

LCA 数据库专题竞赛

参赛报告

参赛小组信息：

LCA 数据集名称：中国出口绿茶

小组成员：徐 强

指导老师：胡克林

大学/学院：中国农业大学 资源与环境学院

一、 技术代表性分类和目标代表性定义

本小组选择【中国出口绿茶】作为 LCA 研究的目标产品。

通过查阅资料，对“中国出口绿茶 LCA”的技术代表性进行了分类分析，并最终明确定义了本研究的目标代表性。

1、 中国出口绿茶产品的技术代表性分类分析

(1) 技术代表性的基本分类与单元过程划分

表 1 中国出口绿茶的技术代表性基本分类与单元过程划分

分类方法	分类结果与解释
1、按基本工艺技术分类	绿茶初制加工主要工艺为“杀青-揉捻-干燥”，根据初加工方式的不同可分为四种基本工艺技术（由于各种工艺能耗不同，因此对 LCA 结果影响不同）： <ul style="list-style-type: none">炒青绿茶工艺：“杀青-揉捻-炒干”（如珠茶、眉茶、龙井等）蒸青绿茶工艺：“蒸青-揉捻-干燥”（如恩施玉露等）晒青绿茶工艺：“杀青-揉捻-晒干”（如云南沱茶等）烘青绿茶工艺：“杀青-揉捻-烘干”（如黄山毛峰、太平猴魁等） 本表以下分类均基于“炒青”工艺技术
2、按主要原料种类分类	按采摘方式可分为：手采鲜叶（一芽一、二叶或单芽，即嫩叶或芽）和机采鲜叶（一芽五、六叶，即老叶）等。同一株茶树，会先手采嫩叶用于加工生产名优茶，后机采老叶用于加工生产大宗茶。同一地块，嫩叶年产量仅为 150 kg/亩年，老叶年产量可达到 1400 kg/亩年。假设施肥量线性分配给名优茶原料和大宗茶原料，那么单位质量的嫩叶和老叶的耗肥量具有显著差异，对最终 LCA

	<p>结果影响较大。</p> <p>按茶树品种可分为：小叶种茶树和大叶种茶树。用作珠茶生产茶园的苗木品种可选用迎霜、福丁白毫、翠峰、劲峰等中小叶类茶树良种。</p> <p>本表以下分类均基于嵊州地区小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶</p>
3、在数据调查范围中划分单元过程	<p>珠茶供应链通常从茶园种植开始到运输分配为止。</p> <p>从各种资料中分生产过程的数据可得性考虑，LCA模型中可以划分4个单元过程：茶园种植、初制加工、精制加工、运输分配。</p>

(2) 单元过程的技术代表性细分

表 2 绿茶生产单元过程的技术代表性细分

单元过程 技术 代表性细分	茶园种植	初制加工	精制加工	运输分配
(1) 产品规格型号	未区分	炒青绿茶按照外形又可分为长炒青(如眉茶)、圆炒青(如 珠茶)和细嫩炒青(如龙井茶)	珠茶精制加工后会按照外形、紧凑度等区分不同等级，本研究不做区分	未区分
(2) 原辅料类型	一芽五、六叶(小叶种茶树)	一芽五、六叶茶鲜叶	<ul style="list-style-type: none"> 干毛茶 糯米糊 本研究不做区分	未区分
(3) 能耗类型	采茶会用到少量柴油，未区分	主要使用煤，未区分 兼用电力(华东电网电力混合)	<ul style="list-style-type: none"> 煤(未区分煤炭种类) 电(华东电网电力混合) 本研究不做区分	未区分
(4) 工艺设备类型	机采一芽五、六叶(采茶机)	珠茶初加工： <ul style="list-style-type: none"> 杀青机 揉捻机 干燥机(炒锅) 	大宗茶精加工实质是茶叶分级，需要筛、风、切、拣规格化。因此精加工工艺均不作区分。	未区分
(5) 生产规模类型	平均水平：21000 kg 鲜叶/ha yr	平均水平：25 kg 干毛茶/h	大规模：10000 t 成品珠茶/yr	未区分
(6) 辅助工艺设备类型	未区分	未区分	未区分	未区分

2、目标代表性定义

(1) 选定技术代表性

从资料调研中知道，以嵊州地区（珠茶道地产区）小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶为主要原料、初加工以圆炒青为干燥方式，精加工经筛、风、切、拣规格化，以煤和电为主要能源生产的绿茶，占到中国出口绿茶市场份额 60% 以上。因此是中国出口绿茶 LCA 数据集开发的首选基本技术代表性。

(2) 选定目标代表性：

本 LCA 研究的目标代表性定义为：以嵊州地区小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶为主要原料、初加工以圆炒青为干燥方式，精加工经筛、风、切、拣规格化，以煤和电为主要能源生产的绿茶。数据应代表中国 2017 年行业（技术）平均水平。

The screenshot shows the '目标与范围定义' (Goal and Scope Definition) tab in the eFootprint software. The interface is divided into several sections:

- 产品信息 (Product Information):**
 - 产品名称 (Product Name): 中国出口珠茶
 - 规格型号 (Specifications): 不区分茶叶等级
 - 研究类型 (Research Type): 行业LCA-代表特定技术/全行业/市场平均水平 (用于流程行业数据库和...)
 - 产品类别 (Product Category): 圆炒青绿茶
 - 形状与形态 (Shape and Form): 颗粒/粉末
 - 功能单位与基准流 (Functional Unit and Reference Flow): 1kg 中国出口成品珠茶
- 研究范围 (Study Scope):**
 - 系统边界 (System Boundary): 生命周期-生产阶段 (从资源开采到产品出厂)
 - 产地 (Location): 中国
 - 工艺设备 (Equipment): 炒青机械 (干燥方式为炒青)
 - 主要原料 (Raw Materials): 嵊州地区小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶
 - 实景过程范围 (Real-world Process Scope): 茶园种植、初制加工、精制加工到全过程运输分配
 - 基准年 (Reference Year): 2017
 - 生产规模 (Production Scale): 年产量一万吨成品珠茶
 - 主要能耗 (Main Energy Consumption): 常规煤和电
- 数据质量评估 (Data Quality Assessment):** CLCD方法
- 项目信息 (Project Information):**
 - 1) 项目名称
 - 2) 委托方
 - 3) 委托目的
 - 4) 潜在应用

取舍规则 (Inclusion/Exclusion Rules):

- 普通物料重量 < 1% 产品重量时，以及含稀贵或高纯成分的物料重量 < 0.1% 产品重量时，可忽略该物料的上游生产数据；总共忽略的物料重量不超过 5%；
- 低价值废物作为原料，如粉煤灰、矿渣、秸秆、生活垃圾等，可忽略其上游生产数据；
- 大多数情况下，生产设备、厂房、生活设施等可以忽略；
- 在选定环境影响类型范围内的已知排放数据不应忽略。

图 1 LCA 模型的目标代表性定义（eFootprint 截图）

二、 LCA 数据集文档

数据集名称：中国出口绿茶-圆炒青珠茶-中国-2017

1、系统功能与系统边界

系统功能与基准流：本报告选取两个功能单位：

1) 从初始到农贸市场大门以“1kg 成品茶”为功能单位；

2) 全生命周期以“一杯茶（假设 2 g 干茶+250 ml 开水）”为功能单位。

LCA 研究类型：行业 LCA-代表市场或技术平均水平

产地：中国

基准年：2017 年

系统边界：

1) 从茶园种植、初制加工、精制加工到运输分配为止（“从摇篮到农贸市场大门”）

2) 从茶园种植、初制加工、精制加工、运输分配、饮用到废弃为止（“全生命周期”）

- **实景过程：**划分为茶园种植、初制加工、精制加工、运输分配四个单元过程。
- **主要情景：**饮用和废弃并未进行实地调研，采用情景分析。
- **背景过程：**采用背景数据库，追溯了各种原料的上游生产过程直到资源开采为止。

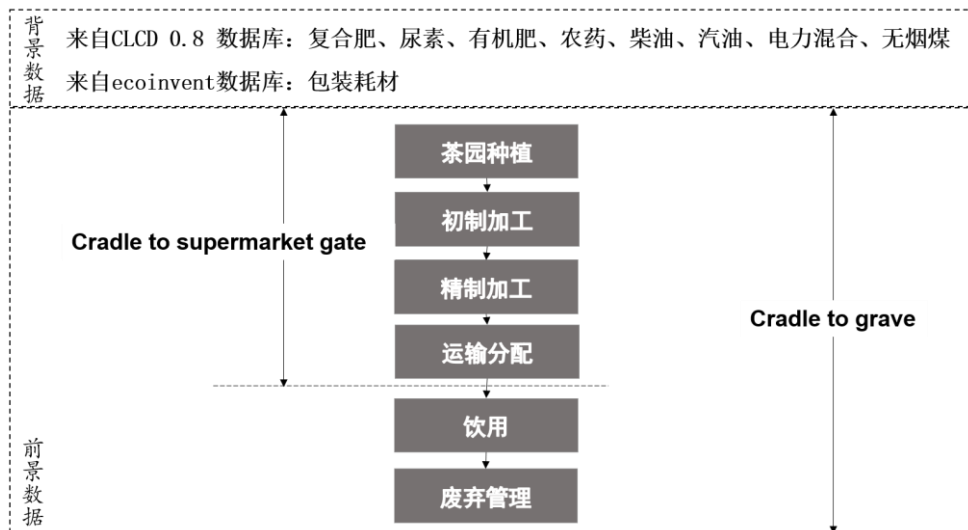


图 2 中国出口珠茶供应链系统边界

2、实景过程数据代表性

产品种类与规格：中国出口绿茶——圆炒青珠茶

主要技术代表性：以嵊州地区小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶为主要原料、初加工以圆炒青为干燥方式，精加工经筛、风、切、拣规格化，以煤和电为主要能源生产的绿茶。

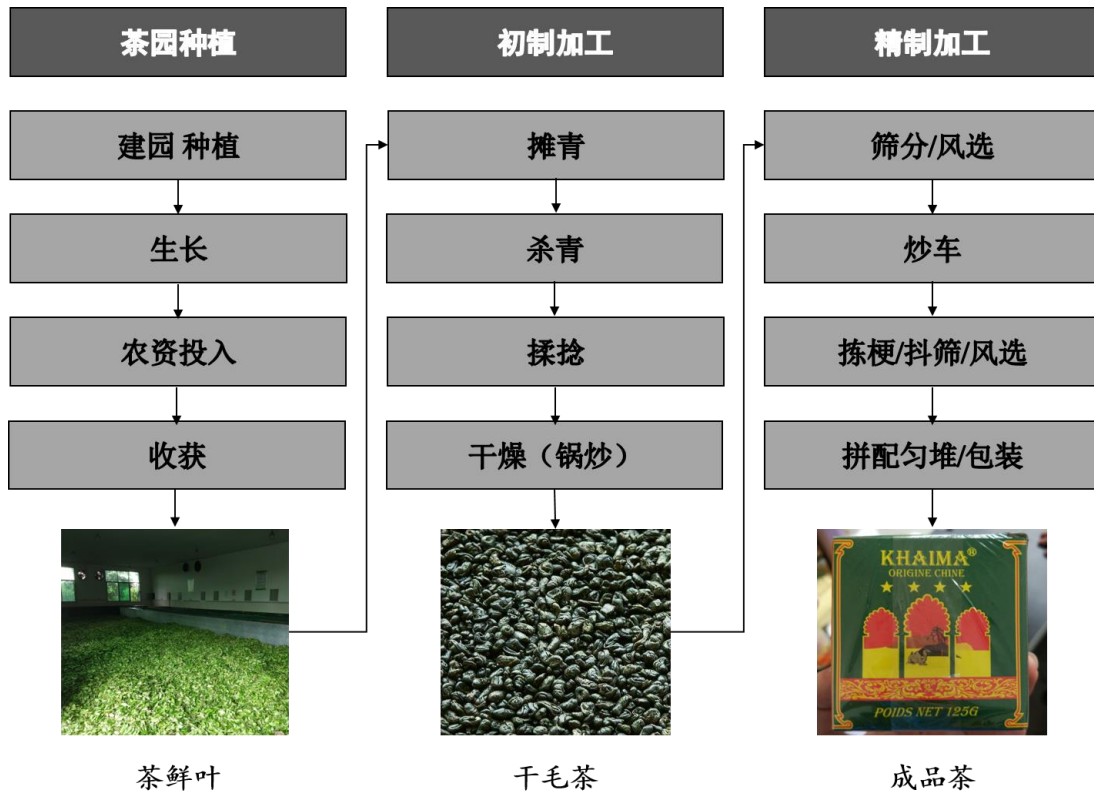
表 3 主要技术代表性

单元过程 \ 类别	阶段	工艺设备与规模	主要消耗	主要排放
茶园种植	建园种植	-	柴油	CO ₂ 、SO ₂ 、PM2.5
	生长	-	-	N ₂ O、NO _x 、NH ₃ 、NO ₃ ⁻ 、P、
	农资投入	-	化肥农药等	CO ₂ 、SO ₂ 、PM2.5
	收获	采茶机	柴油	CO ₂ 、PM2.5
初制加工	摊青	-	-	-
	杀青	滚筒杀青机	煤、电	CO ₂ 、SO ₂
	揉捻	揉捻机	电	CO ₂ 、SO ₂
	干燥	炒茶机	煤、电	CO ₂ 、SO ₂
精制加工	生取工段	筛分机、风选机	电	CO ₂ 、SO ₂
	炒车工段	炒茶机	煤、电	CO ₂ 、SO ₂
	净取工段	捡梗机、抖筛机、风选机	电	CO ₂ 、SO ₂
	拼配匀堆	匀堆机	电	CO ₂ 、SO ₂
	包装	包装机若干	电	CO ₂ 、SO ₂
运输分配	-	-	柴油	CO ₂ 、SO ₂ 、PM2.5
饮用	-	-	电等	CO ₂ 等
废弃管理	-	卫生填埋		CO ₂ 等

主要数据来源：按珠茶生产的前后顺序可分为三个环节：农民种茶并采摘鲜叶——茶叶初制加工——茶叶精制加工及拼配包装出口。本研究前景数据采用走访调研的方式获得，茶园种植农资投入的数据来源于茶农的实际估算，有效调研问卷为 105 份；茶叶初制加工阶段投入产出数据来源于 55

家初制厂；珠茶精制加工投入产出数据来源于嵊州市华发茶业有限公司，该公司珠茶年产量达一万吨以上，平均出口在 4000 万美元左右，可以代表珠茶精制加工行业平均水平。调研过程中同时收集主要物资（种苗、鲜叶、干毛茶、成品茶、农药、化肥、包装、煤等）的运输分配情况。饮用和废弃物管理单元数据来源于文献综述并用情景分析进行估算。

实景过程工艺流程图：珠茶生产主要包括三个阶段，即茶园种植，初制加工和精制加工。



排放估算：茶树生长过程中由于施肥等引起的田间排放系数引自本区域参数。 N_2O-N 的排放取总 N 投入的 3.09%， NH_4-N 取总 N 投入的 11.14%，硝酸盐径流损失以总 N 投入的 0.1% 计。氮氧化物排放根据 IPCC 推荐值以 N_2O 排放总量的 21% 计。总磷流失以总 P 投入的 0.02% 计。

3、建模方法

副产品：无副产品

再生循环：无再生原料消耗，无废弃再生过程

取舍规则：符合 CLCD 取舍规则。

缺失过程：无

背景过程数据库：主要原料（复合肥、尿素、有机肥、柴油、汽油、电力混合、无烟煤等）均来自 CLCD 0.8 数据库，包装耗材（纸盒和瓦楞纸箱）碳排放参数来自 Ecoinvent 数据库。

软件工具：采用亿科 eFootprint 系统，在线完成全部 LCA 工作，包括建模、计算分析、数据质量评估、LCA 结果发布。

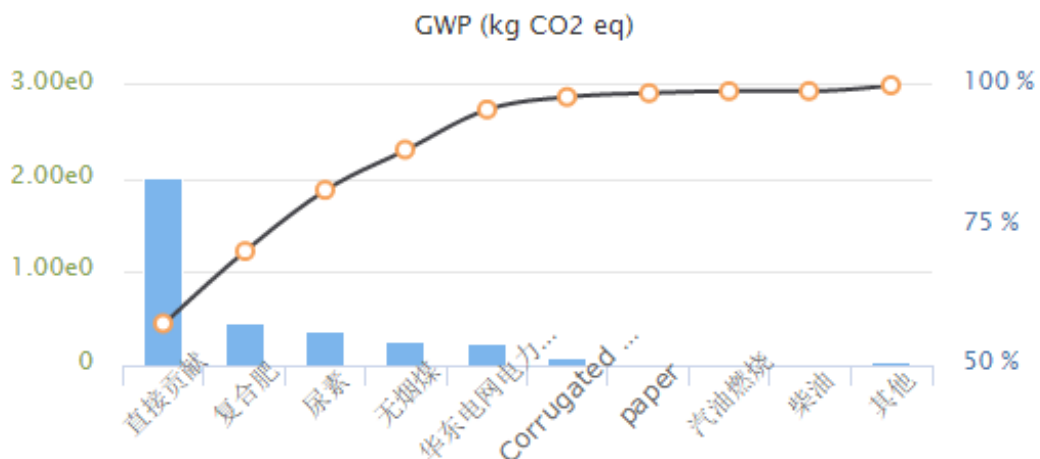
4、LCA 结果分析

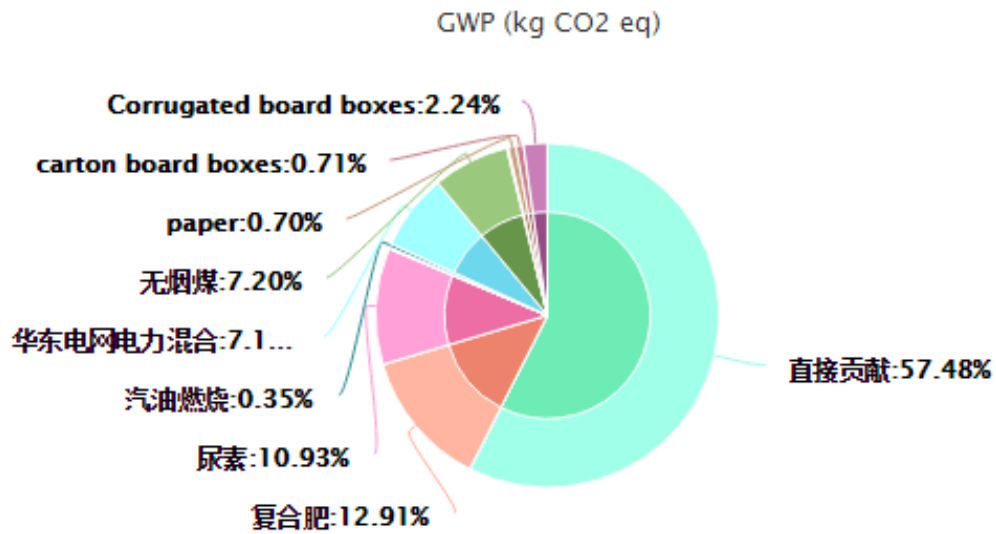
4.1 从初始至农贸市场大门

- **过程累积贡献分析：**以 GWP（全球暖化/碳足迹）、AP（酸化）、EP（水体富营养化）三个指标为例。



- **单个过程的贡献分析：**以珠茶生产和全球暖化指标的 Pareto 图和双饼图为例。





- **清单数据灵敏度分析：**实景过程的各项消耗与排放对 LCA 结果的贡献率（即灵敏度），由此排序可以识别重要的消耗排放。

eFootprint 官方操作指南

中国出口珠茶 目标与范围定义 生命周期模型 **LCA结果** 评审

累积贡献 灵敏度分析 完整性检查 数据质量评估 报告与发布

基准流 :tea-中国出口珠茶(1kg)

过程名称	清单名称	上游数据类型	GWP (kg CO ₂ eq)	PED (MJ)	ADP (kg Sb eq)
tea	复合肥	背景AP	12.91%	11.28%	75.79%
tea	Corrugated board boxes	背景AP	2.24%	4.18%	4.40%
tea	无烟煤	背景AP	7.20%	61.65%	8.07%
tea	carton board boxes	背景AP	0.71%	1.56%	2.17%
tea	尿素	背景AP	10.93%	12.03%	1.94%
tea	华东电网电力混合	背景AP	7.16%	6.43%	0.87%
tea	paper	背景AP	0.70%	1.92%	5.76%
tea	聚乙烯袋	背景AP	0.17%	0.24%	0.21%
tea	汽油燃烧	背景AP	0.35%	0.31%	0.34%
tea	汽油	背景AP	0.08%	0.31%	0.33%
tea	柴油燃烧	背景AP	0.07%	0.05%	0.06%
tea	柴油	背景AP	0.01%	0.05%	0.06%
tea	有机肥	背景AP	0.00%	0.00%	0.00%

4.2 全生命周期结果

- **过程累积贡献分析：**图 3 显示了一杯珠茶的碳足迹累积贡献。

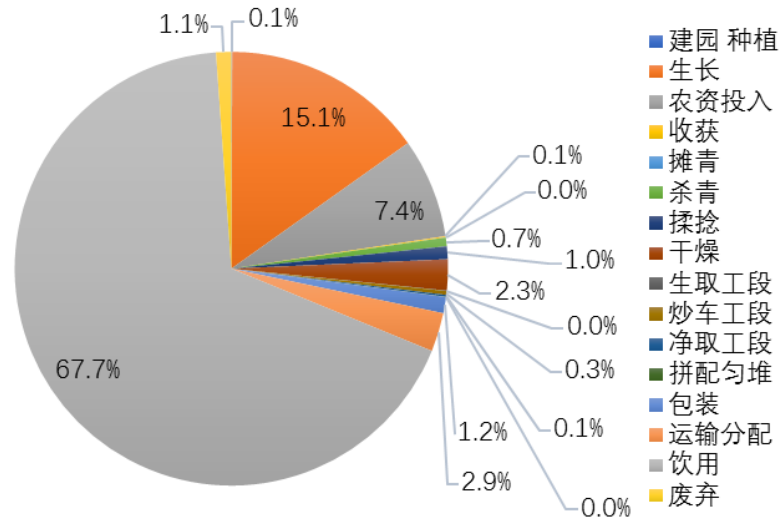


图 3 全生命周期珠茶碳足迹累积贡献分析

5、CLCD 数据质量评估

- **识别重要数据：**eFootprint 计算每一项消耗或排放对各项 LCA 指标的灵敏度，然后按其最大的灵敏度排序。

过程名称	清单名称	最大灵敏度	评估状态
tea	氨 [排放到大气 (未指定类型)]	AP (kg SO2 eq):83.86%	已评估
tea	复合肥	ADP (kg Sb eq):75.79%	已评估
tea	无烟煤	PED (MJ):61.65%	已评估
tea	氧化亚氮 [排放到大气 (未指定类型, 长期)]	GWP (kg CO2 eq):57.48%	已评估
tea	尿素	WU (kg):56.00%	已评估
tea	Corrugated board boxes	ODP (kg CFC-11 eq):27.25%	已评估
tea	carton board boxes	ODP (kg CFC-11 eq):17.70%	已评估
tea	华东电网电力混合	GWP (kg CO2 eq):7.16%	已评估
tea	paper	ODP (kg CFC-11 eq):6.97%	已评估
tea	汽油燃烧	ODP (kg CFC-11 eq):4.79%	已评估
tea	汽油	ODP (kg CFC-11 eq):4.75%	已评估

图 4 CLCD 数据质量评估 (eFootprint 截图)

- **不确定度评估：**eF/CLCD 系统采用谱系矩阵评估主要消耗和排放（灵敏度>1%）的不确定度，以及主要消耗连接的背景数据的匹配不确定度。
- **LCA 结果的不确定度：**最终得到每项 LCA 指标结果的不确定度，如图 5。用户可以根据不确定度结果，补充收集数据，迭代改进。

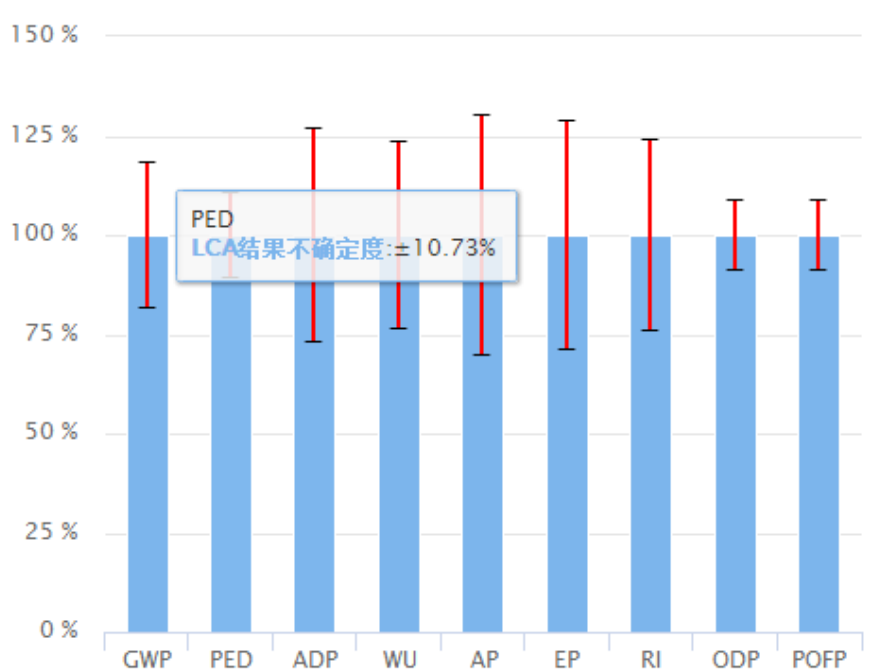


图 5 LCA 结果的不确定度

6、数据集适用范围

- 中国是世界上绿茶年产量最高的国家，中国绿茶在六大类茶叶中占据 65% 的比重。炒青绿茶在各类绿茶中占比最大，其中珠茶是中国出口量最多的绿茶品类，占到中国出口绿茶市场份额 60% 以上。因此，绝大多数情况下绿茶产品研究可借鉴本数据集所建立的珠茶 LCA 模型。
- 成品茶 LCA 结果受原料（茶鲜叶）种类和加工工艺影响很大，作为示例本数据集文档仅描述了以浙江省嵊州地区小叶种机采一芽五、六叶茶鲜叶为主要原料的圆炒青珠茶（初加工以圆炒青为干燥方式）的 LCA 结果。
- 其他类型成品绿茶，如蒸青绿茶、烘青绿茶和晒青绿茶，由于原料（茶鲜叶）种类和初加工工艺具有较大差别，其 LCA 结果可借鉴本研究，但应该另行收集数据。
- 其他类型成品茶叶，例如全发酵的红茶、后发酵的黑茶（以大叶种鲜叶原料为主）、不炒不揉的白茶、轻微发酵的黄茶和半发酵的乌龙茶等，由于原料（茶鲜叶）种类和加工工艺相差较大，其 LCA 结果有显著不同，应该另行收集数据。