

辽宁省育肥猪生产环境影响的生命周期评价

刘鸣达¹, 赵妍¹, 刘显军², 王耀晶^{1,3*}

(1.沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110866; 2.沈阳农业大学畜牧兽医学院, 沈阳 110866; 3.沈阳农业大学理学院, 沈阳 110866)

摘要:采用生命周期评价方法,以1 000头出栏育肥猪的规模化养殖场为功能单位,对辽宁地区育肥猪生产进行污染物排放清单分析,评价其环境影响。结果表明,1 000头育肥猪生产的生命周期环境影响综合指数为56.59,环境影响大小依次为富营养化、酸化、全球变暖,环境影响指数依次为36.31、13.84和6.44;富营养化影响主要来源于猪粪尿中氮、磷的排放,酸化影响主要来源于猪粪尿中 NH_3 的排放,全球变暖影响主要来源于种植饲料作物使用的化肥生产过程中 NO_x 的排放。因此,加强养猪粪污无害化处理,促进养殖业废物资源化,增加育肥猪饲料中青饲料比例,提高饲料作物生产过程中化肥利用率是降低辽宁地区育肥猪生产环境负荷的主要措施。

关键词:育肥猪;生命周期评价;环境影响;富营养化;酸化;全球变暖

中图分类号:X820.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)06-1250-06

Life Cycle Assessment of Environmental Impacts from Finishing Pig Production in Liaoning Province, China

LIU Ming-da¹, ZHAO Yan¹, LIU Xian-jun², WANG Yao-jing^{1,3*}

(1.College of Land and Environmental Sciences, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2.College of Animal Husbandry and Veterinary, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 3.College of Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: Life cycle assessment was used to analyze the inventory of pollutants' emission from 1 000 finishing pigs in large scale pig farms to assess the environmental impacts of finishing pig production in Liaoning Province. The results showed that the impact index of life cycle environment of 1 000 finishing pigs was 56.59. The sequence of environmental impacts from finishing pig production was eutrophication, acidification and global warming, and their potential value of the environmental impacts was 36.31, 13.84 and 6.44 respectively. The eutrophication effect was primarily caused by the nitrogen and phosphorus in pig's manure and urine. The acidification effect was mainly resulted from NH_3 emission from pig's manure and urine. The global warming effect was mainly due to the emission of NO_x in the production of chemical fertilizers used for pig's feeding crops. Our results suggested that the major measures to decrease the environmental loads from the finishing pig production in Liaoning Province was to enhance the harmless treatment of pig's manure, the recycle of waste from pig's farms, increase the ratio of green fodder for finishing pig's feed and increase the utilization efficiency of chemical fertilizers for growing feeding crops.

Keywords: finishing pigs; life cycle assessment; environmental impact; eutrophication; acidification; global warming

改革开放以来,我国肉类的生产总量和人均占有总量迅速增加,已经成为世界上最大的肉类生产国。进入21世纪以来,辽宁省畜牧业生产迅速发展,2000年其产值为304.2亿元,占农业总产值的31%,至2010年其产值已达1 270.6亿元,占农业总产值的

41%,成为全省现代农业的主导产业^[1]。与全国的肉类生产结构相同,辽宁的猪肉生产仍居于主导地位,2010年全省猪肉总产量达228.4万t,占肉类生产结构的56%。生猪生产虽然满足了人们的需求,但是在其生产过程中能源和物质的直接消耗、饲料原料的生产和大量猪粪、污水的产生却给生态环境造成了严重影响^[2]。因此,合理评价育肥猪生产的环境影响,已成为畜牧业持续发展研究的重要内容。

生命周期评价(Life Cycle Assessment, LCA)是一种用于评价产品或服务相关的环境因素及其整个生

收稿日期:2011-12-13

作者简介:刘鸣达(1970—),男,内蒙古赤峰人,教授,博士生导师,研究方向为农业环境保护。E-mail:mdsauoil@163.com

* 通讯作者:王耀晶 E-mail:wysau@163.com

命周期环境影响的工具。它被定义为:“对一个产品的某个过程或某个活动生命周期中物质与能量以及潜在环境影响的汇编与评价”,是对产品从“摇篮”到“坟墓”的评价^[3]。在畜牧业生产方面,国外的评估报告较多,Casey 等利用 LCA 方法评价了奶牛轮牧系统生产 1 L 牛奶产生的温室气体,并根据温室效应的贡献确定影响因子,从而得出其对气候变暖的影响^[4]。Cederber 等采用 LCA 方法对有机牛奶以及常规牛奶的生产进行了比较,研究表明,与常规牛奶生产相比,有机牛奶生产不使用农药,重金属残留更少,有机饲料中含的氮以及磷比常规饲料中少,但有机牛奶生产需要更大的放牧空间^[5]。国内 LCA 方法应用到畜牧业的相关研究较少,张颖等应用 LCA 方法以某规模化养牛场为案例,对两种畜禽粪便处理方式评价,结果表明主要的环境影响类型是全球变暖,其次是环境酸化和富营养化^[6]。在养猪方面,Ogink 等采用 LCA 方法对猪舍建筑材料、矿质元素、气体排放以及能量和水的输入等进行了系统可持续性分析^[7]。白林等采用 LCA 方法对四川 3 种养猪生产方式进行了猪肉生产生命周期评估分析,结果表明,在四川养猪生产中环境问题优先序列为土地占用、富营养化潜势、酸化效应、水资源消耗、气候变暖、不可更新能源耗竭^[8]。然而采用 LCA 方法对辽宁地区育肥猪生产进行评价的研究鲜见报道。

本研究以辽宁省规模化育肥猪养殖场为对象,应用 LCA 方法对育肥猪生产的环境影响进行评估,为降低育肥猪生产过程中的环境负荷,构建资源节约型、环境友好型育肥猪生产模式提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 目标与范围

本文数据来自辽宁省 36 家规模化育肥猪养殖场调查,以化肥生产为起始边界、粪便处理环节输出污

染物为终止边界(如图 1),以 1 000 头出栏育肥猪为评价单位,测算其环境影响。

1.2 清单分析

调查显示,育肥猪全部食用精饲料,其中玉米占 70%,豆饼占 9%,麦麸占 7%,菜籽粕占 4%,棉粕占 4%,鱼粉占 2%,其他各类矿物质成分占 4%。由于饲料中菜籽、棉粕和鱼粉的矿物质含量较少,并且不同饲料之间存在较大差异、不具有很强的代表性,本文只计算饲料中玉米、豆饼和麦麸部分。育肥猪饲养期为 160 d,全程料肉比为 2.8:1,育肥猪收购时平均体重为 15 kg,出栏时平均体重为 125 kg,食用饲料量为 $1.93 \text{ kg} \cdot \text{head}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$,粪便采用干清粪方式处理。

各环节评价内容分别是:化肥生产过程中直接气体排放和耗电所产生的间接污染物排放;作物种植过程中使用农用机械油耗所产生的气体排放;饲料加工过程中的气体排放和车辆在运输饲料行驶过程中的尾气排放;动物生长过程中猪舍耗电所产生的污染物排放;粪便处理过程中粪便挥发及流失产生的污染物排放。参照《辽宁统计年鉴》提供的相关数据计算出育肥猪生产过程中全球变暖、环境酸化和富营养化的影响潜力。

1.2.1 化肥生产过程

辽宁省 2010 年玉米、大豆和小麦每公顷产量分别为 5 497、2 763、4 933 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。大豆饼折算成大豆的系数为 1.19^[9],麦麸折算成小麦的系数为 6.67^[10]。生产每公顷玉米需施用氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥(折纯)分别为 153.9、11.9、2.7 kg,生产每公顷大豆需施用氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥(折纯)分别为 24.5、2.9、1.2 kg,生产每公顷小麦需施用氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥(折纯)分别为 136.2、19.1、2.3 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。

根据以上数据计算得出 1 000 头育肥猪生命周期内所用饲料生产过程中需玉米 $2.16 \times 10^5 \text{ kg}$ 、大豆 $3.31 \times 10^4 \text{ kg}$ 、小麦 $1.44 \times 10^5 \text{ kg}$;需要的作物种植面积

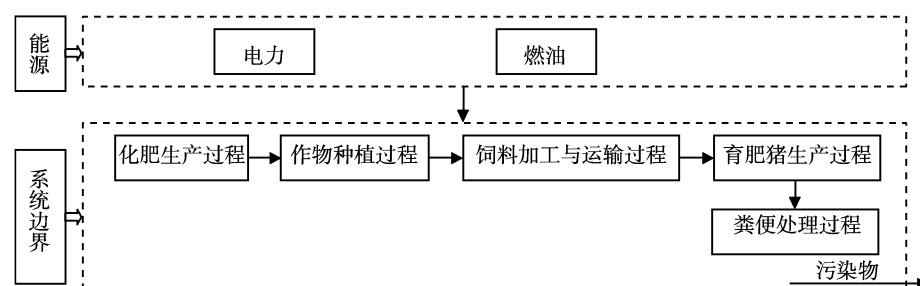


图 1 育肥猪生产系统边界

Figure 1 Boundary of finishing pigs production systems

为玉米 39.32 hm²、大豆 11.97 hm²、小麦 29.23 hm²;种植过程中需施用氮肥(N)1.03×10⁴ kg、磷肥(P₂O₅)1.06×10³ kg、钾肥(K₂O)1.88×10² kg。化肥生产过程中污染物排放系数见表 1。

表 1 化肥生产过程中污染物排放系数^[12]
Table 1 Pollutant emission coefficient of fertilizer production

项目	能源消耗/ MJ·kg ⁻¹	排放系数/g·kg ⁻¹					
		HC	CO	PM ₁₀	NO _x	SO _x	CO ₂
N	95.80	0.58	4.29	5.20	36.01	32.32	10 366
P ₂ O ₅	21.85	0.08	0.83	0.39	4.75	2.81	1 585
K ₂ O	9.65	0.04	0.35	0.16	1.99	1.17	662

注:HC 为碳氢化合物;CO 为一氧化碳;PM₁₀ 为可吸入颗粒物;NO_x 为氮氧化物;SO_x 为硫氧化物;CO₂ 为二氧化碳。

据推算,生产每吨氮肥(N)耗电量为 1.72×10³ kWh^[13],生产每吨磷肥(P₂O₅)和钾肥(K₂O)的耗电量为 18.97 kWh^[14],计算得出化肥生产过程中耗电量为 1.78×10⁴ kWh。电力生产过程中污染物排放量见表 2。

表 2 电力生产过程污染物排放量^[15]
Table 2 Pollutant emission of electrical production

污染物类别	排放量/kg·kWh ⁻¹	污染物类别	排放量/kg·kWh ⁻¹
CO ₂	1.07	CH ₄	2.6×10 ⁻³
SO ₂	9.93×10 ⁻³	NMVOC	4.87×10 ⁻⁴
NO _x	6.46×10 ⁻³	烟尘	2.02×10 ⁻²
CO	1.55×10 ⁻³		

注:SO₂ 为二氧化硫;NMVOC 为非甲烷挥发性有机物。

1.2.2 作物种植过程

作物种植过程中涉及到的能源消耗主要为施肥、除草以及收割过程中农用机械的油耗。根据黄虎等的研究,农机油耗(柴油)取固定道保护性耕作与非固定道保护性耕作的平均值 56.25 L·hm⁻²^[16]。柴油的燃烧值是 9 800 kcal·kg⁻¹,柴油的密度是 0.85 kg·L⁻¹。因此燃烧 1 L 柴油可释放 8 330 kcal 的热量,1 kcal 可以换算为 4.2 kJ,则燃烧 1 L 柴油可产生 34.99 MJ 能量。柴油生产和燃烧过程污染物排放系数见表 3。

表 3 柴油生产和燃烧过程污染物排放系数^[17]
Table 3 Pollutant emission coefficient of diesel production and combustion

阶段	排放系数/g·MJ ⁻¹			
	CO	NO _x	SO _x	CO ₂
生产	0.016 31	0.040 59	0.029 08	16.008 74
燃烧	0.014 75	0.112 40	0.252 90	74.674 23

1.2.3 饲料加工与运输过程

饲料是养猪的主要投入品,即生产动物源食品猪肉的原料。饲料加工和运输过程中都会形成污染物。饲料加工主要分为 4 个阶段,粉碎、混合、膨化和压制成颗粒。根据调查,粉碎 1 t 猪饲料耗电 20 kWh;混合 1 t 猪饲料耗电 5 kWh;膨化 1 t 猪饲料耗电 45 kWh;将 1 t 猪饲料压制成颗粒,需要耗电 20 kWh。经计算,1 000 头育肥猪生长期需食用饲料 308 t。由此计算得出饲料加工过程中的气体排放量。

饲料运输过程主要包括饲料原料和成品饲料的运输,由于饲料原料运输到饲料厂的途径较多,无单一的运输渠道,只考虑了车辆运输成品饲料过程中的气体排放。经调查,育肥猪食用的饲料产自辽宁本地,运输车型载重量为 5 t,平均每 100 km 耗油 10 L(柴油),双程运输距离平均为 60 km,每次运输油耗 6 L;在育肥猪生长期,饲料运输天数平均为 60 d。由此计算得出运输过程中气体排放量。

1.2.4 动物生产过程

根据调查,由于仔猪抵抗力较低,其保育舍需要耗电保温,耗电量平均为 15 kWh·head⁻¹。

1.2.5 粪便处理过程

猪粪便处理过程中主要排放的气体为 CH₄、NH₃ 和 N₂O,主要来自猪粪尿的挥发。CH₄ 排放可通过公式(1)^[18]计算:

$$BE_{CH_4, liquid, a} = GWP_{CH_4} \cdot D_{CH_4} \cdot UF_b \cdot MCF_j \cdot B_{0, LT} \cdot N_{LT} \cdot VS_{LT, a} \cdot MS\%_j$$

(1)

式中:BE_{CH₄, liquid, a} 为育肥猪生命周期内粪便管理系统 CH₄ 排放;GWP_{CH₄} 为甲烷的全球升温潜值;D_{CH₄} 为甲烷密度 0.000 67 t·m⁻³;UF_b 为不确定性修正因子(0.94);MCF_j 为 CH₄ 转换因子,根据粪污染情况并参考《IPCC2006》确定为 0.172;B_{0, LT} 为挥发性固体产生的最大甲烷生产潜值,取 0.29 m³·kg⁻¹^[19];VS_{LT, a} 为进入全部猪粪便处理系统的每头挥发性干物质的量;MS%_j 为粪便处理系统粪便百分比(100%)。

VS_{LT, a} 通过公式(2)修正(选自《IPCC2006》),通过对育肥猪体重的校正可以得出调查育肥猪的 VS_{LT, a} 值。

$$VS_{LT, a} = (W_{site} / W_{default}) \cdot VS_{default} \cdot nd_a$$

(2)

式中:W_{site} 为猪平均体重 70 kg(育肥场平均体重);W_{default} 为猪默认平均体重 28 kg,取自《IPCC2006》;VS_{default} 为每头猪每日排泄的挥发性固体物的干物质的量,取自《IPCC2006》为 0.3 kg·d⁻¹;nd_a 为育肥猪生

长天数 160 d。

猪粪尿产生的 N_2O 和 NH_3 所造成的环境污染也是不容忽视的。朱志平等对育肥猪舍氨气浓度测定得出 NH_3 排放量为 $107.18\sim 424.42\text{ mg}\cdot\text{head}^{-1}\cdot\text{h}^{-1[20]}$, 本文计算时取其平均值 $265.8\text{ mg}\cdot\text{head}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$, 1 000 头育肥猪 NH_3 排放量为 $1\,020.80\text{ kg}$ 。

粪便处理阶段 N_2O 的排放主要来源于蓄粪池的直接排放和蓄粪池中 N 以 NO_x 形式造成的 N_2O 间接排放, 可通过选自《IPCC2006》如下公式(3)、(4)、(5)的计算:

$$BE_{N_2O, liquid, a} = GWP_{N_2O} \cdot CF_{N_2O-N, N} \cdot (E_{N_2O, D, a} + E_{N_2O, ID, a}) / 1\,000 \quad (3)$$

$$E_{N_2O, D, a} = EF_{N_2O, D} \cdot NEX_{LT} \cdot N_{LT} \cdot MS\% \quad (4)$$

$$E_{N_2O, ID, a} = F_{gasm} \cdot EF_{N_2O, ID} \cdot NEX_{LT} \cdot N_{LT} \cdot MS\% \quad (5)$$

式中: $BE_{N_2O, liquid, a}$ 为育肥猪生命周期内粪便管理系统 N_2O 排放; GWP_{N_2O} 为氧化亚氮的全球升温潜值; $CF_{N_2O-N, N}$ 为 N_2O-N 向 N_2O 转换因子 (44/28); $E_{N_2O, D, a}$ 为蓄粪池 N_2O 直接排放量; $E_{N_2O, ID, a}$ 为蓄粪池 N_2O 间接排放量; $EF_{N_2O, D}$ 为蓄粪池 N_2O 直接排放因子, $N_2O-N/N (EF_{N_2O, D} = 0)$, 选自《IPCC2006》); $EF_{N_2O, ID}$ 为蓄粪池 N_2O 间接排放因子, ($EF_{N_2O, ID} = 0.01$, 选自《IPCC2006》); N_{LT} 为育肥猪头数 1 000 head; NEX_{LT} 为育肥猪生长期总氮排泄量; $MS\%$ 为粪便池中利用的百分率, 取 87%; F_{gasm} 为粪便管理系统中 NH_3 和 NO_x 挥发比例, 根据蓄粪池情况确定为 45%。根据调查, 辽宁省育肥猪粪便的排泄量为 $3\text{ kg}\cdot\text{head}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$ 。

猪粪便中含有大量的氮和磷, 如果利用不当同样会对环境造成污染。猪粪养分含量见表 4。

1.3 特征化

本文中考虑了全球变暖潜力、富营养化潜力和环境酸化潜力 3 种环境影响类型。计算采用当量系数法, 全球变暖以 CO_2 为参照当量, CO 、 NO_x 、 CH_4 和 N_2O

表 4 猪粪养分含量 ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)^[21]

Table 4 Nutrient content of pig manure ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)			
项目	全氮(TN)	全磷(TP)	全钾(TK)
猪粪	20.9	9.0	11.2

的当量系数分别为 2、320、25 和 310; 环境酸化以 SO_2 为参照当量, NO_x 和 NH_3 的当量系数分别为 0.70 和 1.88; 富营养化以 PO_4^{3-} 为参照当量, NO_x 、 NH_3 、TN 和 TP 的当量系数分别为 0.10、0.35、0.42 和 3.06^[22]。

2 结果与分析

2.1 污染物排放量

规模化育肥猪养殖场污染物排放量见表 5, 可以看出, 化肥生产过程、种植过程、饲料加工与运输过程和动物生产过程中 CO_2 排放量最大; 粪便处理过程氮的排放量最大。

2.2 标准化及各阶段环境影响贡献分析

标准化的目的是为各种环境影响类型比较相对大小提供一个可比较的标准。本文采用 Stranddorf 等的人均环境影响基准^[23], 见表 6。

表 6 世界人均环境影响潜力

Table 6 The world's environmental impact potentials per person

环境影响类型	单位	人均当量
全球变暖	$\text{kg CO}_2\text{-eqv}\cdot\text{a}^{-1}$	8 700
环境酸化	$\text{kg SO}_2\text{-eqv}\cdot\text{a}^{-1}$	35
富营养化	$\text{kg PO}_4^{3-}\text{-eqv}\cdot\text{a}^{-1}$	59

对数据进行标准化处理后, 可以看出, 在育肥猪生产中, 种植饲料所需的化肥生产过程对全球变暖影响贡献最大; 粪便处理过程对酸化和富营养化影响贡献最大。分析其原因, 是由于化肥生产过程直接和间接耗能产生了大量的温室气体; 粪便处理过程中排放了大量的氮和磷。1 000 头育肥猪生产的全球变暖潜力、酸化潜力和富营养化潜力依次为 53.65、98.89 和

表 5 1 000 头育肥猪生产的污染物排放清单 (kg)

Table 5 Life cycle discharge inventory of 1 000 finishing pigs production (kg)

阶段	CO_2	CO	NO_x	SO_x	CH_4	NH_3	N_2O	TN	TP
化肥生产过程	127 881.09	72.83	492.21	513.66	46.28				
饲料种植过程	14 371.30	4.92	24.24	44.69					
饲料加工与运输过程	30 802.68	43.36	181.00	278.81	72.07				
动物生产过程	16 050.00	23.25	96.90	148.95	39.00				
粪便处理过程					3.78	1 020.80	61.71	10 032.00	4 320.00
合计	189 105.07	144.36	794.35	986.11	157.35	1 020.80	61.71	10 032.00	4 320.00

302.55,见表7。

2.3 加权分析

由于各种环境影响的相对重要性不同,通过对标准化后的影响潜值进行加权,可以得到一个各种环境影响类型间可比较的评价结果和环境影响综合指数。本文根据王明新等采用的专家调查法确定权重系数,全球变暖 0.12、酸化效应 0.14 和富营养化 0.12,对标准化后影响潜值进行加权处理^[24]。结果表明,在育肥猪生命周期内富营养化是最重要的环境影响类型,其次是环境酸化,再次是全球变暖,1 000 头育肥猪生产环境影响指数依次为 36.31、13.84 和 6.44,生命周期环境影响综合指数为 56.59,见表 8。

表 8 1 000 头育肥猪生产的生命周期环境影响指数

Table 8 Life cycle environment impact indexes of 1 000 finishing pigs production

环境影响类型	环境影响指数
全球变暖	6.44
环境酸化	13.84
富营养化	36.31
合计	56.59

3 讨论

采用 LCA 方法对辽宁省 1 000 头出栏育肥猪生产全过程进行评价,计算得出其生命周期各阶段和综合环境影响指数;折算到每头育肥猪全球变暖、酸化和富营养化的环境影响指数依次为 0.006 4、0.013 8 和 0.036 3。这与白林等的研究相比,3 种环境影响大小顺序相同,但估算的全球变暖影响指数高于其研究结果,富营养化和酸化影响指数低于其研究结果^[8]。分析原因,全球变暖影响方面可能是本文多考虑了各个阶段的能耗,特别是电力生产过程排放了大量的温室气体;富营养化和酸化影响方面,其一可能是两地饲养的猪的品种不同,辽宁地区育肥猪在生长期食用饲料量少于四川地区,因此粪便排泄量也相对较少;其二可能是四川地区对育肥猪养殖场的粪便利用没有辽宁地区充分。

分析辽宁地区育肥猪生产过程中各阶段环境影响贡献,富营养化影响主要来源于猪粪尿中氮、磷的排放;酸化影响主要来源于猪粪尿中 NH_3 的排放;对于全球变暖影响,虽然 CO_2 排放量高于 NO_x ,但根据特征化当量系数法进行计算,生产饲料作物所需的化肥生产过程中 NO_x 的排放对全球变暖的影响高于 CO_2 的影响。因此在畜牧业方面,合理规划养殖场,采用堆肥还田和沼气处理等方法可以同时实现猪粪便的无害化和资源化,大大减少 NH_3 等的排放量;在饲料作物种植方面,应采取措施降低饲料作物生产过程中的资源消耗。此外,还可在饲料作物生产中增施猪粪资源化获得的有机肥,既可以减轻养殖环节的环境污染,也可降低饲料种植过程的环境影响;在饲料结构方面,提倡在饲料中添加青饲料,降低精饲料的比重,以便间接减少饲料作物生产阶段的化肥用量。

4 结论

辽宁省 1 000 头出栏育肥猪生产的生命周期环境影响指数大小依次为富营养化、酸化、全球变暖,综合指数为 56.59。富营养化影响主要来源于猪粪尿中氮、磷的排放,酸化影响主要来源于猪粪尿中 NH_3 的排放,全球变暖影响主要来源于化肥生产过程中 NO_x 的排放。

参考文献:

- [1] 辽宁省统计局. 辽宁统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2011.
Bureau of Liaoning Statistics. Liaoning statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011.
- [2] 徐伟朴, 陈同斌, 刘俊良, 等. 规模化畜禽养殖对环境的污染及防治策略[J]. 环境科学, 2004, 25(6): 105-108.
XU Wei-pu, CHEN Tong-bin, LIU Jun-liang, et al. Environmental pollution, comprehensive prevention and control tactics of the scale and intensify poultry farming[J]. *Environmental Science*, 2004, 25(6): 105-108.
- [3] Rebitzer G, Ekvall T, Frischknecht R, et al. Life cycle assessment Part1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications[J]. *Environment International*, 2004, 30(5): 701-720.
- [4] Casey J W, Holden N M. DIAS report animal husbandry[C]//Tjele Denmark; Danish Institute of Agricultural Sciences, 2004: 219-221.

表 7 各阶段环境影响贡献

Table 7 Contribution of various stages to environmental impact

环境影响类型	化肥生产过程	作物种植过程	饲料加工与运输过程	动物生产过程	粪便处理过程	合计
全球变暖潜力	32.95	2.54	10.42	5.53	2.21	53.65
酸化潜力	24.52	1.76	11.59	6.19	54.83	98.89
富营养化潜力	0.83	0.04		0.16	301.52	302.55

- [5] Cederberg C. Environmentally-friendly food processing[C]//Cambridge UK. : Wood head Publishing Ltd, 2003:54-69.
- [6] 张 颖, 夏训峰, 李中和, 等. 规模化养牛场粪便处理生命周期评价[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(7):1423-1427.
ZHANG Ying, XIA Xun-feng, LI Zhong-he, et al. Life cycle assessment of manure treatment in scaled cattle farms[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7):1423-1427.
- [7] Ogink N W M, Willers H C, Aarnink A J A, et al. Proceedings of the first international conference[C]//St Jose USA: American Society of Agricultural Engineers, 2000:253-259.
- [8] 白 林, 李学伟, 何佳果, 等. 四川丘区猪肉生产的生命周期评估研究[J]. 中国畜牧杂志, 2009, 45(22):38-42.
BAI Lin, LI Xue-wei, HE Jia-guo, et al. Life cycle assessment of pork production in foothill of Sichuan Province[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2009, 45(22):38-42.
- [9] 刘成果. 中国奶业年鉴 2007[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
LIU Cheng-guo. 2007 Dairy yearbook of China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [10] 王旭峰, 何计国, 陶纯洁, 等. 小麦麸皮的功能成分及加工利用现状[J]. 粮食与食品工业, 2006, 13(1):19-22.
WANG Xu-feng, HE Ji-guo, TAO Chun-jie, et al. Current of functional ingredients and exploitation of wheat bran[J]. *Cereal and Food Industry*, 2006, 13(1):19-22.
- [11] 国家发展和改革委员会价格司. 2009 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009.
NDRC (Department of Price). Assembly of profit and cost for agricultural product in 2009[M]. Beijing: China Statistic Press, 2009.
- [12] Wang M Q. GREET 1.5-transportation fuel-cycle model Volume 1: Methodology, Development, Use, and Result[EB/OL]. 1999. <http://greet.anl.gov/publications.html>.
- [13] 马宗虎, 王美芝, 丁露雨, 等. 规模化肉牛育肥场温室气体排放的生命周期评估[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(11):2244-2252.
MA Zong-hu, WANG Mei-zhi, DING Lu-yu, et al. Emission of greenhouse gases from an industrial beef feedlot farm as evaluated by a life-cycle assessment method[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(11):2244-2252.
- [14] 陈国友. 基于硫酸产品市场变化的企业经营指标预测[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
CHEN Guo-you. Prediction of enterprise operation index based on the change of market in sulfuric acid[D]. Guiyang: Guizhou University, 2007.
- [15] 金 晶. 脱硫石膏综合利用途径及环境影响评价[D]. 北京: 北京科技大学硕士论文, 2007.
- JIN Jing. Analysis on environmental impact and application prospect of the comprehensive utilization ways of FGD gypsum[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2007.
- [16] 黄 虎. 固定道保护性耕作机械作业能耗效应研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
HUANG Hu. Study on the effect of energy consumption for controlled traffic conservation tillage machinery working[D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [17] 胡志远, 谭不强, 楼狄明, 等. 不同原料制备生物柴油生命周期能耗和排放评价[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11):141-146.
HU Zhi-yuan, TAN Pi-qiang, LOU Di-ming, et al. Assessment of life cycle energy consumption and emissions for several kinds of feedstock based biodiesel[J]. *Transaction of the CSAE*, 2006, 22(11):141-146.
- [18] Consolidated baseline methodology for GHG emission reductions from manure management systems (ACM0010)[S]. <http://cdm.unfccc.int/methodologies/Pamethodologies/approved.html>
- [19] IPCC 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4-agriculture, forestry and other land use [M]. Prepared by the IPCC national greenhouse gas Inventories program. Kanagawa, Japan. IGES, Japan, 2006.
- [20] 朱志平, 董红敏, 尚 斌, 等. 育肥猪舍氨气浓度测定与排放通量的估算[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(4):1076-1080.
ZHU Zhi-ping, DONG Hong-min, SHANG Bin, et al. Measurement of ammonia concentration and estimation on emission flux of finishing pig in pig house[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(4):1076-1080.
- [21] 全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
National Agricultural Technical Extension and Service Center. China organic fertilizer nutrient magazine[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1999.
- [22] Brentrup F, Kisters J, Lammel J, et al. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: 1. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production[J]. *European Journal of Agronomy*, 2004:20:247-264.
- [23] Heidi K, Strand dorf, Leif Hoffmann Anders Schmidt. Update on impact categories, normalization and weighting in LCA[R]. Danish Environmental Protection Agency. Version 1. 0 November 2005.
- [24] 王明新, 包永红, 吴文良, 等. 华北平原冬小麦生命周期环境影响评价[J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(5):1127-1132.
WANG Ming-xin, BAO Yong-hong, WU Wen-liang, et al. Life cycle environmental impact assessment of winter wheat in North China plain [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(5):1127-1132.