



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112239727 B

(45) 授权公告日 2022. 04. 01

(21) 申请号	202011104785.9	C12M 1/38 (2006.01)
(22) 申请日	2020.10.15	C12M 1/36 (2006.01)
(65) 同一申请的已公布的文献号		C12M 1/34 (2006.01)
申请公布号	CN 112239727 A	C12M 1/04 (2006.01)
(43) 申请公布日	2021.01.19	C12M 1/02 (2006.01)
(73) 专利权人	大连理工大学	C12R 1/89 (2006.01)
地址	116024 辽宁省大连市高新园区凌工路2号	(56) 对比文件
(72) 发明人	朱陈霸 迟占有	CN 111500466 A, 2020.08.07
(74) 专利代理机构	大连东方专利代理有限责任公司 21212	CN 113136342 A, 2021.07.20
代理人	房艳萍 李馨	审查员 杜凌燕
(51) Int. Cl.		
	C12N 1/12 (2006.01)	
	C12M 1/00 (2006.01)	

权利要求书3页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法,涉及微藻培养技术领域。该方法通过实时测得温度和光强来调整混合强度的方法实现混合能量的均衡管理。更为重要的是本方法可将节省的能量增强在最适生长时间的混合效率,从而有望进一步提高微藻的生产效率。因此,本发明在降低混合能耗的同时还可以保证微藻的高效生长,具有极大的运用潜力。

1. 一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法,其特征在于,该人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度和光照强度能够实时调整混合强度;

所述的人工智能微藻混合系统包括微藻培养系统和混合装置,所述的微藻培养系统为开放式跑道池或圆形池,所述的混合装置为搅拌桨;

所述的微藻为螺旋藻(*Spirulina.*);

所述的人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度和光照强度来实时调整混合强度的方法,如下:

当温度 $T \leq 15.0^{\circ}\text{C}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180\text{rpm} < n \leq 240\text{rpm}$;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180\text{rpm} < n \leq 240\text{rpm}$;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $240\text{rpm} < n \leq 300\text{rpm}$;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180\text{rpm} < n \leq 240\text{rpm}$;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 1000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $240\text{rpm} < n \leq 300\text{rpm}$;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 1000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $300\text{rpm} < n \leq 360\text{rpm}$;

当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180\text{rpm} < n \leq 240\text{rpm}$;

当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为

300rpm$n\leq 360\text{rpm}$。

2. 一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法,其特征在于,该人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度和光照强度能够实时调整混合强度;

所述的人工智能微藻混合系统包括微藻培养系统和混合装置,所述的微藻培养系统为开放式跑道池或圆形池,所述的混合装置为搅拌桨;

所述的微藻为螺旋藻(Spirulina.);

所述的人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度和光照强度来实时调整混合强度的方法,如下:

当温度 $T\leq 15.0^{\circ}\text{C}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为30rpm;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C}<T\leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L\leq 50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为30rpm;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C}<T\leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为120rpm;

当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C}<T\leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L>400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为200rpm;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C}<T\leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L\leq 50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为30rpm;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C}<T\leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为120rpm;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C}<T\leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为200rpm;

当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C}<T\leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L>400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为260rpm;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C}<T\leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L\leq 50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为30rpm;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C}<T\leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为120rpm;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C}<T\leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为200rpm;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C}<T\leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为260rpm;

当温度 T 为 $25.0^{\circ}\text{C}<T\leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L>1000\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为320rpm;

当温度 $T>30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L\leq 50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为30rpm;

当温度 $T>30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为120rpm;

当温度 $T>30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}<L\leq 400\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为200rpm;

当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$ ，且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，搅拌桨电机的转速 n 自动调整为320rpm。

3. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述的人工智能微藻混合系统包括控制器、温度计和光强仪，所述控制器分别与温度计和光强仪连接，所述的温度计和光强仪分别用于培养液温度和光照强度的实时监测。

4. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于，所述的控制器与微藻培养系统的混合装置连接，所述的控制器通过实时测得培养液温度和光照强度来调整混合的强度。

5. 根据权利要求1或2所述的方法，其特征在于，所述的微藻培养利用的碳源为有机碳源、 CO_2 、碳酸氢盐的至少一种。

一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及微藻培养技术领域,尤其是涉及一种基于人工智能的微藻培养方法。

背景技术

[0002] 作为一类光合微生物,微藻具有繁殖速度快、光合作用效率高、CO₂固定效率高、富含蛋白质、多糖、多不饱和脂肪酸以及色素等营养物质等优点,而且其培养容易、不占用宝贵的耕地资源。由于具有上述优点,微藻在食品、水产动物饲料、生物能源、污水处理、碳减排等方面有巨大应用潜力,其是解决目前环境、能源以及食品危机的最有利候选者。

[0003] 高效低成本的培养系统是促进微藻大规模产业化应用的关键。目前,微藻的培养系统主要有封闭式的光生物反应器和开放式培养系统,如开放池。其中,光生物反应器培养条件可靠、培养密度和效率较高,但是其制作和运行成本较高,导致其目前只能应用于雨生红球藻、三角褐指藻等高价微藻产品的商业化生产。与此相比,开放式培养系统具有较低的制作和运行成本,其目前已经应用于微藻的大规模户外商业化生产。但是其生产效率较低下,且不可控,很难利用该培养系统生产出成本更低的微藻生物质。

[0004] 事实上,混合效率低下是导致微藻培养系统生产效率较低的主要原因。混合是影响微藻生长的一个重要因素,如其能够促进传质;提高细胞在光暗区间切换的频率(即闪光效应),而较高的闪光效应能够提高微藻的光合作用效率;防止细胞沉降和局部温度过高。另外,开放式培养系统的混合效果在空间上是不均衡的。如Mendoza报道,在开放池搅拌桨、气体鼓泡处、直道和靠近搅拌桨的弯道处的氧气传质系数分别164.50、63.66、0.87、0.94h⁻¹。因此,提高混合强度,特别是提高开放式培养系统的全区域的混合效率,将是提高开放式培养系统生产效率的关键。

[0005] 除了混合效率外,温度和光照强度是影响微藻生长的另外两个非常重要的因素。理论上,只有同时维持微藻的最适温度和光照强度,微藻的生长速度才是最高的。但是,由于自然光暗循环的限制,开放池内微藻的最适温度和最适光照强度并不能同步,而且一天内能够维持同时最适温度和最适光照强度的时间是非常有限的,而对应的非最适生产时间是比较长的。另外一方面,微藻培养系统的混合是全天候以一个恒定速度运转的,这将导致开放池将过多的能量浪费在非最适生产时间。

发明内容

[0006] 本发明是为了提高微藻培养系统的生产效率以及解决其浪费在非最适生产时间的能耗问题,提供了一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法。该人工智能混合微藻系统通过实时检测的培养液温度和光照强度(光强)来调整混合强度,从而避免将过多的能量浪费在非最适生产时间,而节省的能耗则可以用于提高在最适生产时间的混合效率,从而达到节能、高效的生产目的。

[0007] 在本技术公开之前,现有培养技术为了提高培养系统的生产效率,一般都是通过提高其混合强度或是通过在其内部增设挡板的方法来提高混合效率。虽然这些方法可以显

著提高培养系统的生产效率,但是它们都是以消耗较高能量为代价的。这主要是因为这些方法并没有考虑到因自然光暗循环导致的温度和光强不匹配的问题,即微藻的最适温度和最适光照强度并不能同步,而一天内能够维持同时最适温度和最适光照强度的时间是非常有限的。因此,上述方法将过多的能量浪费在时间较长的非最适生产时间。相比之下,本发明所公开的技术利用人工智能微藻混合系统来培养微藻,该系统通过实时测得温度和光强来调整混合强度的方法来实现混合能量的均衡管理,从而将混合能量集中利用在最适生长时间,避免过多的浪费在非最适生产时间。

[0008] 具体的,本发明的技术方案如下:

[0009] 一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法,包括如下步骤:

[0010] (1) 将人工智能微藻混合系统与微藻培养系统的混合装置连接;

[0011] (2) 将微藻培养基装入上述含有人工智能混合系统的微藻培养系统中,并将微藻接种到所述培养基中;

[0012] (3) 接通混合装置的电源,该混合装置将根据人工智能混合系统内置的控制程序指令控制混合装置的运转速度进而控制混合的强度,以此来进行微藻培养。

[0013] 根据上文技术方案,所述的人工智能微藻混合系统包括控制器、温度计和光强仪,所述控制器分别与温度计和光强仪连接,其中温度计和光强仪分别用于培养液温度和光强的实时监测。

[0014] 根据上文技术方案,所述的控制器与微藻培养系统的混合装置连接,通过实时测得培养液温度和光强来调整混合的强度。所述的控制器为含有编程用以控制电机以一定频率运转和停止的控制器,主要用于监测数据的处理和混合装置的指令控制,其能够实施读取和处理监测的温度和光强数据,并通过编好的程序向步进电机驱动器发送脉冲,步进电机接收信号带动混合装置以按照给定的速度运转。

[0015] 根据上文技术方案,所述控制器分别与光强仪、混合装置、温度计电性连接。

[0016] 根据上文技术方案,所述的微藻培养系统可以是但不限于:开放式跑道池和圆形池、平板式光生物反应器、管道式光生物反应器、柱式光生物反应器等封闭式光生物反应器、漂浮式光生物反应器。

[0017] 根据上文技术方案,所述的混合装置包括搅拌桨、循环水泵、曝气的气石和管道。

[0018] 根据上文技术方案,所述的人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度 T 和光照强度 L 来实时调整混合强度的方法(混合调整策略),具体如下:

[0019] 当温度 $T \leq 15.0^{\circ}\text{C}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为大于 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

[0020] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

[0021] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

[0022] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}\text{C} < T \leq 20.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180\text{rpm} < n \leq 240\text{rpm}$;

[0023] 当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30\text{rpm} < n \leq 60\text{rpm}$;

[0024] 当温度 T 为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60\text{rpm} < n \leq 180\text{rpm}$;

$^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60rpm < n \leq 180rpm$;

[0025] 当温度 T 为 $20.0^{\circ}C < T \leq 25.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180rpm < n \leq 240rpm$;

[0026] 当温度 T 为 $20.0^{\circ}C < T \leq 25.0^{\circ}C$,且光照强度 $L > 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $240rpm < n \leq 300rpm$;

[0027] 当温度 T 为 $25.0^{\circ}C < T \leq 30.0^{\circ}C$,且光照强度 $L \leq 50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30rpm < n \leq 60rpm$;

[0028] 当温度 T 为 $25.0^{\circ}C < T \leq 30.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60rpm < n \leq 180rpm$;

[0029] 当温度 T 为 $25.0^{\circ}C < T \leq 30.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180rpm < n \leq 240rpm$;

[0030] 当温度 T 为 $25.0^{\circ}C < T \leq 30.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 1000\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $240rpm < n \leq 300rpm$;

[0031] 当温度 T 为 $25.0^{\circ}C < T \leq 30.0^{\circ}C$,且光照强度 $L > 1000\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $300rpm < n \leq 360rpm$;

[0032] 当温度 $T > 30.0^{\circ}C$,且光照强度 $L \leq 50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30rpm < n \leq 60rpm$;

[0033] 当温度 $T > 30.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $60rpm < n \leq 180rpm$;

[0034] 当温度 $T > 30.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $200\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $180rpm < n \leq 240rpm$;

[0035] 当温度 $T > 30.0^{\circ}C$,且光照强度 $L > 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $300rpm < n \leq 360rpm$ 。具体即见下表:

光照强度 L 电机转速 n 温度 T						
		$L \leq 50.0$	$50.0 < L \leq 200$	$200 < L \leq 400$	$400 < L \leq 1000$	$L > 1000$
[0036]	$T \leq 15.0$	$30 < n \leq 60$	$30 < n \leq 60$	$30 < n \leq 60$	$30 < n \leq 60$	$30 < n \leq 60$
	$15.0 < T \leq 20.0$	$30 < n \leq 60$	$60 < n \leq 180$	$60 < n \leq 180$	$180 < n \leq 240$	$180 < n \leq 240$
	$20.0 < T \leq 25.0$	$30 < n \leq 60$	$60 < n \leq 180$	$180 < n \leq 240$	$240 < n \leq 300$	$240 < n \leq 300$
	$25.0 < T \leq 30.0$	$30 < n \leq 60$	$60 < n \leq 180$	$180 < n \leq 240$	$240 < n \leq 300$	$300 < n \leq 360$
	$T > 30.0$	$30 < n \leq 60$	$60 < n \leq 180$	$180 < n \leq 240$	$300 < n \leq 360$	$300 < n \leq 360$

[0037] 注:光照强度 L 单位: $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$,温度 T 单位: $^{\circ}C$,电机转速 n 单位: rpm 。

[0038] 所述的人工智能微藻混合系统通过测得的培养液温度 T 和光照强度 L 来实时调整混合强度的方法(混合调整策略),优选如下:

[0039] 当温度 $T \leq 15.0^{\circ}C$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30rpm$;

[0040] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}C < T \leq 20.0^{\circ}C$,且光照强度 $L \leq 50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $30rpm$;

[0041] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}C < T \leq 20.0^{\circ}C$,且光照强度 L 为 $50\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1} < L \leq 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速 n 自动调整为 $120rpm$;

[0042] 当温度 T 为 $15.0^{\circ}C < T \leq 20.0^{\circ}C$,且光照强度 $L > 400\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 时,搅拌桨电机的

转速n自动调整为200rpm;

[0043] 当温度T为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为30rpm;

[0044] 当温度T为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为120rpm;

[0045] 当温度T为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为200rpm;

[0046] 当温度T为 $20.0^{\circ}\text{C} < T \leq 25.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为260rpm;

[0047] 当温度T为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为30rpm;

[0048] 当温度T为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为120rpm;

[0049] 当温度T为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为200rpm;

[0050] 当温度T为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 1000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为260rpm;

[0051] 当温度T为 $25.0^{\circ}\text{C} < T \leq 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 1000\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为320rpm;

[0052] 当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L \leq 50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为30rpm;

[0053] 当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $50\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为120rpm;

[0054] 当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 L 为 $200\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < L \leq 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为200rpm;

[0055] 当温度 $T > 30.0^{\circ}\text{C}$,且光照强度 $L > 400\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,搅拌桨电机的转速n自动调整为320rpm。具体即见下表:

温度 T	光照强度 L 电机转速 n	光照强度 L				
		$L \leq 50.0$	$50.0 < L \leq 200$	$200 < L \leq 400$	$400 < L \leq 1000$	$L > 1000$
[0056]	$T \leq 15.0$	30	30	30	30	30
	$15.0 < T \leq 20.0$	30	120	120	200	200
	$20.0 < T \leq 25.0$	30	120	200	260	260
	$25.0 < T \leq 30.0$	30	120	200	260	320
	$T > 30.0$	30	120	200	320	320

[0057] 注:光照强度L单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度T单位: $^{\circ}\text{C}$,电机转速n单位:rpm。

[0058] 根据上文技术方案,所述的微藻培养利用的碳源包括醋酸、葡萄糖、乙醇、乙酸钠等有机碳源、 CO_2 、碳酸氢盐的至少一种。

[0059] 根据上文技术方案,所述的微藻为盐生杜氏藻(*Dunaliella* sp.)、小球藻(*Chlorella* sp.)、超嗜盐杆藻(*Eubacter* sp.)、螺旋藻(*Spirulina*)、微鞘藻

(Microcoleus sp.)、集胞藻(Synechocystis sp.)、球等鞭金藻(Isochrysis sp.)、小定鞭金藻(Prymnesium sp.)、富油新绿藻(Neochloris oleoabundans)、微拟球藻(Nannochloropsis)、三角褐指藻(Phaeodactylum tricornutum)。

[0060] 与传统连续混合培养方法相比,本发明具有如下益处:

[0061] 本发明提供了一种基于人工智能微藻混合系统培养微藻的方法,该方法通过实时测得温度和光强来调整混合强度的方法实现混合能量的均衡管理。更为重要的是本方法可将节省的能量增强在最适生长时间的混合效率,从而有望进一步提高微藻的生产效率。因此,本方法可以节能、高效地培养微藻,在降低混合能耗的同时还可以保证微藻的高效生长,具有极大的运用潜力。

附图说明

[0062] 图1为人工智能微藻混合系统示意图。

[0063] 图2为实施例1温度和光强对螺旋藻生长的影响。

[0064] 图3为实施例2智能开放池培养螺旋藻。

具体实施方式

[0065] 下述非限制性实施例可以使本领域的普通技术人员更全面地理解本发明,但不以任何方式限制本发明。下述内容仅仅是对本申请要求保护的范围的示例性说明,本领域技术人员可以根据所公开的内容对本申请的发明做出多种改变和修饰,而其中也应当属于本申请要求保护的范围之内。

[0066] 实施例1温度和光强对螺旋藻生长的影响

[0067] 首先配制如下培养基:25.2g L⁻¹NaHCO₃,2.5g L⁻¹NaNO₃,0.04g L⁻¹CaCl₂·2H₂O,1.0g L⁻¹K₂SO₄,0.5g L⁻¹K₂HPO₄,0.2g L⁻¹MgSO₄·7H₂O,0.01g L⁻¹FeSO₄·7H₂O,1.979g L⁻¹MoCl₂·4H₂O,3.092g L⁻¹H₃BO₃,0.484g L⁻¹NaMo₄·2H₂O,0.23g L⁻¹ZnSO₄·7H₂O,0.183g L⁻¹NaVO₃,0.048g L⁻¹CoCl₂·6H₂O,0.2g L⁻¹CuSO₄·5H₂O。

[0068] 将上述培养基注入到高10cm、宽5.0cm、长20cm的长方形管式光生物反应器中,该反应的混合由翹板式摇床提供,摇床转速为60rpm,摇床设置为连续工作模式。然后向该反应器中接入新鲜的螺旋藻FACHB-314,且控制最终的接种体积和接种密度分别为200ml和0.1g L⁻¹。最后,分别在50、200和400μmol·m⁻²·s⁻¹三种连续光照强度下,来考察15、20、25、30、35、40℃等温度对螺旋藻生长的影响,培养时间为2天。

[0069] 如图2所示,在低光照强度(50.0μmol·m⁻²·s⁻¹)培养条件下,螺旋藻在所有研究温度条件下的比生长速率均小于1。而在低温度(<20℃)、高光强(200和400μmol·m⁻²·s⁻¹)培养条件下螺旋藻的比生长速度也是小于1的。与此相比,螺旋藻在高光照强度(200和400μmol·m⁻²·s⁻¹)、20-35℃培养条件下的比生长速率是大于1的,其中在400μmol·m⁻²·s⁻¹、25℃培养条件下的比生长速率最大,为1.83±0.01d⁻¹。上述结果表明螺旋藻只有在同时处以最适温度和最适光照强度培养条件下的生长才是最快的。

[0070] 实施例2智能开放池培养螺旋藻

[0071] 将实施例1所述400L培养基注入到养殖面积为2.0m²的跑道池内,注入培养基后液层厚度为20.0cm。开放池培养液的混合由其搅拌桨驱动,其中该搅拌桨通过数据线与智能

混合系统的控制器连接,并接受控制器的指令进行运转。另外,该控制器还分别连接光强仪和温度计,分别用于光强和温度的检测和获取,其中测量的温度是培养液温度。控制器将根据实时检测的数据并通过预先编制好的程序用以对搅拌桨的转速进行控制,该控制依据来源于实施例1的实验结果。具体的智能开放池混合控制策略如下表所示,在该控制策略下搅拌桨将以30、120、200、260、320rpm的电机转速进行实时调整和运转。作为对照,另外再设置两个相同的开放池,但它们分别以30rpm和320rpm的搅拌转速恒定运转,分别记为低速开放池和高速开放池。最后按照 0.05g L^{-1} 的密度接入螺旋藻FACHB-314,并在户外自然条件下进行螺旋藻的培养,搅拌桨每白天运转14小时(自早5点至晚7点),培养时间为9天。

温度 T	光照强度 L 电机转速 n					
		$L \leq 50.0$	$50.0 < L \leq 200$	$200 < L \leq 400$	$400 < L \leq 1000$	$L > 1000$
[0072]	$T \leq 15.0$	30	30	30	30	30
	$15.0 < T \leq 20.0$	30	120	120	200	200
	$20.0 < T \leq 25.0$	30	120	200	260	260
	$25.0 < T \leq 30.0$	30	120	200	260	320
	$T > 30.0$	30	120	200	320	320

[0073] 注:光照强度L单位: $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度T单位: $^{\circ}\text{C}$,电机转速n单位:rpm。

[0074] 如图3所示,经过9天培养后,智能开放池获得同高速开放池相同的细胞密度,它们分别为 $0.233 \pm 0.00\text{g L}^{-1}$ 和 $0.237 \pm 0.01\text{g L}^{-1}$,且它们之间无显著性差异($p < 0.05$)。且这两个开放池的细胞密度均是高于低速开放池的($0.186 \pm 0.01\text{g L}^{-1}$, $p > 0.05$),该结果表明增强混合效率可以显著提高生产效率。更为重要的是,本发明的智能开放在取得同高速开放池相同的培养水平时,还节省了38.6%的能量,其中智能开放池和开放池的能耗分别为12.18kWh和19.85kWh。综上所述,本发明在节约能耗的同时还可以维持较高的生产效率。

[0075] 对于任何熟悉本领域的技术人员而言,在不脱离本发明技术方案范围情况下,都可利用上述揭示的技术内容对本发明技术方案作出许多可能的变动和修饰,或修改为等同变化的等效实施例。因此,凡是未脱离本发明技术方案的内容,依据本发明的技术实质对以上实施例所做的任何简单修改、等同变化及修饰,均应仍属于本发明技术方案保护的范围内。

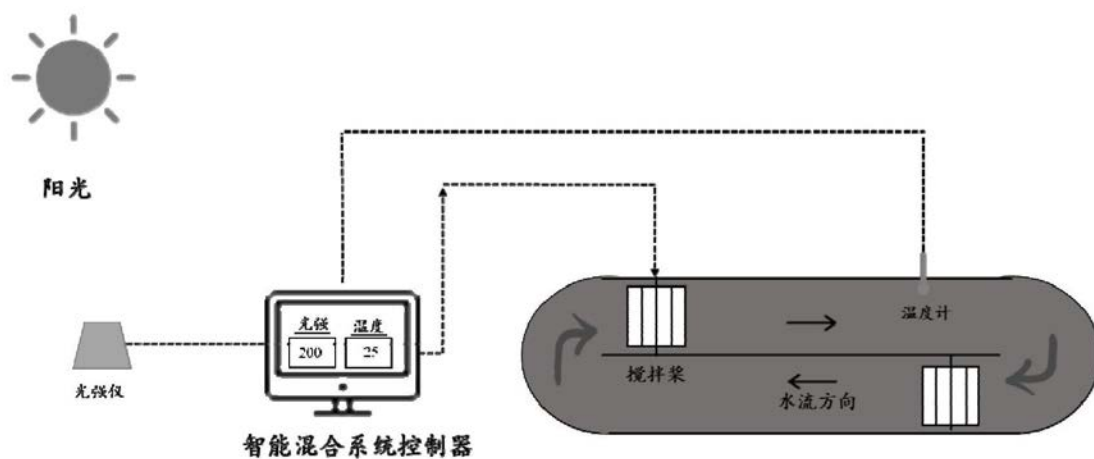


图1

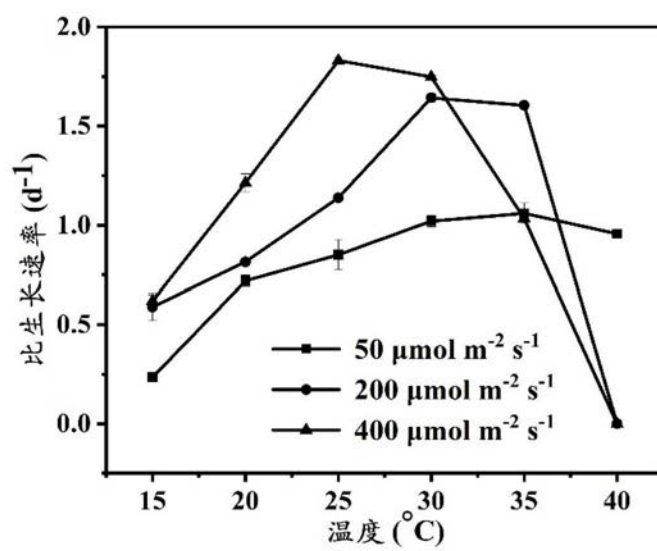


图2

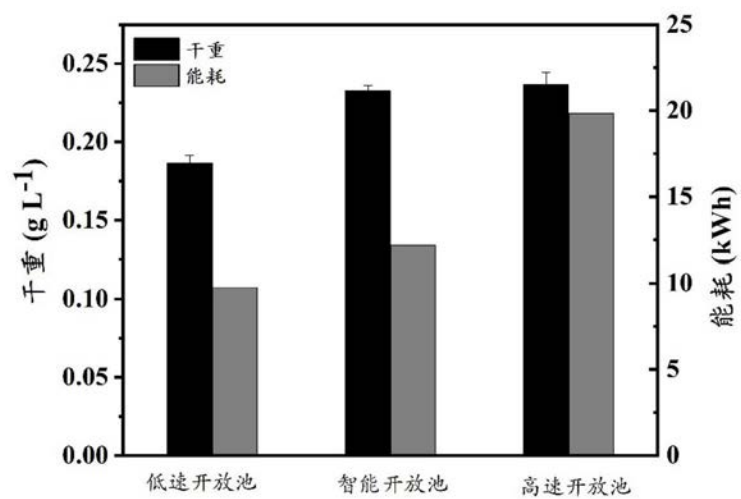


图3