

CORSIA 下生物燃料生产的直接土地利用变化排放 和碳补偿时间分析



来源：民航环境与可持续发展智库

一、文章简介

本研究深入探讨了在国际航空碳抵消及减排机制（CORSIA）框架下，生物燃料生产所引起的直接土地利用变化（DLUC）排放和碳补偿时间（CPT）。CPT（Carbon Payback Time，碳补偿时间）是指使用可持续航空燃料（SAF）替代化石煤油（如煤油）所带来的温室气体（GHG）减排效益，补偿因生产 SAF 所需土地转换导致的额外 GHG 排放所需的时间。这里的“土地转换”指的是将土地从其原有的用途（例如，森林、草地、农田等）转变为种植或生产 SAF 原料（如玉米、甘蔗、油棕等）的过程。这种转换可能会涉及到砍伐森林、排水、耕作等活动，这些活动可能会释放储存在土壤和植被中的碳，从而产生 GHG 排放。CPT 通过将 DLUC 排放（摊销前排放，即 DLUC 排放是指由于将土地从其原有用途转换为生产 SAF 原料作物而导致的温室气体排放。这些排放包括土地转换过程中释放的碳，例如砍伐森林或排干湿地。“摊销前”意味着这些排放没有经过时间的分摊或折旧计算，即直接考虑转换当年所产生的总排放量，而不考虑这些排放随时间推移的年度分摊）除以相对于化石燃料的年 GHG 减少量（不包括 DLUC）来量化。

研究旨在评估六种作物作为 SAF 原料时的 DLUC 排放，这些作物包括两种油籽作物（麻风树和大豆）、三种纤维素草本植物（芒草、柳枝稷、芦苇草）以及一种淀粉基作物（玉米）。研究采用了空间显式的数据（50×50 公里分辨率），并考虑了全球产量和土地碳储量的空间差异。研究的目的是量化六种原料生产 SAF 时的 DLUC 排放值和相关原料的 CPT，以评估这些作物生产的 SAF 是否满足 CORSIA 的可持续性标准，并识别适合低 DLUC SAF 生产的地理位置，这些位置的特定组合条件——即相对较低的碳储量和足够高的可实现产量——可能有利于低 DLUC SAF 的生产。

二、研究方法

本研究采用了空间显式数据处理技术,对六种作物生产 SAF 的 DLUC 排放进行了计算。该计算基于 2010 至 2015 年间的土地利用和碳储量数据,涵盖了次生林、人工林及农田等多种土地类型,同时排除了初生林、高生物多样性区域、泥炭地及湿地等特定区域。DLUC 排放在 0.5 度分辨率(即 50×50 公里)下计算,并依据全球农业生态区(GAEZ)数据,对灌溉与非灌溉条件下的作物可达产量进行了估算。为确保数据的时效性与空间明确性,本研究整合了地上与地下生物量、土壤有机碳、作物模型及气候效应模拟等多维度信息。并将这些信息纳入 GLOBIOM 生物经济模型框架中,以全面评估全球范围内不同原料生产 SAF 时的 DLUC 排放及其 CPT。此外,研究通过能量分配方法,将 DLUC 排放转换为每兆焦耳(MJ)的排放量,并进一步计算了 CPT,以评估生物燃料替代化石燃料来抵消 DLUC 排放所需的时间。能量分配方法是一种用于确定不同产品或副产品在生产过程中产生的温室气体排放的计算方法。在 SAF 的生产过程中,可能会产生多种副产品,如在从油籽作物生产 HEFA(油脂加氢)时产生的蛋白质粉,或在从纤维素和淀粉基原料生产 ETJ(乙醇制航空燃料燃料)时产生的 DDGS(干蒸馏谷物和可溶物)。能量分配方法允许将整个生产过程中产生的温室气体排放量,根据每种副产品的热值(或能量含量)比例进行分配。

三、研究结论

该研究主要探讨了不同生物质原料(麻风树、大豆、芒草、柳枝稷、芦苇草、玉

米) 在生产 SAF 过程中的 DLUC 排放和环境影响。研究结果显示:

1. 在考虑了 CORSIA 的可持续性标准并排除了不满足 CORSIA 所设定的可持续性标准的地区之后, 研究发现大豆基 SAF 具有最高的平均 DLUC 因子, 数值为 $31.9 \pm 20.7 \text{ gCO}_2/\text{MJ}$ 。芦苇草的平均 DLUC 排放因子为 $3.0 \pm 2.6 \text{ tCO}_2\text{eq}/\text{ha}$, 这在六种被研究的原料中表现出较低的 DLUC 排放水平。麻风树 SAF 显示出最低的平均 DLUC 因子, 为 $3.6 \pm 31.4 \text{ gCO}_2/\text{MJ}$, 其次是芒草和柳枝稷。

2. 在比较国家平均 DLUC 值与间接土地利用变化 (ILUC) 值时, 除了玉米之外, 所有途径的 DLUC 值均高于相应的 ILUC 值。这表明大多数情况下, 直接土地使用变化对温室气体排放的贡献大于间接效应。然而, 玉米的 DLUC 值并没有表现出这种趋势, 暗示在玉米种植过程中可能存在不同的土地使用和管理实践, 从而影响了其 DLUC 排放水平。

3. 研究提供了关于不同地区和原材料在生产生物燃料过程中 GHG 排放评估。评估基于 CORSIA 化石燃料的标准排放量 ($89 \text{ gCO}_2\text{e}/\text{MJ}$) 来量化相对于该标准的排放减少或增加。图 1 中列出了不同原材料的生命周期评估 (LCA) 值、DLUC 的全球平均值、间接土地利用变化 (ILUC) 的值, 以及综合的 GHG 排放量。总结对比如下: 麻风树印度的两种途径都显示出较高的 GHG 排放减少, 达到 58.8% 和 58.9%。芒草在多个欧盟国家显示出 GHG 排放减少, 其中希腊的减少百分比最高, 达到 53.6%。玉米在全球和美国的途径均未显示出 GHG 排放减少, 反而有轻微的增加。芦苇草在全球范围内的 GHG 排放量相对较低, 但不同国家的 GHG 排放变化幅度较大, 从瑞典的 -58.1% 到俄罗斯联邦的 -10.3%。

Region	Pathway	CORSIA			This study (Escobar et al.)				
		Core-LCA	ILUC value	Total GHG	Country- and global-average DLUC	DLUC > ILUC	Updated total GHG	GHG reduction (increase)	10 % reduction (criteria 1.1)
		gCO ₂ e/MJ			%				
USA	Soybean oil-HEFA	40.40	24.50	64.90	42.11	YES	82.51	7.3 %	NO
Brazil	Soybean oil-HEFA	40.40	27.00	67.40	63.31	YES	103.71	-16.5 %	NO
Global	Soybean oil-HEFA	40.40	25.80	66.20	54.20	YES	94.6	-6.3 %	NO
India	Jatropha-HEFA	46.90	-24.80	22.10	-10.25	YES	36.65	58.8 %	YES
India	Jatropha-HEFA	46.80	-48.10	-1.30	-10.25	YES	36.55	58.9 %	YES
USA	Miscanthus-ETJ	43.30	-42.60	0.70	9.99	YES	53.29	40.1 %	YES
EU (Croatia)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	39.19	YES	82.49	7.3 %	NO
EU (Greece)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	-2.02	YES	41.28	53.6 %	YES
EU (Hungary)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	28.31	YES	71.61	19.5 %	YES
EU (Italy)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	6.03	YES	49.33	44.6 %	YES
EU (Portugal)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	7.89	YES	51.19	42.5 %	YES
EU (Romania)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	17.37	YES	60.67	31.8 %	YES
EU (Slovenia)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	60.12	YES	103.42	-16.2 %	NO
EU (Spain)	Miscanthus-ETJ	43.30	-23.30	20.00	3.09	YES	46.39	47.9 %	YES
Global	Miscanthus-ETJ	43.30	-19.00	24.30	6.37	YES	49.67	44.2 %	YES
USA	Switchgrass-ETJ	43.90	-10.70	33.20	9.25	YES	53.15	40.3 %	YES
Global	Switchgrass-ETJ	43.90	4.80	48.70	11.09	YES	54.99	38.2 %	YES
USA	Maize-ETJ	65.70	25.10	90.80	14.59	NO	90.8	-2.0 %	NO
Global	Maize-ETJ	65.70	34.90	100.60	18.95	NO	100.6	-13.0 %	NO
EU (France)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	25.58	N/A	87.98	1.1 %	NO
EU (Germany)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	45.37	N/A	107.77	-21.1 %	NO
EU (Greece)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	4.02	N/A	86.42	25.4 %	YES
EU (Italy)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	15.58	N/A	77.98	12.4 %	YES
EU (Poland)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	40.26	N/A	102.66	-15.3 %	NO
EU (Spain)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	13.77	N/A	76.17	14.4 %	YES
EU (Sweden)	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	78.33	N/A	140.73	-58.1 %	NO
China	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	11.86	N/A	74.26	16.6 %	YES
USA	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	19.54	N/A	81.94	7.9 %	NO
Canada	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	23.79	N/A	86.19	3.2 %	NO
Russian Federation	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	35.81	N/A	98.21	-10.3 %	NO
Global	Reed canary grass-ETJ	62.4	N/A	62.4	23.94	N/A	86.34	3.0 %	NO

图 1 不同地区和原材料在生产生物燃料过程中 GHG 排放评估

4.本研究提供了关于不同生物燃料原料 (feedstock) 在 SAF 生产潜力和市场份额方面的数据。数据考虑了符合 CORSIA 可持续性标准的农业土地面积, 包括灌溉和非灌溉 (雨养) 两种情况。研究还列出了每种原料在不同情况下的 SAF 生产潜力 (以 PJ, 即百万吨石油当量表示), 以及它们在全球航空煤油消耗量中的市场份额百分比。以下是本研究中列出的生物燃料原料及其相关数据的总结:

(1) 麻风树

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 386.2 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 242.9 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 2.7% (灌溉) 和 1.7% (雨养)

(2) 玉米

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 1128.5 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 730.6 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 7.8% (灌溉) 和 5.1% (雨养)

(3) 芒草

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 2220.7 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 1282.9 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 15.4% (灌溉) 和 8.9% (雨养)

(4) 芦苇草

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 769.8 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 560.4 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 5.3% (灌溉) 和 3.9% (雨养)

(5) 大豆

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 109.3 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 73.6 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 0.8% (灌溉) 和 0.5% (雨养)

(6) 柳枝稷

灌溉条件下的 SAF 生产潜力: 1243.8 PJ, 雨养条件下的 SAF 生产潜力: 787.7 PJ, 全球航空煤油消耗量市场份额: 8.6% (灌溉) 和 5.5% (雨养)

从这些数据可以看出, 芒草在 SAF 生产潜力方面表现最为突出, 无论是在灌溉还是雨养条件下。玉米和柳枝稷也有较高的 SAF 生产潜力。在市场份额方面, 芒草同样占据较大比例, 其次是玉米和柳枝稷。这表明这些原料在 SAF 的生产中具有较大的潜力和市场竞争力。芦苇草在灌溉和雨养条件下的 SAF 生产潜力均非常高, 分别是 2220.7 PJ 和 1282.9 PJ。这意味着在适当的土地和水资源管理下, 芦苇草可以提供大量的生物燃料原料。在市场份额方面, 芦苇草的潜力也相当可观, 灌溉条件下占全球航空煤油消耗量的 15.4%, 雨养条件下占 8.9%。这表明如果能够充分利用芦苇草的潜力, 它将在全球航空燃料市场中占有一席之地。

5.研究结果有助于识别那些在低 DLUC SAF 生产中可能有利的地理位置, 特别是灌溉的芒草提供了最高的 SAF 生产潜力, 如果种植在符合 CORSIA 的农田和草地上, 产量可达到 2019 年总煤油使用量的五分之一。

6.为实现 CORSIA 目标, 确保温室气体减排效果, 原料作物的生产应选择在碳储量较低且可实现高产量的地区进行。这样的选择有助于最大化 SAF 的环境效益, 同时符合 CORSIA 的可持续性标准。

7.研究建议需要政策制定者、行业和投资者的集体行动, 以确保 SAF 在低 DLUC 排放的地点生产, 同时克服扩大 SAF 生产和使用的其他经济和技术障碍。除了 CORSIA 之外, 量化其他环境影响对于了解 SAF 的可持续性以及推广过程中的挑战也是必要的, 例如可能进一步限制生产潜力的灌溉水需求和问题。

文献引用:

Escobar, N., et al., Spatially-explicit land use change emissions and carbon payback times of biofuels under the Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). *Sci Total Environ*, 2024. 948: 174635.

资料链接:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724047843?via%3Dihub>

资料搜集: 许春霞 戴菲 韩汶泽 贾忠杰

校对: 张奕野 杨诗琪

审核: 陈侯秀