

双碳背景下白酒企业产品碳足迹测算及减排路径研究

马俊龙

泸州老窖股份有限公司（国家固态酿造工程技术研究中心），四川 泸州 646000

DOI:10.61369/ER.2025030009

摘要：在“双碳”目标引领下，白酒行业作为高附加值、高能耗的典型产业，亟需开展产品层面的碳足迹量化与减排路径研究。本文根据 ISO 14067 与 GB/T 24067—2024 标准，并与啤酒、果汁、牛奶进行横向对比。结果显示，白酒碳足迹达 2.9–4.2 kg CO₂ e/500mL，约为啤酒的 7 倍、果汁的 6 倍、牛奶的 4 倍，且排放高度集中于“原料+制造”双环节（占比超 85%），主要源于高氮种植、高温蒸馏及“北粮南酿”运输结构。基于茅台等企业实践，提出覆盖绿色原料、甲烷回收、热泵蒸馏与包装轻量化的差异化减排路径，并建议制定白酒自愿减排方法学、推行碳标签与绿色信贷，为行业低碳转型提供系统量化工具与政策依据。

关键词：白酒；产品碳足迹；生命周期评价；双碳；减排路径

Product Carbon Footprint Accounting and Mitigation Pathways for Chinese Baijiu Enterprises under the Dual-Carbon Target

Ma Junlong

Luzhou Laojiao Co., Ltd. (National Solid State Brewing Engineering Technology Research Center),

Luzhou, Sichuan 646000

Abstract : Under China's dual-carbon goals, this study analyzes baijiu's carbon footprint using ISO 14067 and GB/T 24067–2024 standards. Results show baijiu's footprint (2.9–4.2 kg CO₂e/500mL) is 4–7 times higher than beer, juice, or milk, with over 85% emissions from raw material and manufacturing stages. Key factors include high-input crop cultivation, energy-intensive distillation, and long-distance grain transport. The study proposes targeted solutions: green agriculture, methane recovery, heat pump distillation, and lighter packaging, supported by carbon labeling and green finance policies. This provides a systematic approach for the industry's low-carbon transition.

Keywords : Chinese Baijiu; product carbon footprint; life-cycle assessment; dual-carbon target; mitigation pathway

引言

研究背景

2020年，中国明确提出“2030年前碳达峰、2060年前碳中和”的“双碳”目标，标志着经济社会发展全面绿色转型。作为衔接民生与资源消耗的关键行业，食品饮料业的低碳发展对构建低碳社会意义重大。碳达峰是指碳排放量达峰后稳步下降^[1]，碳中和强调通过减排与清除实现净零排放^[2]，二者共同构成生态文明建设的关键路径。白酒产业虽未被列入高耗能行业名录，但其酿造过程对热能、水资源的高度依赖，使其成为食品工业绿色转型的重要样本。随着 GB/T 32151.25–2024 等标准的出台，白酒行业碳管理进入全生命周期精细化阶段。在此背景下，系统开展白酒产品碳足迹量化研究，识别关键排放节点，并进行跨品类对标，对促进行业低碳发展具有重要现实意义。

一、研究基础与系统边界

(一) 产品碳足迹 (PCF) 通用方法

我国在产品碳足迹 (PCF) 的标准化建设上已初步建立多层次技术规范体系。PCF 是指基于生命周期评价，量化产品系统温室气

体排放与清除总量，并以二氧化碳当量表示的结果^[3]。在碳足迹测算流程上，完整的核算通常包含四个关键环节：界定目标、边界与功能单位，生命周期清单，影响评价，结果校验。本研究将依此流程推进核算工作。从标准演进来看，我国早期发布的 GB/T 24040—2008 和 GB/T 24044—2008 为碳足迹核算奠定了基本

作者简介：马俊龙 (1989—)，男，汉族，山东青岛人，博士研究生，副教授；研究方向：绿色经济学。

框架。而2024年8月实施的GB/T 24067—2024《温室气体产品碳足迹量化要求和指南》，进一步融合国际生命周期评价逻辑，系统规定了产品全生命周期内温室气体排放与清除的计量原则与实践指引，并明确了部分碳足迹的量化要求。该标准标志着我国产品碳足迹量化方法走向系统化与精细化，为单一产品的碳足迹评估提供了关键依据。

（二）食品饮料行业研究进展

食品饮料行业关联民生与资源消耗，为清晰展现我国食品饮料行业碳足迹管理的标准化进程，本文选取啤酒、乳制品及软饮料作为代表性品类进行阐述。

2025年2月，《温室气体产品碳足迹量化方法与要求啤酒》(T/CAS 1006—2025)发布，标志着啤酒品类碳足迹管理步入标准化阶段。乳制品方面，2025年相继发布《乳制品企业低碳评价技术规范》(T/FDSA 0063—2025)及《产品碳标签核算细则第3部分：乳制品》(DB15/T 4051.3—2025)，构建起从企业评价到产品标签的完整管理框架。软饮料行业虽未发布正式标准，但相关团体标准已于2025年2月立项，预示着量化工作即将有章可循。

综上，上述行业已形成清晰且有序推进的标准化格局，不仅为自身减排提供依据，也为白酒等其他食品品类的碳足迹研究提供了重要参照^[3]。

（三）白酒行业研究空白

白酒行业碳排放研究目前多集中于企业层面或特定环节。尽管《清洁生产标准 白酒制造业》(HJ/T 402—2007)与GB/T 32151.25—2024为企业核算提供依据，但产品层级的碳足迹量化方法仍不成熟，《白酒产品碳足迹量化方法与要求》尚在制定中。缺乏系统测算与横向对比的现状，制约了行业减排策略的精准制定。

二、白酒与其他食品饮料的碳足迹差异分析

（一）各行业结果总览

以下内容是基于各企业已公开的特定产品碳足迹数据，为便于横向比较，已统一换算为以500mL为功能单位的标准值。所有数据均为具体产品的举例，旨在直观展示不同饮料品类间的碳足迹差异。

表1 不同行业碳足迹对比（举例）

产品类别	碳足迹(kg CO ₂ e/500mL)	产品名称（举例）	企业
白酒	4.2	500ml/42%Vol 人生·不惑	安徽文王酿酒股份有限公司
	2.91	品味舍得	舍得酒业股份有限公司
啤酒	0.2295	8度雪花啤酒	华润雪花啤酒（蚌埠工厂）
	0.4393	普通啤酒	广东燕京啤酒有限公司
	0.3468	全品类啤酒	重庆啤酒（嘉士伯中国）

果汁	0.2900	Meco蜜谷果汁茶 (泰式青柠，果汁含量3.9%)	兰芳园食品有限公司
	0.5010	红罐龙安柚复合果汁 饮料	广安龙安柚发展有限公司
牛奶	0.4610–0.8652	/	/

从公开数据及统一换算的碳足迹值来看，白酒碳足迹最显著的特征是绝对数值高位运行且与其他饮品存在巨大倍数差异，这表明高碳排放强度是白酒生产的普遍突出特征，其单位产品环境影响远超啤酒、果汁、牛奶等常见饮品。

（二）各行业特征分析

1. 白酒

根据贵州茅台与泸州老窖2024年ESG报告，白酒产品碳足迹呈“双高峰”特征，主要集中于原材料生产和制造运营阶段，两者合计占比超85%。其中，茅台原材料占45.96%、制造运营占39.20%；泸州老窖原材料占比更高，达71.23%，制造运营为12.62%。这反映上游农业是核心碳源，中游酿造则为高能耗环节。下游运输、废弃等环节占比低，但仍具减排空间。白酒行业实现“双碳”目标，应优先推动绿色种植与清洁能源酿造，以降低全生命周期碳排。

2. 啤酒

根据重庆啤酒2024年ESG报告，啤酒产品碳足迹呈“单峰+长尾”特征。包装材料阶段占比高达63%，是减碳核心；原材料种植与加工占15%；生产、物流与终端冷藏分别占7%、9%与7%，合计37%，具备系统减排潜力。行业实现“双碳”目标，应聚焦包装绿色设计与回收，推动再生农业与本地采购，并协同生产、物流与终端环节的节能技术，以降低全生命周期碳排放。

3. 牛奶（乳制品）

根据伊利2024年报告，牛奶行业碳排呈“单峰+高原”特征^[4]，上游原材料环节占比高达85.4%，其中原辅料生产为主要来源；中下游制造、运输、零售及废弃环节合计不足15%。相较于白酒“双高峰”结构，乳业碳排更集中于前端。实现“双碳”目标需优先推动牧场甲烷减排与低碳饲料，同时加快工厂绿电替代和冷链能效提升，以系统降低全链碳排。

4. 果汁

据太古可口可乐2024年可持续发展报告，可以分析果汁行业在产品生命周期各阶段的碳排放强度和占比。由于目前缺乏专门的果汁企业披露全产业链碳足迹，而太古可口可乐作为大型饮料公司，其产品线中包含大量果汁类产品（如粒橙、美汁源等），因此其碳排放数据可以作为果汁行业的重要参考。

根据太古可口可乐2024年数据，果汁行业碳排放呈“包装—原材料双高峰”特征，两者分别占35%与31%，合计达66%，构成减排重点。生产环节虽仅占6%，但通过技术优化实现40%最大降幅；冷饮设备排放占比22%且持续上升，成为新挑战。行业实现“双碳”目标，需优先推动包装循环与农业低碳化，同步加快

生产清洁能源替代和冷链能效升级，以系统降低全链碳排^[5]。

(三) 各行业差异归因

1. 原材料生产阶段

白酒原材料阶段碳排放高的首要原因在于其极高的粮耗强度^[6]。作为蒸馏酒，白酒生产500毫升成品需消耗2-3公斤高粱、小麦等主粮，粮耗强度达啤酒、果汁的十倍以上，显著放大原料碳足迹。例如，安徽文王酿酒某款白酒的原材料阶段碳排占比高达89.83%。

其次，白酒依赖的高粱、小麦等作物属碳密集型，种植中需大量化肥、农药及灌溉。氮肥使用释放的氧化亚氮温室效应为二氧化碳的200多倍，加上耕作、机械燃油等环节，种植链排放密度远高于水果或大麦^[7]。四川亦将“原料种植”单独列为范围三排放源，泸州老窖与茅台该阶段碳排分别达71.23%和45.96%。

此外，产地与粮区的“空间错配”也加剧碳排^[7]。白酒主产区在川黔皖，而高粱主产地在东北、内蒙古，粮食需长途转运，进一步推高碳足迹。相比之下，啤酒、果汁企业多就近采购，运输环节碳排显著较低。

表2 不同行业原材料差异对比

行业	原材料结构	碳排放强度	碳排占比（企业披露）
白酒	主要包括高粱、小麦、大米、玉米、糯米、大麦、豌豆等粮食作物。	高	茅台：45.96% 泸州老窖：71.23%
啤酒	麦芽、大米、啤酒花	中	重庆啤酒：15%
果汁	水果（橙、柚等）	中偏低	太古可口可乐：31%
牛奶	牧草、饲料作物	极高	85.4%（其中牧场甲烷占大头）

2. 生产制造运营阶段

白酒生产制造阶段碳排放显著高于啤酒、果汁和牛奶，主要由其工艺、能源与产品属性共同决定。工艺上，白酒采用固态发酵与高温蒸馏，需加热至78-100℃，仅蒸馏环节就占综合能耗80%以上；而其他饮品多为物理加工，无需蒸馏，热需求低。能源方面，白酒主要依赖煤炭与天然气，单位能耗高；其他饮品多使用电与蒸汽，并配套节能技术。产品属性上，白酒酒精含量高，每500ml浓缩约166g酒精，蒸馏能耗大。数据显示，茅台制造阶段碳排占比达39.2%，远高于啤酒（7-9%）、果汁（6%）和牛奶（7.8%）的水平。

3. 运输物流阶段

从公开企业ESG报告数据看，白酒运输物流阶段碳排放占比显著低于啤酒与果汁行业。2024年数据显示，贵州茅台、泸州老窖运输阶段碳排放占比分别为5.09%、2.05%；重庆啤酒运输与终端冷藏环节碳排放合计占比达7%-9%；太古可口可乐冷链设备与配送环节碳排放合计约25%。

差异主因是冷链运输依赖度不同。啤酒与果汁需持续保持0-4℃冷藏环境，太古可口可乐仅冷饮设备相关碳排放就占全链条22%，且因销售网点扩张上升14%。而白酒运输无需冷链，常温物流即可完成流通。不过，目前缺乏运输距离、车辆满载率等关

键效率指标的跨行业对比数据，需未来更多专项研究或统一标准披露。

4. 配送运营消费阶段

根据四川省相关规定，白酒可全程常温储运销售，下游无制冷能耗；而啤酒、果汁、牛奶等需持续冷链，导致下游环节产生显著碳排放。例如，太古可口可乐冷饮设备排放占其价值链22%，重庆啤酒下游制冷也贡献7-9%的碳排。数据显示，每500mL产品在该环节碳排放中，白酒仅约0.02kg CO₂e（占生命周期2-3%），远低于啤酒的0.16-0.19kg（35-45%）、果汁的0.17-0.20kg（30-35%）和牛奶的0.09-0.11kg（12-15%）。白酒因无需冷链，在储运阶段碳排绝对值与占比均显著更低^[8]。

三、政策情景下白酒企业碳足迹管控与减排策略

在“双碳”目标下，白酒行业面临日益严格的碳约束与转型机遇。我国已初步构建起涵盖国家、地方与团体标准的多层次核算体系，如《白酒产品碳足迹评价规范》及四川省《白酒行业企业温室气体排放核算报告和披露规范》，推动行业碳管理从自愿走向标准化。随着全国碳市场覆盖范围扩大，白酒作为高能耗行业，未来可能被纳入履约，面临配额分配与减排压力。

针对白酒碳足迹“原料+制造”双高峰的特征，需构建多政策协同的治理路径：通过能效提升政策推动锅炉改造与余热利用，降低蒸汽能耗；利用碳市场机制，将发酵甲烷回收开发为自愿减排项目，激活工艺减排潜力；依托绿色供应链政策，引导企业建设绿色原料基地、推广轻量化包装，降低全链条排放。

企业低碳转型需依托政策与金融协同^[9]。绿色信贷、绿色债券等工具可为长周期减排项目提供融资支持，降低转型成本。企业应主动将碳足迹减排战略与国家政策工具箱对接，通过“技术-管理-政策”多轮驱动，将减排压力转化为高质量发展新动能^[10]。

四、结论和政策建议

本研究通过构建统一评价体系，系统对比分析了白酒与其他典型食品饮料的产品碳足迹，主要得出以下结论：白酒的产品碳足迹强度显著高于啤酒、果汁等典型饮料，这主要源于其在原料、工艺、能源与包装等维度的系统性差异；白酒碳足迹高度集中于上游原料与中游生产环节，其高碳排放在原料、能源、工艺和包装四大环节中呈现差异化贡献，与啤酒、果汁等以包装或消费环节为主的分布特征形成鲜明对比；基于此，白酒行业减排应聚焦生产过程的能源转型与工艺革新，简单模仿其他饮料行业的包装轻量化策略效果有限；当前，随着《GB/T 32151.25—2024温室气体排放核算与报告要求》等国家标准的实施，“十四五”政策环境为白酒行业低碳转型提供了关键驱动力与实施可行性。

白酒行业低碳转型需企业、政府与研究机构协同推进：企业应将碳管理提升至战略层面，重点推进能源清洁替代、工艺甲烷回收及供应链绿色化^[11]；政府需完善碳核算体系与市场机制，强化财税激励并加强数据监管；后续研究应聚焦关键技术经济性评估、多产业协同潜力及碳政策对行业影响，构建系统化、动态化的低碳转型研究体系^[12]。

参考文献

- [1]白仲林,贾鸿业.碳达峰与数字经济发展“双赢”的政策配置研究 [J].南开经济研究,2024,(05):177-197.
- [2]中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径 [J].北京工业大学学报(社会科学版),2021,21(03):1-15.
- [3]蒋璐,汪瑞,刘蓓蓓.食品消费模式的碳足迹差异研究 [J].中国环境科学,2023,43(12):6755-6762.
- [4]张心如.基于LCA-LEAP模型的蛋白乳品生产的碳排放及其减排潜力研究 [D].沈阳农业大学,2024.
- [5]容耀坤,李仁旺,贾江鸣,等.基于LCA的果汁制造过程的碳足迹核算 [J].成组技术与生产现代化,2019,36(01):19-25.
- [6]张晓菲,喻阳华.酱香型白酒酿造废水处理工艺设计 [J].环保科技,2016,22(02):52-55.
- [7]黎冉,刘军杰,李季春,等.白酒行业在“双碳”背景下的转型 [J].现代食品,2024,30(01):95-97.
- [8]刘思远,杜雨洋,初英杰,等.双碳愿景下某白酒工业园区能源消费及碳排放预测分析 [J/OL].环境工程,1-12.
- [9]胡鞍钢.中国实现2030年前碳达峰目标及主要途径 [J].北京工业大学学报(社会科学版),2021,21(03):1-15.
- [10]陈燕.关于“碳达峰”与“碳中和”目标实现措施的探索 [J].皮革制作与环保科技,2024,5(22):66-68.
- [11]郑喜鹏,马晨.实现碳达峰、碳中和的措施建议——顶层设计 [J].起重运输机械,2024,(21):22-23.
- [12]曾昉,陆丽琨.碳达峰、碳中和目标下的中国环境规制体系:现状与未来 [J].中国市场,2024,(16):1-4.