

基于LED的微藻植物工厂光源系统设计

文 / 周泓¹ 代永辉¹ 李许可² 俞宝福³

摘要

文章提出并实现了基于LED的微藻植物工厂光源系统,对能源微藻培养光需特性及其随生长阶段变化规律的全新认知,研究所针对的能源微藻植物工厂的LED光环境优化机理及调控方法在提示能源微藻光能转化、光合固碳及油脂高效合成的机制,并提高微藻培养速率及提高油脂产量具有很好的理论与实际意义。

【关键词】微藻;植物工厂;LED光源;智能化光调控

1 光照条件对微藻培育的作用

微藻被认为是当今最具开发潜力的能源之一,也是经济高速发展过程中替代传统石油燃料能源的最佳选择之一。微藻种类繁多,其代谢产物非常丰富,如布朗葡萄藻富含有多糖物质,最高比例可占干重的75%;小球藻含有30%~50%的脂类物质,有的甚至高达85%。这些微藻的次生代谢产物可通过生物转化或后加工形成各种形式的生物能源,如生物柴油、生物合成气和生物氢气等。此外,藻类繁殖快,生长周期短,并且能够直接将太阳能高效转化为化学能。更令人欣喜的是,藻类生长过程所吸收的二氧化碳与其燃烧过程中所排出的二氧化碳数量相等,可以保持碳平衡^[5]。

基于以上众多优点,近年来与能源微藻相关的工作受到了空前的关注,基于微藻培育的植物工厂是实现微藻规模化生产的主要途径。

在能源微藻培养过程中,如何提高其生长速率及提高油脂产量是两个关键问题。研究发现,当产油微藻处在由化学或者物理环境刺激造成的条件变化时,就会超量生产油脂,其中主要的化学刺激为营养物限制,主要的物理刺激包括温度和光照强度。然而,营养物限制虽然可以提高细胞油脂含量,但会减弱微藻的光合作用,导致生物量减少,具有很大的局限性。因此,通过光照条件的调节对微藻细胞生长及生化成分的变化产生影响,成为微藻培养的一个重要研究方向。

光照是影响微藻细胞生长及生化成分变化最重要的因子之一,它对微藻的生长、繁殖、藻体颜色、细胞形态及代谢产物含量均

有重要的影响。光照作为一个复杂的生态因子,其对能源微藻细胞生长的作用因素主要包括光强、光质和光周期。综合国内外各方面的报道,有关光强和光周期对微藻细胞生长及代谢产物分布影响的研究较多,而通过调制合适的光质促进微藻生长的研究还比较少。

2 LED光源在微藻培育中的应用

随着科学技术的进步,目前国内微藻细胞培养所用的光源以荧光灯为主。荧光灯作为日常照明,无论从光谱结构还是从发光效率上看都是比较理想的选择,但是将其作为生态照明光源用于微藻细胞的培养还存在很大的局限性,如发光效率相对较低、光的利用率低、光的可控性差等。

现代光电科技的发展,可以精确到纳米的冷光源,即发光二级管LED光源的出现,为实现针对不同微藻的高效培养及光质研究提供了先进光源。因其寿命长、光效高、无辐射与低能耗等优点,近年来LED光源在各种光源领域备受青睐。此外,LED光源波长可以精确到1纳米,可以实现不同光质的任意配比的独特优点,使其在需光生物的培养上有其他光源无法比拟的优势,将LED光源引入到藻类培养过程成为一个重要研究方向。

目前对于LED光源在藻类培养中的研究目前主要集中在对于某一藻种选择一种固定光质,在整个藻类培养过程中光质参数无法改变。浙江大学潘学冬在前期对不同光质对蛋白核小球藻生长的影响进行了初步研究,研究发现,白光是蛋白核小球藻生长最佳光质条件,其次为红光,再次为蓝光。然而,仔细分析该试验结果,我们发现白光并没有在整个培养过程都呈现最佳生长状态。该初步结果也表明,光质对藻类培养整个生长过程的影响并不恒定不变。同时,研究发现,光质对蛋白核小球藻的生物量的积累、叶绿素的含量、β胡萝卜素、细胞内多糖含量、细胞内蛋白质含量有明显的影



同生长阶段和不同次生代谢产物积累指标的可变光质条件研究,具有很好的学术价值。

此外,在前期针对光照条件对藻类培养的研究中,都是将光质、光强与光周期进行独立化研究,一般采用固定光强与光周期的条件下开展光质条件的试验。然而,通过前

期的初步试验,我们也发现了整个培养过程中的适应的光强与光周期条件也并非恒定不变,三个光照参数之前呈现一定的相关性。通过对三个光照参数的相关性研究,建立基于过程的多元模型,将是对藻类培养研究的又一突破。

因此,对能源微藻培养光需特性及其随生长阶段变化规律的全新认知,研究所针对的能源微藻植物工厂的LED光环境优化机理及调控方法在提示能源微藻光能转化、光合固碳及油脂高效合成的机制,并提高微藻培养速率及提高油脂产量具有重大的理论与实际意义。

3 微藻植物工厂的LED光源系统设计方案

3.1 光质对能源微藻培养的生长特征影响规律

以布朗葡萄藻和原壳小球藻为研究对象,通过分析目标藻种的色素系统,选择白光、波长为620nm的红光、463nm的蓝光、比例8:3的红蓝混光的LED灯、比例8:1的红蓝混光的LED灯为试验光源(不同比例的红蓝LED光源),系统研究在不同光质条件下的布朗葡萄藻和原壳小球藻生长特征,比较分析光质对藻类培养的生长、生物量的积累、叶绿素a/b的含量、 β 胡萝卜素、细胞内多糖含量、细胞内蛋白质含量、含烃脂率等的影响。建立基于过程与次生代谢产物积累量与光质条件的数据模型,提示基于藻类培养过程的可变光质变化规律。

3.2 光强对藻类培养的生长特征影响规律

针对布朗葡萄藻和原壳小球藻为研究对象,在试验(1)基础上选择各自的最佳光质条件,开展不同光强对布朗葡萄藻和原壳小球藻生长影响的研究。光强范围从 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 到 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$,以 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 为间隔,进行多组式对照试验,得出光强对藻类培养整个过程的需求特征。

3.3 光周期对藻类培养的生长特征影响规律

在选定的最佳光质与光强条件下,以布朗葡萄藻和原壳小球藻为研究对象,开展不同光周期对布朗葡萄藻和原壳小球藻生长影响的研究,光/暗周期设置为20h:4h、16h:8h、12h:12h、8h:16h、4h:20h,进行多组式对照试验,得出光周期对藻类培养整个过程的需求特征。

3.4 确定不同藻类培养不同生长阶段的光生长需求特征曲线

针对目标藻种,建立光质、光强、光周期为三元参数的藻类培养不同生长阶段的光生长需求模型,绘制多元化生长需求曲线,并通过归一化处理实现光参数的存储。



3.5 进行阵列化LED光源的优化设计

在一个光源内通过阵列化设计,使不同的光质在平面上的均匀性不低于20%,白光、红光与蓝光子单元可分别控制亮与暗。整个LED阵列化LED光源采用板式设计,光强要求满足 $50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。

3.6 按照目标藻类培养的光生长需求曲线进行光环境自动调节

通过前期的试验,针对目标藻种,建立光质、光强、光周期为三元参数的藻类培养不同生长阶段的光生长需求模型,绘制多元化生长需求曲线,并通过归一化处理实现光参数的存储。对传统的植物光照培养箱进行改造,添加一个嵌入式控制器,采用嵌入式软件自动读取存储在E2PROM中的光调控曲线参数,按照光生长需求曲线对阵列化LED光源进行基于单元的光质、光强与光周期控制,实现整个培养过程的光环境自动调节。控制器最多可同时控制4个LED光源,每个LED光源需要8根I/O控制线,分别控制白光单元的每一个LED(共需3根I/O控制线)、蓝光单元的每一个LED(共需3根I/O控制线)与红光单元的每一个LED(以4个红光LED为一组,红光单元为两组LED,共需2根I/O控制线),实现LED光源光质的控制。采用同步PWM变频实现控制电流的调节技术,实现LED光源的光强与光周期控制。

结语

本实验组搭建了微藻培育LED光环境调控小型植物工厂,实验室共有2套经改造的藻类培养箱(在传统的植物培养箱基础上进行LED

单色光源的改造)分别装备了白色、红色、黄色、绿色、蓝色和红蓝混光(比例分别为8:1、8:2、8:3)等8种LED光源及日光灯传统光源。通过自行开发设计的LED光照培养箱应用于蛋白核小球藻的研究。研究发现,光质对蛋白核小球藻的生长、生物量的积累、叶绿素的含量、 β 胡萝卜素、细胞内多糖含量、细胞内蛋白质含量有明显的影响。■

参考文献

- [1] Liu J, Ma XQ The analysis on energy and environmental impacts of microalgae-based fuel methanol in China, Energy Policy, 2009, 37 (4): 1479-1488
- [2] Li YQ Biocatalysis and bioreactor design Biotechnology Progress 2008, 24, 815-820
- [3] Wang L, Li Y, Chen P, et al Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae Chlorella sp Bioresource Technology, 2010, 101: 2623-2628
- [4] 尚常花,朱顺妮,袁振宏等 产油微藻油脂代谢调控 农业机械 2011, 5: 57-60
- [5] 尤珊,郑必胜,郭昶远 光照对螺旋藻生长和形态的影响 微生物学杂志, 2002, 22 (6): 58-59
- [6] 王晶 LED光源促进微藻生长的研究 中国海洋大学硕士毕业论文 2007
- [7] 周虹丽,朱建华,杨安安,简伟军,林少君 东海原甲藻吸收光谱特性分析 海洋技术 2011, 3: 65-67
- [8] 潘学冬 一种适合植物生长的高效LED光源系统与控制方法研究,浙江大学博士毕业论文, 2011: 57-70

作者单位

- 1 浙江大学仪器科学与工程学系 浙江 杭州 310027
- 2 杭州汉微光电科技有限公司 浙江 杭州 310000
- 3 绍兴纺织机械集团有限公司 浙江 绍兴 312065