

茶产业链环境影响的生命周期评价研究进展

何吉杭, 戴建靖, 吴秋萍, 黄依平, 蔡烈伟*, 郝敏*

宁德师范学院生命科学学院, 福建 宁德 352000

摘要: 茶作为世界三大无酒精饮料之一, 有着悠久的历史, 倍受广大消费者喜爱。其庞大的消费群体背后, 产业链带来的环境影响备受关注。生命周期评价 (Life cycle assessment, LCA) 应用于评估产品系统的生命周期活动所带来的环境影响。通过查阅和总结国内外文献成果, 发现现有文献大多是基于LCA方法确定研究对象生产系统的环境热点并对此提出改进策略, 其中全球变暖潜势是农业生产主要的环境影响因素。目前关于茶产业链的LCA研究还不够深入: (1) 近年来国内许多农产品LCA研究发展较快, 但针对茶产业链环境影响的相关研究较少; (2) 生命周期评价方法清单数据不完整; (3) LCA方法目前以参考国外为主, 本地化进程较缓慢; (4) 多数研究仅就环境污染方面展开讨论, 不够全面。因此, 针对生命周期评价方法在国内外的研究进展进行分析, 讨论该方法在应对我国茶产业链导致的环境问题的适用性, 为茶产业链可持续发展研究提供思路。

关键词: 茶产业链; LCA; 环境污染; 可持续发展

中图分类号: S571.1; F307.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-3150 (2023) 02-16-7

Research Progress on Life Cycle Assessment of Environmental Impact of Tea Industry Chain

HE Jihang, DAI Jianjing, WU Qiuping, HUANG Yiping, CAI Liewei*, HAO Min*

Department of Bioengineering, Ningde Normal University, Ningde 352000, China

Abstract: As one of the three major non-alcoholic beverages in the world, tea has a long history and is very popular among consumers. Behind its huge consumer group, the environmental impact of the industrial chain has attracted much attention. Life cycle assessment (LCA) is used to assess the environmental impact of the life cycle activities of a product system. In this paper, by reviewing and summarizing domestic and foreign literature results, it was found that most of the existing literatures were based on the LCA method to determine the environmental hotspots of the production system of the research object and propose improvement strategies. The global warming potential is the main environmental impact factor of agricultural production. At present, the LCA research on the tea industry chain is not deep enough in the following fields: (1) The LCA research on many agricultural products in China has developed rapidly in recent years, but there are few related studies on the environmental impact of the tea industry chain; (2) LCA method list data is incomplete; (3) LCA method is mainly based on foreign references, and the local-

基金项目: 宁德师范学院中青年科研项目 (2021ZX404)、宁德师范学院“茶产业碳排放研究”创新团队 (2021T06)

作者简介: 何吉杭, 男, 本科生, 主要从事茶产业可持续发展方向的研究。*通信作者, E-mail: cypxcai@163.com, mhao@ndnu.edu.cn

ization process is slow; (4) Most studies only discuss environmental pollution, which is not comprehensive enough. Therefore, this paper analyzed the research progress of LCA method at home and abroad, discussed the applicability of this method in dealing with the environmental problems caused by the tea industry chain in our country, and provided ideas for the sustainable development of the tea industry chain.

Keywords: tea industry chain, LCA, environmental pollution, sustainable development

茶作为农产品之一,是世界上最古老的消费量仅次于水的第二大饮品,在医学、经济等方面都具有重要的研究价值^[1]。近年来,我国茶产业发展迅猛,茶产量和消费量都在国际上占据着举足轻重的地位^[2],但也出现诸多问题:农药化肥过量使用、加工工序不规范、环境污染严重等。为此我国推出多项政策,旨在探索环境友好型的茶产业发展道路:农业农村部在2020年印发《关于促进贫困地区茶产业稳定发展的指导意见》中提出坚持绿水青山就是金山银山理念,鼓励贫困地区发展茶产业,实现乡村振兴^[3];在2021年发布《关于促进茶产业健康发展的指导意见》中明确指出要在提高茶产业链现代化发展水平,规范生产和提升质量水平的前提下,打造具有竞争力和可持续发展的茶产业全产业链^[4];在《农业农村部关于落实好党中央、国务院2021年农业农村重点工作部署的实施意见》中指出,要深入推进绿色农业生产,持续改善农业生态环境^[5];习近平主席在第七十五届联合国大会上提出双碳目标,力争在2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和,以此推进中国的可持续发展道路。因此,探索一条绿色可持续发展道路是当前茶产业极其重要的研究方向。

生命周期评价(Life cycle assessment, LCA)是量化产品生命周期环境影响的方法^[6]。相比其他环境影响评估方法, LCA更加全面且更具客观性和系统性,主要体现在它通过多重影响结果对环境问题进行分析,并考虑到全生命周期所涉及物质投入和输出。LCA最初应用于评估工业环境问题,随着人们对绿色食品的关注,生命周期评价方法逐渐被引入到农业生产中。杨印生等^[7]仿照一般LCA概念,首次概括出关于农业生命周期评价方法的定义,即对农产品所伴随的相关活动进行记录与分析,将生命周期中发生的所有能量与

物质的投入、产出与其对环境的影响相结合,评价生产活动对资源、能源和环境的综合影响,该方法涵盖了农产品的生产、收获、运输、利用和废弃物回收的生命周期全过程。

与传统的农产品不同,茶产业链更长,包括茶树栽培管理、茶叶采摘与加工以及成品包装运输消费等环节。农业活动是温室气体排放的重要来源之一,我国茶叶庞大的产销量使得全产业链的温室气体排放以及其他环境影响日益严重。因此,为促进茶产业链的可持续发展,我国迫切需要解决茶产业目前的环境影响问题。然而,我国关于茶产业生命周期环境影响研究较少,本文通过综述LCA方法在我国农业中的应用、茶产业及其全生命周期、茶产业中LCA的研究,讨论了生命周期评价方法对我国茶产业链环境影响的适用性,并结合现有研究进行分析,以期对茶产业链环境影响评估提供参考依据。

1 我国主要农产品生产环境影响LCA研究进展

近年来,将LCA应用于解决农业生产环境问题的研究层出不穷。虽然相较于国外,我国在该方面的研究起步较晚,但已呈现出高速发展态势,这些宝贵经验对我国茶产业链环境影响的生命周期评价研究有着重要的参考意义。在过去十几年间,选用LCA评估环境影响的研究成果较多,该系列研究大多数以确定研究对象的生产系统环境热点为目的,而其中温室效应几乎是所有农产品生产过程中需要分析的环境影响因素。

在水稻LCA研究方面,Xue等^[8]对我国南方双生稻展开生命周期评价,结果表明施肥和农场机械操作对农业投入的温室气体排放贡献最大,通过降低肥料施用量、提高农机作业效率和改变种植面积分配等措施可有效缓解气候变化和土壤富

营养化。岳骞等^[9]对比分析多种不同的水旱轮作模式所带来的影响,解决大多数研究只关注单季温室效应或仅少数轮作模式分析的问题,提出应结合农作物生产系统的经济效益进行分析。

关于设施蔬菜和玉米的环境影响研究较多,金家铭等^[10]总结国内设施蔬菜种植生命周期评价研究的发展,为生产活动对土壤有机碳含量的影响提出建议,并指出目前研究存在的问题,如设施蔬菜的观测站设施不完善无法累积长期数据,现有的有机碳模型不足以满足多种情景的变化等。乔远等^[11]基于国家数据和LCA方法,比较西北地区玉米15年间投入产出与生态环境问题的关系,并详细总结了活性氮损失、温室气体排放、土壤酸化潜值、水体富营养化潜值和人体毒性的估算方法,为LCA加权评估的计算提供参考。丁佳莹等^[12]对LCA方法在玉米种植的环境影响研究中的应用进行梳理,总结了LCA各项步骤实施方法的选择及结果分析,提出目前研究仍存在许多不足之处,如清单数据收集和环境影响指标选取不够全面,数据准确性不够高,大多只着眼于环境负荷方面等。

2 茶产业链及其全生命周期

产业链属于产业经济学的概念,指的是产业内上中下游企业之间以价值增值为目的形成的一种链条式的关联^[13]。农业领域中针对农作物产业链的研究与日俱增,研究发现不同农作物的产业链在内涵上存在较大差异,与传统的农产品不同,茶产业链更长,其环境影响的生命周期评价的系统边界包括从茶树栽培到茶叶冲泡结束的全过程。

茶叶生产加工与消费涉及到第一、第二和第三产业。茶叶初制加工原料的生产属于第一产业范畴,茶树是多年生的叶用作物,从建园、投产到茶树衰老,其经济年限一般在50年以上。茶树栽培管理包括选种育苗、种植培养、施肥修剪、病虫害防治及鲜叶采摘等。茶叶加工属于第二产业,就是使用各种加工技术,将茶树上采摘下来的细嫩芽叶或嫩梢制成可供人们直接饮用的成品茶或加工成为食品、药品、日化用品等产品原

料。茶叶加工可分为初制加工、精制加工和深加工等过程。茶叶的包装、贮存、运输、销售与消费等环节,属于第三产业范畴。从生命周期的角度来看,从茶园建设、茶树育苗施肥到初加工成为成品茶或精深加工成含茶类产品即为从摇篮到农场大门阶段,大多数生命周期环境影响评估研究的系统边界皆选择从摇篮到大门,从摇篮到此后包装销往市场直至消费者贮存或泡茶饮用完毕再到茶渣的完整过程,即为从摇篮到坟墓的全生命周期过程(图1)。

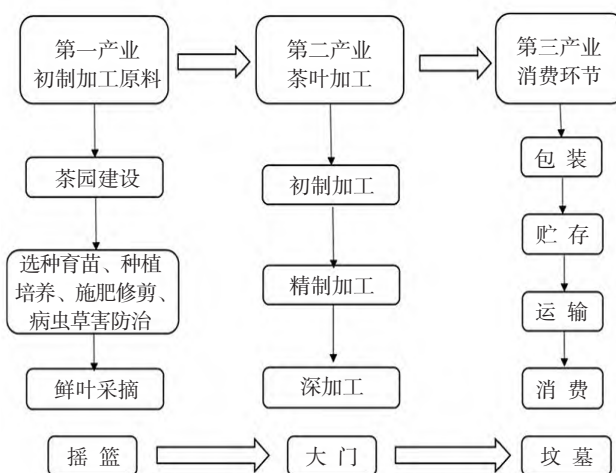


图1 茶产业链及其全生命周期

针对茶产业特点,可以将茶产业链理解为针对茶叶产品本身纵向前后关联多个生产主体所形成的一体化链条^[14],其中包含茶树的种植培养,以及关于茶叶的加工、流通、销售、消费等各个阶段^[15]。在对茶产业链的文献梳理和研究中,洪文生^[16]将茶产业链分为产业的上中下游,上游以茶树的培育为主,到茶叶的采摘为止;中游包括茶叶生产加工、质量监督、工艺创新等,下游则是多种形式结合的销售模式,并根据产业链内容结合现有案例提出发展新模式。钟福亚等^[17]整合茶产业链中精加工环节的国内现状,提高资源综合利用率,为产业发展提出新的思路。陈馨^[18]以江苏金庭镇茶叶为案例,实地考察并结合当地发展,总结成功经验,分析现存问题,为产业提出加快发展的方法。张海峰^[19]针对农村茶产业链,表示需要整合创新和优化升级,并根据遇到的内部影响因素

如采茶技术、营销渠道等提出了相对应的解决办法。由此可见,目前多数研究是针对产业链现状提出未来的发展方向,以期实现产业升级,但茶产业链各个环节是否会造成环境污染却鲜有提及,后续研究应将环境影响问题考虑其中,实现产业升级的同时促进茶产业可持续发展。

3 茶产业链环境影响LCA研究进展

3.1 国外茶产业链环境影响LCA研究

根据目前茶产业链环境影响评估研究的进展,多数研究在国外展开,茶产业链各个阶段的数据收集、加权计算等过程有一套较成熟的方法值得国内学者参考,但地域不同会带来一定的结果偏差。国内部分农产品的LCA应用研究相对完善,但茶产业生命周期与大多农产品的生命周期不同。因此我们在研究如何实现茶产业绿色可持续发展时,可将国外茶产业链LCA研究进展和我国农产品LCA的研究相结合,探索出适合我国的茶产业生命周期环境影响评估方法。LCA分系统边界与目标确定、环境负荷分析、环境影响评价以及对应结果的解释4个阶段^[20]。随着我国对环境污染问题愈发重视,茶产业链的环境影响评估显得尤为重要。表1是多个国家针对茶产业链的生命周期评估所开展的研究,该系列研究为我国茶产业链LCA的后续研究提供研究方法和思路。

如表1所示,在国外的诸多研究之中,红茶是最热门的研究对象之一,多数研究的目的是确定环境影响热点并提出改进策略,全球变暖潜能仍是研究者们最关心的环境影响因素,研究的系统边界涉及茶叶生命周期的各个阶段。其中在茶叶生产和回收阶段, Pelvan 等^[21]通过累积完美度(CDP)、二氧化碳排放量(CCO₂E)和可再生性指标(RI)对土耳其的红茶、速溶茶和冰茶进行评估,结果表明从茶叶废物中提取物质进行再生产对茶渣的不可再生性有改善作用。在茶叶加工阶段, Taulo 等^[22]运用CML方法对红茶的环境影响进行评估,发现全球变暖对环境影响的占比高达88%,其次是土壤的酸化和富营养化,研究表明物质和能量流分析(MEFA)能够实现对环境问题的

早期识别,可用其改善相关工厂的运营优先次序。Cichorowski 等^[23]选用LCA方法对大吉岭茶的生产和加工进行碳足迹评估,并且对多种情景进行建模,结论表明,水的煮沸过程、洲际运输和耕作是温室气体的主要来源。在消费阶段, Azapagic 等^[24]首次考虑了红茶生产和消费对全球变暖潜力的影响,并且以此确定其对气候变化的贡献,结果表明生产规模不影响全球变暖潜力,主要影响GWP的是茶叶消费环节。例如,泡茶时烧开的水量增加1倍对环境污染接近翻倍,而英国通常将牛奶和茶一起喝,总体影响增大了3倍。近年我国新式茶饮发展迅猛,其中奶茶的消费占有很大比例,因此在研究我国茶叶消费环节的环境污染时,新式茶饮带来的环境影响值得重视。

伊朗是重要的产茶国之一,主要的产茶区聚集于伊朗北部,这也是多数研究者重点关注的地区,如表1中所示,伊朗相比其他国家的研究较为全面。Farshad 等^[25]在总结前人研究进展的基础上对伊朗红茶全生命周期的环境影响问题展开研究,该研究在LCA基础上加入生态效率计算(EE)评估茶叶在该地区的环境经济效益,首次比较了4种包装方案,并且提供了茶产业链生命周期和经济效益结合评估的有效方法。Khanali 等^[26]通过人工神经网络(ANN)模型与LCA结合,对伊朗桂兰省红茶、绿茶和乌龙茶加工过程带来的环境影响进行评估,结果表明生命周期中用于干燥、包装的柴油和纸箱是造成环境污染的主要因素;同时指出关于茶产品能量与环境方面的研究较少,探讨了ANN模型结合LCA方法的可行性,在保留了LCA完整性的前提下,ANN模型优化了管理者的工作,同时进一步为管理者指导决策,但关于消费阶段的数据收集不足,因此没有考虑该环节的环境热点。Hamed 等^[27]将数据包络分析(DEA)和LCA结合,同时采用常数规模回报(CCR)和变量规模回报(BCC)模型对10个影响类别进行评估,以确定伊朗桂兰茶叶生产的能源效率并减少环境负担。其中DEA和LCA结合使用能够评估决策效率和环境绩效,提高能源效率的同时降低环境影响。

表1 国外茶产业链环境影响LCA研究对比

研究对象	区域	方法	系统边界	研究目的	环境影响	参考文献
红茶、冰茶、速溶茶	土耳其	LCA	茶生产、回收过程	a, c, d	CED, GWP	[21]
红茶	马拉维	CML、LCA	加工厂	a, c,	GWP, AP, EP, HT, POFP	[22]
红茶	肯尼亚	LCA	全生命周期	a, b, c, g, i	GWP	[24]
红茶	印度	碳足迹	农资生产-加工厂	a, b, c, g, i	GWP	[23]
红茶	伊朗	CML-IA 基线方法、LCA	全生命周期	a	GWP, ADP, AP, EP, ODP, HT, AT, MT, TT, POFP	[25]
红茶、绿茶、乌龙茶	伊朗	ANN模型、LCA	加工厂	a, d	GWP, ADP, AP, EP, ODP, HT, AT, MT, TT, POFP	[26]
伊朗桂兰省茶叶	伊朗	DEA、LCA	农资市场-茶园	a, b, h	GWP, ADP, AP, EP, ODP, HT, AT, MT, TT, POFP	[27]
斯里兰卡茶	斯里兰卡	LCA	收获-加工厂	a, f	GWP	[28]
正统茶、绿茶	斯里兰卡	LCA 供应/价值链分析结合	全生命周期	a, b, c, f, i	CED, GWP	[29]

注: a-确定研究对象生产系统中的环境热点, b-描述改善环境表现的改进策略, c-比较不同研究对象或产品的环境负担, d-比较不同类型研究对象的环境负担, e-比较不同的耕作方式(常规/有机或机械/人工收获), f-比较不同地形(高/中/低海拔)或地区的研究对象, g-比较不同生产规模的研究对象, h-比较不同的环境评估方法, i-评估供应链的环境特性。GWP-全球变暖潜势, CED-初级能量消耗, WD-水资源消耗, ADP-非生物资源消耗潜势, AP-酸化潜势, EP-富营养化潜势, ODP-臭氧层消耗潜势, HT-人类毒性, AT-淡水生态毒性, MT-海洋生态毒性, TT-陆地生态毒性, POFP-光化学氧化形成潜势。下同。

茶叶是斯里兰卡国家主要外汇收入之一。Vi-danagama等^[28]通过分析斯里兰卡茶叶和橡胶行业的温室气体排放,在与茶叶有关的清单分析中得出结论:茶叶加工阶段温室气体排放贡献最大,其中电力是主要排放源。Mohan等^[29]运用LCA和价值/供应链分析斯里兰卡茶叶生产的可持续性,通过对环境、社会及经济的可持续性影响进行评估,结果发现该行业存在能源效率低下、温室气体排放、职业健康危害等问题。与传统的价值链分析强调降低生产阶段成本为企业创造更高价值不同的是,该研究将系统边界设定为从种植到消费后茶废料处理的全生命周期,并且进一步识别环境和能耗热点,提高效率并减少排放,实现产业可持续发展。

同样是关于经济效益和环境影响的关系,Kurup等^[30]关注到许多研究忽略了生产能源和成本的关系,以康普茶为研究对象,通过重复试验和数据收集计算得知糖和红茶菌饮料能量消耗份额最高,认为增加红茶菌饮料生产装置的容量,投入成本将会按分配比各自降低。

综上所述,国外茶产业链LCA研究起步较

早,有更为深厚的研究基础。在茶产业链的各个阶段都有环境影响评估成果,也有针对多个环境影响因素展开的全面性评估,还有将经济、资源和环境等多方面共同分析的综合性研究;多种方法或模型和LCA结合的研究模式也为研究者们展现了更多的可能性,这些对于我国茶产业链LCA研究都具有重大的参考价值,但仍需优化:第一,目前大部分的研究对象以红茶为主,相对单一;第二,缺少统一的环境影响评价指标;第三,消费环节的环境影响研究不够深入等。科研工作者后续可展开更完善的研究,并且对实施改进策略的地区进行二次生命周期评估,以检验研究成果。

3.2 我国茶产业链环境影响LCA研究进展

在茶产业链环境影响研究领域,国内学者分别针对乌龙茶、东山茶和绿茶展开相关研究。如表2中所示,先后开展了关于乌龙茶和东山茶生命周期环境影响的研究,二者的研究目的都是通过研究确定生产系统中的环境热点并提出改善环境表现的改进策略。Chiu^[31]量化了乌龙茶生产和消费的全生命周期中全球变暖潜能和潜在营养化两个

方面的环境影响,提出数据库的收集是目前研究最主要的问题之一,大多茶园是家庭所有制,因此种植过程中的许多决策是依据农民自身不具有科学理论支撑的判断和经验,并且农户也没有保存相关历史数据。Hu等^[32]采用LCA方法对东山茶的环境影响和碳排放进行评估,研究发现环境影响的主要因素来自生产阶段的化肥投入、茶叶制造用电和消费阶段的煮水用电,因而提出高效沸水设施和保温方法、施用有机肥等可改善上述问题。在绿茶研究方面,徐强^[33]指出我国茶叶生产过

程中化肥施用过量、加工能源不可再生等问题,并且出口茶的环境影响和经济效益都高于内销,该研究首次将经济、资源和环境3方面进行综合分析。He等^[34]以我国绿茶碳排放为切入点,发现消费阶段的电力消耗和种植阶段的施肥是碳排放的主要来源,未来清洁能源和新型肥料的普及能够降低二者的碳排放。

综上所述,近年来国内逐渐开展茶产业链环境影响生命周期评价研究,但相较国外有差距,仍需不断推进相关科研工作进展。

表2 国内茶产业链环境影响LCA研究对比

研究对象	方法	系统边界	研究目的	环境影响	参考文献
乌龙茶	LCA	收获-饮茶	a, b	GWP, EP	[31]
东山茶	SimaPro version 8.0.2、IMPACT2002+	全生命周期	a, b	GWP	[32]
绿茶	LCA	生产阶段	a, b, c, d	GWP, AP, EP	[33]
绿茶	LCA	摇篮-坟墓	b, d	GWP	[34]

4 讨论

农业生产所产生的环境影响是造成温室效应(碳排放)等环境污染的原因之一。目前将生命周期评估运用于农业生产中已成为国内研究热点,通过LCA方法改善环境将成为可持续发展的重要手段。本文整理总结了LCA在我国农业环境影响中的应用、茶产业链的内涵与研究、国内外茶产业链环境影响LCA研究进展,旨在能够为我国茶产业的可持续发展研究提供参考,促进生命周期评价方法在茶叶相关研究中的应用。目前茶产业链环境影响生命周期的评价研究在以下几方面还有所欠缺:首先,茶产业链环境研究主要集中在国外,我国作为主要产茶国之一,对茶叶LCA研究进程较缓慢,且六大茶类中仅对绿茶和乌龙茶的环境影响开展了研究;其次,数据收集不完整,消费环节的环境影响研究较少,应加快国内相关数据库建设;第三,LCA本地化研究进程缓慢,具体表现为缺少统一的环境影响指标、缺少适宜的环境评价模型等;最后,国内多数研究仅就环境影响方面展开讨论,可参照国外不同评价模型与LCA结合,对茶产业链进行多维度评价分析。

因此,基于目前国情政策和已有研究基础,国内科研工作者们很有必要在茶产业链中引入LCA方法并展开深入研究,这对于保护我国环境和促进茶产业可持续发展有着重要的现实意义。

参考文献

- [1] MACFARLANE A, MACFARLANE I. The empire of tea[M]. New York: The Overlook Press, 2004.
- [2] 顾阳,刘瑾,刘春沐阳. 中国茶业的使命担当[N]. 经济日报, 2022-06-09(1).
- [3] 农业农村部印发贫困地区茶产业稳定发展指导意见[J]. 中国茶叶加工, 2020(2): 70.
- [4] 农业农村部 国家市场监督管理总局 中华全国供销合作总社关于促进茶产业健康发展的指导意见[J]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2021(10): 19-22.
- [5] 农业农村部关于落实好党中央、国务院2021年农业农村重点工作部署的实施意见[J]. 畜牧产业, 2021(4): 6-12.
- [6] 赵国庆,洪湃,班华,等. 碳达峰碳中和背景下稀土产品的生命周期评价[J]. 有色金属工程, 2022, 12(5): 144-148.
- [7] 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.
- [8] XUE J F, PU C, LIU S L, et al. Carbon and nitrogen footprint of double rice production in Southern China[J]. Ecological Indicators, 2016, 64: 249-257.

- [9] 岳骞, 吴思远, 张岳芳, 等. 不同水旱轮作模式全生命周期温室效应及经济效益评价[J]. 农业环境科学学报, 2022, 41(8): 1825-1835.
- [10] 金家铭, 刘晓宇, 陈寅. 设施蔬菜种植对土壤有机碳的影响研究[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(3): 18-20.
- [11] 乔远, 杨欢, 雒金麟, 等. 西北地区玉米生产投入及生态环境风险评价[J]. 中国农业科学, 2022, 55(5): 962-976.
- [12] 丁佳莹, 董黎明, 刘岩峰, 等. 生命周期评价在玉米种植及深加工产品中的应用[J]. 中国环境科学, 2021, 41(11): 5405-5415.
- [13] 郭瑞萍, 秦梦婕. 产业链现代化的马克思主义政治经济学理论溯源[J]. 生产力研究, 2022(5): 12-16, 161.
- [14] 管曦. 中国茶产业链纵向整合研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2012.
- [15] 肖胜昔. 茶叶加工企业前向整合产业链的经济学分析[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(19): 84-88.
- [16] 洪文生. 茶产业链梳理与发展模式探讨[J]. 福建茶叶, 2021, 43(10): 54-55.
- [17] 钟福亚, 王凤忠. 茶叶精深加工产业链思考[J]. 茶叶, 2020, 46(3): 156-159.
- [18] 陈馨. 江苏省苏州市金庭镇茶产业链模式调研发展研究——以江苏省金庭镇茶叶为例[J]. 商, 2015(17): 286.
- [19] 张海峰. 农村茶产业链整合创新的内部影响因素分析[J]. 福建茶叶, 2018, 40(9): 343.
- [20] ISO (International Organization for Standardization). Environmental management-life cycle assessment- principles and framework: ISO 14040: 2006[S]. Geneva: ISO, 2006.
- [21] PELVAN E, ÖZILGEN M. Assessment of energy and exergy efficiencies and renewability of black tea, instant tea and ice tea production and waste valorization processes[J]. Sustainable Production and Consumption, 2017, 12: 59-77.
- [22] TAULO J L, SEBITOSI A B. Material and energy flow analysis of the Malawian tea industry[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 56(C): 1337-1350.
- [23] CICHOROWSKI G, JOA B, HOTTENROTH H. et al. Scenario analysis of life cycle greenhouse gas emissions of Darjeeling tea[J]. Int J Life Cycle Assess, 2015, 20(4): 426-439.
- [24] AZAPAGIC A, BORE J, CHESEREK B, et al. The global warming potential of production and consumption of Kenyan tea[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112: 4031-4040.
- [25] FARSHAD S F, HAMED K P, MAHMOUD G N R, et al. Cradle to grave environmental-economic analysis of tea life cycle in Iran[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 196: 953-960.
- [26] KHANALI M, MOBLI H, HOMA H B. Modeling of yield and environmental impact categories in tea processing units based on artificial neural networks[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2017, 24(34): 26324-26340.
- [27] HAMED K P, ASHKAN N P, O'DWYER J, et al. Environmental management of tea production using joint of life cycle assessment and data envelopment analysis approaches[J]. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2017, 36(4): 1116-1122.
- [28] VIDANAGAMA J, LOKUPITIYA E. Energy usage and greenhouse gas emissions associated with tea and rubber manufacturing processes in Sri Lanka[J]. Environmental Development, 2018, 26: 43-54.
- [29] MOHAN M, YVANI D, NISITHA D, et al. Economic, social and environmental impacts and overall sustainability of the tea sector in Sri Lanka[J]. Sustainable Production and Consumption, 2017, 12: 155-169.
- [30] KURUP R K, KURUP P A. Energy and cost analyses of kombucha beverage production[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 55: 668-673.
- [31] CHIU Y W. Environmental implications of taiwanese Oolong tea and the opportunities of impact reduction[J]. Sustainability, 2019, 11(21): 6042.
- [32] HU A H, CHEN C, HUANG L, et al. Environmental impact and carbon footprint assessment of taiwanese agricultural products: A case study on taiwanese dongshan tea[J/OL]. Energies, 2019, 12(1): 138. <https://doi.org/10.3390/en12010138>.
- [33] 徐强. 浙江省绿茶生产的环境影响与减排潜力研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2020.
- [34] HE M B, ZONG S X, LI Y C, et al. Carbon footprint and carbon neutrality pathway of green tea in China[J]. Advances in Climate Change Research, 2022, 13: 443-453.