

## 肉鸡规模化养殖的生命周期评价——以山东某养鸡场为例

牛学锐, 韩美\* (山东师范大学地理与环境学院, 山东济南 250358)

**摘要** [目的]研究中国肉鸡规模化养殖在生产过程中对环境的影响。[方法]通过生命周期评价(LCA)的方法,研究大型肉鸡养殖场的化肥生产、作物种植、饲料加工、肉鸡饲养等阶段的环境影响。[结果]整个过程中,全球变暖的主要因子是CO<sub>2</sub>和N<sub>2</sub>O,主要贡献是化肥生产与种植阶段;环境酸化的主要因子是NH<sub>3</sub>和NO<sub>x</sub>,其中NH<sub>3</sub>主要来源于化肥生产与种植和粪便处理阶段;水体富营养化的主要污染因子是NH<sub>3</sub>;全过程主要环境污染阶段是化肥生产与种植、肉鸡饲养、粪便处理,主要的环境影响类型是环境酸化(78.8%),其次是全球变暖(12.8%);结果与SimaPro软件相比,发现两者之间的共同性。[结论]肉鸡饲养阶段和环境酸化可作为减轻环境影响的目标。

**关键词** 肉鸡规模化养殖;生命周期评价;环境影响分析;SimaPro软件

中图分类号 X83 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)31-0048-05

## Life Cycle Assessment of Large-scale Breeding of Broilers: A Case Study of a Chicken Farm in Shandong Province

NIU Xue-rui, HAN Mei (College of Geography and Environment, Shandong Normal University, Jinan, Shandong 250358)

**Abstract** [Objective] The research aimed to study the environmental impact of Chinese broilers large-scale breeding in the production process. [Method] LCA method was applied to analyze the environmental impact of large-scale broiler farms in the stages of fertilizer production, crop cultivation, feed processing and broiler raising. [Result] The main factors of global warming were CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O, the main contributions were fertilizer production and planting stage. The main factors of environmental acidification were NH<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub>, the main source of NH<sub>3</sub> was fertilizer production and cultivation and manure treatment stage. The main pollution factor of water eutrophication was NH<sub>3</sub>. In the whole process, the main environmental pollution stages were fertilizer production and planting, broiler raising and excrement disposal. The main types of environmental impact were acidification (78.8%), followed by global warming (12.8%). The results were compared with those of Simapro software finding intercommunity between two. [Conclusion] The broiler feeding stage and environmental acidification can be used as targets for reducing environmental impact.

**Key words** Broiler large-scale breeding; Life cycle assessment; Environmental impact analysis; Simapro software

中国畜禽养殖业发展迅速,根据国家统计局1996—2015年的家禽出栏量统计分析,家禽数量迅速增长,增长幅度约100%<sup>[1]</sup>,近几年中国肉鸡产量的年变化正趋于平稳,其波动取决于市场、人口稳定缓慢增长等因素。2015年鸡肉价格为2009年以来历史最低,然而收益仍高达140亿元<sup>[2]</sup>。通过对山东某养殖场调查,肉鸡的饲养期粪便排泄量为5.5 kg,其中总磷含量为1.023%,总氮含量为0.413%<sup>[3]</sup>。按照2015年的专业鸡肉出栏量90.44亿只<sup>[2]</sup>计算,2015年肉鸡粪便产量为4 974.2千万t,总磷排放量为50.886万t,总氮排放量为20.543万t。不控制整个生产过程的污染,对大气(温室效应)、水(富营养化)、土壤(盐渍化)污染严重。

农业生产的环境污染一直备受人们关注,有关农业的生命周期评价(LCA)于20世纪90年代开始在国外开展<sup>[4-6]</sup>,欧洲一些国家在同时期开展LCA在农业方面的研究,如Brentup等<sup>[6]</sup>利用LCA方法分析小麦生产系统中氮肥施用对环境的影响;Hospido等<sup>[7]</sup>运用LCA研究西班牙奶牛生产的环境影响;Thomassen等<sup>[8]</sup>也运用LCA研究荷兰奶牛场的环境影响;Van等<sup>[9]</sup>关于法国奶牛生产过程的LCA。国外研究为中国LCA在农业的应用提供方法经验,如中国开展农业LCA研究的意义和应采取的对策<sup>[10]</sup>;牛奶生产的LCA<sup>[11]</sup>;玉米的LCA<sup>[12]</sup>;奶牛的LCA<sup>[13]</sup>;肉牛养殖的LCA<sup>[14]</sup>。有关肉鸡规模化养殖的LCA相关研究仅有蛋鸡养

殖和肉鸡屠宰场,肉鸡与蛋鸡在饲养周期及饲料配比上的区别,研究结果不适用于肉鸡,而N. Pelletier<sup>[15]</sup>已经对美国肉鸡供应链进行过生命周期评价,为美国家禽业可持续发展提出改善建议,美国的饲养方式、养殖规模等方面与中国存在差异,应按照中国肉鸡规模化养殖的例子进行具体研究。

肉鸡养殖中粪便等污染物不合理利用和处理,造成周边的水、大气、土壤的污染<sup>[16]</sup>。笔者通过对肉鸡养殖过程的生命周期评价,发现肉鸡养殖过程中温室效应、富营养化、酸化的环境影响以及环境负荷,并阐明肉鸡养殖阶段的环境效应,将分析结果与Simapro软件计算结果相比较,印证计算准确性,为我国畜禽养殖的可持续发展提供科学理论与技术支持。

## 1 资料与方法

**1.1 系统边界** 以山东某肉鸡养殖场为目标,对肉鸡规模化养殖进行生命周期评价,首先确定系统边界<sup>[17]</sup>(图1)。有关肉鸡生产的系统边界包括作物种植(化肥生产、玉米和大豆的种植)、豆粕生产、饲料加工、饲料运输、肉鸡饲养和粪便处理在内的整个生产过程。肉鸡生产的主要输出产品为鸡肉,功能单位为1 kg鸡肉<sup>[18]</sup>。

## 1.2 生命周期评价数据清单

**1.2.1 作物种植。**化肥生产过程的污染排放系数参考胡志远等<sup>[19]</sup>的研究,仅计算生产过程中CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub>的排放。

玉米与大豆种植为并列阶段,作物种植阶段肉鸡的饲料原料由玉米、豆粕、磷酸氢钙、石粉等组成。根据实地考察,饲料原料仅考虑玉米和豆粕。作物种植阶段主要包括玉米和大豆的种植阶段。大豆、玉米的种植期间,主要的污染是

**基金项目** 山东省社科规划重点项目(18BJJJ05);国家自然科学基金面上项目(41371517)。

**作者简介** 牛学锐(1994—),男,山东济南人,硕士研究生,研究方向:环境规划与管理。\*通讯作者,二级教授,博士生导师,从事环境规划与管理研究。

**收稿日期** 2018-06-21

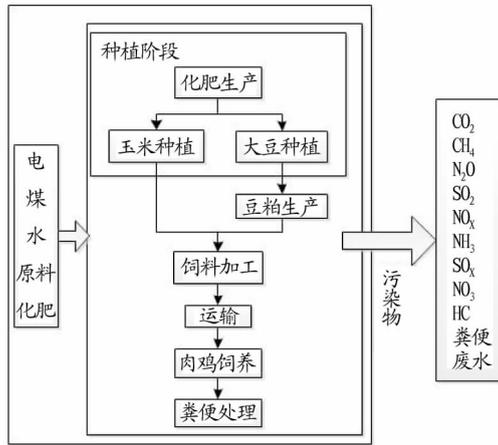


图1 系统边界

Fig. 1 System boundaries

化肥的释放,其他污染农药和地膜等的生产数据和污染物排放数据无法收集,仅考虑化肥使用的环境污染<sup>[19]</sup>,根据研究目标,此过程考虑 CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>2</sub> 的排放量。

研究中饲料产地为山东,玉米和大豆种植期间的化肥投入相关数据取自高强等<sup>[20]</sup>、王伟<sup>[21]</sup>的研究。玉米、大豆的年平均单产量来自《中国农业年鉴》<sup>[1]</sup>。玉米和大豆施肥过程中的污染排放量来自国外公开发表的文献。经查阅,目前国内并没有种植过程中磷肥和钾肥的排放数据,只考虑施用氮肥对环境的影响。玉米种植期间,N<sub>2</sub>O、NO<sub>x</sub>、NO<sub>3</sub> 排放量占氮肥总量的 4.9%、5.3%、6.5%<sup>[22]</sup>。种植 1 hm<sup>2</sup> 的玉米 NH<sub>3</sub> 排放量是 3.0 kg<sup>[22]</sup>。大豆种植期间,N<sub>2</sub>O 排放量占氮肥总量的 1.25%,种植 1 kg 的大豆 NH<sub>3</sub> 排放量是 2.9 g,种植 1 hm<sup>2</sup> 大豆 NO<sub>x</sub> 排放量是 3.5 kg<sup>[23]</sup>。

**1.2.2 豆粕生产。**豆粕生产阶段的豆粕作为大豆炼油过程中的输出产品,生产豆油的过程中用煤燃烧加热,大豆炼油过程中产生豆粕率 80%<sup>[15]</sup>。根据董进宁等<sup>[24]</sup>的计算可知生产 1 kg 豆油消耗标煤 0.0591 g,排放 SO<sub>2</sub> 1.412 kg、CO<sub>2</sub> 176.550 g、NO<sub>x</sub> 0.636 g。大豆在炼油过程中豆粕的环境负担占过程总负担的 64%,豆油的环境负担占过程总负担的 36%<sup>[15]</sup>,可推算 1 kg 豆粕生产过程中消耗标煤 0.014 78 kg,污染物的排放量是 0.627 6 g SO<sub>2</sub>、78.74 g CO<sub>2</sub>、0.283 g NO<sub>x</sub> (1 kg 标准煤的热值为 29.27 MJ)<sup>[24]</sup>。

**1.2.3 饲料加工。**饲料加工阶段主要消耗电能,实地调查平均每吨饲料消耗电能 28.5 (kW·h)/t。饲料加工过程中电能的污染物排放系数来自狄向华等<sup>[25]</sup>的研究,根据研究目标,此过程仅考虑 CO、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、CO<sub>x</sub> 的排放量。

**1.2.4 饲料运输。**整个生命周期的车辆运输只包括饲料厂到养殖场的饲料运输,实际调查中具体公里数无法统计。因 1 kg 鸡肉中运输阶段所产生的环境影响很小,所以可采用调查养鸡场经验数据,运输距离 160 km,主要考虑 CO<sub>2</sub>、CO、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 的排放<sup>[26]</sup>。污染物排放计算公式:

$$M = (L \cdot m) / n \quad (1)$$

式中, $M$  为运送 1 kg 饲料所产生的污染物的量; $L$  为公路运输距离; $m$  为污染物产生量; $n$  为周转量。

**1.2.5 肉鸡饲养。**肉鸡饲养阶段向环境释放的污染物主要分为肉鸡自身和其他能源消耗。根据实地调研,整合饲养阶段数据得出:饲养周期为 42 d;饲料为省内固定饲料厂购买,运输距离为 160 km;每只鸡消耗饲料 4.5 kg;体重 2 kg,出肉率 70%;玉米占总饲料量的 58.6%,豆粕 27.5%。计算得一只肉鸡整个饲养周期,消耗玉米 2.637 kg、豆粕 1.238 kg,大豆炼油过程中产生豆粕率 80%<sup>[15]</sup>,消耗大豆 1.548 kg,生产 1 kg 鸡肉消耗饲料 3.21 kg (其中消耗玉米 1.8 kg、大豆 1.1 kg)。

饲养过程中的照明、取暖、添水等产生电费与煤费,每只鸡的电力与燃煤费用分别为 0.13、0.22 元<sup>[27]</sup>,电价以 0.64 元/(kW·h),煤价以 600 元/t 计算,推算出 1 kg 鸡肉对玉米、大豆、电力、燃煤的消耗量分别为 1.88 kg、1.10 kg、0.15 kW·h、0.26 kg。养鸡生产过程中的煤电生产和燃烧的污染物排放系数来自胡志远等<sup>[19]</sup>的研究。

根据 Coufal 等<sup>[28]</sup>的研究可知,1 000 kg 肉鸡在饲养过程中分别向空气中排放 1 kg N<sub>2</sub>O、11 kg NH<sub>3</sub> 和 1 kg CH<sub>4</sub>,计算得 1 kg 鸡肉在饲养过程分别向空气排放 1.43 g N<sub>2</sub>O、15.70 g NH<sub>3</sub>、1.43 g CH<sub>4</sub>。

**1.2.6 粪便处理。**基于政府间气候变化专门委员会(IPCC)专家组的裁决,在鸡粪便处理过程中的 N<sub>2</sub>O 直接排放量占总氮排放量的 0.1%,从鸡粪中挥发出来的 NH<sub>3</sub> 和排放的 NO<sub>x</sub> 总量占总氮的 40%,从鸡粪中挥发出来的 NH<sub>3</sub> 量占总氮的 30.4%,则排放的 NO<sub>x</sub> 总量占总氮的 9.6%<sup>[29]</sup>。饲养阶段中粪便的日均产生量为 0.1 kg/a,总氮含量 1.023%<sup>[3]</sup>。粪便处理阶段中,CH<sub>4</sub> 的排放因子(平均气温为 15~25 °C)为每只肉鸡生命周期内排放的粪便产生 0.02 kg CH<sub>4</sub>。结合饲养阶段数据可计算 1 kg 鸡肉在粪便处理阶段的污染排放。

### 1.3 环境影响计算

**1.3.1 特征化。**选择特征化中 3 种类别的影响因子<sup>[30-31]</sup>,由各影响类型及其污染物的影响当量系数,结合清单分析结果,特征化数值计算公式:

$$EP = A_{(ax)} \times B_{(bx)} \quad (2)$$

式中,EP 为特征化影响潜值; $a$  为污染物种类; $b$  为生产阶段; $x$  为环境影响类型; $A$  为当量系数; $B$  为污染物排放量。

**1.3.2 标准化。**标准化有 2 个目的:一是通过规定一组环境影响潜值标准人当量基准值,进而比较污染物对多种影响方式的贡献大小;二是对于下一步的评价估算数据支撑。标准化计算公式:

$$R_x = EP_{(x)} \times S_{(01)} \quad (3)$$

式中, $R_x$  为第  $X$  种环境影响标准化结果;EP<sub>(x)</sub> 为第  $X$  种环境影响特征化结果;S<sub>(01)</sub> 为 2001 年中国环境影响标准人当量基准值。而 S<sub>(01)</sub> 计算公式如下:

$$S_{(01)} = EP_{(01)} / POP_{(01)} \quad (4)$$

式中,EP<sub>(01)</sub> 为 2001 年中国总的环境影响潜值;POP<sub>(01)</sub> 为 2001 年中国人口。

**1.3.3 加权。**加权评估是将各影响类别经专家讨论赋予不同的权重值与标准化数值计算。加权计算的公式:

$$W = R \times w$$

(5)

式中,  $W$  为加权数值;  $R$  为标准化数值;  $w$  为权重值。

## 2 结果与分析

根据清单分析结果,在整个生命周期中,温室气体、富营养化、酸化作为该研究的环境影响分析类型。

### 2.1 特征化

**2.1.1 全球变暖影响潜值分析。**按公式(2)计算各阶段全球变暖影响潜值,结果发现(图2),整个生命周期中,全球变暖影响潜值方面贡献最大的是作物种植阶段,数值为1 852.04 g(CO<sub>2</sub>)eq/kg,占总量的65.9%;第二的是肉鸡饲养阶段,数值为674.37 g(CO<sub>2</sub>)eq/kg,占总量的24%。影响全球变暖的主要污染因子是N<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>,分别占总温室气体的56%、41%。CO<sub>2</sub>来源于化肥生产与种植阶段。N<sub>2</sub>O主要来源于作物种植,原因是作物种植中化肥生产会排放大量的温室气体;而肉鸡饲养阶段考虑到饲养过程中温室气体的排放,所以总量占比第二。

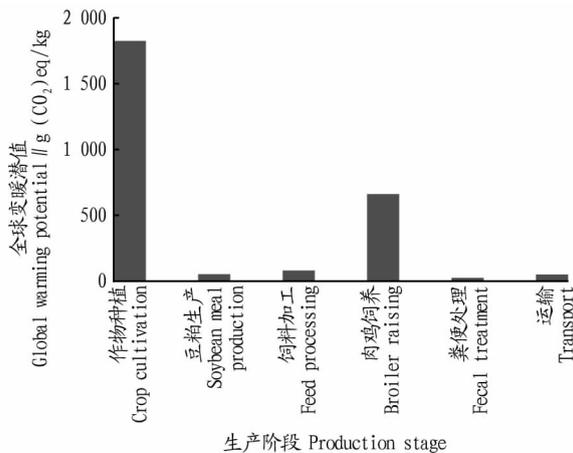


图2 肉鸡各生产阶段全球变暖潜值

Fig. 2 Global warming potential of each broiler production stage

**2.1.2 酸化影响潜值分析。**基于清单分析结果,按上述计算各阶段的酸化影响潜值,结果发现(图3),整个生命周期在酸化影响方面贡献最大的是肉鸡饲养,数值为29.72 g(SO<sub>2</sub>)eq/kg,占总量的40.0%;其次是作物种植,数值为23.54 g(SO<sub>2</sub>)eq/kg,占总量的31.7%;粪便处理的贡献第三,数值为19.77 g(SO<sub>2</sub>)eq/kg,占总量的26.6%。环境酸化的主要影响因子是NH<sub>3</sub>和NO<sub>x</sub>,从清单分析NH<sub>3</sub>的主要来源是作物种植和粪便处理阶段,NO<sub>x</sub>主要来源是种植过程中氮肥的施加以及粪便中含氮物质的挥发。

**2.1.3 富营养化环境影响潜值分析。**根据清单分析数据,计算各阶段的富营养化环境影响潜值,结果发现(图4),在富营养化方面,作物种植阶段、肉鸡饲养阶段、粪便处理阶段的影响较大,分别占总量的38.5%、36.5%、24.3%。富营养化的主要污染因子是NH<sub>3</sub>,清单分析中富营养化的主要来源是肉鸡饲养与粪便处理。

**2.2 标准化** 经查阅文献,采用的环境影响标准是人当量基准值<sup>[31]</sup>。根据2015年中国肉鸡产业的检测,中国专业性

肉鸡产量为1 255万t<sup>[2]</sup>,与已计算的3种环境影响潜值的特征化数值和当量基准值带入公式(3),可计算有关肉鸡规模化生产的全生命周期影响潜值的标准化数值,结果见表1。

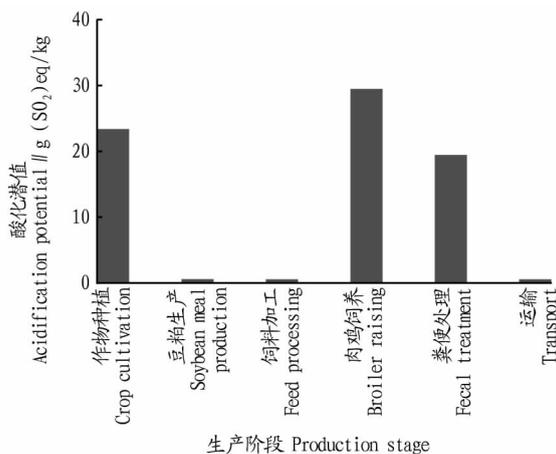


图3 肉鸡各生产阶段酸化潜值

Fig. 3 Acidification potential of each broiler production stage

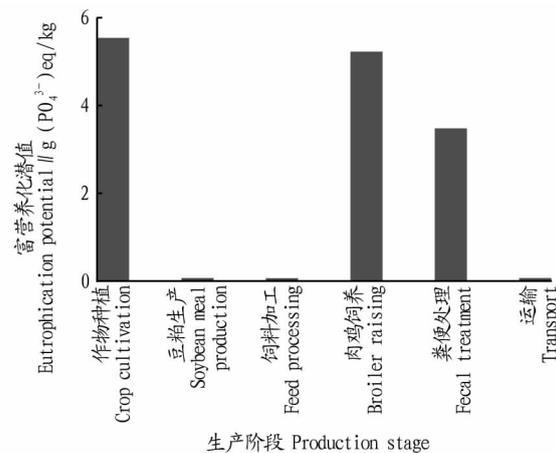


图4 肉鸡各生产阶段富营养化潜值

Fig. 4 Eutrophication potential of each broiler production stage

表1 标准化数值

影响类型 Influence type	特征化数值 Characterized value ×10 <sup>8</sup>	标准化数值 Standardized value ×10 <sup>8</sup>
全球变暖 Global warming	344 154.00	40.00
环境酸化 Environmental acidification	9 089.50	252.49
富营养化 Eutrophication	1 761.56	28.88

从表1可以看出,酸化对环境的影响最大,为252.49×10<sup>8</sup>;其次是全球变暖,为40.00×10<sup>8</sup>。受肉鸡养殖污染影响的地区,可从环境酸化方向入手改善当地环境。

有关肉鸡规模化养殖各阶段标准化数值比较结果基于清单分析计算得出,结果见表2。肉鸡饲养、作物种植、粪便处理是对环境影响较大的前3个阶段;在环境影响最严重的环境酸化中,也是肉鸡饲养、作物种植、粪便处理占前三。

**2.3 加权** 经查阅文献得到环境影响的权重值<sup>[28]</sup>。由肉鸡各生产阶段标准值(表2),计算各阶段加权结果见表3。肉

鸡生命周期的环境影响总负荷 (EI) 为  $74.34 \times 10^8$ , 作物种植占 38.8%, 肉鸡饲养占 36.7%, 粪便处理占 21.7%。结合标准值分析肉鸡饲养阶段全球变暖和环境酸化的贡献为

91.3%; 作物种植占各阶段总影响的 36.6%, 结合标准化分析, 该阶段污染物的环境酸化和全球变暖贡献为 90.5%; 饲料加工和运输仅占各阶段的 1.6%。

表 2 肉鸡各生产阶段标准化比较

Table 2 Standardized values of each broiler production stage

项目 Items	作物种植 Crop cultivation $\times 10^8$	豆粕生产 Soybean meal production $\times 10^8$	饲料加工 Feed processing $\times 10^8$	肉鸡饲养 Broiler raising $\times 10^8$	粪便处理 Fecal treatment $\times 10^8$	运输 Transport $\times 10^8$	总计 Total $\times 10^8$	百分比 Percentage %
全球变暖 Global warming	26.08	0.98	1.32	9.50	0.59	1.10	39.57	12.3
环境酸化 Environmental acidification	80.10	2.48	0.68	101.13	67.27	0.82	252.48	78.8
富营养化 Eutrophication	11.13	0.06	0.08	10.54	7.00	0.06	28.87	9.0
总计 Total	117.31	3.52	2.08	121.17	74.86	1.98	320.92	100.0

表 3 肉禽各生产阶段权重值

Table 3 Weight values of each broiler production stage

项目 Items	作物种植 Crop cultivation	豆粕生产 Soybean meal production	饲料加工 Feed processing	肉鸡饲养 Broiler raising	粪便处理 Fecal treatment	运输 Transport
全球变暖 Global warming	9.30	0.35	0.47	3.39	0.21	0.40
环境酸化 Environmental acidification	17.14	0.53	0.15	21.64	14.40	0.18
富营养化 Eutrophication	2.38	0.01	0.02	2.26	1.50	0.01
总值 Total	28.82	0.89	0.64	27.29	16.11	0.59
百分比 Percentage//%	38.8	1.2	0.8	36.7	21.7	0.8

**2.4 SimaPro 软件计算结果比较** SimaPro 软件作为全球范围内权威的生命周期评价软件, 具有计算的科学性<sup>[32]</sup>, 以 SimaPro 软件的计算结果为辅助, 分析该研究的合理性。通过 SimaPro 软件计算结果为: ①特征化。全球变暖 (1.699 7 kg GWP)、环境酸化 (0.034 2 kg AP)、水体富营养化 (0.013 3 kg NP)。②标准化。全球变暖 (0.000 185)、环境酸化 (0.000 975)、水体富营养化 (0.000 375)。

经计算, 各类型影响潜值在 3 个方面均高于 SimaPro 软件的计算结果。原因是此研究考虑到饲养阶段气体排放和粪便的污染物挥发, 所以结果高于 SimaPro 软件, 但是 2 种计算结果存在共同性: 全球变暖的影响潜值最高, 其次是环境酸化, 最后是水体富营养化。

SimaPro 软件对于数据的标准化分析的结果 (图 5), 环境酸化、水富营养化、全球变暖 (温室气体) 分别占总影响的 64%、24%、12%, 与表 2 的标准化结果相比较后发现, SimaPro 软件中环境酸化与全球变暖的影响占比低于该研究的计算, 因为 USLCI 数据库<sup>[27]</sup> 在限定条件下没有考虑肉鸡饲养阶段的气体排放以及粪便的污染物挥发, 且这 2 个方面的主要环境贡献为环境酸化, 所以在结果上全球变暖的占比升高, 环境酸化的占比降低。总的来说, 2 个数据结果虽有不同, 但科学可靠, 该研究可作为科学理论数据用来指导政策和生产。

从各阶段来看, 作物种植、肉鸡饲养、粪便处理不管是在特征化、标准化、加权计算都占比较高; 主要的环境影响类型是环境酸化, 其次是全球变暖。

### 3 小结与讨论

基于生命周期评价对肉禽规模化养殖进行全球变暖、环

境酸化、水体富营养化 3 方面环境影响分析, 经过特征化、标准化、加权分析后看出, 整个生命周期对环境贡献从大到小依次为环境酸化、全球变暖、水体富营养化。从阶段来看, 作物种植在加权评估阶段占比最高, 肉鸡饲养次之; 肉鸡饲养在标准化分析占比最高, 作物种植阶段次之, 原因是该阶段全球变暖贡献占比高于肉鸡饲养阶段中的, 所以加权评估后化肥生产与种植阶段会高于肉鸡饲养阶段, 但很明显这 2 个阶段最主要的环境贡献都是环境酸化。

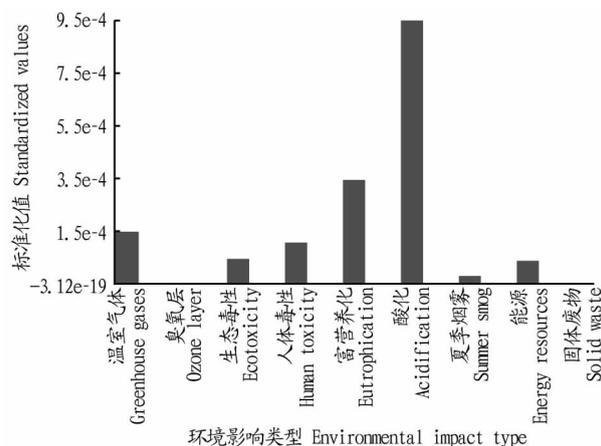


图 5 SimaPro 软件中的标准化数据分析

Fig. 5 Standardized data analysis in SimaPro software

减轻肉鸡规模化养殖的环境影响, 在生产过程中最可行的方法是加强饲养阶段的污染物排放控制; 治理过程中, 对受肉鸡养殖污染的环境, 治理角度从环境酸化入手效果明显。

该研究不足之处是清单收集不够完善, 磷肥、钾肥的污

染排放缺少可靠数据无法计算;饲料中非主要原料的环境影响数据缺失,也因研究条件没有计算在内;运输距离采用调查过程中的经验值,运输环境影响相对很小,对研究结果的影响不大。我国农业生产方式与其他国家存在差异,现很多排放系数与统计数据使用国外的研究成果,研究成果受到影响,期望在原材料和能源为基础,逐步向上建立数据清单。很多工艺与原材料投加量属于商业机密,在研究过程中清单数据的获取十分困难,数据清单的建立需要行业内专业人员或企业自身来完成。

## 参考文献

- [1] 中国农业年鉴编辑委员会. 中国农业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2010.
- [2] 郑麦青,官桂芬,高海军,等. 2015年我国肉鸡产业发展监测报告[J]. 中国家禽, 2016, 38(7): 67-70.
- [3] 侯世忠. 山东畜禽粪便产生量及其环境效应分析[J]. 山东畜牧兽医, 2013, 34(2): 1-3.
- [4] VAN DER WERF H M G, PETIT J. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: A comparison and analysis of 12 indicator-based methods[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 2002, 93(1/2/3): 131-145.
- [5] KRAMER K J, MOLL H C, NONHEBEL S. Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system[J]. Agriculture, ecosystems & environment, 1999, 72(1): 9-16.
- [6] BRENTRUP F, KUSTERS J, KUHLMANN H, et al. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production[J]. European journal of agronomy, 2004, 20(3): 247-264.
- [7] HOSPIDO A, MOREIRA M T, FEIJOO G. Simplified life cycle assessment of galician milk production[J]. International dairy journal, 2003, 13(10): 783-796.
- [8] THOMASSEN M A, DOLMAN M A, VAN CALKER K J, et al. Relating life cycle assessment indicators to gross value added for Dutch dairy farms[J]. Ecological economics, 2009, 68(6): 2278-2284.
- [9] VAN DER WERF H M G, KANYARUSHOKI C, CORSON M S. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment[J]. Journal of environmental management, 2009, 90(11): 3643-3652.
- [10] 杨印生,盛国辉,吕广宏. 我国开展农业 LCA 研究的对策建议[J]. 中国软科学, 2003(5): 7-11.
- [11] 秦凤贤. 生命周期评价在牛奶生产中的应用研究[J]. 乳业科学与技术, 2006, 29(5): 224-226.
- [12] 张丽丽,刘鸣达. 辽西地区两种玉米生产方式的生命周期评价:以辽宁省建平县为例[J]. 沈阳农业大学学报, 2011, 42(3): 300-305.
- [13] 王效琴,梁东丽,王旭东,等. 生命周期评价方法评估奶牛养殖系统温

- 室气体排放量[J]. 农业工程学报, 2012, 28(13): 179-184.
- [14] 程琼仪,张言,陈昭辉,等. 肉牛场生命周期估计及环境影响评价[J]. 家畜生态学报, 2015, 36(1): 63-69.
- [15] PELLETIER N. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions[J]. Agricultural systems, 2013, 98(2): 67-73.
- [16] STEINFELD H, GERBER P, WASSENAAR T D, et al. Livestock's long shadow: Environmental issues and options[M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- [17] ISO. Environmental management-life cycle assessment-principles and framework; ISO 14040[S]. Geneva, Switzerland: International Standard Organization, 1997.
- [18] Layer chicken Sciences Group. Kwantitatieve informatie veehouderij 2006-2007[M]. The Netherlands: Lelystad, 2006.
- [19] 胡志远,谭丕强,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.
- [20] 高强,冯国忠,王志刚. 东北地区春玉米施肥现状调查[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 229-231.
- [21] 王伟. 黑龙江省大豆合理施肥参数的研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2009.
- [22] KNUDSEN M T, QIAO Y H, LUO Y, et al. Environmental assessment of organic soybean (*Glycine max.*) imported from China to Denmark: A case study[J]. Journal of cleaner production, 2010, 18(14): 1431-1439.
- [23] RENOUF M A, WEGENER M K, NIELSEN L K. An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for fermentation[J]. Biomass and bioenergy, 2008, 32(12): 1144-1155.
- [24] 董进宁,马晓茜. 生物柴油项目的生命周期评价[J]. 现代化工, 2007, 27(9): 59-63.
- [25] 狄向华,聂祥仁,左铁铺. 中国火力发电燃料消耗的生命周期排放清单[J]. 中国环境科学, 2005, 25(5): 632-635.
- [26] 杨建新,徐成,王如松. 产品生命周期评价方法及应用[M]. 北京:气象出版社, 2002.
- [27] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京:中国统计出版社, 2014.
- [28] COUFAL C D, CHAVEZ C, NIEMEYER P R, et al. Nitrogen emissions from broiler measured by mass balance over eighteen consecutive flocks[J]. Poultry Sci, 2006, 85(3): 384-391.
- [29] DONG H M, MANGINO J, MCALLISTER T A, et al. Emissions from livestock and manure management[M]//EGGLESTON S, BUENDIA L, MIWA K, et al. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Kanagawa, Japan: Institute for Global Environmental Strategies, 2006.
- [30] 高雪. 黑龙江省集约化蛋鸡场的生命周期评价[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012.
- [31] 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.
- [32] YANG J X, NIELSEN P H. Chinese life cycle impact assessments factors[J]. Journal of environmental sciences, 2001, 13(2): 205-209.

(上接第 30 页)

物学混杂程度,其不良后果比自花授粉作物严重的多。因而每个环节必须高度重视,明确专人负责制<sup>[8]</sup>。

## 参考文献

- [1] 陈中赫,刘敬娟,贾德涛. 玉米自交系铁 C8605-2 的选育及应用[J]. 中国种业, 2008(8): 62-63.
- [2] 周刚,向世标,吴承国,等. 玉米自交系“WD02”选育及繁殖技术[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(14): 44-45.
- [3] 周刚,徐涛. 热带种质在鄂玉 25 号选育上的利用[J]. 中国种业, 2008

- (2): 57-58.
- [4] 周刚,刘永忠,吴承国,等. 玉米新品种邯单 19 的选育[J]. 农业科技通讯, 2014(1): 150-152.
- [5] 周刚,李永学,吴承国,等. 高产·多抗·优质玉米杂交种邯单 20 的选育及栽培技术[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(14): 34-36.
- [6] 元玉莲,李刚. 玉米自交系快速提纯复壮方法[J]. 吉林农业, 1996(5): 7.
- [7] 陈佳敏,汪家灼. 建立玉米亲本繁育体系搞好亲本种子生产[J]. 种子科技, 1995(5): 20-21.
- [8] 赵佳荣,赵雅莲. 玉米品种混杂退化的原因及防止措施[J]. 内蒙古农业科技, 2008(z2): 207, 258.