



肉类产品的环境足迹：环境影响的评价方法和重要性

Yayu Huang

► To cite this version:

| Yayu Huang. 肉类产品的环境足迹：环境影响的评价方法和重要性. 2015, pp.10-14. <hal-02796537>

HAL Id: hal-02796537

<https://hal.inrae.fr/hal-02796537>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MEAT RESEARCH

肉类研究



SAVORY EXPERT
TRUST CHUNFA
咸味专家·信赖春发

木性本真，
道法自然。



五味调和才使中华美食呈现出丰富多彩的味蕾感受和层出不穷的味觉创新。作为咸味食品配料领域先行者，

春发将“发展天然产品”作为集团重要发展战略。

采用“天然定向呈味技术”，研发出一系列天然型香精及复合调味料产品。

春发将追求美味本真，不懈探索，与客户共同打造美味、健康、安全的咸味王国。

为生活添滋味，美味之道。

天津春发生物科技集团有限公司

地址：天津市东丽经济开发区丽北路11号

电话：86-22-24992489 24990895

ISSN 1001-8123



9 771001 812152



中国肉类食品综合研究中心
CHINA MEAT RESEARCH CENTER

肉类产品的环境足迹：环境影响的评价方法和重要性

Joël AUBIN

(法国农业科学研究院雷恩中心, 雷恩 35042, 法国)

摘要：肉类产品在整个农业环境影响中占有核心位置。它对土地资源利用、生物多样性、水资源利用和温室气体排放的总体影响都很突出。在农业产品，特别是类肉产品的环境影响评价中，应用生命周期评价方法，改变了人们对农业产品环境影响的认识，为肉类生产体系的良性运行，提供了更为视角全面和多准则的评估方法。尽管畜牧生产过程对环境的影响问题已经有了广泛认识，但评价方法还有待标准化。为了更好地评价肉类产品消费的环境影响，还需要建立肉类产品生产链的通用评价方法和数据库。

关键词：生命周期评价；水足迹；气候变化；土地利用

Environmental Footprint of Meat and Meat Products

Joël AUBIN

(Rennes Center, French National Institute for Agricultural Research, Rennes 35042, France)

Abstract: Animal products are at the heart of environmental issues of agriculture. Their global impacts on land use, biodiversity, water use and greenhouse gas emissions are singled out. The application of life cycle assessment for the environmental assessment of agricultural products especially meat products has changed the perception of their environmental impacts, providing a broader view of the production system and a multi-criteria evaluation. While the impacts of livestock are better known, the assessment methods remain to be stabilized. A common approach and data bases for the entire meat product chain remain to be developed, to better assess the environmental consequences of the consumption of meat products.

Key words: life cycle analysis; water footprint; climate change; land use

中图分类号: S985.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2015) 02-0010-05

doi: 10.7506/rlyj1001-8123-201502003

通常认为肉类产品生产对环境有较大影响。这些影响具体指哪些方面？如何来评价其对环境的影响呢？针对世界人口（在21世纪中叶）将增加到90亿人这个预测，一个实质性的问题被多次提起：地球到底有没有足够的空间来承载这么多人口，并提供足够的食物养活他们？Rockström等^[1]指出，地球再也无法承受如此大的环境压力，如气候变化、生物多样性破坏和氮循环等问题。它们影响地球生态系统的整体机能，并加剧人类生存环境的恶化。自1997年《京都议定书》对气候变化的重要性达成共识以来，人类活动对环境的影响问题得到广泛关注。然而，这些概括性的了解还是忽略了地区的差异性，因为各不同地区间无论是人口的发展程度，还是环境受影响的类型和程度，都存在较大差异。这个差

异性要求可持续发展必须在地区利益和全球利益间保持一定的平衡，并且要考虑社会因素和经济学因素，而不仅仅是环境因素。食物生产活动是影响人类环境足迹的一个关键因素，它在一定程度上受到社会和经济因素的影响。一般来说，人口的增长会伴随着生活水平的改善、饮食结构的改变和对肉类消费需求的增长^[2]。就全球范围来说，不同畜牧业在肉类产业中的比重各不相同。2010年，反刍动物产肉量占总产肉量的29%^[3]、猪肉占37%、禽肉占24%^[4]。各个产业的发展情况也不平衡：牛和小反刍动物在2006—2050年间产肉量增长幅度不大，预计每年为1.2%和1.5%^[3]；而猪肉和禽肉在2005—2030年间产量的预计增长幅度很大，分别为32%和61%^[4]。因此，在讨论环境问题时，很有必要讨论一下食物产业，尤其是

收稿日期: 2014-11-22

基金项目: 农业部中法肉牛合作与交流项目 (201104810410031)

作者简介: Joël Aubin, 男, 博士, 研究方向为畜牧生产系统对环境的影响。E-mail: joel.aubin@rennes.inra.fr

畜牧养殖和肉产品生产过程对环境的影响,并了解如何评价这些产品的环境足迹。本文第一部分介绍环境影响评价方法的要点以及最近的研究观点;第二部分讨论了畜牧生产活动对环境的重要性。

1 方法

1.1 定义研究(农业生产体系)的目标和范围

生命周期评价法的应用,使畜牧生产体系范围的定义发生了很大程度的改变,分析过程加入了区域生产活动对全球范围的影响(如气候变化)以及对世界其他地区的影响,例如,南美洲的大豆生产对其他地区带来的影响。这一对生产体系的新定义使参与环境评价的评估人员的观点发生了巨大改变,它将一个全球性体系的不同组分联系在一起,从而使多个生态系统相互关联^[5]。这个概念对于一些地域性从业人员来说较难理解,因为他们只关注其所在地区现阶段的问题,而很少关注其他地域或未来将面对的问题。

食物生产体系的另一个边界是农业生产的下游产业。许多关于环境问题的研究止于产品从农场运出时,即只计算1 kg活体动物在离开农场时对环境的影响。而之后的运输、屠宰、分割、加工等环节很少被计入评价体系,因为与之相关的信息较难获得,特别是加工阶段的信息常作为加工业的机密而受到保护。另外,副产品的价值利用以及产品出厂后的配送、销售、备餐和食用等环节,也都构成影响环境的关键因素。除此之外,在备餐和食用等环节中对包装和保质期的选择,以及其他后勤相关因素和废物处理环节,也都影响产品的环境足迹。整个食品产业链通常会产生30%的资源浪费^[6]。肉类产品的浪费对环境的影响到底如何?它们对法国畜牧业环境足迹的影响具体有多大呢?

环境影响评价也涉及一个功能单位的定义,即要确定环境影响的计算是基于什么样的基础。这个功能单位与生产体系的定义相关,如1 t出栏的活体家畜、屠宰后的胴体或者是售出的成品肉。这个概念相当重要,因为它为研究对象的功能评估提供了参考依据。在农业领域,对土地的规划和管理是生产活动的关键,所以按农场面积(hm²)来计算环境影响就很有意义。比如,把传统农业体系和粗放或有机农业体系的环境影响进行比较研究时,如果选取不同的功能单位,比较结果也会不同。由于肉类产品是高营养物质,以蛋白质(kg)或能量(kJ)为单位来计算环境影响,也是可能的选择,只是目前还没有推广的方法。这是因为,肉类产品营养功能较为复杂,对其功能单位的定义才刚刚起步。尽管如此,已经有少量研究开始尝试往这个方向发展^[7]。另外,

产品的“享受功能”对于食品来说也是至关重要,但它也同样难以量化,不易转化为功能单位。

弄清楚环境影响评价的目标非常重要,因为目标不同,评价的形式也各不相同(有时还很含糊)。本文将目标分为以下几类:1)认知产品,对具体情况作一个清点;2)用于制定决策,即要指导实践技术的改进;3)用于交流,即对(产业内)狭义或广义的对象进行宣传(如法国食品包装方面对该食品环境足迹的标注)。

通过确定分析目标,可以引出对研究步骤和初始数据质量的具体要求,并决定评价结果是否可以经适度调整后应用到其他情况。

1.2 建立生产体系各项资源消耗和环境排放的清单

评价环境影响需要掌握大量信息,这涉及到清单分析这个步骤。首先,在产地和加工地收集的信息(实景数据)可以确定生产体系的功能、产品的性质和产量以及投入品和排放物。这些信息随后被转换为各种对环境有潜在影响的物质(通常为化学分子)清单。考虑到数据库的数量、被研究体系的复杂性以及地理分支等因素,数据库一定要提供符合该生产体系背景的相关信息,如运输、能量和原料生产的环境影响数据(背景数据)。对于农业生产排污来说,直接在产地测量各组分对土壤、空气和水的污染物质排放量难度太大。因此,需要利用可靠的数据或数学模型来评估畜牧生产排污的去向和终产物。在如何确立数据和数学模型这个问题上达成一致意见,对于农业生产环境影响评价的评价非常关键^[8]。因此,需要投入更大的精力建立数据库,特别是饲料投入数据库的建立,以确定数据的质量(如数据的不确定性)和其有效应用的范围(包括地域范围和时间范围)。

科学家和农业环境工作者在一些问题上还没有达成共识^[9]。其中一个重要问题就是肉类加工产生的副产品的环境影响评价。这其中的关键是要将总的环境影响份额分配给各个产品。例如,在一个农场中生产的乳或肉,或屠宰分割环节的其他中间产品(如瘦肉、肥肉、内脏、骨头、皮等),由于其销售和价值转换路径各不相同,它们对总体环境的影响贡献程度也各不相同。国际标准化组织(international organization for standardization, ISO)建议将分配规则进行一下分级排序^[10]。第1级是构建生产体系并明确功能单位,以便尽量避免使用分配规则(如生产体系的扩展);第2级是基于物理规律决定相似副产品间的关联;第3级是利用其他规律,如经济规律来决定分配。鉴于农业体系的复杂性和副产品的多样性,Cederberg等^[11]提出的体系扩展方法很难在实际生产中应用。表1总结了分配环境影响的各种方法。

表1 生命周期分析中分配农业生产环境影响的不同方法及其优缺点
Table 1 Allocation methods of impacts between co-products encountered in life cycle analyses in agriculture, advantages and disadvantages

分配方法	原则	优点	缺点	文献出处
质量守恒原则	按各副产品质量分配	物理规律,与ISO标准(2006)一致	把拥有不同价值和不同价值转换路径的产品放到同一水平来评估	
干物质数量	按干物质数量分配环境影响	物理规律,与ISO标准(2006)一致	把拥有不同价值和不同价值转换路径的产品放到同一水平来评估	[7]
能量守恒原则	按各副产品含热量的多少分配环境影响	物理规律,与ISO标准(2006)一致;并与肉产品的营养功能相适应	没有反映各组分生产所消耗的能量,也没有反映副产品的使用功能	[12]
蛋白质和脂肪含量守恒原则	按各副产品含蛋白质和脂肪量分配环境影响	物理规律,与ISO标准(2006)一致;并与肉产品的营养功能相适应	没有反映副产品的使用功能	[7]
生物物理学方法	按各副产品生产所消耗能量的数量分配环境影响	物理规律,与ISO标准(2006)一致;反映副产品间生物物理学关联;已在产奶农场应用	小范围,在肉产品畜牧业中还没有应用	[13-14]
经济学方法	按各副产品价值(价格×质量)分配环境影响	强调副产品在市场的价值。体现所有副产品的共同功能。主要用于研究工作和生产规范	在ISO标准(2006)被排在最后。价格随市场波动而变化。产品价值与功能不总是一致	[15]

根据经济规律或基于产品质量及其组成(如干物质质量)来分配不同类型的环境影响,其结果往往会出现巨大偏差。当利用经济规律时,经济价值高的产品所负担的环境影响也更大。然而,学术界在这个问题上还没有达成共识。在乳品行业中,尽管国际奶业协会^[14]的指导标准和法国环境与能源控制署的ARIBALYSE项目^[16]都提倡采用生物物理学分配方法,但大部分研究工作和国际生产规范^[17-18]还是主要应用经济学分配方法。

1.3 评价环境的影响

这一步骤主要是将生产过程中对环境有潜在影响的排放物(即清单分析)转换为与特定环境问题(如气候变化)相关的指标。人们通常引入一个特征化因子,将不同排放物的影响和特定的参考指标联系起来(如使用二氧化碳度量对应气候变化的排放物)。然后再根据不同的分析方法确定一个环境指标,如利用碳足迹表示气候变化的影响,或者确定多个环境指标如采用生命周期评价方法,或者将多个指标综合为一个指标,如生态足迹。生命周期评价的一个主要特点是可以整合多个环境指标。这个多重指标可以展现研究对象更广泛的环境影响,并体现潜在的环境影响的转移:如在改善一个问题的同时恶化另一个问题,例如处理粪便以减少水体富营养化的过程,但却增加了对气候变化的影响等。生命周期评价中的指标可以划分为两类:与问题相关的指标(如水体富营养化)和与危害程度相关的指标,如对人体健康的危害,而后者通常是前者的综合结果。与问题相关的指标在农业环境问题上的运用比较普遍。数量众多的指标可以涵盖多样的环境问题。de Vries等^[9]指出,畜牧业所导致的环境问题主要涉及气候变化、水体富营养化、酸化、土地和能源利用等方面。关于畜牧环境问

题的研究也涵盖了水资源利用、水和土地污染、土地利用变化等方面,但其评价方式并不一致。另外,生物多样性也是畜牧生产环境问题中一个十分重要的方面,但这方面的相关理论还不够一致。

2 畜牧生产环境问题的重要性

关于肉类产品环境影响数据的收集难度还比较大。但越来越多畜牧产品的环境影响已经得到认识,如AGRIBALYSE项目的研究结果(表2)^[16]。《畜牧业的长期阴影(Livestock's long shadow)》一书^[19]引起了对畜牧业环境问题的广泛讨论。报告指出畜牧生产越来越集约化,其中对4个领域的影响尤为突出:即气候、水、土地资源利用和生物多样性。

表2 利用生命周期分析法得出的法国各种肉类的环境影响
(从动物出生到出栏)^[16]

Table 2 Environmental impacts of 1 kg animal products from farms in France, calculated using the life cycle assessment method^[16]

影响类型	牛肉	猪肉	鸡肉	兔肉	鱼肉
气候变迁/(kg CO ₂ /kg 肉)	11.7	2.56	2.88	2.51	2.96
酸化/(g SO ₂ /kg 肉)	146.9	40.3	45.5	15.2	14.1
富营养化/(g PO ₄ ³⁻ /kg 肉)	51.9	16.9	19.4	9.3	101.8
土地资源利用/(m ² /kg 肉)	24.8	4.73	4.81	4.44	1.58
能源利用/(MJ/kg 肉)	30.1	16.5	24.9	24.35	49.7

2.1 气候

畜牧生产的温室气体排放曾引起人们的高度重视。最近的数据显示,来源于畜牧生产排放的温室气体相当于71亿t二氧化碳当量,占人类温室气体排放总量的14.5%^[20]。其中排放量最高的是反刍动物,特别是肉牛和奶牛,分别占41%和20%,而猪和禽类(肉和蛋)只占9%和8%。

联合国粮农组织(FAO)的报告将全球范围温室气体的排放归纳为两大类(表3):第1类是牛肉生产,主要是胃肠道甲烷的排放(42.6%)、饲料生产过程的温室气体排放,包括施肥(35.5%)、土地利用情况的变化(主要是毁林放牧和毁林种植大豆,占15.5%)^[3];第2类是猪和禽类生产,主要是在饲料生产环节(分别占60.3%和74.4%),然后是大豆的生产和动物粪便排放(分别占27.4%和11.3%)^[4]。

牛的胃肠道甲烷排放占温室气体排放总量的比例最高,其次是精饲料生产(针对所有动物)。但这个概括的结论忽略了畜牧体系的多样化,包括气候条件和饲料资源利用的多样化。因此,要通过分析两个关键因素来细化结果:即分析动物对饲料的转化效率和影响饲料转化效率的饲料品质。这两个因素同样对牛胃肠道甲烷的排放量产生影响。例如,传统粗放型的放牧生产体系生产每千克肉的平均温室气体排放量相对较高。但是这种

类型的生产体系包含草场的维护,即涉及了牧草对碳的储存。由于没有统一的评价方法,放牧管理引起土壤对碳的储存和排放并未被考虑在联合国粮食及农业组织的报告中。据Gerber等^[20]估计,全世界草场的碳储存相当于6亿 t碳当量。这一研究在西欧国家的模拟得出草场碳储存可以抵消反刍动物温室气体排放的5%。但该报告同时也指出其结论的不确定性很高。

表3 世界范围内畜牧业各环节温室气体排放分布,以送货到首个顾客为止计算^[3-4]

Table 3 Contribution of different positions in the emissions of greenhouse farming worldwide. The system includes delivery to the first customer^[3-4]

畜牧业生产环节	牛肉	猪肉	鸡肉
肥料(种植)	25.5	17.0	31.1
饲料生产	10.0	30.6	25.5
毁林种大豆	0.7	12.7	18.1
毁林放牧	14.8		
胃肠道甲烷	42.6	3.1	
动物粪便	5.0	27.4	11.3
能源利用	0.9	3.5	6.3
农场下游环节	0.5	5.7	7.7

2.2 水

在地球上,水资源的保护至关重要。畜牧生产活动对水资源的利用问题要从质和量两个方面来讨论。Hoekstra^[21]提出了表达水资源利用的指标和水足迹的概念。她将水分为3类:1)蓝水:地表水和地下水;2)绿水:雨水和土壤中可蒸发的结合水;3)灰水:用于将污染物稀释至无害程度所需的虚拟水量。生命周期分析法主要考虑了蓝水的消耗量,已不能再当作同一级别水作为其他用途为准来计算。最近的研究也将水的稀缺程度纳入考虑,这样可以结合水的稀缺度和水资源的利用情况。生命周期评价法对水质的评价主要基于富营养化或水污染程度等影响指标。对于量的评价主要是对饮用水的直接影响,其次是与种植用水相关的间接影响,如灌溉、蒸发等因素。另外还要计算屠宰和加工环节的水消耗量。针对这个问题,文献中的数据差异较大,而分析方法往往不够系统和清晰。Corson等^[22]认为,每生产1 kg牛肉在畜牧养殖阶段的水消耗量为12 000~43 000 L之间,而Pimentel等^[23]则认为是200 000 L;生产1 kg猪肉是4 856~6 000 L,鸡肉是3 500~4 325 L。由此可见,水足迹的评价方法还不完善,同时,各种新的方法不断被提出(如ISO 14046、UNEP/SETAC Life Cycle Initiative、Water Footprint Network等)。畜牧生产区域的水质污染问题越来越受到关注。首先是营养物的排放,特别是氮和磷的排放。通过质量平衡方法得出的结果显示,陆生动物对氮和磷的吸收有限(仅22%~40%)。因此,即便在施用农家肥时做了很大努力,很大一部分污染物还

是排放到了生态系统(特别是水)中^[19]。根据养殖场密度、养殖管理方法、粪便处理和土地的接纳能力不同,污染物进入水中的量也有差异。排污对生态系统的影响可能是暂时和短暂的,也可能是循环往复的(如绿藻泛滥)。这些现象可导致急性污染(如氨污染)或慢性污染(如富营养化)。另外,水污染问题还包括滥用抗生素产生的抗药性风险、兽药(特别是抗寄生虫药)、重金属元素(铜、锌等)的迁移,甚至是将病原体传播到野生动物以及人类的风险。所有这些因素,目前只有分散的评估方法,而没有完整和有效的评价指标。总的来说,畜牧业对水的污染是一个直接或间接的重要环境问题,但其评价方法还有待改善。

2.3 生物多样性和土地利用

测定畜牧生产体系的生物多样性和制定土地应用的综合评价指标,是一个很复杂的课题,而且对科学界来说也是一个很大的挑战。由于生物多样性本身涵盖的领域很广,小到基因,大到生态系统,都包括在内,使评价的难度倍增。目前有一些用于评价草场放牧的植物和动物多样性的指标^[24-25],但也只限于草场这个特定的生态环境。有学者也尝试过利用生命周期评价法来评估生物的多样性^[26-27],但这些方法还存在一定的争议。并且除了物种减少以外的其他指标都没有纳入考虑外,在系统范围内的应用难度也很大。联合国粮农组织认为,畜牧生产活动对生态和生物多样性的影响很严重^[19]。这是各种排污所导致的综合结果:即气候变化、酸化、富营养化、水体和土壤遭有毒和病原物质的污染,以及由空间或环境管理不善导致的破坏等。另一份研究则持相反观点,认为在草场上放牧对草场的维护和生物多样性的维持起积极作用^[28]。畜牧生产是农业生产各领域中最占用地面积最广的产业,78%的土地都被用于畜牧生产,其中33%的土地用于集约化种植^[19]。由此可见,畜牧产品消费需求的增长是影响土地利用的重要因素,特别是对自然生态系统的开发,如将热带森林开垦为草原或农田,特别是用于种植大豆用以生产饲料。直接生产食物和生物能源的土地资源不足和维持生物多样性的要求,都使得畜牧生产用地问题受到越来越多的重视。对于畜牧生产模式的选择也没有统一观点,即到底应该提倡粗放型生产来保持生物多样性,还是应该发展集约型生产模式以腾出更多的受保护自然空间^[29]?这些生产模式对地区和全球生物多样性的影响又是怎样?

3 结 语

人们对畜牧环境足迹的了解越来越多,其相关的认知和评价方法还有待发展和完善。学术界和产业界在畜牧生产环境影响评价方法的选择和数据库的建立等方

面, 还需进一步达成共识, 并共享相关信息, 特别是肉类加工环节的信息还未公开。AGRIBALYSE项目丰富了人们对环境影响数据和评价方法的了解和掌握^[16]。这都是技术和科研单位的集体工作的结晶。因此, 要建立共享的评价测试和继续在整个生产链上改进环境影响评价方法, 就应该继续倡导这种类型的合作。本文所做的总结, 多数来自联合国粮食及农业组织基于全球背景研究得出的结果。这里提出的各种问题不容忽视。然而, 畜牧产品生产的两个基本角色仍需重新审视: 即畜牧产品的营养价值以及它们对农业用地机能的影响。一味地强调畜牧生产对环境的消极影响显然是不全面的。*Millenium Ecosystem Assessment*^[30]曾估算了自然生态环境对人类的贡献。如果把类似研究成果移植到农业生态系统, 特别是与畜牧生产相关的农业生态系统中, 将为生态农业的发展开辟出一条新的道路。

参考文献:

- [1] ROCKSTRÖM J, STEFFEN W, NOONE K, et al. A safe operating space for humanity[J]. *Nature*, 2009, 461: 472-475.
- [2] COMBRIS P, MAIRE B, REQUILLARD V. Consommation et consommateurs, pour une alimentation durable, réflexion stratégique dualine[M]. Paris: QuaeEds, 2011: 37-59.
- [3] OPIO C, GERBER P J, MOTTET A, et al. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains: a global life cycle assessment[R]. United Nations, FAO, Rome, 2013: 214.
- [4] MACLEOD M, GERBER P J, MOTTET A, et al. Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains: a global life cycle assessment[R]. United Nations, FAO, Rome, 2013: 196.
- [5] MATHEVET R, THOMPSON J, DELANOE O, et al. La solidarité écologique: un nouveau concept pour la gestion intégrée des parcs nationaux et des territoires[J]. *Natures Sciences Sociétés*, 2010, 18(4): 424-433.
- [6] REDLINGSHÖFER B, SOYEUX A. Pertes et gaspillages. Pour une alimentation durable, réflexion stratégique dualine[M]. Paris: QuaeEds, 2011: 143-163.
- [7] GAC A, TRIBOT-LASPIERE P, SCISLOWSKI V, et al. Recherche de méthodes d'évaluation de l'expression de l'empreinte carbone des produits viande. Collection Résultats[R]. Institut de l'Elevage, 2012: 130.
- [8] CEDERBERG C, HENRIKSSON M, BERGLUND M. An LCA researcher's wish list -data and emission models needed to improve LCA studies of animal production[J]. *Animal*, 2013, 7: 212-219.
- [9] de VRIES M, DE BOER I J M. Comparing environmental impacts for livestock products: a review of life cycle assessments[J]. *Livestock Science*, 2010, 128: 1-11.
- [10] ISO. Requirements and guidelines. Life cycle assessment, european committee for standardization[S]. 2006: 20.
- [11] CEDERBERG C, STADIG M. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2003, 8: 350-356.
- [12] AYER N W, TYEDMERS P H, PELLETIER N L, et al. Co-product allocation in life cycle assessments of seafood production systems: review of problems and strategies[J]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2007, 12: 480-487.
- [13] NGUYEN T T H, DOREAU M, CORSON M S, et al. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013, 120: 127-137.
- [14] FIL. A common carbon footprint approach for dairy[M]. *Bulletin IDF*, 2010: 46.
- [15] BASSET-MENS C, van der WERF H M G. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 105: 127-144.
- [16] KOCH P, SALOU T. AGRIBALYSE: rapport méthodologique - version 1.1[R]. Angers, France, 2014: 386.
- [17] PAS 2050, Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services[M]. London: British Standards Organisation, 2008.
- [18] Environmental Product Declaration (EPD). Product category rules: meat of mammals-Version 1.0[S]. Sweden, 2012: 27.
- [19] FAO. Livestock's long shadow, environmental issues and options[R]. Roma, 2006: 390.
- [20] GERBER P J, STEINFELD H, HENDERSON B, et al. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities[R]. United Nations, FAO, Rome, 2013: 139.
- [21] HOEKSTRA A Y. Human appropriation of natural capital: a comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 2009, 68: 1963-1974.
- [22] CORSON M S, DOREAU M. Évaluation de l'utilisation de l'eau en élevage[J]. *Inra Productions Animales*, 2013, 26: 239-248.
- [23] PIMENTEL D, PIMENTEL M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2003, 78: 660S-663S.
- [24] DUMONT B, ROSSIGNOL N, LOUCOUGARAY G, et al. When does grazing generate stable vegetation patterns in temperate pastures?[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 153: 50-56.
- [25] SCOHER A, OUIN A, FARRUGGIA A, et al. Is there a benefit of excluding sheep from pastures at flowering peak on flower-visiting insect diversity[J]. *Journal of Insect Conservation*, 2013, 17: 287-294.
- [26] SCHMIDT J H. Development of LCIA characterisation factors for land use impacts on biodiversity[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2008, 16: 1929-1942.
- [27] CURRAN M, de BAAN L, de SCHRYVER A M, et al. Toward meaningful end points of biodiversity in life cycle assessment[J]. *Environmental Science & Technology*, 2010, 45: 70-79.
- [28] DUMONT B, FARRUGIA A, GAREL J, et al. How does grazing intensity influences the diversity of plants and insects in a species rich upland grassland on basalt soil?[J]. *Grass and Forage Science*, 2009, 64: 92-105.
- [29] TSCHARNTKE T, CLOUGH Y, WANGER T C, et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification[J]. *Biological Conservation*, 2012, 151: 53-59.
- [30] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystem and human well-being: a framework for assessment[M]. Washington DC: Island Press, 2005.

(翻译: 黄亚宇, 审校: 孟庆翔)