



Views & Comments

油料作物——生物柴油的潜在来源

闫振辉^{a,b,c}, 李国卫^{a,b}, 万书波^{a,b,c,*}^a Institute of Crop Germplasm Resources, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China^b Shandong Provincial Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Ecology, and Physiology, Jinan 250100, China^c College of Agriculture, Hunan Agricultural University, Changsha 410127, China

1. 引言

大豆、向日葵、油菜籽、花生等油料作物在农业经济中发挥着至关重要的作用，除了可提供人体健康所需的多种氨基酸外，更重要的是植物油是非常重要的能量来源，单位质量植物油所含的热量是碳水化合物或蛋白质的2.25倍。随着全球人口的增加和工业化进程的加快，全球发展面临着能源短缺等重大问题，可利用的化石能源逐渐减少，加速了人们对替代能源的寻找，可再生能源作为化石燃料的潜在替代品变得越来越重要[1]。在各种类型的可再生能源中，生物柴油是一种与柴油相当的替代燃料，通过适当的加工方法可以从食用油和非食用油、动物脂肪和废弃食用油等生物来源中提取，生物柴油的生产技术可行，价格便宜，具有良好的环保效果，更重要的是不需要对柴油发动机进行任何机械改造[2]。早在1900年，鲁道夫·狄塞尔在巴黎世界博览会上推出的第一台柴油发动机就是使用花生油作为燃料，第二次世界大战期间燃料短缺，花生油被广泛用作传统化石燃料的替代品。此后，生物柴油吸引了世界各地众多研究人员的关注，其开发和应用取得了令人瞩目的成就。

本文的主要目的是总结油料作物作为一种可再生能源生产生物柴油的必要性和可行性，并探讨未来增加油料作物产量的方法。

2. 利用油料作物生产生物柴油的必要性和可行性

研究报告称，从2005年到2010年，全球生物柴油产量增长了357.14%，如图1 [3]所示，2011—2021年，全球生物柴油产量几乎翻了一番，达到1.5 EJ（1 EJ = 10^{18} J，其中，1 EJ相当于450亿升生物柴油）[4]。预计到2050年，全球生物柴油的需求将达到10.5 EJ [5]。基于生命周期评估的调查表明，生物柴油的温室气体排放量比石油、柴油少20%~80% [6]。生物柴油生产的关键是原料的可获得性，这是决定生物柴油价格的主要因素，占总成本的67%。随着石油储量的逐渐减少，生物柴油可以在减少全球能源需求方面发挥关键作用。此外，由于生物柴油的易得性和环境友好性，它是一种有吸引力的化石燃料的可再生替代品[7]。

几乎所有的植物油都是以长链甘油三酯的形式存在，或者甘油三酯可以转化为更类似于石油烃的甲酯，以及在油脂化学和食品工业中有许多用途的甘油。植物油、甘油与石油碳氢化合物具有相似的结构，在化学和食品工业中有广泛的应用。目前，美国生产生物柴油的主要原料为高产转基因大豆，欧洲国家为菜籽油，巴西为蓖麻油，东南亚为麻疯树和棕榈树油。另外，富含高油酸品种的植物油比富含多不饱和脂肪酸的植物油具有更好的热稳定性和流

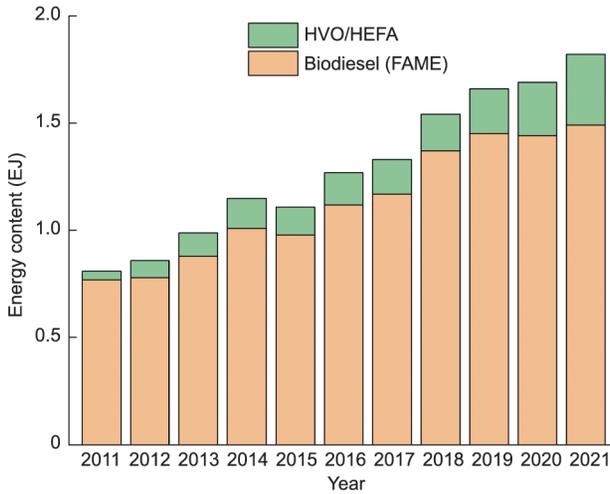


图1. 2011—2021年全球脂肪酸甲酯（FAME）结构及加氢处理植物油/加氢处理酯和脂肪酸的生物柴油产量（HVO/HEFA）[3]。

动性。通过选择低成本的可持续非食用原料，以及改进生产工艺以提高质量和降低生产成本，最终油料作物可能会成为生物燃料较好的潜在来源。尽管生物燃料不能为日益增长的能源需求提供最终解决方案，但它似乎是一个值得关注的权宜之计[8]。

3. 未来的油料作物

农业生产面临着巨大的挑战，包括极端天气事件频发，生产效率有待大幅度提高，投入成本高等一系列问题，这就需要我们利用现代育种和生物技术方法提高油料

作物产油率（图2）。例如，在中国种植 $1.314 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ($1 \text{ hm}^2 = 10\,000 \text{ m}^2$) 的油菜籽，其含油量每增加1%，相当于增加 $3.0 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 的油菜籽油产量[9]。有许多潜在的目标可以被操纵来增加油料作物种子中的含油量，人们尝试针对生物过程中的源（即光合作用和脂肪酸的生物合成）和汇（即三酰甘油酯组装）步骤来增加油的产量，以满足消费者和工业对植物油日益增长的需求。而以下主要总结了较少受到关注但有希望的领域。

(1) 多年生油料作物的驯化选育。多年生作物相对于一年生作物可减少养分流失，具有更高的能源利用率，增加土壤固碳。例如，在瑞典，将一种耐寒的两年生十字花科植物 *Lepidium campestre* 作为一种油料作物进行驯化取得很大进展，其产油量达到 $5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，并且适宜生长在北温带地区，促进农业生态系统的多样化和增加全球植物油产量[10]。

(2) 操纵自噬途径。自噬途径是真核生物生长发育所必需的分解代谢途径，可以在不断变化的气候条件下提高作物的适应性。到目前为止，已发现了两种与自噬相关的方法来提高植物油脂的生产：操纵饥饿诱导的脂噬和在营养充足的植物中增强基础自噬通量。操纵植物自噬的替代方法包括分子育种和自噬调节化合物的应用，随着最近化学生物学的进展，这些在不久的将来可能实现[11]。

(3) 在非种子/果实组织中积累储藏油。各种非种子组织，如果皮、块茎、茎和叶也可作为植物中甘油三酯积累的存储组织，这些组织的生物量通常远大于种子的生物

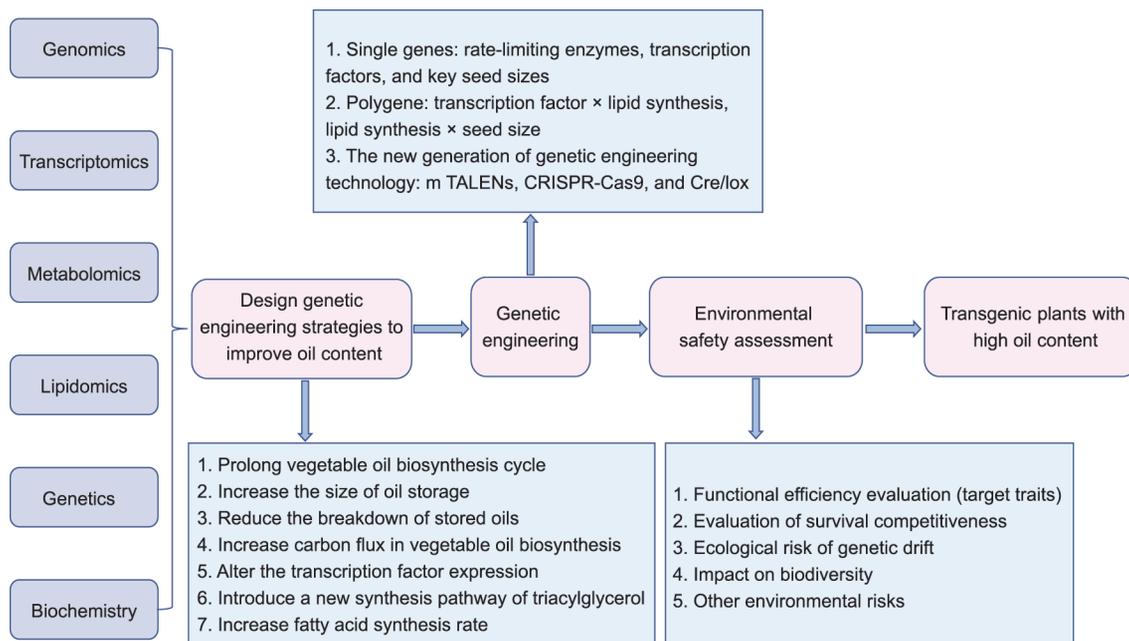


图2. 利用基因工程增加植物种子含油量的工具和策略。m TALENs: 线粒体转录激活物样效应核酸酶；CRISPR-Cas9: 成簇的规则间隔的短回文重复；Cre/lox: 环化重组酶/X位点。

量。由于植物的油脂合成是系统调控，随着现代植物修饰技术、基因组学、蛋白质组学和代谢组学等高通量技术的超高速发展，可利用诱导转基因作物中脂质积累的基因修饰多基因工程策略，对油料作物量身定制，以满足未来世界的能源需求[12]。

4. 结论

世界石油资源的减少和油价的剧烈波动是威胁 21 世纪人类社会发展的挑战。生物柴油是解决全球能源危机、具有潜力的柴油替代品，毫无疑问，油料作物将对人类作出更大的贡献，并有可能使油料作物在化石资源枯竭后很长一段时间后成为生物柴油的主要来源之一。同时，利用现代育种和生物技术方法提高油料作物含油量并调整植物油中的脂肪酸比例，包括高比例的单不饱和脂肪酸（C16:1, C18:1）、低比例的多不饱和脂肪酸（C18:2, C18:3）和适量的饱和脂肪酸（C16:0, C18:0），从而为油料作物增产提供新的策略。固然，高效可靠、环保低碳、廉价的催化剂和绿色生产工艺的发展也是生物柴油产业化面临的重大挑战。

致谢

本研究得到了现代农业产业技术体系 CARS-13 和山

东省重点研究发展计划(2021LZGC026)的支持。

References

- [1] Li G, Sun J, Chen Z, Rui Z. Editorial for the special issue on unconventional and intelligent oil and gas engineering. *Engineering* 2022;18:1–2.
- [2] Tasić M. Disadvantages of herbaceous oil-bearing plants as feedstock in the biodiesel production. *Adv Technol* 2020;9(2):88–97.
- [3] Renewables 2022 global status report [Internet]. Nairobi: UNEP; 2022 Jun 15 [cited 2023 Jun 14]. Available from: <https://www.unep.org/resources/report/renewables-2022-global-status-report>.
- [4] Renewables 2022 global status report-record growth in renewables, but world missed historic chance for a clean energy recovery. Report. Paris: Ren21; 2022.
- [5] Rouhany M, Montgomery H. Global biodiesel production: the state of the art and impact on climate change. In: Tabatabaei M, Aghbashlo M, editors. *Biodiesel-from production to combustion*. Berlin: Springer; 2019. p. 1–14.
- [6] Chen R, Qin Z, Han J, Wang M, Taheripour F, Tyner W, et al. Life cycle energy and greenhouse gas emission effects of biodiesel in the United States with induced land use change impacts. *Bioresource Technol* 2018;251:249–58.
- [7] Mahmudul HM, Hagos FY, Mamat R, Adam AA, Ishak WFW, Alenezi R. Production, characterization and performance of biodiesel as an alternative fuel in diesel engines—a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2017;72: 497–509.
- [8] Marland G, Obersteiner M, Schlamadinger B. The carbon benefits of fuels and forests. *Science* 2007;318(5853):1066–8.
- [9] Tang S, Zhao H, Lu S, Yu L, Zhang G, Zhang Y, et al. Genome- and transcriptomewide association studies provide insights into the genetic basis of natural variation of seed oil content in *Brassica napus*. *Molecular Plant* 2021; 14(3):470–87.
- [10] Ortiz R, Geleta M, Gustafsson C, Lager I, Hofvander P, Löfstedt C, et al. Oil crops for the future. *Curr Opin Plant Biol* 2020;56:181–9.
- [11] Dauphinee AN, Cardoso C, Dalman K, Ohlsson JA, Fick SB, Robert S, et al. Chemical screening pipeline for identification of specific plant autophagy modulators. *Plant Physiol* 2019;181(3):855–66.
- [12] Xu XY, Yang HK, Singh SP, Sharp PJ, Liu Q. Genetic manipulation of non-classic oilseed plants for enhancement of their potential as a biofactory for triacylglycerol production. *Engineering* 2018;4(4):523–33.