

不同诱导因素调控三角褐指藻脂肪酸合成的研究进展

张凯 龚一富

宁波大学海洋学院 浙江省海洋生物工程重点实验室

DOI:10.12238/as.v8i6.3068

[摘要] 三角褐指藻是生产高附加值二十碳五烯酸(EPA)的理想微藻。本文综述了影响其脂肪酸(特别是EPA)合成的关键诱导因素:一氧化氮供体(SNP)显著提升产量;高光强增加单位EPA含量;外源碳(葡萄糖酸钠、甘露醇)有效促进积累;特定磷、铁浓度、低温(15℃)、低盐(10–15)及紫外线诱变均能优化EPA合成。这些发现为调控藻源EPA生产提供了依据。

[关键词] 三角褐指藻; 二十碳五烯酸; 脂肪酸; 诱导因素

中图分类号: S963.73+3 文献标识码: A

Research progress on the regulation of fatty acid synthesis in *Phaeodactylum tricornutum* by different inducing factors

Kai Zhang Yifu Gong

School of Marine Sciences, Ningbo University, Zhejiang Marine Biological Engineering Key Laboratory

[Abstract] *Phaeodactylum tricornutum* is an ideal microalga for producing high-value eicosapentaenoic acid (EPA). This review summarizes key inducing factors affecting its fatty acid (particularly EPA) synthesis: nitric oxide donor (SNP) significantly increased yield; high light intensity enhanced EPA content per unit; exogenous carbon sources (sodium gluconate, mannitol) effectively promoted accumulation; and specific phosphorus/iron concentrations, low temperature (15 °C), low salinity (10 – 15), and ultraviolet mutagenesis all optimized EPA synthesis. These findings provide a basis for regulating algal EPA production.

[Key words] *Phaeodactylum tricornutum*; eicosapentaenoic acid; fatty acid; inducing factors

1 前言

三角褐指藻是一种单细胞海洋模式硅藻,在不同的外界培养环境具有不同的形态,分别为梭形、三角放射形及卵形,具有繁殖速度迅速、环境能力适应性强等特点,在盐度波动较大的沿海地区均有发现,可在多种培养基中生长,其对于高pH环境具有耐受性,且在光照强度较低的环境中也能生长,这些优势使其在工业中用于大规模生产优于其他微藻类^[1]。同时,三角褐指藻独特的代谢网络可合成岩藻黄素(Fucoxanthin)、补光蛋白(FCP)、二十碳五烯酸(EPA)及甘油和糖醇等高附加值产物,在食品、医药及生物能源领域展现出巨大潜力,也可用作水生生物饲料及药物原料^[2]。

二十碳五烯酸(EPA)是一种含5个双键的多不饱和脂肪酸,在营养强化、防治心血管疾病、减轻炎症、降低血压等方面有着十分重要的作用,已成为保健品、药品的重要原料,积极补充EPA对婴儿大脑发育及成人心血管系统疾病的防治具有很好的效果^[3]。传统EPA来源主要为深海鱼精炼制得,其鱼腥味重、鱼产量季节性限制和鱼类种群停滞、价格昂贵等弊端直接导致了高品质EPA的短缺。因此,亟待开发可持续性EPA生产替代品。相

较于鱼油,藻细胞中的EPA成分更为容易提取^[4]。

现有研究证实,多种诱导因素均可影响三角褐指藻内脂肪酸的合成产量,本文旨在探讨影响三角褐指藻合成脂肪酸的多种诱导因素以及具体影响情况,以期为实现调控藻源脂肪酸生产提供理论支持。

2 不同诱导因素对三角褐指藻脂肪酸的影响

2.1 一氧化氮

一氧化氮(NO)是生物体内重要的活性分子,在生物的生长、发育、成熟、衰老、抗逆等生理过程中发挥着重要的作用。许文宗等^[5]的研究表明,外源NO可通过促进强光下三角褐指藻的快速生长来提高强光下三角褐指藻EPA的产量,在培养液中加入0.5mmol/L的亚硝基铁氰化钠(SNP)培养15天,则EPA的总产量是未添加SNP的2.06倍。

2.2 光作用

光照强度直接影响光合作用速率,是驱动微藻生长和基础代谢(如碳水化合物合成)的主要能量来源。一项研究表明,高光强(200μmol/(m²·s))下EPA的单产量(每克干藻粉所含EPA)是低光强(80μmol/(m²·s))下的2.35倍,高光强抑制了三角褐指藻的

生长,促进了其EPA的合成^[4]。不同波长的光(光质)能调控特定代谢途径,例如蓝光常促进蛋白质和叶绿素合成,红光可能更利于脂质积累。另一项光质调控脂肪酸合成的研究报道发现,单位细胞中DHA含量由高到低表现为白光>蓝光>红光>绿光^[4]。

2.3 外源性碳

葡萄糖酸钠(sodium gluconate)是一种价格低廉、性质稳定的有机酸盐,可作为外源性碳添加剂,在工业、发酵、医疗等方面用途广泛。伏靖等^[6]的研究表明不同浓度葡萄糖酸钠培养下三角褐指藻中性脂肪酸含量均极显著高于对照组,600mmol·L⁻¹组中性脂肪酸含量最高,达到2.51mg·g⁻¹,极显著高于对照组的0.15mg·g⁻¹。

甘露醇(Mannitol)是海洋中含量最为丰富的一类单糖物质,常被选作在兼养培养过程中作为有机碳源进行添加。丁晓婷等^[7]的研究表明,三角褐指藻在甘露醇浓度为2g/L的条件时获得最大脂肪酸产量。

2.4 磷元素

磷是生物体必需的大量元素之一,能够用于合成DNA、ATP、磷脂等生命活动所必需的重要细胞物质,并参与众多的新陈代谢反应。一项研究表明,当磷浓度为2.0mg·L⁻¹和2.5mg·L⁻¹时,三角褐指藻中EPA含量显著高于其他组^[8]。

2.5 铁元素

铁是藻细胞叶绿素合成和细胞代谢的必需元素,也是限制藻生长的主要因素之一,在海洋系统中起重要作用。一项研究表明,当铁浓度1.00mg·L⁻¹时,三角褐指藻EPA含量显著高于其余各组^[9]。

2.6 温度

温度直接调控代谢酶的活性,影响光合作用、呼吸速率及营养吸收效率。有研究表明,15℃培养条件下,三角褐指藻细胞中EPA含量显著高于其他各组,随着培养温度的继续升高,EPA含量逐渐降低^[10]。

2.7 紫外线诱变

紫外辐射是一种最常用有效的物理诱变方法,其诱变效应是引起物种的DNA结构改变而形成突变型。研究表明中波长的紫外辐射对微藻的光合作用、细胞分裂及不饱和脂肪酸的产量具有促进作用。刘红全等^[11]的实验表明,三角褐指藻在18W的紫外灯距离藻液35cm照射15min后突变株UP1的EPA产量提高10.2%。

2.8 盐度

盐度在一定程度上影响着藻类的渗透压、营养盐的吸收及其悬浮性。当藻细胞所处的海水盐度发生改变时,细胞的渗透压也随之改变,过高或过低的海水盐度都会对藻细胞造成伤害温度。有研究表明,EPA的含量受盐度的影响显著,低盐有利于该藻EPA的合成,当盐度为10和15时,该藻EPA含量显著高于其他各组,在盐度低于25范围内,该藻EPA的含量随着盐度的升高而降低^[10]。

2.9 硅限制

利用硅限制实验,能够筛选和鉴定对低硅环境敏感或耐受

的植物品种,为在硅有效性低的土壤中选育适应性更强的作物提供依据。陈百灵等^[12]的研究表明,三角褐指藻EPA含量在硅限制24 h含量达到最大值,分别是0h和对照组的1.11倍、1.18倍。

2.10 植物激素

水杨酸(Salicylic acid)作为关键的植物内源信号分子,能够激活植物的系统获得性抗性,显著增强植物对病原菌(如细菌、真菌、病毒)侵染的防御能力,常作为外源性植物激素调节植物的代谢产物合成效率。张诚鹏等^[13]的实验表明,40 μg/mL的水杨酸使三角褐指藻的脂肪酸含量增加了87.48%。

2.11 pH值

酸碱度(pH)值直接影响植物养分的有效性和吸收能力,精准调节植物培养环境pH值是优化作物生长和产量的关键管理措施。宋培钦等^[14]通过设置不同pH值培养基观察三角褐指藻脂肪酸含量变化,结果表明,pH值8.0条件下,三角褐指藻脂肪酸含量均达到最大值,为145.92mg/g。

3 讨论与结论

三角褐指藻作为EPA生物合成的理想平台,其代谢调控受多重环境因子影响:

高光虽抑制生长但显著提升EPA产率,外源NO可缓解强光胁迫并进一步放大EPA合成,暗示光信号与NO通路存在交互作用;葡萄糖酸钠与甘露醇作为低成本碳源,大幅提高中性脂肪酸产量,为兼养模式放大培养提供技术依据;磷、铁元素在特定浓度(2.0-2.5mg·L⁻¹P; 1.00mg·L⁻¹Fe)下最大化EPA合成,印证了关键酶系(如去饱和酶)对微量元素的依赖性;低温(15℃)、低盐(10-15)及UV诱变通过激活胁迫响应通路(如抗氧化系统)促进不饱和脂肪酸积累,但需平衡生长抑制与产物合成的矛盾;现有研究聚焦白光与单色光对DHA的影响,而三角褐指藻主要产物为EPA,未来需深入探究光质对EPA特异性合成的机制。三角褐指藻凭借强环境适应性及高效EPA合成能力,成为替代鱼油的理想生物工厂。综上所述,通过环境诱导与代谢工程协同优化,三角褐指藻有望突破EPA生产的成本瓶颈,推动藻源多不饱和脂肪酸的产业化应用。

[参考文献]

- [1]孙诗阳,张忠义,刘航,等.海洋微拟球藻对共培养三角褐指藻的分子生理学响应机制[J].海洋湖沼通报,2022,44(05):40-47.
- [2]王盼盼,管维良,徐冉,等.三角褐指藻源岩藻黄素功能活性及其生物合成研究进展[J].食品安全质量检测学报,2023,14(24):3-10.
- [3]侯兴国,方琰,白欢,等.过表达甘油激酶三角褐指藻菌株富集油脂的研究[J].四川大学学报(自然科学版),2020,57(6):1209-1216.
- [4]马怡然.富里酸抗氧化剂促三角褐指藻EPA合成积累及其机制解析[D].湘潭大学,2022.
- [5]许文宗,闫爽,王黎颖,等.强光下一氧化氮对三角褐指藻EPA产量的影响[J].天津科技大学学报,2017,32(01):18-24.

[6]徐润洁,龚一富,陈文婷,等.不同发光二极管单色光质对三角褐指藻中岩藻黄素含量及相关基因表达的影响[J].光学学报,2019,39(09):299-307.

[7]伏靖,王何瑜,胡媛,等.葡萄糖酸钠对三角褐指藻岩藻黄素与中性脂肪酸的影响[J].核农学报,2023,37(12):2342-2348.

[8]丁晓婷,王丽娟,范勇,等.甘露醇兼养三角褐指藻生产多不饱和脂肪酸和岩藻黄质[J].生物学杂志,2020,37(04):54-57.

[9]朱文娜,龚一富,郭芮栋,等.磷限制对三角褐指藻脂质含量及相关基因表达的影响[J].中国粮油学报,2021,36(07):93-99.

[10]梁晶晶,蒋霞敏,叶丽,等.氮、磷、铁对三角褐指藻诱变株生长、总脂及脂肪酸的影响[J].生态学杂志,2016,35(01):189-198.

[11]叶丽,蒋霞敏,毛欣欣,等.温、光、盐对三角褐指藻紫外

诱变株生长、总脂及脂肪酸的影响[J].生态学杂志,2015,34(02):454-462.

[12]刘红全,潘艺华,林小园,等.三角褐指藻紫外线诱变及高产EPA藻株选育[J].海洋科学,2017,41(09):87-93.

[13]陈百灵,潘瑾,朱葆华,等.硅限制对三角褐指藻叶绿素a、叶黄素含量和脂肪酸组成的影响[J].中国海洋大学学报(自然科学版),2011,41(12):36-39.

[14]张诚鹏,朱尧,张仁璇,等.水杨酸对两种海洋微藻生长及油脂积累的影响[J].生物加工过程,2018,16(06):42-46.

作者简介:

张凯(1998—),男,汉族,河南省驻马店市上蔡县人,硕士研究生,宁波大学海洋学院,研究方向:藻类资源开发。