

特定农产品碳足迹评价及碳标签制定的探索

张雄智¹ 王岩¹ 魏辉煌² 王钰乔¹ 赵鑫¹ 张海林^{1*}

(1. 中国农业大学 农学院,农业部农作制度重点实验室,北京 100193;

2. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193)

摘要 为推动碳减排,缓解气候变化,本研究基于生命周期评价法(LCA),对华北平原某面粉厂面粉生产碳足迹进行核算,并对产品碳标签的制定及其对策建议进行探讨,研究结果显示:不同等级面粉生产的碳足迹为 0.98~1.07 kg/kg,其中,小麦生产过程中化肥使用和灌溉耗能占比最大,分别占总碳足迹的 47%和 29%,研究结果可为面粉生产节能减排策略提供理论支持。另外,基于国内外的研究现状,未来我国农业生产减排不仅要产品过程着手,同时还应完善我国碳标签制度,应尽快制定碳标签核算标准,建立完善的碳足迹数据库,建立第三方机构,完善碳汇市场与经济市场及国内外市场接轨的对策。

关键词 碳足迹; 碳标签; 面粉; 生命周期法

中图分类号 S34

文章编号 1007-4333(2018)01-0188-09

文献标志码 A

Assessment of carbon footprint for a specific agricultural product and discussion of carbon label designing

ZHANG Xiongzi¹, WANG Yan¹, WEI Huihuang², WANG Yujiao¹, ZHAO Xin¹, ZHANG Hailin^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology/Key Laboratory of Farming System of Ministry of Agriculture,

China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. College of Resources and Environmental sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract To reduce carbon emissions and mitigate climate change, based on concept of carbon footprint (CF) of a product, a case study of CF for flour production in North China Plain was calculated by life cycle assessment (LCA). On the basis of CF research, carbon labels of product and countermeasures and suggestions were discussed. The results indicated that the CF of different class flour productions were 0.98 - 1.07 kg/kg(CO₂-eq). Among CF components of different type flours, chemical fertilizer and energy consumption of irrigation were the main components, which occupied 47% and 29% of the total CF. The results would provide theoretical bases for energy conservation and carbon emission reduction in flour production in China. In the future, China should not only lower the carbon emission of the product process, but also establish the carbon label system by establishing and improving the CF of the database, developing the standards of carbon label of agriculture productions, introducing the third-party agency, integrating carbon trade market and economic market, and connecting domestic and international market to complete the whole carbon labeling system and mitigate the changing climate.

Keywords carbon footprint; carbon label; flour; life cycle assessment

碳足迹(Carbon footprint)是产品生产系统内温室气体排放与消纳的总和,多用于评价对气候变化的影响,一般以 CO₂ 当量形式表达^[1]。碳足迹可

展现于产品标签之上,即碳标签(Carbon label)。碳标签概念源自于上世纪九十年代关于“食物里程(Food miles)”的探讨,其作用主要是呈现产品或服

收稿日期:2017-04-16

基金项目:国家级大学生创新训练项目(201610019001)

第一作者:张雄智,本科生,E-mail:1251903431@qq.com

通讯作者:张海林,教授,主要从事保护性农业与农田生态研究,E-mail:hailin@cau.edu.cn

务对全球暖化影响的信息,把产品或服务在生产、提供和消耗整个生命周期过程中所排放的温室气体总量(或碳足迹)在产品标签上用量化的指数标示出来,以标签的形式直观告知消费者产品的碳排放信息,作为消费者选购产品或服务的参考依据^[2]。目前,碳标签制度在国外已经被广泛的应用,英国、法国等欧洲国家在 2010 年之前便开始推行碳标签,后来美国等国家也相继施行,但以发达国家居多^[3]。

英国是世界上最早开始推行碳标签制度的国家,相较于其他国家其制度较为完善。英国加贴碳标签的产品类别涉及 B2B 和 B2C(根据生命周期所涵盖的不同阶段以及评价的内容,产品对象类别分为商业企业 B2B 或商业客户 B2C)的所有产品与服务,主要包括食品、服装、日用品等,目前已超过 2 500 种产品。英国碳标签标准协会发布的 PAS 2050 是目前使用最广泛的标准^[4],英国 Carbon trust 根据 PAS 2050 标准以及 ISO 14065 框架建立了一个相对稳定的碳标签体系,其整体是一个脚印形状,简单地配以黑白颜色,口号是“减少碳足迹”,脚掌位置的数字为该标签所代表产品生命周期的碳排放当量^[5]。

目前,节能减排是我国当代社会发展的一项重要任务,碳标签的使用,将有利于企业明确降低碳排放的重点环节,提高企业在碳贸易中的竞争力,实现企业碳排放的配额管理,对温室气体排放进行量化,有效推动节能减排^[6-7]。因此,加快碳标签的研究和实施,对于我国构建低碳社会,实现节能减排具有重要的意义。本研究旨在总结分析碳足迹核算的国际标准,应用生命周期评价法(LCA)对特定农产品的碳足迹进行核算,并借鉴发达国家碳标签体系,探索我国农产品碳标签制度,为我国碳标签制度的建立与应用提供案例参考和对策建议。

1 碳足迹核算方法与标准

生命周期评价(Life cycle assessment, LCA)是碳足迹研究的常用方法,是一种环境评价方法,其含义是一个从“摇篮”到“坟墓”的方法,确保产品或服务的每一个环节都列入评估体系之中,包括原料生产、产品制造或加工过程、产品使用与处理的一系列阶段。生命周期评价的 4 个步骤包括目标与范围定义、清单分析、影响评价、结果解释。广义上说, LCA 方法主要包括:过程 LCA(自下向上方法, bottom-up),投入-产出 LCA(自上向下方法, top-

down)和混合 LCA(混合方法, hybrid input-output)等 3 种类型^[8],其中,投入产出 LCA(自上向下方法)是使用最广泛的方法。

在碳足迹研究过程中,首先要确定系统边界。PAS 2050 是由英国环境、食品和农村事务部、英国标准协会与 Carbon Trust 联合开发,旨在启动一个统一的在产品层面评估温室气体排放的确定系统边界准则,包括使用标准化的方法从生命周期角度来评估引起温室气体排放的商品和服务^[9-10]。PAS 2050 通常有 2 种类型的碳足迹核算方法,第一种是商业企业(B2B),包括“原材料”、“生产”和“分销”;第二种是商业客户(B2C),它涵盖整个产品供应链,因此,它也被称为“从摇篮到坟墓”的方法^[11],这种方法有 6 个主要阶段:原材料、生产、分销、消费者使用、处置和回收。

温室气体核算体系是第一个建立在 LCA 方法上的 ISO 商业化标准,该协议旨在提供国际化 GHG 排放评估和报告的标准。温室气体协议有两种温室气体评估标准,即产品层面标准和企业标准。温室气体核算体系中的碳足迹评价涉及 3 个层次的计算,每一层次针对不同的温室气体排放源,使用不同的计算方法。第一层次是针对生产过程的电力、天然气和热能、物理和化学反应等;第二层次针对采购的电力和热能;第三层次包括废物处理、产品使用过程^[13]。其中,第一和第二层次是基于国际气候变化专门委员会(IPCC, 2006)的方法,

ISO 14067 是国际标准化组织(ISO)为解决“碳足迹”具体计算方法制定的标准。目前该标准已于 2013 年正式发布,标准适用于商品或服务(统称产品),主要涉及的温室气体包括京都议定书规定的 6 种气体二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亚氮(N₂O)、六氟化硫(SF₆)、全氟碳化物(PFCs)以及氢氟碳化物(HFCs)外,也包含蒙特利尔议定书中管制的气体等,共 63 种气体^[1]。根据 ISO 14067,碳足迹是计算产品生产系统内温室气体排放与消纳之和,以 CO₂ 当量形式表达,评价对气候变化的单一影响,制造商必须首先计算特定产品的温室气体排放量化的基础上计算过程,然后向公众提供一个产品的碳足迹,包括结果、数据、方法、假设和局限性,即碳足迹量化阶段。如果要成为公开形式的碳标签,需要沟通计划、产品类别的规则和第三方验证报告^[12]。

2 基于生命周期评价碳足迹的核算

2.1 生命周期流程图

根据生命周期所涵盖的不同阶段以及评价的内容,确定产品对象类别(商业企业 B2B)或(商业客户

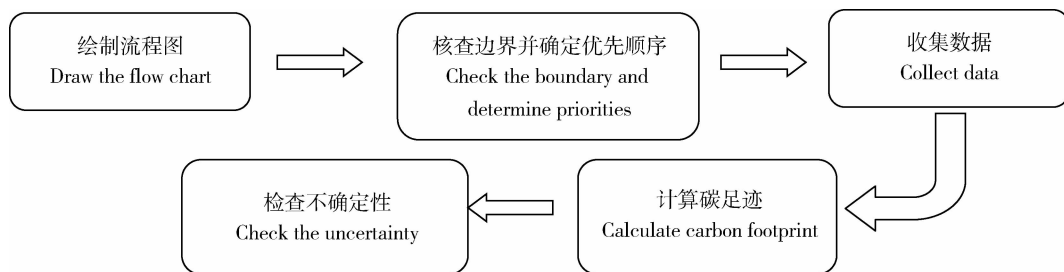


图1 产品碳足迹核算流程

Fig. 1 Calculation process of carbon footprint for certain production

2.2 系统边界的确定

系统边界决定了系统碳足迹计算的范围。核查边界是确定系统边界的重要步骤,其关键原则是所有实质性排放都必须列入计算范围,而非实质性排放(不超过排放总量的1%)、输入过程的人力、消费者到买点的交通和畜力运输这四类排放源不必列入^[14]。最后分析各实质性排放源,确定优先顺序,为数据收集与测算奠定基础。

2.3 收集数据

碳足迹评价的数据主要分为初级活动水平数据(初级数据)与次级活动水平数据(次级数据)。初级数据是农产品生命周期过程中直接测量获得的,次级数据是同类原料或过程平均值。收集数据时,应尽量使用初级活动水平数据,使之更贴近真实排放情况^[15]。

2.4 计算碳足迹

产品碳足迹的计算主要依据碳足迹计算方程,每一个活动的碳足迹等于该活动的活动水平数据与排放因子相乘,总碳足迹为各个活动的碳足迹之和^[16]。

2.5 不确定性检验

执行不确定性检验可以提高碳足迹核算的准确度和结果的可信度,但目前不确定性的评价没有一个统一的标准,如碳足迹的定义与系统边界不一致。目前国际上有两种观点:只考虑碳排放的碳足迹和考虑净排放的碳足迹^[17-18]。通常不确定性来自供应链中某些数据的缺失和质量问题,如产品次级数据

B2C),构建相应的流程图(图1)。商业企业(B2B)模式评价内容包括原材料、生产和分销,即“从摇篮到大门”;商业客户(B2C)评价内容包括原材料、生产、分销、消费者使用和处置和回收,即“从摇篮到坟墓”。

的使用,初级数据的测量与计算误差。

产品碳足迹评价流程概括来说,包括确定产品生产模式、确定系统边界、收集数据、计算碳足迹和不确定性检查(图1)。

3 产品碳标签制定的案例研究

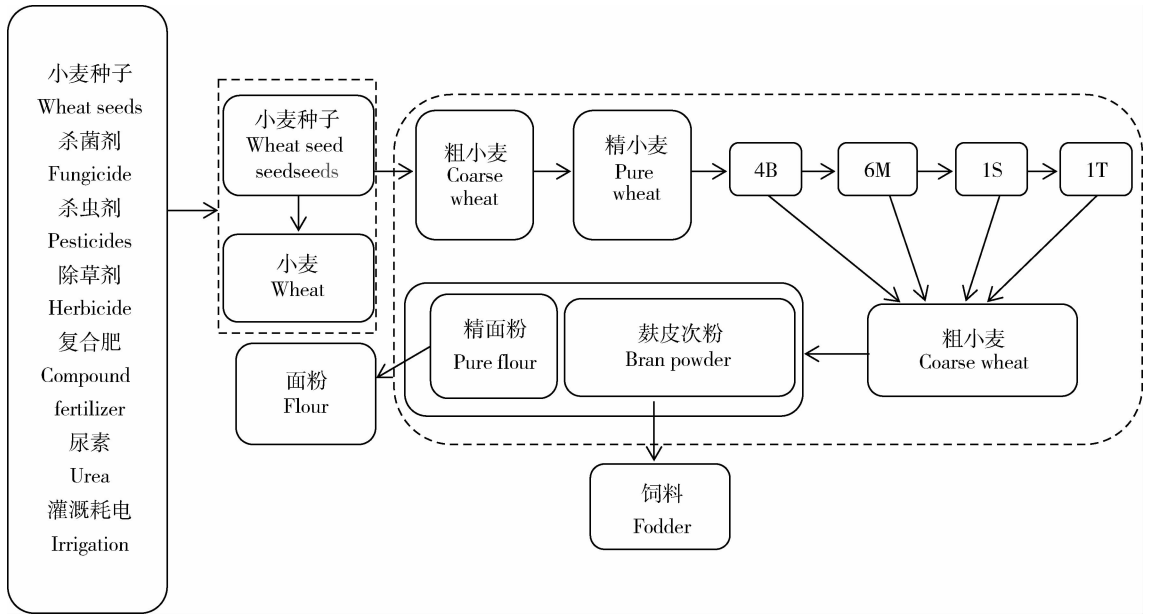
碳标签基本框架体系包括碳足迹的计算、碳标签的核证与颁发和碳标签的咨询服务机构三部分,其制定过程包括碳即产品或服务的碳足迹的计算、标签设计与标识等^[19]。本研究以小麦主产区华北平原河北省衡水市某面粉厂生产的面粉为样本核算了其生产过程的碳足迹。

3.1 面粉生产流程

该面粉加工企业主要生产三种规格面粉:特一粉、特二粉及标粉。面粉在消费者使用以及处置和回收过程中基本不产生碳排放,故本研究采用商业企业(B2B)的评价模式来绘制面粉的流程图(图2)。

3.2 确定系统边界及优先顺序

我们确定面粉的碳足迹边界为:小麦生产、小麦运输、面粉生产、面粉分销(不包括零售阶段)。小麦生产过程碳足迹核算的清单中重点考虑杀菌剂、杀虫剂、除草剂、灌溉、种子生产、复合肥、尿素、土壤 N_2O 排放、柴油、柴油燃烧;小麦运输与面粉分销过程主要考虑机械油耗;面粉生产主要考虑耗电所导致的直接或间接碳排放;面粉的外包装(包括可循环使用、部分损坏、不可回收)造成的碳排放相对较小,本研究忽略不计。



注：4B：四道皮磨，6M：六道心磨，1S：一道尾磨，1T：一道筛选。依据研磨孔径大小分为皮磨、心磨、尾磨，经过多次不同孔径大小的研磨筛进行分级研磨，此研磨方法称为轻研细分制粉法。

Note: 4B: four shelling, 6M: six reductions, 1S: one tail rolls, 1T: one filtrate. According to grinding the aperture size, after a lot of different aperture size of grinding screen in grinding it is divided into shelling, reduction and tail rolls, the grinding method called light research subdivision milling method.

图 2 面粉碳足迹计算系统边界

Fig. 2 System boundary of flour carbon footprint

3.3 碳足迹的计算

根据确定的边界，在数据收集与碳足迹评价环节将整个生命周期分为小麦生产、运输过程与面粉生产 3 部分，其中，数据收集与碳足迹计算环节合并进行，可直观地看到数据转化的具体过程，更详尽地展现碳足迹的评价流程。

本研究采用的碳足迹统一用 CO₂ 排放当量表示，kg/hm²·年。碳排放计算方法来源于《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》^[20]。单位产量的碳足迹为：

$$CF_y = \frac{CF_t}{B} \quad (1)$$

其中：CF_t 为单位面积总碳排放量，kg/hm²·年；B 为小麦产量，kg/hm²；CF_y 为单位产量碳足迹，kg/kg。

单位面积的总碳排放量为：

$$CF_t = CF + CF_{N_2O} + CF_{N_2O_i} \quad (2)$$

其中：CF_t 为小麦从播种到收获过程中各农资投入（本研究数据来源于问卷调查以及统计数据）产生的碳排放量，CF_{N₂O} 为土壤氧化亚氮的直接排放，CF_{N₂O_i} 为土壤氧化亚氮的间接排放。

小麦从播种到收获过程中农资投入产生的碳足迹为：

$$CF_i = \sum_{i=1}^n AI_i \times EF_i \quad (3)$$

式中：*i* 表示第 *i* 种农业生产投入品，EF_{*i*} 表示第 *i* 种投入的排放参数。

其中土壤 N₂O 的排放包括直接排放和间接排放，直接排放的计算方法为：

$$N_2O = F_{SN} \times EF_1 \times \frac{44}{28} \times 298 \quad (4)$$

其产生的碳足迹为：

$$CF_{N_2O} = F_{SN} \times EF_1 \times \frac{44}{28} \times 298 \quad (5)$$

其中：F_{SN} 为土壤中人造氮肥的年施用量，kg/年；EF₁ 为氮投入引起的 N₂O 排放的排放因子，kg/kg；44/28 为氧化亚氮中氮元素的元素质量；298 为氧化亚氮的增温潜势。

间接排放的计算方法为：

$$N_2O_i = F_{SN} \times Fra_{CGASF} \times EF_4 \times \frac{44}{28} \times 298 \quad (6)$$

产生的碳足迹为：

$$CF_{N_2O_i} = F_{SN} \times FraC_{GASF} \times EF_4 \times \frac{44}{28} \times 298 \quad (7)$$

其中: F_{SN} 为每年施用于土壤的化肥氮量,kg/年; $FraC_{GASF}$ 为以 NH_3 和形式挥发的化肥氮比例,kg/kg(挥发氮:施用氮); EF_4 为土壤和水面氮大气沉积的 N_2O 排放的排放因子,kg/kg;298为氧化亚氮的增温潜势^[21]。

3.3.1 小麦生产过程中碳足迹

小麦生产过程中的初级活动水平数据主要有杀菌剂、杀虫剂、除草剂、灌溉、种子生产、复合肥、尿素,这些数据来源于小麦生命周期过程中直接测量;次级活动水平数据主要有土壤 N_2O 排放、柴油、柴油燃烧,因具体机器或操作环境而造成很大误差,因此本研究采用了较为准确的统计数据。

表1 小麦生产过程碳足迹

Table 1 Carbon footprint of wheat production process

项目 Item	实物量/ (kg/hm ²) Amount	碳排放因子/ (kg/kg) Index of carbon emission	单位产量碳足迹/ (kg/kg) Carbon footprint per unit of production
杀菌剂 Fungicide	7.84	10.57	0.01
杀虫剂 Pesticides	15.60	16.61	0.03
除草剂 Herbicide	14.91	10.15	0.02
灌溉 Irrigation	1 316.50	1.23	0.21
种子 Seeds	251.75	0.58	0.02
复合肥 Compound fertilizer	705.00	1.77	0.16
尿素 Urea	585.00	2.39	0.18
土壤 N_2O 排放 Soil N_2O emission	—	0.02	0.03
柴油总碳排放 Diesel total carbon emissions	—	0.89	0.01
柴油燃烧碳排放 Diesel combustion emissions	—	0.89	0.03
总碳排放 Total carbon emissions			0.70

注:碳排放因子数据来源:CLCD 0.7,Ecoinvent 2.2。

Note:carbon emission factor data sources;CLCD 0.7,Ecoinvent 2.2.

农作物从播种到收获过程的总碳足迹为:

$$CF_i = \sum_{i=1}^n AI_i \times EF_i \quad (3)$$

其中: AI_i 表示第*i*种投入, EF_i 表示第*i*种投入的排放参数

计算出,小麦生产过程中产生的碳足迹为0.70 kg/kg。

3.3.2 面粉生产过程中碳足迹

该厂生产面粉分为特二粉、特一粉、标粉三种类型,副产品为麦麸与次粉,均可作为饲料处理,根据生命周期法的测算标准,其碳排放忽略^[22]。根据对该面粉厂实地考察,面粉加工过程中仅用

电一项会造成碳排放,对加工过程的耗电量与产量进行数据采集,得出加工过程中特二粉、特一粉和标粉碳排放分别为0.080、0.080和0.079 kg/kg。

3.3.3 运输过程中碳足迹

通过对该面粉厂小麦来源与面粉去向的跟踪研究,小麦主要来自于该市的粮站,其销售去向主要为该市粮油批发市场,运输方式主要为公路运输。经实地测算,得出三地之间的距离与碳排放。小麦自粮站运至面粉厂造成碳排放为0.000 33 kg/kg,面粉产品自面粉厂运至批发市场造成碳排放为0.000 45 kg/kg。

表 2 面粉加工过程碳足迹
Table 2 Carbon footprint of flour processing

面粉类型 Flour type	耗电量/(kW·h/kg) Electricity consumption	碳排放因子/(kg/kW·h) Emission factors	单位产量碳足迹/(kg/kg) Carbon footprint per unit of production
特二粉 Second class flour	0.065	1.229	0.080
特一粉 First class flour	0.065	1.229	0.080
标粉 Common flour	0.064	1.229	0.079

注：碳排放因子数据来源：CLCD 0.7、Ecoinvent 2.2。

Note: carbon emission factor data sources: CLCD 0.7, Ecoinvent 2.2.

表 3 运输过程碳足迹
Table 3 Carbon footprint of transportation

运输类型 Type of transportation	运输路线 Transport routes	运输距离/km Transport distances	碳排放因子/ kg/(t·km) Emission factors	单位产量碳足迹/ (kg/kg) Carbon footprint per unit of production
公路运输 Road transport	粮站到面粉厂	15.5	0.172	0.000 33
公路运输 Road transport	面粉厂到批发市场	20.8	0.172	0.000 45
总碳排放 Total carbon emissions				0.000 78

注：碳排放因子数据来源：CLCD 0.7、Ecoinvent 2.2。

Note: carbon emission factor data sources: CLCD 0.7, Ecoinvent 2.2.

3.4 碳标签制定与碳减排策略

根据生命周期法则(LCA),对面粉从“摇篮”到“坟墓”的整个过程碳足迹进行计算。面粉碳足迹主要由 3 部分组成,分别为小麦生产过程、面粉加工过

程和运输过程。最终面粉产品分为 3 个类型:特二粉、特一粉和标粉,根据研究结果,特二粉、特一粉和标粉碳标签应分别标注为 1.07、1.01 和 0.98 kg/kg。

表 4 三种类型面粉碳标签标注值
Table 4 Carbon footprint of three types of flour processing

面粉类型 Flour type	小麦生产过程中碳足迹 Carbon footprint in wheat production	面粉加工过程中碳足迹 Carbon footprint in flour processing	运输过程中碳足迹 Carbon footprint in transportation	碳标签标注值(总碳足迹) Carbon label value (Total carbon footprint)
特二粉 Second class flour	0.99	0.080	0.000 78	1.07
特一粉 First class flour	0.93	0.080	0.000 78	1.01
标粉 Common flour	0.90	0.079	0.000 78	0.98

实地调研结果表明,该面粉厂生产 1 kg 面粉所产生的碳排放中,灌溉占 29%,氮肥投入占 25%,复合肥占 22%,面粉加工过程中耗电占 8% (表 5),而其他因素对碳排放影响较小,因此面粉生产中,碳减排策略主要侧重于减少小麦生产过程中灌溉耗电量和化肥的用量,以及加工过程中电的消耗。面粉加

工过程中主要碳排放源为加工设备耗电,因此设备节能是面粉生产过程中减少碳排放的重要途径。设备具体减排设计思路包含以下几个方面:中长制粉工艺、合理配备磨机动力、多元优化磨辊表、加强管理与操作、电机并联电容、变频调速和智能补偿器等方面的改进与完善^[22]。

表 5 三种面粉碳足迹组成

Table 5 Components of carbon footprint for the three classes of flour

项目 Items	特二粉 Second class flour	特一粉 First class flour	标粉 Common flour
杀菌剂 Fungicide	1.4	1.3	1.3
杀虫剂 Pesticides	4.2	4.0	3.8
除草剂 Herbicide	2.8	2.7	2.6
灌溉 Irrigation	29.6	28.0	26.9
种子 Seeds	2.8	2.7	2.6
复合肥 Compound fertilizer	22.5	21.3	20.5
尿素 Urea	25.4	24.0	23.1
土壤 N ₂ O 排放 Soil N ₂ O emission	4.2	4.0	3.8
面粉加工过程中碳足迹 Carbon footprint in flour processing	8.0	8.0	7.9
运输过程中碳足迹 Carbon footprint in transportation	0.1	0.1	0.1

3.5 不确定性检查

本研究面粉碳足迹核算的不确定性主要来源于使用部分次级数据以及活动水平数据存在统计误差。例如小麦碳足迹核算过程中,土壤 N₂O 排放、柴油总碳排放和柴油燃烧碳排放使用的数据由统计数据取平均值得到,虽然这样处理可以避免部分误差,但是最终碳足迹与实际情况会产生偏差。此外,实地考察所获得的水平数据不是由企业全面检测面粉加工环节而得到,因此只能依据总用电量与产量的相对关系来估算,误差难以避免。

前人研究表明,2004—2012 年华北平原小麦生产产量碳足迹的变化范围为 0.50~1.09 kg/kg^[21]。研究认为,虽然整体上冬小麦产量呈逐年增加趋势,但是肥料、灌溉耗能的快速增加使得冬小麦单位产量碳足迹亦呈逐年增加趋势。本研究所区域小麦生产过程中碳足迹为 0.70 kg/kg,相较于其他研究,在结果上有所差异,除了在碳足迹清单中各实物

使用量不同外,计算碳足迹所使用的排放因子数据库来源不同也是一个重要原因,例如本研究中灌溉碳排放因子为 1.23 kg/kg(CO₂-eq),而王占彪等^[23]研究中所采用的灌溉用电碳排放因子为 2.71 kg/kg。与本研究相似,华北区域冬小麦生产碳足迹主要来源于灌溉耗能和肥料使用。此外,运输过程中碳足迹排放主要与运输距离有关,此项碳排放主要受企业购进原材料与销售地点影响。加工过程中造成碳排放的因子主要是设备耗电,这主要与企业所使用的加工工艺与设备有关,因具体企业而各有不同。未来,面粉原料(冬小麦)生产过程中通过农作措施改善,提高灌溉效率、和减少肥料使用量,减少运输距离和优化加工过程可以进一步降低该区域面粉产品的碳足迹。

4 实行碳标签制度的对策建议

降低各生产环节的碳排放是我国农业生产节能

减排的重要措施,但农业节能减排涉及方方面面,因此,进一步完善和促进我国农业节能减排需要政策、产品生产、监督检测等全方位的减排体系。碳标签作为环境管理工具,通过对企业碳排放量化,为企业碳排放配额,超出部分需要其通过碳汇市场购买指标,多余部分则可在碳汇市场抛售,做到碳汇市场与经济市场对接,鼓励企业节能低碳环保。

碳标签体系包括碳足迹的计算、碳标签的核证与颁发和碳标签的咨询服务机构3部分。我国对于碳足迹核算的排放因子等参数的测算仍处于起步阶段,目前相关领域的研究仍广泛借助于英国、美国和欧盟等国的数据,适合我国的碳排放因子测算工作亟待进行^[24]。因此,应建立完善的碳足迹数据库,使企业对产品生产各个环节的碳足迹数据得以衡量比较,明晰高碳排放的具体环节,为制定节能减排策略提供数据支持。碳标签的核证与颁发应由独立的第三方机构或独立的委员会或者由企业或组织内部机构完成,核证机构要求必须具备一定的认证和省查的能力与资格。

碳标签制度的建立,将从产品生产与销售、监督检测及环境评价等方面对产品的排放进行全面的评价,既有利于产品的节能减排;同时,也会促进我国参与国际碳交易规则与标准的制定工作,规避“碳关税”的“绿色壁垒”对我国可能产生的影响^[25]。

参考文献 References

[1] ISO/TS 14067: 2013 Greenhouse gases-carbon footprint of products Requirements and guidelines for quantification and communication[S]. Switzerland: International Organization for Standardization, 2013

[2] 裘晓东. 国际碳标签制度浅析[J]. 大众标准化, 2011(1): 47-51
Qiu X D. The analysis of international carbon label system[J]. *Popular Standardization*, 2011(1): 47-51 (in Chinese)

[3] 陈泽勇. 碳标签在全球的发展[J]. 信息技术与标准化, 2010(11): 11-14
Chen Z Y. The globe development of carbon label [J]. *Information Technology & Standardization*, 2010(11): 11-14 (in Chinese)

[4] 胡剑波, 丁子格, 任亚运. 发达国家碳标签发展实践[J]. 中国农业, 2015(9): 15-20
Hu J B, Ding Z G, Ren Y Y. Carbon labels development practice in the developed countries[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2015(9): 15-20 (in Chinese)

[5] 余运俊, 王润, 孙艳伟, 刘文娟, 庄小四. 建立中国碳标签体系研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(117)S2: 9-13

Yu Y J, Wang R, Sun Y W, Liu W J, Zhuang X S. The research on establishing Chinese carbon label system. [J]. *China Population • Resources and Environment*, 2010, 20(117) S2: 9-13 (in Chinese)

[6] 方虹, 张睿洋, 周晶. 碳标签制度: 我国对外贸易的挑战与机遇[J]. 产权导刊, 2013(5): 21-24
Fang H, Zhang R Y, Zhou J. The system of carbon label: Challenges and opportunities for China's foreign trade[J]. *Property Rights Guide*, 2013(5): 21-24 (in Chinese)

[7] 郭莉, 崔强, 陆敏. 低碳生活的新工具: 碳标签[J]. 生态经济, 2011(7): 84-86, 94
Guo L, Cui Q, Lu M. The new tools of low-carbon life: Carbon label[J]. *Ecological Economy*, 2011(7): 84-86, 94 (in Chinese)

[8] 王长波, 张力小, 庞明月. 生命周期评价方法研究综述: 兼论混合生命周期评价的发展与应用[J]. 自然资源学报, 2015, 30(7): 1232-1242
Wang C B, Zhang L X, Pang M Y. The summary of life cycle assessment methods: Development and application of life cycle assessment[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(7): 1232-1242 (in Chinese)

[9] PAS2050: Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emission of goods and services[S]. London: British Standards Institution, 2008

[10] Guide to PAS 2050: How to Access the carbon footprint of goods and services[S]. London: British Standards Institution, 2008

[11] MacGregor J. Carbon concerns: How standards and labelling initiatives must not limit agricultural trade from developing countries[R]. Geneva: International Centre for Trade and Sustainable Development 2010

[12] Wu P, Xia B, Pienaar J, Zhao X B. The past, present and future of carbon labelling for construction materials: A review[J]. *Building and Environment*, 2014, 77: 160-168

[13] Andrews S L D. A classification of carbon footprint methods used by companies[D]. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2009

[14] 冯相昭, 赖晓涛, 田春秀. 关注低碳标准发展新动向: 英国 PAS2050 碳足迹标准[J]. 环境保护, 2010(2): 74-76
Feng X Z, Lai X T, Tian C X. Concerned about the new trends in the development of low-carbon standards: British PAS2050 carbon footprint standard[J]. *Environmental Protection*, 2010(2): 74-76 (in Chinese)

[15] 计军平, 马晓明. 碳足迹的概念和核算方法研究进展[J]. 生态经济, 2011(4): 76-80
Ji J P, Ma X M. Review of carbon footprint: Definitions and accounting methods[J]. *Ecological Economy*, 2011(4): 76-80 (in Chinese)

[16] 田彬彬, 徐向阳, 付鸿娟, 王顺. 基于生命周期的产品碳足迹评价与核算分析[J]. 中国环境管理, 2012(2): 21-26
Tian B B, Xu X Y, Fu H J, Wang S. Assessment and accounting the product carbon footprint based on the life cycle[J]. *Chinese*

- Journal of Environmental Management*, 2012(2): 21-26 (in Chinese)
- [17] Mosier A R, Halvorson A D, Peterson G P, Robertson G P, Sherrod L. Measurement of net global warming potential in three agroecosystems [J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2005, 72(1): 67-76
- [18] Mosier A R, Halvorson A D, Reule C A. Net annual global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2006, 35(4): 1584-1598
- [19] 胡莹菲, 王润, 余运俊. 中国建立碳标签体系的经验借鉴与展望 [J]. *经济与管理研究*, 2010(3): 16-19
Hu Y F, Wang R, Yu Y J. China's experience for reference to establish system of carbon labels with outlook [J]. *Research on Economics and Management*, 2010(3): 16-19 (in Chinese)
- [20] Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2006; Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006
- [21] 王钰乔, 赵鑫, 李可嘉, 王兴, 薛建福, 张海林. 华北平原小麦生产的碳足迹变化动态的研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015 (S2): 258-260
Wang Y Q, Zhao X, Li K J, Wang X, Xue J F, Zhang H L. Dynamics of carbon footprint for wheat production in the North China Plain [J]. *China Population · Resources and Environment*, 2015(S2): 258-260 (in Chinese)
- [22] 杨磊, 刘超峰. 谈面粉厂节能的新措施 [J]. *粮食加工*, 2014, 39 (1): 6-8
Yang L, Liu C F. Talk about flour factory new measures of energy saving [J]. *Food Processing*, 2014, 39 (1): 6-8 (in Chinese)
- [23] 王占彪, 王猛, 陈阜. 华北平原作物生产碳足迹分析 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(1): 83-92
Wang Z B, Wang M, Chen F. Carbon footprint analysis of crop production in North China Plain [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(1): 83-92 (in Chinese)
- [24] 罗春燕, 文桂江. 基于生命周期法的企业碳足迹计量与核算 [J]. *财会研究*, 2011(7): 29-41
Luo C Y, Wen G J. Based on the life cycle method of carbon footprint measurement and accounting [J]. *Financial Accounting Analysis*, 2011(7): 29-41 (in Chinese)
- [25] Yan Y F, Yang L K. China's foreign trade and climate change: A case study of CO₂ emissions [J]. *Energy Policy*, 2010, 38 (1): 350-356

责任编辑: 王岩