

宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄碳足迹研究——以某葡萄酒庄为例

柳杨 李建军 王廷宁 张丽勤 姚天斌 贾颖娟

宁夏清洁发展机制环保服务中心, 中国·宁夏 银川 750001

摘要: 全链条建设碳足迹管理体系, 推动产品碳足迹标准、核算、认证及应用场景开发是目前的研究热点。贺兰山东麓葡萄酒是宁夏特色和重要的出口产业, 论文以宁夏某葡萄酒庄的酿酒葡萄为案例, 采用生命周期 (LCA) 评价方法, 基于 ISO14067、PAS2060 等国际标准规范, 研究核算了宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄碳足迹, 为葡萄酒产品碳足迹核算奠定基础。通过分析评价酿酒葡萄碳足迹的构成占比及重点碳排放环节, 有针对性的为酒庄提出种植过程减少碳排放的措施建议。研究结果表明: 宁夏某葡萄酒庄的葡萄酒产品碳足迹为 $0.3876\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{t}$ 。

关键词: 生命周期评价; 贺兰山东麓酿酒葡萄; 碳足迹

Carbon Footprint Study of Grape Wine Products at the Eastern Foot of Helan Mountain in Ningxia — A Case Study of a Certain Winery

Yang Liu Jianjun Li Tingning Wang Liqin Zhang Tianbin Yao Yingjuan Jia

Ningxia CDM Service Center, Yinchuan, Ningxia, 750001, China

Abstract: Building a carbon footprint management system across the entire supply chain to promote standards, accounting, certification, and application scenarios of product carbon footprints is currently a research hotspot. Grape wine from the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia is a distinctive and significant export industry. This paper takes the grape wine products of a winery in Ningxia as a case study, employing the Life Cycle Assessment (LCA) method and based on international standards such as ISO 14067 and PAS 2060. The study calculates the carbon footprint of grape wine products from the eastern foothills of Helan Mountain in Ningxia, analyzes and evaluates the composition and key carbon emission stages of their carbon footprint, and provides targeted suggestions for the winery to reduce carbon emissions. Research findings indicate that the carbon footprint of grape wine products from a certain winery in Ningxia is $0.3876\text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$.

Keywords: LCA; wine grapes in the eastern foothills of Helan mountains; carbon footprint

0 前言

碳足迹核算作为温室气体排放量核算的主要方法之一, 主要用于产品层面温室气体排放评估。随着全球气候变暖日益受到国际社会关注, 产品碳足迹评价备受重视。中国在碳足迹评价方面提出了一系列政策指南。国家标准委、国家发展改革委、工业和信息化部、自然资源部、生态环境部等 11 部门联合印发《碳达峰碳中和标准体系建设指南》, 提出研制产品碳足迹量化和种类规则等通用标准, 探索制定重点产品碳排放核算及碳足迹标准。国家发展改革委等部门发布《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》, 鼓励有条件的地区根据自身实际, 对国家公布的核算规则标准之外的产品先行开展碳足迹核算规则研究和标准研制, 条件成熟的可适时纳入国家产品碳足迹管理体系。碳足迹的管理和核算正逐渐成为应对气候变化、推动绿色低碳发展的重要工具。政府、企业和研究机构正通过制定标准、建立数据库、推动技术进步和加强国际合作等多种方式, 共同推动碳足迹管理体系的发展和完善。

碳足迹分析是葡萄酒行业的主要环境指标, 通过核算葡萄栽培和葡萄酒酿造到葡萄酒装瓶、分配、消费和废弃报废整个生命周期的温室气体排放, 有助于改善环境绩效和推动可持续发展^[1]。葡萄酒碳足迹受不同因素影响, Ian Vázquez-Rowe 等^[2]研究显示, 导致葡萄酒碳足迹结果变化的主要原因是产区 and 葡萄酒类型的不同。Litskas 等^[3]以塞浦路斯岛地区为例进行了三个葡萄品种的碳足迹测算, Xynisteri、Cabernet Sauvignon 和 Soultanina 三个品种的葡萄碳足迹分别为 0.283 、 0.572 、 $0.846\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{t}$; Marras 等^[4]研究显示, 生产 1t 葡萄所产生的温室气体排放总量为 $0.39\text{tCO}_{2\text{eq}}$; 马婷^[5]估算了干旱区葡萄生产系统的碳足迹; 李银科等^[6]研究发现甘肃温室葡萄碳足迹为 $1.59\text{--}5.70\text{tCO}_{2\text{eq}}/\text{t}$ 。宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产区总面积达到 60.2 万亩, 是中国最大的酿酒葡萄集中连片产区, 拥有 228 家葡萄酒庄, 年生产葡萄酒达到 1.4 亿瓶。随着贺兰山东麓葡萄酒出口量逐年增加, 开展碳足迹核算研究可帮助葡萄酒庄准确核算葡萄酒全生命周期的温室气体排放量, 指导酒庄降低企业的经营成本; 提升绿色品

牌形象；提升葡萄酒国际市场竞争能力，为应对国际“碳”贸易壁垒奠定基础。

本次研究选取宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产品，通过采用生命周期评价的方法（LCA）进行分析，对宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄产品进行碳足迹分析。

1 方法

国际上发布了《ISO 14040:2006 环境管理 生命周期评价 原则与框架》《ISO 14044:2006 环境管理 生命周期评价 要求与指南》《ISO 14067:2018 温室气体—产品碳足迹量化要求和指南》《PAS2060 商品和服务生命周期温室气体排放的评价规范》等一系列碳足迹核算标准。中国已发布的相关标准有《GB 24040—2008-T 环境管理生命周期评价原则与框架》《GB 24044—2008-T 环境管理生命周期评价要求与指南》等，《GB/T 32161—2015 产品碳足迹 量化和报告的要求及指南》在征求意见阶段，还未正式发布。论文主要依据 ISO 14067 开展评估。

1.1 功能单位与评价范围

国内外相关研究表明，葡萄种植阶段是葡萄酒生命周期中碳排放量最高的环节，占比为 35%~50%。

论文评价的产品功能单位为每吨赤霞珠酿酒葡萄产品的碳足迹，碳足迹的计算结果为产品生命周期各种温室气体排放量的加权之和，单位为二氧化碳当量 tCO_{2eq}。

评价范围是宁夏某葡萄酒庄赤霞珠酿酒葡萄产品从种植、运输、加工至销售各阶段所产生的温室气体排放。

1.2 计算公式

$$CFP = \frac{\sum(AD_i \times EF_i)}{P}$$

式中，CFP——产品碳足迹，单位为吨二氧化碳当量（tCO_{2eq}）；AD_i——第 i 种活动的碳排放活动数据，单位根据具体排放源确定；EF_i——第 i 种活动对应的碳排放因子，单位与碳排放活动数据的单位相匹配；i——单元过程；P——统计期内酿酒葡萄产量，单位为 t。

1.3 工艺流程

酿酒葡萄种植流程：土壤准备—种植和栽培—病虫害防治—浇灌管理—修剪和蔬果—收获和处理。

赤霞珠种植管理涉及主要原料为农药和化肥，消耗的主要能源为灌溉用电及农用机械消耗柴油。

1.4 设备信息

主要生产用能设备有起藤机、除草机、喷药机、剪枝机、埋藤机等，主要消耗柴油；灌溉用水泵、增压泵等，主要消耗电力。

1.5 产品信息

宁夏某葡萄酒庄种植的赤霞珠酿酒葡萄，是宁夏贺兰山东麓种植面积最为广泛的酿酒葡萄品种，原产自法国波尔多（Bordeaux）地区，生长容易，适合多种不同气候。

2 系统边界

本项目评价贺兰山东麓酿酒葡萄碳足迹的系统边界为“摇篮—大门”，即原材料输入—种植管理—产品运输，系统边界内涉及的排放包括：①原辅材料生产、使用产生的温室气体排放量（E1）；②机械消耗化石燃料、电力产生的温室气体排放量（E2）；③运输工具消耗化石燃料、电力产生的温室气体排放量（E3）。

系统边界如图 1 所示。

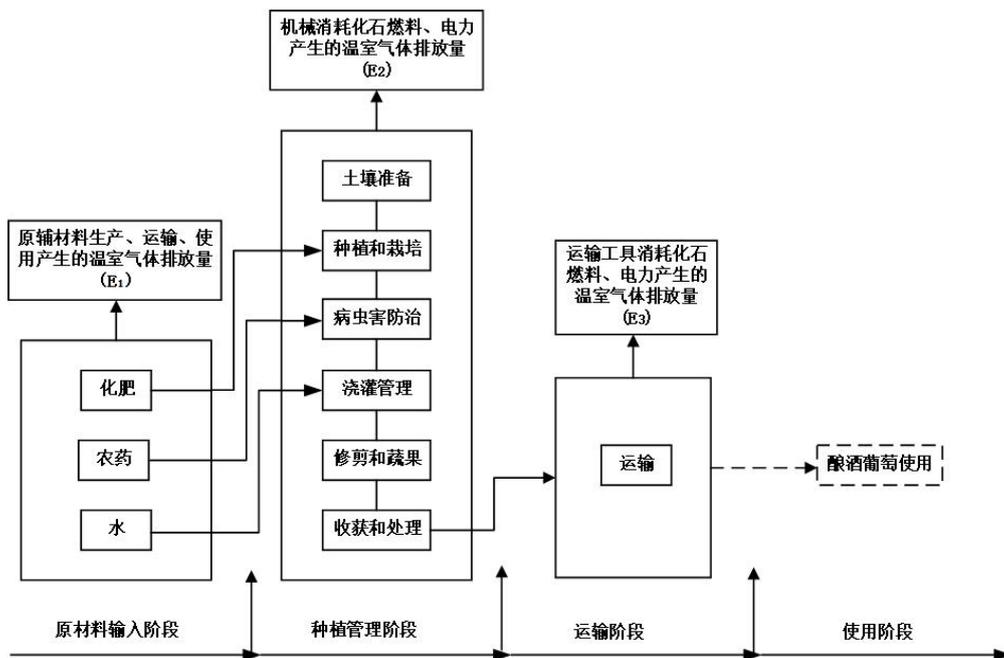


图 1 酿酒葡萄种植系统边界图

3 数据搜集

论文在确定所使用的活动水平数据和排放因子时，优先考虑以下原则：①优先考虑与评价当时最近年份、时间期限的活动水平数据和排放因子；②关于地理特点：应优先考虑收集宁夏当地的活动水平数据和排放因子，如无法获取，可引用该行业中同类产品的相应的数据；③首先针对评价对象生产过程中实际应用的某项技术和设备的活动水平数据和排放因子；④数据收集、评价要与产品生产周期保持一致。⑤数据取舍：某个过程的碳排放量对产品碳足迹的贡献小于1%，则此过程可忽略，总共忽略的碳排放量不超过5%。

根据研究的目的、范围及系统边界，酿酒葡萄碳足迹核算的数据包括生产种植过程中各种原材料投入种类、数量、能源消耗量及对应的碳排放因子，通过现场实地调研、问卷调查收集获取某酒庄酿酒葡萄种植的基础数据，其中赤霞珠产品的种植面积为1370亩，年产量为477t。碳排放因子通过查阅中国生命周期基础数据库(CPCD)^[7]和国家生态环境部发布的相关文件获得。各个生产环节基本情况如下。

3.1 原材料输入阶段

3.1.1 活动水平数据

原材料输入包括化肥、农药、水的使用。根据标准规定，由于企业使用的沼液、腐殖酸、羊粪等有机肥，基准线主要是自然分解产生温室气体，人类活动不增加温室气体排放。因此，不计入碳足迹排放。农药生产产生温室气体排放主要来源包括原材料使用、能源消耗等。用水的原材料来源是黄河水，不产生温室气体排放，能源消耗为电力，产生间接温室气体排放。某酒庄酿酒葡萄种植阶段原材料输入活动水平数据统计表如表1所示。

表 1 某酒庄酿酒葡萄种植阶段原材料输入活动水平数据统计表

酿酒葡萄种类	赤霞珠		
种植面积(亩)	1370		
酿酒葡萄年产量(t)	477		
农药使用	农药种类	消耗量(t)	数据来源
	波尔多液石硫合剂	4.11	酒庄统计数据
灌溉用水	灌溉面积(亩)	灌溉电力消耗量(kWh)	数据来源
	1370	111682.71	酒庄统计数据

表 4 原材料输入碳排放量计算表

原材料使用	原材料种类	消耗量	排放因子	排放量(tCO _{2eq})
		A	B	C=A×B
	波尔多液石硫合剂	4.11t	13.5tCO ₂ /t	55.49
灌溉用水	灌溉电力	111682.71kWh	0.6546tCO ₂ /MWh	73.11
原材料输入阶段小计(tCO _{2eq})				128.59

3.1.2 排放因子

农药排放因子：13.5tCO_{2eq}/t。数据来源：中国产品全生命周期温室气体排放系数库。

灌溉用电排放因子：0.6546tCO_{2eq}/MWh。数据来源：宁夏电力平均二氧化碳排放因子^[8]。

3.2 种植管理阶段

3.2.1 活动水平数据

种植管理阶段包括埋土出土、修剪、枝条粉碎、打药、除草等农用机械的使用，主要消耗柴油。酿酒葡萄种植管理阶段活动水平数据统计表如表2所示。

表 2 酿酒葡萄种植管理阶段活动水平数据统计表

酿酒葡萄种植管理阶段	能源使用	化石燃料类型	消耗量(t)	数据来源
	出土	柴油	2.0048	酒庄财务报表
	打药	柴油	0.8288	酒庄财务报表
	除草	柴油	3.4048	酒庄财务报表
	埋土	柴油	2.2400	酒庄财务报表
合计			8.48	

3.2.2 排放因子

柴油排放因子：3.797tCO_{2eq}/t。数据来源：中国产品全生命周期温室气体排放系数库。

3.3 运输阶段

3.3.1 活动水平数据

运输阶段主要为从种植场所运输到葡萄酒生产场地的柴油消耗(见表3)。

表 3 酿酒葡萄运输阶段活动水平数据统计表

酿酒葡萄运输阶段	运输工具	化石燃料类型	消耗量(t)	数据来源
	拖拉机	柴油	0.4032	酒庄财务报表

3.3.2 排放因子

柴油排放因子：3.797tCO_{2eq}/t。数据来源：中国产品全生命周期温室气体排放系数库。

4 评价结论

4.1 碳足迹计算方法

4.1.1 功能单位

功能单位为1吨赤霞珠酿酒葡萄。

4.1.2 计算

①原材料输入阶段(见表4)。

②种植管理阶段（见表 5）。

表 5 种植管理阶段碳排放量计算表

能源使用阶段	柴油消耗量 (t)	柴油排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (tCO _{2eq})
	A	B	C=A × B
出土	2.0048	3.797	7.61
打药	0.8288		3.15
除草	3.4048		12.93
埋土	2.2400		8.51
种植管理阶段小计 (tCO _{2eq})			32.19

③运输阶段（见表 6）。

表 6 运输阶段碳排放量计算表

能源使用阶段	柴油消耗量 (t)	柴油排放因子 (tCO ₂ /t)	排放量 (tCO _{2eq})
	A	B	C=A × B
运输	0.4032	3.797	1.53
种植管理阶段小计 (tCO _{2eq})			1.53

4.2 碳足迹计算结果

通过计算得出，1 吨赤霞珠酿酒葡萄的种植碳足迹为 0.3403tCO_{2e}（见表 7）。

表 7 赤霞珠酿酒葡萄单位产品碳足迹汇总表

生命周期阶段		排放量 (tCO _{2eq})	比例
原材料输入阶段	肥料	0	0
	农药	55.49	34.18%
	灌溉用电	73.11	45.04%
种植管理阶段		32.19	19.83%
运输阶段		1.53	0.94%
合计		162.32	100%
产品产量 (t)		477	
单位产品碳足迹 (tCO _{2eq} /t)		0.3403	

4.3 碳足迹影响分析

1 吨赤霞珠酿酒葡萄的碳足迹为 0.3403tCO_{2eq}，其中主要碳排放来自原材料输入阶段，占比较大的为灌溉用电碳排放，占总排放的 45.04%，然后为农药使用碳排放，占总排放 34.18%，见图 2。

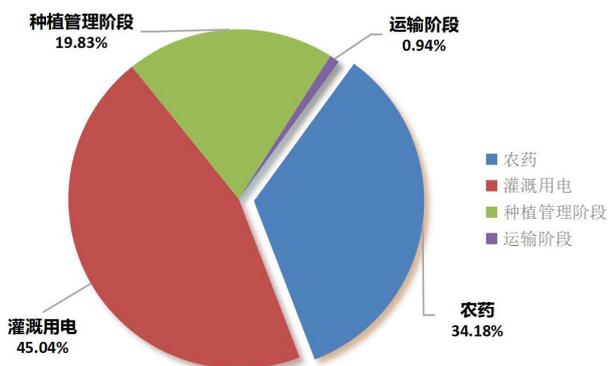


图 2 赤霞珠酿酒葡萄各阶段碳足迹比例

种植管理阶段碳排放占总排放为 19.83%，其中除草过程消耗柴油产生的碳排放占比为 40.16%，其次为埋土过程消耗柴油产生的碳排放占比为 26.42%，出土过程消耗柴油产生的碳排放占比为 23.65%，打药过程消耗柴油产生的碳排放占比为 9.78%。本研究酒庄使用的沼液、羊粪等有机肥，不计入碳足迹计算，如果使用化肥，则施肥过程也将是重点排放源，排放主要来源于肥料施用产生的 N₂O，根据中国产品全生命周期温室气体排放系数数据库数据，复合肥料的排放因子为 2.47tCO_{2eq}/t、尿素的排放因子为 0.956tCO_{2eq}/t、硝酸的排放因子为 1.471tCO_{2eq}/t。

5 讨论与建议

国内外对葡萄种植碳足迹的相关研究提出了优化农业实践、引入节能技术等减少碳排放的措施。例如，法国有研究对比了有机种植与常规种植的碳足迹，发现有机种植通常具有较低的碳足迹，因为有机种植减少了化肥和农药的使用。澳大利亚、西班牙有研究通过减少水资源消耗和提高能源效率，降低葡萄酒生产链的碳足迹。新西兰有研究如何通过改进种植技术来减少碳排放。美国加州作为一个主要的葡萄种植区，其研究了节水、减少农药使用等方面减少碳排放。意大利有研究在托斯卡纳和皮埃蒙特等特定葡萄种植区，使用节水技术和优化施肥不同农业实践对碳排放的影响。朱宗文等^[9]以极简生态模式下山东蓬莱地区的酿酒葡萄园为研究对象，核算赤霞珠等 3 种酿酒葡萄上游生产环节、酿酒葡萄栽培环节和葡萄酒酿造环节的碳足迹，研究结果说明，在极简栽培模式下的酿酒葡萄生命周期中，碳排放的主要来源是柴油、电能，对葡萄生产中的农药、化肥等生产资料进行控制，能有效降低葡萄碳足迹，针对柴油、电能投入产生的高碳排放，可以用清洁能源代替柴油、用可再生能源代替电网电力，从而实现低碳排放。

综合以上研究结果和经验措施，研究提出以下优化种植生产技术和方式的管理措施，为控制及减少宁夏贺兰山东麓酿酒葡萄碳足迹及葡萄酒产业的可持续发展提供参考和借鉴，具体措施如下：

- ①使用可再生能源电力进行灌溉，如光伏光热发电替代传统的电网电力，减少用电产生的间接碳排放；
- ②使用电动机械工具、运输工具替代用柴油、汽油的机械工具、运输工具，使用能效等级更高的工具，减少化石燃料消耗产生的碳排放；
- ③优化葡萄种植技术，增加有机肥替代化肥、生物农药的使用，提高水资源利用效率；
- ④采用生物或可回收利用的包装材料等，减少物资耗材引入的碳排放；
- ⑤优化运输方式，减少运输距离和运输过程中能源消耗产生的碳排放。

参考文献：

[1] Benedetto Rugani, Ian Vázquez-Rowe, Graziella Benedetto, et

- al. A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector[J]. *Journal of Cleaner Production*,2013(54):61-77.
- [2] Ian Vázquez-Rowe, Benedetto Rugani, Enrico Benetto. Tapping carbon footprint variations in the European wine sector[J]. *Journal of Cleaner Production*,2013(43):146-155.
- [3] Vassilis D Litskas, Theodoros Irakleous, Nikolaos Tzortzakis, et al. Determining the carbon footprint of indigenous and introduced grape varieties through Life Cycle Assessment using the island of Cyprus as a case study[J]. *Journal of Cleaner Production*,2017(156):418-425.
- [4] Serena Marras, Sara Masia, Pierpaolo Duce, et al. Carbon footprint assessment on a mature vineyard[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*,2015(214-215):350-356.
- [5] 马婷.干旱区葡萄生态系统碳循环特征研究[D].兰州:兰州大学,2020.
- [6] 李银科,王耀琳,刘开琳,等.甘肃温室葡萄生产的能量利用与碳足迹研究[J].*西北农林科技大学学报(自然科学版)*,2024,52(7): 89-98.
- [7] 中国城市温室气体工作组.中国产品全生命周期温室气体排放系数库[DB/OL].<http://lca.cityghg.com>
- [8] 生态环境部,国家统计局关于发布2021年电力二氧化碳排放因子的公告[EB/OL].https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202404/t20240412_1070565.html
- [9] 朱宗文,张亮,钟晓敏,等.极简生态模式下酿酒葡萄园碳足迹与碳储量研究[J].*西北农林科技大学学报(自然科学版)*,2023, 51(12):120-131.

作者简介: 柳杨(1984-),男,中国宁夏银川人,硕士,副研究员,从事应对气候变化研究。

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目“宁夏贺兰山东麓葡萄园区碳资产评估及示范应用”(项目编号: 2022BEG02051); 银川市科技项目“产品全生命周期绿色设计与评价技术体系研究及系统开发应用”(项目编号: 2023GXHZC13)。