

纯粮固态发酵白酒生产中的碳排放及低碳生产

王晓莉¹, 吴林海^{2*}, 童霞³, 陈正行¹

(1. 江南大学食品学院, 无锡 214122; 2. 江南大学江苏省食品安全研究基地, 无锡 214122;
3. 南通大学商学院, 南通 226006)

摘要: 锁定生产纯粮固态发酵白酒的关键碳排放点可以明确碳减排重点环节, 引导企业低碳生产。该文基于生命周期理论, 研究了纯粮固态发酵白酒生产碳排放, 并根据各生产环节碳排放贡献率锁定了碳排放的关键点。结果表明, 消耗煤炭的锅炉运转与蒸粮蒸酒的生产工艺联系紧密, 成为纯粮固态发酵型白酒生产最关键的碳排放点, 同时用电消耗和厂内运输也对碳排放具有一定的贡献。据此提出改善能源消耗结构, 使用生物质能等清洁能源以促进纯粮固态发酵型白酒的低碳生产。该文研究结果为减少食品生产的碳排放提供了参考。

关键词: 酒, 发酵, 碳, 生命周期, 固态

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.10.044

中图分类号: S19

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-10-0281-06

王晓莉, 吴林海, 童霞, 等. 纯粮固态发酵白酒生产中的碳排放及低碳生产[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 281—286.
Wang Xiaoli, Wu Linhai, Tong Xia, et al. Carbon emissions and low carbon production in processing pure grain liquor by solid fermentation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 281—286. (in Chinese with English abstract)

0 引言

食品作为世界最大的部门之一, 从手工生产到机器加工, 其能源消耗日益增多。由于包括 CO₂ 在内的温室气体 (greenhouse gas, GHG) 主要来源于能源消耗, 食品生产也因消耗能源较多引致碳排放量居高不下^[1]。而越来越多的发达国家消费者要求提供高质量食品的同时, 对其生产环节的环保要求也日益增加^[2]。在此背景下, 英国碳基金 (Carbon Trust) 推出了碳标签, 将产品从原料、制造、储运、废弃到回收全过程所排放的 GHG 用量化指数标示于标签, 告知消费者产品全生命周期的碳足迹^[3]。继 2007 年百事公司首次为 Walkers 奶酪洋葱薯片加贴碳标签后, 美国、泰国、韩国、日本等国家都开始对食品加贴碳标签, 食品的低碳生产和消费逐步形成潮流。

目前食品的碳足迹计量均基本遵循碳基金的碳标签制度中由英国标准协会 (British Standards Institute) 颁布的《商品和服务在生命周期内的温室气体排放评价规范及使用指南 PAS2050: 2008》(Publicly Available Specification, PAS2050), 及其生命周期评估 (life cycle assessment, LCA) 方法^[4]。基于 PAS2050, 加利福尼亚葡萄酒机构 (Wine Institute of California)、新西兰葡萄

酒生产者组织 (New Zealand Winegrowers)、南非葡萄酒一体化生产组织 (Integrated Production of Wine South Africa) 和澳大利亚葡萄酒生产者联盟 (Winemakers Federation of Australia) 又推出国际葡萄酒碳计算器 (version 1.2 of the international wine carbon calculator, IWCC), 成为国际葡萄酒业计量产品碳足迹的准则^[5]。而与 PAS2050 中 LCA 的原则相吻合, 世界可持续发展工商理事会 (World Business Council for Sustainable Development, WBCSD) 和世界资源机构 (World Resources Institute, WRI) 发起温室气体排放盘查议定书 (GHG protocol), 将企业碳排放划分为范围 I 的生产直接排放、范围 II 的外购能源和范围 III 的企业外购材料、废物处置等环节的间接排放^[6]。三者的 LCA 准则共同成为本研究计量白酒生产碳排放的基础。

LCA 方法可以确定产品生命周期中最应改进环境影响的部分^[7]。与其他食品一样, 白酒的生命周期也包括农业种植—运输—食品加工—运输—零售—运输—最终消费—运输—废物处置等环节。而 Jungbluth, Ziegler 和 Thrane 等^[8-10]学者曾证实, 食品最终消费和废物处置环节的环境影响均小于生产环节。加上碳足迹仅考虑产品对气候变暖的环境影响^[11-12], 即使食品由澳大利亚运输到美国销售, 分发环节的碳排放也仅占该食品碳足迹的 3%^[13]。因此, 多数研究都仅评估食品生产环节的环境影响^[14-16]。

国内也有产品 LCA 的环境评估^[17], 但计量白酒碳排放尚属空白。本研究针对中国四川省泸州老窖股份有限公司 (以下简称泸州老窖) 生产的纯粮固态发酵白酒, 按照 PAS2050, 借鉴 IWCC 中基于 WBCSD 和 WRI 的计量准则, 分析白酒生产的碳排放量, 确定其中最具有改进空间的

收稿日期: 2011-05-29 修订日期: 2012-04-24

基金项目: 2011 年国家社科基金项目 (11CJY042); 国家固态酿造工程技术研究中心开放课题 (GCKF201106)。

作者简介: 王晓莉 (1974—), 女 (回族), 江苏南京人, 博士, 主要从事食品安全方面研究。无锡 江南大学食品学院, 214122。

Email: w_xiaoli@126.com

*通信作者: 吴林海 (1962—), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 主要从事食品安全方面的研究。无锡 江南大学江苏省食品安全研究基地, 214122。Email: wlh6799@126.com

环节,即关键碳排放点,提出食品企业实施低碳生产的主要路径,以期为中国推广食品碳标签制度提供参考。

1 白酒生产碳排放及关键点

1.1 研究界定及系统流程图

本研究是计量泸州老窖的 2010 年纯粮固态发酵白酒

生产的碳排放,并锁定其碳排放关键点。功能单位界定为 1 L 纯粮固态发酵白酒。研究区域是从生产资源投入到纯粮固态发酵白酒(原酒)的出厂为止。涉及原材料投入、能源消耗、内部运输等企业各环节,主要包括白酒酿造、内部运输和固液废弃物处置等生产环节的碳排放。系统流程见图 1。

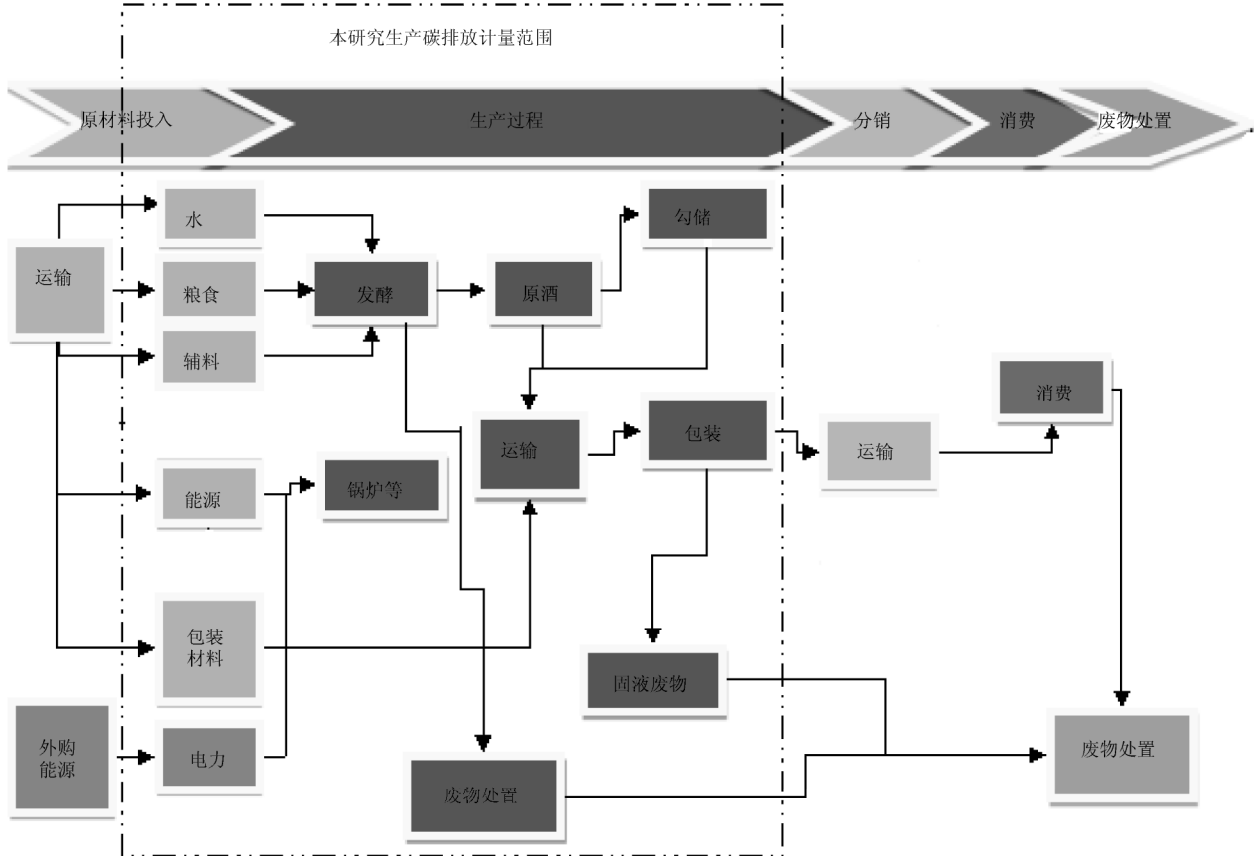


图 1 纯粮固态发酵白酒的系统流程图

Fig. 1 System chart of pure grains liquor by solid fermentation

1.2 生产碳排放计量

通过边界核查和确定优先序,并藉此搜集数据。本研究采用的 IWCC 的计量基础就是依据 PAS2050 的 LCA,符合 WRI 和 WBCSD 的范围设定。将纯粮固态发酵白酒的生产碳排放计量分为:范围 I、范围 II 和范围 III。其中范围 I 是企业内白酒生产的直接碳排放,涉及锅炉、加热和发电设备的能源消耗所引发的碳排放;汽车等运输设备能源消耗所产生的碳排放;白酒发酵过程的碳排放;冷藏设备的逸散排放以及固体和液体废物产生的碳排放等。范围 II 是企业外购的网电涉及的间接碳排放。范围 III 则为企业的外购材料、出厂后运输、消费和废物处置涉及的间接碳排放。受限于企业外数据的可得性,本研究仅限于包括范围 I 和范围 II。事实上, IWCC 中就清楚表明,设立范围 III 仅是为更好地理解产品的隐含碳排放,并不是必须涵盖在碳排放计量中^[5]。

1.3 确定生产碳排放关键点

按照 LCA 计量碳排放,就是与其目标一致,确定企业白酒生产中最需改进的高碳排放环节,即碳排放关键

点。本文通过计量纯粮固态发酵白酒生产各环节中碳排放的贡献率,确定碳排放关键点,为企业有针对性地采用清洁生产以及实施低碳技术创新提供数据支撑,也为初步探讨在中国白酒行业推广与建立碳标签制度提供服务。

2 结果计算与分析

2.1 范围 I 的碳排放计量结果

2.1.1 锅炉和加热设备等固定能源消耗

依靠固定能源消耗的锅炉和加热设备等在工作过程中会排放温室气体。将所有温室气体排放吨数乘以全球变暖潜能值(global warming potential, GWP)折算为二氧化碳当量(carbon dioxide equivalent, CO_{2e}),即为碳排放量。计量消耗固定能源的锅炉、加热设备等产生的碳排放量所需要的 GWP 值和固定能源碳排放因子参照 IPCC2006 的标准^[18]。具体计算公式如下

$$GHG_{(CO_{2e})} = CH_{4(CO_{2e})} + N_2O_{(CO_{2e})} + CO_{2(CO_{2e})} \quad (1)$$

$$CH_{4(CO_{2e})} = Fuel \times CH_{4,ef} \times Q \times GWP_{(CH_4)} \quad (2)$$

$$N_2O_{(CO_{2e})} = Fuel \times N_2O_{ef} \times Q \times GWP_{(N_2O)} \quad (3)$$

$$CO_{2(CO_{2e})} = Fuel \times CO_{2,ef} \times Q \times GWP_{(CO_2)} \quad (4)$$

式中， $GHG_{(CO_{2e})}$ 为锅炉和加热设备等固定能源消耗产生的碳排放量 CO_{2e} , kg; $CH_{4(CO_{2e})}$ 、 $N_2O_{(CO_{2e})}$ 和 $CO_{2(CO_{2e})}$ 分别是甲烷 (CH_4)、氧化亚氮 (N_2O) 和二氧化碳 (CO_2) 排放折算的碳当量 CO_{2e} , kg; $Fuel$ 为能源消耗量, kg;

$CH_{4,ef}$ 、 N_2O_{ef} 和 $CO_{2,ef}$ 分别是固定能源消耗的 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 排放因子, kg/TJ; Q 为固定能源的平均低位发热量, MJ/t; 各排放气体的 GWP (无量纲) 见表 2。本研究中泸州老窖生产的白酒所涉及的锅炉和加热设备等固定能源消耗仅为原煤。

表 1 能源的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 排放因子及平均低位发热量
Table 1 Energy's emission factors of CO_2 , CH_4 and N_2O and average caloric value

燃料类型	种类	CO_2 排放因子/(kg·TJ ⁻¹)	CH_4 排放因子/(kg·TJ ⁻¹)	N_2O 排放因子/(kg·TJ ⁻¹)	平均低位发热量 Q /(MJ·t ⁻¹)
固定能源	原煤	87 300	0.3	0.5	20 908
	洗精煤	87 300	0.3	0.5	26 344
	其他洗煤	87 300	0.3	0.5	8 363
	型煤	87 300	0.3	0.5	20 908
	焦炭	95 700	0.3	0.5	28 435
	焦炉煤气	37 300	0.3	0.03	16 726
	其他煤气	37 300	0.3	0.03	5 227
	原油	71 100	1.0	0.2	41 816
	柴油	72 600	1.0	0.2	42,652
	燃料油	75 500	1.0	0.2	41,816
	液化石油气	61 600	0.3	0.03	50,179
	炼厂干气	48 200	0.3	0.03	46,055
	天然气	54 300	0.3	0.03	38,931
	其他石油制品	71 100	1.0	0.2	41,816
	其他焦化产品	95 700	0.3	0.03	28,435
	移动能源	柴油	72 600	1.6	1.3

注： CO_2 、 CH_4 和 N_2O 的排放因子均按照 IPCC2006 中各排放因子的 95%置信区间的下限计算。数据来源为 IPCC2006 中 Volume 2 Energy, 平均低位发热量取值《中国能源统计年鉴 2010》。

表 2 排放气体的 GWP
Table 2 Global warming potential value of exhaust gases

排放气体	GWP
CO_2	1
CH_4	23
N_2O	296

注： GWP 指全球变暖潜能值；数据来源为 IPCC2001 年的第 3 次评估报告。

2.1.2 酿造

纯粮固态发酵白酒酿造生产过程中糖转化为乙醇的过程会排放一定的 CO_2 。但是 IWCC 中提出酒类发酵过程产生的 CO_2 属于短期碳循环^[5]，而 WRI 和 WBCSD 的 GHG protocol 指南中也表明短期碳循环不需要计入碳排放，并指出由于投入的谷物在种植过程中会形成碳汇，其吸收的 CO_2 与纯粮固态发酵白酒酿造过程中排放的 CO_2 可以相互抵消，在整个碳循环中形成碳平衡^[6]。为了方便从企业层面理解碳排放量，本研究在此仅作出相关说明，纯粮固态发酵白酒酿造过程中糖转化为乙醇所排放的 CO_2 并没有列入计量。

2.1.3 移动能源消耗的厂内运输

该企业在厂内运输使用卡车等运输工具。作为移动能源消耗的车辆在运输中的碳排放量通过能源消耗量乘以 IPCC2006 中移动能源碳排放因子计量。

具体计算同样见式 (1) ~ (4)。与锅炉和加热设备等固定能源消耗有所不同的是，本环节涉及的是移动能源的柴油消耗。即 $Fuel$ 为厂内运输的柴油消耗量, kg;

$CH_{4,ef}$ 、 N_2O_{ef} 和 $CO_{2,ef}$ 分别为移动能源柴油的 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 排放因子, kg/TJ; Q 为移动能源柴油的平均低位发热量, MJ/t。

2.1.4 固液废物处置

本研究范围的固液废物处置环节包括企业内所有固体、液体废物处置。由于该企业纯粮固态发酵白酒酿造产生的固体酒糟并不涉及垃圾填埋，故不需计入碳排放量。而废水处理环节化学需氧量 (chemical oxygen demand, COD) 排放的 CO_2 作为耗氧部分只会引发短期的碳循环，也不需要计入， COD 的甲烷排放则应折算为 CO_{2e} 计入固液废物处置环节的碳排放量。参照 IWCC，具体计算如下

$$GHG_{emission(CO_{2e})} = (W \times COD \times 0.1949 - R) \times (21/1000) \quad (5)$$

式中， W 为废水排放量, kL; COD , kg/kL; R 是可回收的甲烷量, kg (本研究中该值为 0)。

基于上述分析，根据白酒企业提供的原始数据，2010 年该企业生产纯粮固态发酵白酒所直接排放的二氧化碳当量 (亦即本研究的碳排放量，下同) 为 33 415 240 kg (3 322.45 t) (表 3)。

2.2 范围 II 的碳排放

本研究范围 II 为企业外购网电。外购电力的碳排放量通过电力消耗量乘以当地 (省域) 因火力发电产生相应的碳排放因子 (利用中国能源统计年鉴和中国电力年鉴 2009 年火电消耗的能源实物量和供电量计算^[19-20]) 而

得。2010 年该企业纯粮固态发酵白酒生产的间接碳排放量为 4 970 550kg (4 970.55 t) (见表 1)。具体计算公式为

$$GHG_{(CO_2e)} = EF_{\text{区域}} \times \text{外购电量} \quad (6)$$

$$EF_{\text{区域}} = \frac{\text{区域火电的碳排放量}}{\text{区域的年供电量}} \quad (7)$$

式(6)中, $EF_{\text{区域}}$ 为泸州老窖所在四川省的电力碳排放系数, 外购电量为企业生产每年的外购电量, kWh。式(7)中区域火电的碳排放量按照式(1)~(4), 结合表 1 中固定能源中各燃料消耗的 CH_4 、 N_2O 和 CO_2 排放因子计算而得, 涉及的能源消耗量为中国能源统计年鉴中 2009 年四川省火电消耗的能源实物量; 四川省的 2009 年供电量则取值中国电力年鉴。

表 3 2010 年企业纯粮固态发酵白酒生产碳排放
Table 3 Carbon emissions of pure grain liquor by solid fermentation in processing in 2010

碳排放范围	环节	CO_2e/kg
范围 I: 直接碳排放	锅炉	33,315,220
	厂内运输	58,310
	废水 (COD)	41,710
	合计	33,415,240
范围 II: 间接碳排放	外购能源: 网电	4,970,550
	合计	4,970,550
总计		38,385,790

注: 二氧化碳排放、碳排在概念上是一致的, 但排放量是有严格区别的。二氧化碳排放量与碳排放量之间的关系为 3.667:1。没有特殊说明, 本研究在文字的定性表达上一般不区分二氧化碳排放、碳排放的差异。

2.3 单位产品的碳排放

综合范围 I 直接的碳排放量和范围 II 间接的碳排放量, 2010 年该企业生产纯粮固态发酵白酒直接与间接排放的二氧化碳当量为 38 385 790 kg (38 385.79 t) (表 3), 该值除以 2010 年企业的白酒产量, L, 即单位产品的碳排放折算为二氧化碳当量 1.10725 kg/L。按照表 3 数据, 各环节碳排放量分别除以当年的白酒产量/L, 计算得出各环节的单位产品碳排放量, kg/L, 具体相关计算结果如表 4 所示。

表 4 2010 年企业纯粮固态发酵白酒的单位碳排放
Table 4 Unit carbon emissions of pure grain liquor by solid fermentation in processing in 2010

环节	$CO_2e/(kg \cdot L^{-1})$
锅炉	0.96099
厂内运输	0.00168
废水 (COD)	0.00120
网电	0.14338
合计	1.10725

注: 每 L65°固态原酒生产过程中的碳排放。

2.4 结果分析及碳排放关键点

通过对表 3 中相关数据的计算, 2010 年该企业纯粮固态发酵白酒生产的直接碳排放量约占碳排放总量 (直接和间接碳排放量的总计值) 的 87.05%, 而因外购网电产生的间接碳排放量为总碳排放量的 12.95% (见图 2)。

直接碳排放放在白酒生产碳排放中占据非常重要的地位。

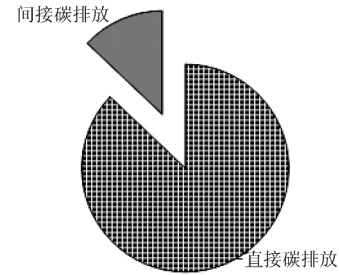


图 2 2010 年企业纯粮固态发酵白酒直接和间接碳排放
Fig. 2 Direct and indirect carbon emissions of processing pure grain liquor by solid fermentation in 2010

将表 4 中各环节的单位产品碳排放量逐个除以合计值 (即单位白酒的生产碳排放量) 计算各环节对白酒生产碳排放的贡献率, 该值高的环节则为企业白酒生产碳排放的关键环节。其中, 锅炉产生的碳排放放在单位纯粮固态发酵白酒的生产碳排放中占据非常重要的位置, 贡献率高达 86.79%。而外购网电、厂内运输与废水 (COD) 环节的碳排放所占的比例则分别为 12.95%、0.15% 和 0.11% (见图 3)。

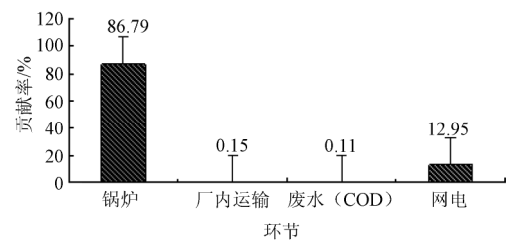


图 3 企业单位纯粮固态发酵白酒各生产环节碳排放贡献率
Fig. 3 Contribution rate of unit carbon emissions in pure grain liquor by solid fermentation processes in 2010

可以初步判断, 2010 年该企业纯粮固态发酵白酒生产碳排放的关键环节是与生产工艺中上甑蒸酒、蒸粮紧密相关的锅炉运转。因此改良依赖消耗煤炭产生蒸汽的锅炉无疑是减少白酒生产碳排放的最重要步骤。其次, 企业所利用的网电生产也是形成其白酒生产碳排放的次关键环节。

3 降低碳排放的路径选择

基于本研究的计量结果与碳排放构成的分析, 在目前的条件下, 促进该企业纯粮固态发酵白酒低碳生产的主要路径是:

3.1 转换锅炉的能源结构

石化能源—煤炭的消耗是该企业纯粮固态发酵白酒生产环节的碳排放关键。正是纯粮固态发酵白酒不可或缺的生产过程—蒸粮蒸酒, 促成白酒生产碳足迹的最关键环节。国外众多具有蒸馏工艺的酒类生产中, 其提供蒸汽或电力的锅炉主要消耗的能源为含碳量少于煤炭的石油、天然气, 焦油等, 其碳排放量自然要少于消耗煤炭的锅炉。这对中国白酒企业提供了有益的启示: 改善

锅炉类型, 由目前主要为煤炭消耗向使用天然气、洁净煤或其它清洁能源(如生物质能源)过渡, 是白酒企业实现低碳生产转型的必然选择。

3.2 构建完整供应链的平台

该企业所处的四川省, 目前主要依靠火力电能进行生产。据计算, 尚不考虑发电输入输出及损耗量, 2007 年四川省电力消费的碳排放量(CO_2e)为 1.3140 kg/kW·h, 而 2007 年英国电力消费(即使包含损耗)的碳排放(CO_2e)仅有 0.54667 kg/kW·h^[19-21]。因此, 作为引致生产碳排放的次关键环节, 挖掘火电消耗的碳减排空间, 体现出建立食品企业完整供应链的清洁能源技术平台的迫切性。食品加工企业一般位于粮食等生物质能源资源较为丰富的地区, 可以区域为基础, 合作建立以完整供应链的上游农业种植环节的秸秆与下游废物等为主要原料的垃圾焚烧发电厂, 是促进食品加工与生产供应链中高碳产业向低碳产业转型发展的重要环节。在食品企业较为密集的地区, 食品企业的低碳发展为构建政府引导、企业主体、区域协同的能源技术平台提供了新的契机。

3.3 使用清洁能源的运输工具

虽然厂内运输对碳排放量的贡献度并不显著, 但并不表明这一环节的碳减排没有改进空间。相比消耗柴油, 尽可能引进消耗清洁能源的运输工具应成为该企业在厂内运输环节实施碳减排策略的基本手段, 这也是目前唯一可与国际其他酒类低碳生产最快接轨的现实途径。因此, 关注厂内点到点的运输仍是减少白酒碳足迹不可忽视的环节。

3.4 保持并提升固液废弃物的处置水平

企业纯粮固态发酵白酒生产过程中所采用的循环生产方式对减少碳排放具有积极作用。这不仅表现在酒糟的循环使用, 也反映在白酒生产后的主要废弃物—废水的排放并不是形成该企业白酒生产碳足迹的重要节点。因此, 尽管与其他环节相比, 该企业目前废水 COD 等固液废弃物处置的碳排放对构成纯粮固态发酵白酒生产的碳足迹影响不大, 但随着企业资源投入的增加和产量的提升, 积极改善与不断提高其固液废弃物的处置水平, 至少可保证这一环节不至于对白酒生产碳足迹造成更大的影响。

4 结 论

1) 本文基于 LCA 理论与方法, 得到纯粮固态发酵白酒生产中的首要碳排放关键点是生产工艺中蒸粮蒸酒的煤炭消耗和网电能源。因此, 改善能源结构, 使用清洁能源是实现纯粮固态发酵白酒的低碳生产的必然选择。

2) 本文以白酒为案例, 基于 LCA 计算企业生产过程的碳排放并锁定关键点的研究, 可为初步判断实现食品企业低碳发展路径的可行性提供参考。

3) 食品安全风险与食品加工生产过程中的环境污染有着相应的关联度。随着“从田间到餐桌”的食品安全全程监管体系的逐步完善, 从农产品种植直至食品终端消费后的废物处置全过程的食品供应链体系中环境保护将进一步得到重视, 包括碳排放在内的环境影响评估将进一步在食品生产中得到推广应用。基于 LCA 理论计算

企业生产过程的碳排放, 由此分析碳排放的关键点, 据此提出的改进意见, 可最大程度地控制食品企业低碳发展成本, 其工业化推广前景广阔。

本研究的局限性在于, 由于目前着眼于食品供应链进行完整的数据收集、整理与甄别等存在着实际困难, 本研究仅计量纯粮固态发酵白酒生产环节的碳排放, 没有也难以深入到对该企业上游和下游供应链的考察, 这也可能难以确保数据的完整性和准确性。同时, 由于国内该领域的研究尚处于起步阶段, 加之白酒生产工艺与国外其他酒类存在生产工艺等方面的实际差异, 本研究的相关结论在严格意义上还难以与国外同类研究的相关结论进行比较。

[参 考 文 献]

- [1] Tukker A, Huppes G, Guinée J, et al. Environmental impacts of products (EIPRO): Analysis of the life cycle environmental impacts related to the total final consumption of the EU25[R]. IPTS/ESTO, 2005.
- [2] Boer D I J M. Environmental impact assessment of conventional and organic milk production[J]. *Livestock Production Science*, 2002, 80(1/2): 69—77.
- [3] Carbon Trust. Carbon Footprint Measurement Methodology[M]. The Carbon Trust, London, United Kingdom, 2007.
- [4] PAS 2050. 2008. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services[S]. London: British Standards Institute.
- [5] Wine Institute of California, New Zealand Winegrowers, Integrated Production of Wine South Africa, Winemakers Federation of Australia. International Wine Carbon Calculator Protocol Version 1.2[R]. F-75008-PARIS, France, June 2008. Available at: www.fivs.org.
- [6] World Resources Institute (WRI)/World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) (ed) (2009) Product life cycle Accounting and reporting standard review Draft for Stakeholder Advisory Group November 2009[R]. Available at: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghgprotocol-product-life-cycle-standard-draft-for-stakeholder-reviewnov.pdf>. Accessed 29 March 2010.
- [7] ISO (International Organization for Standardization). ISO 14040:2006(E) Environmental Management – Life Cycle Assessment—Principles and Framework[S]. Geneva, Switzerland, 2006.
- [8] Jungbluth N, Tietje O, Scholz R W. Food purchases: Impacts from the consumer's point of view investigated with a modular LCA[J]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2000, 5(3): 134—142.
- [9] Ziegler F, Nilsson P, Mattsson B, et al. Life cycle assessment of frozen cod fillets including fishery-specific environmental impacts[J]. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2003, 8(1): 39—47.
- [10] Thrane M. LCA of Danish fish products. new methods and insights[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2006, 11(1): 66—74.
- [11] Weidema B, Thrane M, Christensen P, et al. Carbon footprint: A catalyst for life cycle assessment[J]. *Journal of industrial Ecology*, 2008, 12(1): 3—6.

- [12] Finkbeiner M. Carbon footprinting: opportunities and threats[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2009, 14(2): 91—94.
- [13] Sanguansri P, Ridoutt B, Fraval S. Life-cycle assessment of victorian lamb exported to the United States[R]. 2010.
- [14] Hospido A, Moreira M T, Feijoo G. Simplified life cycle assessment of Galician milk production[J]. *International Dairy Journal*, 2003, 13(10): 783—796.
- [15] Basset-Mens C, van der Werf H M G. Scenario-based environmental assessment of farming systems: The case of pig production in France[J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2005, 105(1/2): 127—144.
- [16] Mungkung R T, Udo de Haes H A, Clift R. Potentials and limitations of life cycle assessment in setting ecolabelling criteria: A case study of Thai shrimp aquaculture product[J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2006, 11(1): 55—59.
- [17] 侯坚, 张培栋, 袁宪正, 等. 基于开放式培养的微藻生物柴油生命周期环境影响评价[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 251—257.
- Hou Jian, Zhang Peidong, Yuan Xianzheng, et al. Life cycle environmental impact assessment of biodiesel from microalgae in open ponds[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(7): 251—257. (in Chinese with English abstract)
- [18] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1, General Guidance and Reporting[M]. Edited by Eggleston S, Buendia L, Kyoko M W et al. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme.
- [19] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2010.
- [20] 中国电力年鉴编辑委员会. 中国电力年鉴[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [21] DEFRA (Department of Environment, Food and Rural Affairs). 2009 Guidelines to Defra/DECC's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Emission Factors[R]. London, October 2009: 8.

Carbon emissions and low carbon production in processing pure grain liquor by solid fermentation

Wang Xiaoli¹, Wu Linhai^{2*}, Tong Xia³, Chen Zhengxing¹

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Food Safety Research Base of Jiangsu Province, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

3 Business School, NanTong University, NanTong 226006, China)

Abstract: The critical point of carbon emission in processing pure grain liquor by solid fermentation is significant to find the key processes of carbon reduction, guiding enterprises to low-carbon processing. Based on the theory of Life Cycle Assessment, the carbon emissions in liquor processing was quantified and the critical points were locked through the contribution rate of carbon emissions in processes in this paper. Results showed that liquor steaming strongly attached to the coal-burning boiler, which was the most critical point of carbon emissions in liquor processes, while net electricity consumption and transport in the plant were both mainly contributed to the carbon emissions of processing. Therefore, the method was contributed to promoting the low carbon emission of the pure grain liquor processor, improving the energy consumption structure and processing pure grain liquor by taking the biomass and other clean energy. These results also provided a reference to reduce carbon emission in food processing.

Key words: wine, fermentation, carbon, life cycle, solids