, 2013: 35-40.

[29] 李强. 当代中国社会分层:测量与分析[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2010: 102-111.

[30] 魏君英,何蒲明,刘红. 农民分化对我国粮食生产影响的实证研究——基于 1985—2012 年的时间序列数据[J]. 长江大学学报(社会科学版), 2014, 37(10): 78-83.

境成本占生猪总成本的比例不足1%^[14]；但武深树测出2006年湖南省洞庭湖地区生猪养殖的环境成本为25.60亿元，相当于该区域当年畜牧业生产总值的14.07%^[15]。环境成本内部化的核心是污染者付费原则，即污染者（包括生产者和消费者）应为他们的行为支付全部成本，这样可以确保产品的价格反映出与其生产和消费相关的环境损害程度^[16]。环境成本内部化的实现机制普遍接受的是种养结合，即对集约化养殖场按环境承载能力配套一定面积的种植业土地，利用种植业消纳集约化养殖场排放的N、P等可能对环境构成威胁的营养元素。农业系统中集约化养殖场的环境成本内部化就是使畜禽养殖者将治理污染的成本或因排放污染物而产生的税费记入企业的总成本中。基于这样的情境，王会等构建了一个基于耕地氮磷承载力和运输成本的数理模型^[17]。模型将环境成本分为两部分，一是生猪粪便处理成本，即固液分离、沼气等处理的净成本；二是处理剩余物的处置成本，设定有2种处理方式：一种为直接排放并向环境行政管理部门缴纳排污费，另一种为自行运到农田中作还田处置。王会等认为，运输成本是限制养殖规模的重要因素^[17]，但该模型主要是理论分析，并没有考虑到有机肥与化肥相比在施用环节需要很多的劳动力，而这正是当下制约有机农业发展和动物粪便资源化利用的重要因素。

1.2 集约化养殖场的适度规模

适度规模经营的研究实质是面对有限的农业要素资源条件和可供选择的生产技术状况，对农业各生产要素进行合理配置，使自己的经营规模达到最优，使农业生产的经济效益和农业产出最大化^[18]。适度规模经营可以促进科技进步在农业生产中的推广和应用、促进资金的投入、提高土地产出率、劳动产出率和经营效益。黄廷廷认为，适度规模是一个动态、变化的数值，由多种因素决定，包括科学技术在农业生产中的应用，资本的不可分性，农业经营者的生产经营能力，土地面积、劳动、资本等要素之间的稀缺性差异等^[19]。不同生产要素具有一定的替代效应，农户可以根据要素相对价格和资源优势合理选择投入的要素水平，由于农业生产要素的“稀缺性”，不同生产要素存在最佳配置。本研究对于集约化养殖场的适度规模探讨主要从利润最大化指标考虑，农业生产要素的约束主要考虑资本、土地面积和劳动力数量因素。生猪生产发展受地理、科技、经济等多因素制约，而生猪生产规模化的适度性和科学性也直接由规模效益的有效性决定^[20]。学者对不同区域畜禽粪便的农田作物承载量开展了部分研究，以氮元素为基准，江苏省所有农用地全部种植农田作物畜禽承载力为8 635万猪当量值，全部种植蔬菜作物畜禽承载力为15 949万猪当量值，其中南通市和徐州市畜禽实际承载量已超过耕地的承载^[21]。而盛婧等通过研究粪污直接厌氧发酵处理模式下规模养殖场农牧结合适度规模配置，以沼渣和沼液全部在配套农田消解为目标，认为万头猪场须要配置的最少农田为粮油作物地272.5~285.4 hm²，或果肉类蔬菜149.4~188.2 hm²，或果树苗木地599.4~1 248.8 hm²；该模式下粮油作物地、茄果类蔬菜地、果树苗木地分别可承载35~37、53~67、8~17头/hm²生猪排放粪便的沼渣和沼液^[22]。

2 研究思路及模型构建

2.1 农业生态系统

模型建立是以集约化养殖场为核心，配套相应规模的有机肥厂及消解有机肥的种植业基地，形成种养结合的农业生态循环系统。过量的沼液、沼渣在农田施用将会引起N、P流失二次污染环境，因此，研究规模养殖场必须匹配周边农田面积及农田对沼液、沼渣的适宜承载量至关重要^[23]。农业生态系统中耕地氮磷承载量与生猪养殖粪便中氮磷的总量处于适度均衡状态。农业生态系统的循环原理是集约化养殖场粪污处理技术的产物粪便、沼渣及垫料进入有机肥厂生产有机肥，沼液则作为种植业的液肥用于灌溉；产品中有机肥料提供给农户作为种植业的肥料；种植业的秸秆作为有机肥原料由有机肥厂回收，种植的谷物和大豆则作为饲料产品提供给生猪养殖业（图1）。

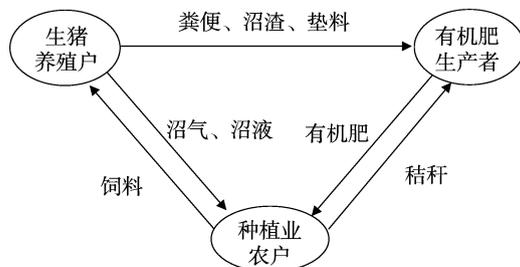


图1 种养结合农业生态系统循环原理

2.2 模型的构建

本研究的适度规模主要以模型建立的系统收益最大化为基础，抵消有机肥厂的成本收益，农业生态系统的收益为生猪销售收入和种植业收入的总和减去相关的成本费用。以集约化养殖场、有机肥厂和种植业结合的农业种养生态系统的规模收益在不同时间和空间上受到资金投入量、土地面积、劳动力数量的相应约束，在不同的生猪养殖规模水平上会产生不同的收益，通过设定不同的约束条件也会产生不同的适度规模结果。

建立适度规模的整数规划模型，利用WinQSB软件计算整数规划。对于规模选择问题中的“是-否”或“有-无”问题，可借助整数规划中的0-1整数变量^[24]。0-1变量也被称为二进制变量、决策变量或逻辑变量，一般表示为：

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{若决策 } j \text{ 为是} \\ 0 & \text{若决策 } j \text{ 为否} \end{cases} \quad (j=1,2,3)。 \quad (1)$$

只能选择1种适度规模的含义就是多种决策方案中选1个方案，即

$$x_1 + x_2 + x_3 \leq 1。 \quad (2)$$

表示规模选择的2个决策变量相互排斥，称类似的2个或多个互斥决策变量为互斥变量。若这些变量要求必须选择1个时，则变量之和就等于1。

令 Q 为生猪出栏量，农业生态系统的净收益(TR)=(不同规模水平下生猪销售收入+种植业收入)-(养殖场总成本+有机肥料成本+种植业成本)；资金投入需求 A 为集约化养殖场与有机肥厂的资本投入之和；耕地需求 S 为规模生猪废弃物氮磷养分的最大耕地承载量；劳动力需求 L 为农业生态系统中养殖场、有机肥厂及种植业所需要的劳动力总和。

同时,农业生态系统净收益最大化的限制条件还有投入资金、耕地面积和劳动力数量,建立规模决策的整数规划模型:

$$\begin{aligned} \max TR &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n TR_{ij}x_i \\ \text{s. t. } &\begin{cases} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_{ij}x_i \leq A \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij}x_i \leq S \\ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n L_{ij}x_i \leq L \\ \sum_{i=1}^m x_i \leq 1 \\ x_i \text{ 是 } 0-1 \text{ 变量 } (i=1,2,\dots,m) \end{cases} \quad (3) \end{aligned}$$

考虑环境因素下的生猪总成本由生产成本和环境成本组成,不同集约化养殖废弃物处理方式下的环境成本也不一样。本研究养殖场废弃物处理主要采用沼气方式和发酵床处理方式,对于养殖场废弃物处理方式的探讨主要分为 2 类:一类为产生污水并以沼气工程为前提的废弃物处理方式,另一类为污水零排放的发酵床处理方式。沼气工程废弃物处理主要以产生沼气为主,沼气工程涉及的废弃物处理工艺主要包括固液机械分离、厌氧处理、好氧处理(堆肥)、氧化塘等^[25-27]。发酵床养猪是一种环保型生态养猪实用技术,原理是通过发酵床有机垫料的物理吸收以及有益菌对猪粪尿废弃物的降解、消化,猪舍无污水外排,实现生猪废弃物的资源化利用^[28-29]。其中,沼气方式主要以干清粪为主,粪水和污水通过废水处理系统产生沼气,固体粪便和沼渣用于堆肥,其环境成本主要包括粪污处理净成本、职能部门检测成本和排污费;发酵床养殖方式的环境成本主要为发酵床的投入成本、垫料的翻耙和清理成本。假设系统中配套的有机肥厂的有机肥主要销售给种植业农户,总成本主要为有机肥生产的运营成本、肥料还田的运输成本;农户的收入主要为种植业收入和秸秆的收入,种植成本主要为有机肥购入成本;种植业耕地是以有机肥厂为中心的圆盘形,且有机肥料均匀分布在耕地上。因此对于 TR 进一步分解:

$$TR(Q_{ij}) = (P_{ij} \cdot Q_{ij} + P_{pi} \cdot S_p) - (C_i \cdot Q_{ij} + EC_j) -$$

$$\begin{aligned} & (RC_F + C_H) = (P_{ij} \cdot Q_{ij} + R_i \cdot \pi r^2) - [(C_{Fi} + C_{Li} + C_{Ri} + C_{Oi}) \cdot \\ & Q_{ij} + F(Q_{ij}, \gamma) + (W + \mu\alpha_j Q_{ij})_{(j=1)}] + [RC_F + \\ & (\int_0^r 2\kappa c_j \eta s^2 ds + G(Q_j))] \quad (4) \end{aligned}$$

式中: $RE(Q_{ij})$ 表示种养结合农业生态系统的净收益; $P_{ij} \cdot Q_{ij}$ 表示集约化养殖场的总收入,其中 P_{ij} 表示单位数量生猪的价格, Q_{ij} 表示集约化养殖场的规模,以生猪出栏量表示,头。 $P_{pi} \cdot S_p$ 表示农业系统中种植业净收益, P_{pi} 表示种植业的单位面积收入, S_p 表示圆形种植业的面积; r 表示圆形耕地半径; $C_i \cdot Q_{ij}$ 表示集约化养殖场的生产成本, C_i 表示集约化养殖场的单位生产成本,包括单位饲料成本 C_{Fi} 、单位人工费用 C_{Li} 、单位土地成本 C_{Ri} 、其他单位运营成本 C_{Oi} ; EC_j 表示集约化养殖场的环境成本,包括项目投入成本、剩余物处理成本和有机肥还田成本; RC_F 表示有机肥厂的运行成本; C_H 是有机肥料还田的运输和施肥成本; $F(Q_{ij}, \gamma)$ 表示废弃物处理项目或发酵床的投入成本,其中 γ 表示国家环保补贴因子。 $(W + \mu\alpha_j Q_{ij})_{(j=1)}$ 表示废弃物处理技术下剩余物的处理成本,包括监测成本和排污费, W 表示政府职能部门对集约化养殖场的监测成本,设每个养殖场需要 1 名工作人员, $\mu\alpha_j Q_{ij}$ 表示养殖场向行政部门缴纳的排污费,其中 ι 表示单位氮磷污染物排放征收的税费, μ 表示养殖场单位猪废弃物中氮磷含量, α_j 表示沼液中氮磷含量比例; $\int_0^r 2\kappa c_j \eta s^2 ds$ 表示有机肥还田的运输成本, η 表示单位耕地面积的氮磷承载量, c_j 表示单位氮磷含量有机肥单位距离的运输成本, κ 表示对道路实际距离的修正系数, $G(Q_j)$ 表示有机肥还田的施肥成本; $P_F \cdot Q_F$ 表示有机肥的总收入, P_F 表示有机肥的销售价格, Q_F 表示有机肥的产量; C_s 表示秸秆的收购成本。

3 集约化养殖场的适度规模分析

3.1 沼气方式下的适度规模

根据模型(3)和模型(4),当 $j=1$ 时,利用 WinQSB 软件对资金投入量(A)、土地面积(S)、劳动力数量(L)约束条件测算,得出农业生态系统收益最大化的适度规模(表 1)。

表 1 沼气方式处理下农业生态系统的生猪养殖适度规模单位

A (万元)	生猪养殖规模(头)				L (人)
	$S \leq 3\ 000\ \text{hm}^2$	$3\ 000\ \text{hm}^2 < S \leq 30\ 000\ \text{hm}^2$	$30\ 000\ \text{hm}^2 < S \leq 300\ 000\ \text{hm}^2$	$S > 300\ 000\ \text{hm}^2$	
$A \leq 25$	x_1	x_1	x_1	x_1	$L \leq 16$
$25 < A \leq 150$	x_1	x_2	x_2	x_2	$16 < L \leq 165$
$150 < A \leq 800$	x_1	x_2	x_3	x_3	$165 < L \leq 935$
$A > 800$	x_1	x_2	x_3	x_3	$L > 935$

由表 1 构成的 3 个约束条件资金投入量、土地面积、劳动力数量可知,当 $A \leq 25$ 万元或 $S \leq 3\ 000\ \text{hm}^2$ 或 $L \leq 16$ 人时,农业生态系统净收益最大化的适度规模为小规模生猪养殖(x_1)。当 $25\ \text{万元} < A \leq 150\ \text{万元}$ 、 $S > 3\ 000\ \text{hm}^2$ 且 $L > 16$ 、 $3\ 000\ \text{hm}^2 < S \leq 30\ 000\ \text{hm}^2$ 、 $A > 150\ \text{万元}$ 且 $L > 16$ 人时,农业生态系统净收益最大化的适度规模为中规模生猪养殖(x_2)。当 $A > 150\ \text{万元}$ 、 $S > 30\ 000\ \text{hm}^2$ 且 $L > 165$ 人时,农业生态系统净收益最大化的适度规模为大规模(x_3)。不同规模生猪养殖的净收益分别为 28.96 万、401.70 万、4 340.55 万元。

3.2 发酵床方式下的适度规模

当 $j=2$ 时,利用 WinQSB 软件得出农业生态系统收益最大化的适度规模(表 2)。

由表 2 可知,当 $A \leq 23.78$ 万元或 $S \leq 3\ 000\ \text{hm}^2$ 或 $L \leq 8$ 人时,农业生态系统净收益最大化的适度规模为小规模生猪养殖(x_1)。当 $23.78\ \text{万元} < A \leq 137.8\ \text{万元}$ 、 $S > 3\ 000\ \text{hm}^2$ 且 $L > 18$ 人、 $3\ 000 < S \leq 30\ 000\ \text{hm}^2$ 、 $A > 600\ \text{万元}$ 且 $L > 18$ 人时,农业生态系统净收益最大化的适度规模为中规模(x_2)。当 $A > 600\ \text{万元}$ 、 $S > 3\ 000\ \text{hm}^2$ 及 $L > 185$ 人时,农业生态系统净

表2 发酵床方式下农业生态系统的生猪养殖适度规模

A (万元)	L(hm ²)				L (人)
	S≤3 000	3 000<S≤30 000	30 000<S≤300 000	S>300 000	
A≤23.78	x ₁	x ₁	x ₁	x ₁	L≤18
23.78<A≤137.8	x ₁	x ₂	x ₂	x ₂	18<L≤185
137.8<A≤600	x ₁	x ₂	x ₃	x ₃	185<L≤1 095
A>600	x ₁	x ₂	x ₃	x ₃	L>1 095

收益最大化的适度规模为大规模(x₃)。不同规模生猪养殖的净收益分别为35万、395.24万、3 868.95万元。

将表1和表2中沼气方式与发酵床方式在3种规模水平下的设备投入、土地面积、劳动力数量状况对比分析发现,沼气方式的总体投入和各规模的净收益略大于发酵床处理方式。从农业系统单位净收益看,沼气方式不同规模的单位净收益分别为579.17万、803.41万、868.11万元;发酵床方式单位净收益分别为700.14万、790.48万、773.79万元。可见,小规模水平沼气方式单位净收益小于发酵床方式;中大规模水平沼气方式单位净收益均大于发酵床方式,且在发酵床方式系统中规模水平的单位净收益最大。

3.3 某集约化养殖场——沼气方式案例分析

3.3.1 集约化生态农业公司现状 集约化生态农业公司位于江苏省宜兴市徐舍镇,为首批通过农业部畜禽养殖标准化示范场的省级验收的畜禽养殖场,该生态农业有限公司是一家集生猪生产、加工、猪粪综合利用于一体的现代生态循环农业企业,也可看作是种养结合的农业生态循环系统。根据养殖场适度规模的选择结果,某集约化养殖场废弃物处理技术选择运用沼气处理实现规模经营。目前,公司总投资8 000多万元,总占地面积40 hm²,已形成年出栏商品猪5万头、种猪5 000头的生产规模。2004年该公司作为农业部首批环境能源利用项目,总投资150万元建设综合养殖场利用猪粪制取沼气工程,年节约能源近20万元,2006年又投入500万元新建1套污水处理工程,包括1 500 m³沼气塔、贮气罐、日产沼气500 m³供给200 kW的发电站,对生产污水净化率达80%以上;2007年第2条年出栏5万头生猪的生产线、年产20 000 t的饲料厂以及一套新的污水处理工程投入使用。该集约化大型沼气工程产生的沼液主要用于企业内部约66.67 hm²蔬菜种植的液肥灌溉,大部分猪粪干物质在园区内部堆放或无偿提供给蔬果、园艺种植园,未能完全利用的猪粪干物质形成有机肥,同时也造成一定的环境污染;通过养殖场、有机肥厂、种植业建立农业生态循环系统,在提高经济效益的同时,还可以改善生态环境、促进社会就业。

3.3.2 集约化农业生态系统的最佳养殖规模 根据徐舍地区2015年农村组织和从业人员情况统计表和农村实有从业人员表(资料来源于《徐舍镇2016年统计年鉴》),年末农村

劳动力资源数约为12 000人,约70%~80%的劳动力外出打工;镇区实际从业人员为部分外来人口加本地劳动力,由于国民经济不同行业的需要,实际从事农业的农村劳动力仅约有6 000人。该公司农业循环生态园配套耕地约666.67 hm²,加上养殖场和有机肥厂,耕地约束约为733.33 hm²。其中规划模型中的成本函数主要参考徐舍地区实地考察的代表性养殖场建立的生产成本趋势线 $y=1 769.5x^{-0.075}$ [30]。

根据徐舍地区的劳动力数量、耕地约束及某集约化农业生态循环系统中资金的投入现状,以该集约化养殖场现有的生产能力为基础,建立农业生态系统的非线性规划模型:

$$\max TR = 1 650Q - 1 769.5Q^{-0.075} + 1 760S - 0.000 7S^{3/2}$$

$$s. t. \begin{cases} 4.51Q - 11.33S_p \leq 0 \\ 0.143Q + 0.04S \leq 6 000 \\ 0.007 2Q + S \leq 11 000 \\ 300 \leq Q \leq 50 000 \end{cases}$$

利用WinQSB软件计算得出测算结果。

由表3可知,在劳动力数量和土地面积资源约束条件下,以某集约化养殖场为核心的农业生态循环系统中养殖场的最佳养殖规模约为25 115头,配置耕地面积为666.57 hm²,最大化收益为5 903.635万元。将生猪规模和耕地面积对净收益作敏感性分析可知,生猪规模对净收益的敏感性大于耕地面积影响(图2)。生猪规模和耕地面积变动1%对净收益的影响分别为0.7%、0.3%,变动5%的影响分别为3.51%、1.49%,因此变动5%以内生猪规模和耕地面积变动对净收益的影响敏感性较弱,当生猪规模变动15%以上,即增减3 700头以上时净收益的变动大于10%。因此,在劳动力数量和土地面积资源的约束条件下,根据某集约化养殖场结果及其敏感性分析,农业生态循环系统中养殖场的最佳养殖规模约为25 000头,配置耕地面积666.67 hm²,最大化收益为5 903.635万元,即种养结合农业生态系统中生猪最佳配置为40头/hm²,农业生态系统的净收益可达9万元/hm²。

4 小结

随着经济发展水平的提高,生猪养殖的集约化程度还将进一步提高,由此引起的经济与环境保护协调发展问题已经成为全球畜禽养殖业发展的重要议题,从生猪养殖的环境成

表3 WinQSB软件非线性规划测算结果

类型	变量	方程左边	方程右边	状态	解值
约束方程	N、P承载力约束方程	-13.859 4	0	松弛	—
	劳动力约束方程(人)	3 992	6 000	松弛	—
	耕地约束方程(hm ²)	678.63	733.33	松弛	—
决策变量	生猪规模Q(头)	—	—	—	25 115
	耕地面积S(hm ²)	—	—	—	666.57
目标函数	收益TR(万元)	—	—	—	5 903.635

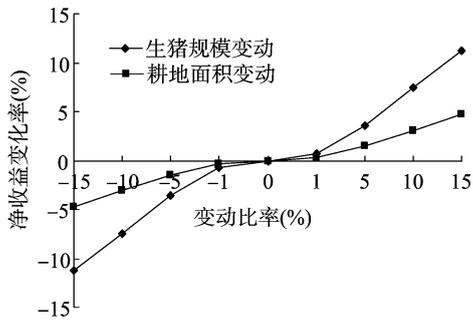


图2 生猪规模与耕地面积的变化对种养农业系统净收益影响的敏感性分析

本内部化视角考虑生猪产业的发展也是解决集约化养殖与环境保护的最佳手段。沼气废弃物处理剩余物仍然存在废水和废气的排放,发酵床作为零污染排放的养殖模式则存在固体有机肥还田的运输成本和施肥成本问题,本研究从循环农业视角建立种养结合农业生态系统,根据系统构建基于生猪集约化养殖技术选择、完全成本、适度规模的生产者决策模型,分析既定废弃物处理技术下农户收益最大化时集约化养殖场的适度规模,进而实现农业生态系统的优化配置。

根据农户决策规划模型,利用 WinQSB 软件整数规划测算出资金投入量、劳动力数量、耕地不同限制下生猪养殖的适度规模。将沼气方式与发酵床方式在 3 种规模水平下的设备投入、农业系统净收益、系统单位净收益进行对比分析发现,沼气方式的总体投入略大于发酵床处理方式,从农业系统总体收益及单位净收益看,小规模水平上沼气方式小于发酵床方式;中大规模水平上,沼气方式均大于发酵床模型,且在发酵床方式系统中规模水平的单位净收益最大。然后通过某集约化养殖场的案例分析,利用 WinQSB 软件非线性规划测算出在劳动力数量和土地面积资源的约束条件下,种养结合农业生态系统中生猪最佳配置为 40 头/hm²,农业生态系统的净收益可达 9 万元/hm²。

参考文献:

[1] 王俊能,许振成,杨剑. 我国畜牧业的规模发展模式研究——从环保的角度[J]. 农业经济问题,2012(8):13-18.

[2] 黄季焜,刘莹. 农村环境污染情况及影响因素分析——来自全国百村的实证分析[J]. 管理学报,2010,7(11):1725-1729.

[3] 仇焕广,廖绍攀,井月,等. 我国禽畜粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学,2013,34(7):2766-2774.

[4] Wilson S M, Serre M L. Examination of atmospheric ammonia levels near hog CAFOs, homes, and schools in Eastern North Carolina[J]. Atmospheric Environment,2007,41(23):4977-4987.

[5] Heaney C D, Myers K, Wing S, et al. Source tracking swine fecal waste in surface water proximal to swine concentrated animal feeding operations[J]. Science of the Total Environment, 2015 (511): 676-683.

[6] Liu X, Zhang W, Hu Y, et al. Arsenic pollution of agricultural soils by concentrated animal feeding operations (CAFOs)[J]. Chemosphere, 2015(119):273-281.

[7] 仇焕广,井月,廖绍攀,等. 我国畜禽污染现状与治理政策的有效性分析[J]. 中国环境科学,2013,33(12):2268-2273.

[8] 中华人民共和国环境保护部,中华人民共和国国家统计局,中华

人民共和国农业部. 全国第一次污染源普查公报[EB/OL]. (2010-02-11)[2017-01-10]. http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/qttjgb/qgqttjgb/201002/t20100211_30641.html.

[9] Fischer G, Ermoliva T, Ermoliev Y, et al. Livestock production planning under environmental risks and uncertainties[J]. Journal of Systems Science and Systems Engineering,2006,15(4):399-418.

[10] Hmgvander W, Tzilivakis J, Lewis K, et al. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment,2007(118):327-32.

[11] Cochran K, Rudek J, Whittle D. Dollars and sense: an economic analysis of alternative hog waste management technologies[M]. Washington DC: Environmental Defense,2002.

[12] McBride W D, Key N. Economic and structural relationships in US hog production[J]. Ssrn Electronic Journal,2005(818):64.

[13] Ribaldo M, Cattaneo A, Agapoff J. Cost of meeting manure nutrient application standards in hog production: the roles of EQIP and fertilizer offsets[J]. Review of Agricultural Economics, 2004, 26(4):430-444.

[14] 李桦. 生猪饲养规模及其成本效益分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.

[15] 武深树. 湖南省畜禽养殖场粪便污染治理意愿及其环境成本控制研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2010.

[16] 迟诚. 我国的环境成本内在化问题研究[J]. 经济纵横,2010(5):41-44.

[17] 王会,王奇. 基于污染控制的畜禽养殖场适度规模的理论分析[J]. 长江流域资源与环境,2011,20(5):622-627.

[18] 吴楦培. 农业适度规模经营的理论与实证研究——以湖南省农户水稻种植规模为例[D]. 北京:中国农业科学院,2011.

[19] 黄廷延. 农地规模经营中的适度性探讨——兼谈我国农地适度规模经营的路径选择[J]. 求实,2011(8):92-96.

[20] 闫振宇,陶建平,徐家鹏. 中国生猪生产的区域效率差异及其适度规模选择[J]. 经济地理,2012,32(7):107-112.

[21] 孙国波,韩大勇,董飏. 基于氮磷平衡的江苏省畜禽养殖土地承载力研究[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(6):123-130.

[22] 盛婧,孙国峰,郑建初. 典型粪污处理模式下规模养殖场农牧结合规模配置研究 II. 粪污直接厌氧发酵处理模式[J]. 中国生态农业学报,2015,23(7):886-891.

[23] 王奇,陈海丹,王会. 基于土地氮磷承载力的区域畜禽养殖总量控制研究[J]. 中国农学通报,2011,27(3):279-284.

[24] 徐玖平,胡知能. 运筹学——数据·模型·决策[M]. 北京:科学出版社,2006.

[25] 王凯军,金冬霞,赵淑霞,等. 畜禽养殖污染防治技术与政策[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[26] 闵师界,黄叙,邱坤,等. 养殖场沼气工程补贴政策的经济学解析[J]. 中国沼气,2013,31(1):33-37.

[27] 刘畅,王俊,浦绍瑞,等. 中德万头猪场沼气工程经济性对比分析[J]. 化工学报,2014,65(5):1835-1839.

[28] 王永强,魏刚才. 发酵床养猪新技术[M]. 北京:化学工业出版社,2011.

[29] 李买军,马晗,郭海宁,等. 养殖场发酵床垫料及下层土壤中酶活性变化特性研究[J]. 农业环境科学学报,2014,33(4):777-782.

[30] 陈瑶. 生猪集约化养殖废弃物处理的方式选择与控制策略研究[D]. 南京:南京农业大学,2014.