

废水培养的微藻制备可持续航空燃料

来源：民航环境与可持续发展智库

一、文章简介

本文通过生命周期评估（LCA），比较了两种由废水中培养的微藻制备航空生物燃料的水热路径——水热液化（HTL）和费托合成（G+FT）气化。这两条技术路线均包括生物质生产、生物燃料加氢升级以及产品分馏。通过使用从文献中获得的数据对从生产到使用（cradle-to-gate）的 LCA 进行了分析。在对环境造成影响的 18 个因素中，G+FT 的影响高于 HTL，其中催化剂是造成最不利排放的因素。同时，用于生物油分离的溶剂对环境的影响也很突出。在 HTL 路线中，二氧化碳排放量 $-51.6\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ ，而在 G+FT 路线中，排放量为 $250\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ 。在使用阶段，HTL 对人类健康和生态系统有益，而 G+FT 会造成环境破坏。在改进情景中，除了将固体、水相和气体产物视为副产物而不仅仅是废物/排放物外，还将催化剂消耗量减少 20%。因此，使用 HTL 生产的航空生物燃料，在基本情景中减排 35.44 千克二氧化碳，而改进后减排达到 39.47 千克二氧化碳；在 G+FT 路线中，排放量从 $147.55\text{CO}_2\text{eq}$ 降至 $8.60\text{CO}_2\text{eq}$ 。

二、研究方法

文章使用生命周期评估（LCA）评估两种水热途径——水热液化（HTL）和费托合成（G+FT）气化生产航空生物燃料的技术，使用 SimaPro 软件 v.9.4.0.2PhD 进行建模，遵循国际标准化组织（ISO）14040 和 14044 标准。功能单位设定为 1 公顷面积藻类池（HRAP）培养的微藻年产量。研究涵盖了从微藻培养到生物燃料分级的整个过程，包括能源、催化剂和气体。研究中使用了文献中的数据来构建生命周期清单（LCI），并应用 ReCiPe2016v.1.1 方法在中点和终点层面进行生命周期影响评估（LCIA）。使用贡献率分析识别了对环境影响最大的投入和阶段，而改进情景通过减少催化剂消耗、提高回收率，以及将副产品作为资源而非废物来考虑，旨在降低两种生产技术的环境影响。研究还考虑了微藻培养阶段的环境效益，如使用废水和二氧化碳捕获。

三、研究结论

文章通过使用生命周期影响评估（LCIA）方法来识别得到 18 个评估影响因素，该方法在中点（Midpoint）和终点（Endpoint）层次上进行了层次化，并使用了全球影响机制。在所有 18 个评估的环境影响因素中，G+FT 路线比 HTL 路线造成的环境影响更大。

在产生环境效益方面：水消费类别中，由于利用废水生产微藻生物质，两种途径都具有环境效益。HTL 路线显示出正的 CO₂ 平衡，可以被认为是在 SAF 背景下航空生物燃料生产性能更好的工艺。在 HTL 中，造成最大影响的阶段是加氢处理；在 G+FT 中，费托合成和加氢处理是造成大部分影响的原因。在使用阶段，HTL 路线对人类健康和生态系统带来了效益。

相比之下，G+FT 路线在三个因素（人类健康、生态系统和资源）都造成了环境损害，这分别意味着人类生活质量和时间的损失、物种损失以及由于资源稀缺而造成的生产成本。

对环境造成影响与催化剂有关。在改进的情景下（减少催化剂的消耗和回收，以及固体、水和气体副产品的价格稳定），G+FT 仍然比 HTL 对环境影响更大。因此，与 G+FT 相比，HTL 在环境绩效方面脱颖而出。

然而，这两条路线仍然需要技术和环境改进。为了使微藻发挥其作为 SAF 来源的潜力，需要优化催化剂的消耗和再利用。这可以通过开发对环境影响更小的绿色催化剂或利用另一种工艺的副产品来实现。需要考虑能源需求和能源供应来源，以避免影响生物

燃料的环境性能。此外，还应进行生产过程的能量集成，以最大限度地提高能源利用率。在 G+FT 路线中，催化剂是需要克服的瓶颈。在 HTL 中，必须对用于反应产物分离的溶剂进行改性。

文献引用

Marangon B B, de Siqueira Castro J, Assemany P P, et al. Wastewater-grown microalgae biomass as a source of sustainable aviation fuel: Life cycle assessment comparing hydrothermal routes[J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 360: 121164.

资料链接：

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724011502>

资料搜集：赵慧杰 石晶华

校对：张奕野 杨诗琪

审核：陈侯秀