



(12) 实用新型专利

(10) 授权公告号 CN 204298382 U

(45) 授权公告日 2015. 04. 29

(21) 申请号 201420642737. 9

(ESM) 同样的发明创造已同日申请发明专利

(22) 申请日 2014. 10. 30

(73) 专利权人 国家开发投资公司

地址 100034 北京市西城区阜成门北大街6号-6 国际投资大厦

专利权人 中国电子工程设计院

(72) 发明人 胡强 迟庆雷 喻正保

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所  
11105

代理人 王小京

(51) Int. Cl.

C12M 1/00(2006. 01)

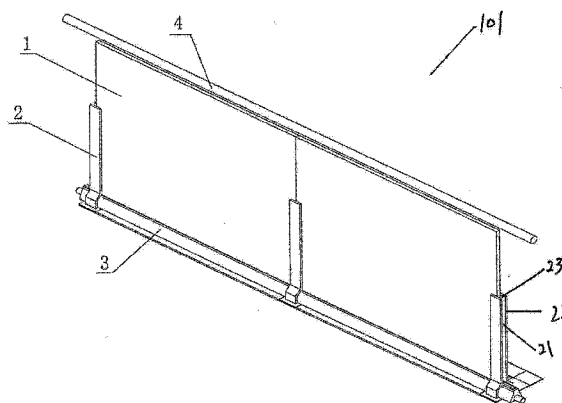
权利要求书2页 说明书12页 附图3页

(54) 实用新型名称

覆膜多孔板结构表面生长式培养板、培养单元及培养系统

(57) 摘要

一种覆膜多孔板结构的表面生长式培养板、该培养板包括一层多孔板,该多孔板由刚性吸水渗水材料制成,该多孔板具有第一孔径;以及于该多孔板两侧分别覆盖一层超微孔膜,所述超微孔膜具有第二孔径,其中第二孔径小于第一孔径,所述超微孔膜的第二孔径的大小能够防止细菌或藻进入到内部,但允许水、无机盐渗出。培养单元,包括至少一个培养板;一个供液装置,所述供液装置用于向培养板提供培养液;至少一个培养液回收装置,所述培养液回收装置设于所述培养板下端。此外,本实用新型还涉及一种包含培养单元的表面生长式培养系统。本实用新型解决了现有浸没式微藻培养的光生物反应器系统制造和维护成本昂贵,空间利用率低、生产效率低、能耗高的问题。



CN 204298382 U

1. 一种覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其特征是,该培养板包括:

一层多孔板,该多孔板由刚性吸水渗水材料制成,该多孔板具有第一孔径;以及在该多孔板两侧分别覆盖一层超微孔膜,所述超微孔膜具有第二孔径,其中第二孔径小于第一孔径,所述超微孔膜的第二孔径的大小能够防止细菌或藻进入到内部,但允许水和无机盐渗出。

2. 根据权利要求1所述的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其特征是,所述多孔板具有 $3 \sim 40 \mu\text{m}$ 的第一孔径。

3. 根据权利要求1所述的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其特征是,所述超微孔膜是由分子筛 beta 或分子筛 ZSM-5 所形成。

4. 如权利要求3所述的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其特征是,所述超微孔膜具有 $0.2 \sim 3 \mu\text{m}$ 的第二孔径。

5. 如权利要求1所述的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其特征是,所述培养板的表面呈凹凸不平状。

6. 一种表面生长式培养培养单元,其特征包括:

至少一个如权利要求1-5所述的培养板,其表面供附着微藻生长;

至少一个供液装置,所述供液装置用于向所述培养板提供微藻生长所需的培养液,所述培养液被所述的培养板吸收并渗透至该培养板的表面;

至少一个培养液回收装置,所述培养液回收装置设于所述培养板下端,以将各培养板下端渗出或未被培养板吸收的培养液收集。

7. 根据权利要求6所述的表面生长式培养培养单元,其特征是,所述供液装置系罩设于所述培养板的顶端。

8. 根据权利要求6所述的表面生长式培养培养单元,其特征是,所述供液装置以间隔方式设于该培养板的顶端上方位置,所述供液装置以喷淋、滴漏或渗漏的方式给该培养板提供培养液。

9. 根据权利要求6所述的表面生长式培养单元,其特征是,所述培养单元还包括至少一个固定装置,该固定装置用于将所述培养板以直立的方式固定于一个预定位置。

10. 一种表面生长式培养系统,该培养系统包括:

一个由权利要求6-9任一项所述的培养单元所组成的阵列,以及

用于向所述阵列中的培养单元的供液装置提供培养液的培养液供给装置;

其中,所述培养液供给装置包括培养液池、和循环动力装置,所述培养液池用于储存培养液,所述循环动力装置用于将所述培养液池中的培养液输送至各该供液装置。

11. 根据权利要求10所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述循环动力装置为一个泵,该泵设于该培养液池连接至各该供液装置的管路上。

12. 根据权利要求10或11所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述培养液供给装置还包括一个二氧化碳的混入装置,所述混入装置将二氧化碳混入至所述的培养液培养池中。

13. 根据权利要求10所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述循环动力装置包括一个压力罐、一个空气压缩气源,其中该压力罐与该培养池连接,该培养池中的培养液输入至该压力罐中暂存,该空气压缩气源连接至该压力罐,用于对压力罐内部进行压力调节,该

压力罐的通过管道连接至各该供液装置,开启该空气压缩气源对该压力罐增压,使压力罐内的培养液输送至各该供液装置。

14. 根据权利要求 13 所述的表面生长式培养系统,其特征是,该压力罐连接一个液位计,该空气压缩气源连接至该压力罐的管路上设有截止阀、减压阀,该压力罐连接至各该供液装置的管路上设有一个压力表。

15. 根据权利要求 10 或 11 或 13 所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述培养液回收装置将该培养板下端渗出或未被该培养板吸收的培养液收集并通过管路返回至培养液池。

16. 根据权利要求 15 所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述培养板与培养液回收装置中的培养液接触,使培养液回收装置中的培养液通过毛细作用浸润该培养板的下部的部分区域。

17. 根据权利要求 10 或 11 或 13 所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述培养单元为至少两个,相邻培养单元之间设置有光源装置,该光源装置与所述培养单元平行地设置;或者,所述各培养单元平行放置形成阵列,而将一光源装置设于该阵列的一侧,与各该培养单元垂直。

18. 根据权利要求 17 所述的表面生长式培养系统,其特征是,所述光源为自然光或人工光源,所述人工光源为双面光源或单面光源。

## 覆膜多孔板结构表面生长式培养板、培养单元及培养系统

### 技术领域

[0001] 本实用新型涉及一种用于微藻养殖的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板、培养单元及培养系统。

### 背景技术

[0002] 藻类是一种能够进行光合作用的水生浮游藻类,微藻是其中个体小到仅能够在显微镜下观察到的一类单细胞藻类。某些微藻本身富含蛋白质,可以作为水产饵料或畜禽饲料(如螺旋藻);更重要的,某些微藻在特定条件下能够大量合成次生代谢物,如油脂、类胡萝卜素、多糖等,这些物质往往具有极高经济价值的生物活性物质,可以被用在功能食品、食品添加剂、制药、生物能源等领域。特别是,通过微藻大规模培养以从中提取微藻油脂,进而转化成生物柴油被认为是解决能源短缺与固碳减排的最重要途径之一。

[0003] 微藻培养已有几十年历史,目前的工业化微藻培养为液体浸没式,以大量水作为微藻生活支撑介质。主要包括开放式培养池与密闭式光生物反应器(photobioreactor, PBR)两种形式。开放式培养池的优点在于建造和运行的成本较低。但由于开放池的光照面积/体积比较小,液体表面与下部混合较差,只有表层藻细胞能够接受较充足的光照,池底细胞往往难以接受到充分光照;其次,开放池培养运行水深较浅,一般只有10-30厘米,使得通气补碳时气液接触时间短,补碳效率低,培养液中溶解二氧化碳(CO<sub>2</sub>)的不足,使光合作用受到限制;再一个是开放式升温慢,不能在短时间内升到酶活性最好的温度25℃,经常错失光利用的最佳时机;而在夜间开放式池内温度自然下降太慢,使藻细胞仍然保持旺盛的呼吸作用,将白天存储的能量消耗掉,故使藻细胞内有用的代谢物含量太低。因此开放池培养的细胞生长速度与培养密度均较低,另外其占地还大,容易受到污染。与其相比,PBR一般是采用透光材料(如玻璃、有机玻璃、塑料薄膜等)制成的细薄结构,由于光径小、培养体系光照面积/体积比较大,所以细胞光照较充分。同时,补碳气体与液体接触时间长,培养液溶解CO<sub>2</sub>浓度较高,因而细胞生长速度与培养密度均较开放培养池高。但该类PBR通常造价昂贵、运行成本高、维护困难、难于大型化,产率为5~30g/m<sup>2</sup>/d,远远低于理论预测值100~200g/m<sup>2</sup>/d,达不到产业化的理论计算目标,光能利用率低,这项微藻大规模培养实现产业化最重要的直接制约因素仍有待提高。

[0004] 近年来,出现了一种半干式培养系统,并且已有文献报道。但是,目前的半干式培养系统一般是采用滤纸、滤布、海绵、塑料泡沫、纤维织物(例如帆布)中的一种或几种作为基质材料。然而,该类软质材料具备如下缺点:(1)机械强度低,需要复杂的支撑和固定等配套装置,不合适大尺寸和空间高度上的放大,只能制成低矮细薄结构;(2)表面湿度不均匀,微藻生长不牢固,容易受到环境影响而脱落;(3)不耐循环使用,需要经常更换,增加成本;(4)容易掉落纤维等杂质,使收获的微藻受到污染;(5)吸水和保水性能差,不利于微藻生长繁殖逐渐增加的培养液消耗要求并且能源成本增加,和(6)这些柔性材料在作为培养载体时,其生物兼容性和耐化学腐蚀性等方面都具有一定局限性。因此目前此类培养系统仍不适于规模化生产。

[0005] 鉴于现有技术的上述缺点,本实用新型采用一种新型表面生长式培养单元、培养系统及培养方法。

### 实用新型内容

[0006] 为克服上述缺点,本实用新型提供一种覆膜多孔板结构的表面生长式培养板,其包括:

[0007] 一层多孔板,该多孔板由刚性吸水渗水材料制成,该多孔板具有第一孔径;以及在该多孔板两侧分别覆盖一层超微孔膜,所述超微孔膜具有第二孔径,其中第二孔径小于第一孔径,所述超微孔膜的第二孔径的大小能够防止细菌或藻进入到内部,但允许水、无机盐渗出。

[0008] 所述超微孔膜的第二孔径需要根据所要培养的微藻品种来确定,不同的微藻品种,其粒径不同,所述超微孔膜的第二孔径需使小于微藻的粒径,以防止藻种逆向移动至多孔板内部,而使藻种无法正常生长,还可以避免具有毒性作用的细菌等污染物进入至多孔板内部。由于,通常情况下水分子的粒径约 $4\text{\AA}$ ,无机盐粒径在 $2\text{nm}$ 以下,而微藻或细菌的粒径远大于水或无机盐分子的粒径,最小的藻粒径也在 $1\mu\text{m}$ 以上,因而两者之间存在3个数量级的差距,则超微孔膜的第二孔径的选择范围也较大,原则上水和无机盐能够自由渗出,而使藻和细菌只能停留在表面即符合本实用新型的要求。

[0009] 在一个实施方案中,所述多孔板是由基质材料和添加剂制成的硬质多孔板,其中,所述添加剂包括粘结剂,所述基质材料为分子筛、玻璃砂、玻璃粉或青石。

[0010] 在一个实施方案中,所述粘结剂包含铝石。

[0011] 在一个实施方案中,所述粘结剂还包含田菁粉和硝酸。

[0012] 在一个实施方案中,所述分子筛具有 $5\text{\AA} \sim 2\text{nm}$ 的孔径、较佳为 $6 \sim 8\text{\AA}$ 。

[0013] 在一个实施方案中,所述多孔板包含分子筛和铝石,其中所述分子筛为50-90质量份,铝石为5-45质量份。

[0014] 在一个实施方案中,所述多孔板包含分子筛、铝石、田菁粉和硝酸,其中所述分子筛为60-80质量份,铝石为15-35质量份,田菁粉为1-4质量份,硝酸为1-4质量份。

[0015] 在一个实施方案中,所述多孔板具有 $3 \sim 40\mu\text{m}$ 的第一孔径。

[0016] 在一个实施方案中,所述超微孔膜是由分子筛beta或分子筛ZSM-5所形成。

[0017] 在一个实施方案中,所述多孔板外侧所覆盖的超微孔膜通过以下方法制备:用含有分子筛beta或分子筛ZSM-5的制膜液,将该多孔板在室温和常压下通过辊子涂布、喷涂或浸没法处理,形成该超微孔膜。

[0018] 在一个实施方案中,所述超微孔膜具有 $0.2 \sim 3\mu\text{m}$ 的第二孔径,在这个孔径范围时,无机盐和水分子可以顺利渗透,而藻种和细菌皆无法进入到多孔板内部;较优选的,所述第二孔径为 $0.2\mu\text{m} \sim 0.45\mu\text{m}$ 之间,能够阻挡绝大多数污染细菌。

[0019] 在一个实施方案中,所述培养板的表面呈凹凸不平状。

[0020] 此外,本实用新型还提供了一种包含上述培养板的培养单元,其包括:

[0021] 至少一个前述任一个方案的培养板,其表面供附着微藻生长;

[0022] 至少一个供液装置,所述供液装置用于向所述培养板提供微藻生长所需的培养液,所述培养液被所述的培养板吸收并渗透至该培养板的表面;

[0023] 至少一个培养液回收装置,所述培养液回收装置设于所述培养板下端,以将各培养板下端渗出或未被培养板吸收的培养液收集。

[0024] 在上述培养单元的一个实施方案中,所述供液装置系罩设于所述培养板的顶端。

[0025] 在上述培养单元的一个实施方案中,所述供液装置以间隔方式设于该培养板的顶端上方位置,所述供液装置以喷淋、滴漏或渗漏的方式给该培养板提供培养液。

[0026] 在上述培养单元的一个实施方案中,所述培养单元还包括至少一个固定装置,该固定装置用于将所述培养板以直立的方式固定于一个预定位置。

[0027] 此外,本实用新型还提供了一种包含上述培养单元的表面生长式培养系统,该培养系统包括:

[0028] 一个由上述任一个实施方案中培养单元所组成的阵列,以及

[0029] 用于向所述阵列中的培养单元的供液装置提供培养液的培养液供给装置;

[0030] 其中,所述培养液供给装置包括培养液池、和循环动力装置,所述培养液池用于储存培养液,所述循环动力装置用于将所述培养液池中的培养液输送至各该供液装置。

[0031] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述循环动力装置为一个泵,该泵设于该培养液池连接至各该供液装置的管路上。

[0032] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述培养液供给装置还包括一个二氧化碳的混入装置,所述混入装置将二氧化碳混入至所述的培养液培养池中。

[0033] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述循环动力装置包括一个压力罐、一个空气压缩气源,其中该压力罐与该培养池连接,该培养池中的培养液输入至该压力罐中暂存,该空气压缩气源连接至该压力罐,用于对压力罐内部进行压力调节,该压力罐的通过管道连接至各该供液装置,开启该空气压缩气源对该压力罐增压,使压力罐内的培养液输送至各该供液装置。

[0034] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,该压力罐连接一个液位计,该空气压缩气源连接至该压力罐的管路上设有截止阀、减压阀,该压力罐连接至各该供液装置的管路上设有一个压力表。

[0035] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述培养液回收装置将该培养板下端渗出或未被该培养板吸收的培养液收集并通过管路返回至培养液池。

[0036] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述培养板与培养液回收装置中的培养液接触。

[0037] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述培养单元为至少两个,相邻培养单元之间设置有光源装置,该光源装置与所述培养单元平行地设置;或者,所述各培养单元平行放置形成阵列,而将一光源装置设于该阵列的一侧,与各该培养单元垂直。

[0038] 在本实用新型培养系统的一个实施方案中,所述光源为自然光或人工光源,所述人工光源为双面光源或单面光源。

[0039] 运用前述表面生长式培养系统培养微藻的方法,包括以下步骤:

[0040] a) 将培养液池中的培养液通过所述循环动力装置输送至各该供液装置,所述供液装置以喷淋、滴漏或渗漏的方式给培养板提供培养液,从而使含培养所需营养物质的培养液浸润整个培养板;

[0041] b) 在所述培养板上接种微藻;

[0042] c) 设置环境湿度和温度,在适合微藻生长的光量子强度下使得微藻生长繁殖。

[0043] 其中,在步骤 a) 中,还包括将所述培养板上渗出或未被培养板吸收的培养液回收至培养液池中的步骤,同时监测培养液池中的培养液成分,及时向培养液池补充营养成分。

[0044] 其中,所述光合微生物包括小球藻、螺旋藻、绿藻、等鞭金藻、微拟球藻、栅藻或血球藻。

[0045] 为了进行微藻的表面生长式培养,上述培养板内侧的多孔板具有很好的吸水/渗水性能,因此其吸收的培养液可储备起来而为培养系统表面提供供给,其内部第一孔径允许水分子在材料内部网络充分循环流动,且由于水分流动的带动作用,使水中所含的营养小分子物质均可通过超微孔膜扩散到表面实现均匀分布,而微藻藻种粒径大于超微孔膜的第二孔径,不容易反向渗入至多孔板的内部,又由于本实用新型所选多孔材料具有亲水性,其电荷允许大量的微藻藻种附着(类似苔藓等生长在水中的石壁上)。另外,这种多孔板的骨架密度比较低、强度和刚性较高,相对于现有的滤布、滤纸或帆布等具有如下效果:(1) 培养板自身为刚性,可以简单的方式实现自支撑(只需简单地对其底部固定就可以直立),在空间高度和尺寸上更容易实现,无需如帆布等必须依赖复杂的支撑框架,可以节省系统所占空间和成本,有效提升空间利用效率;(2) 表面湿度均匀,微藻生长牢固,不容易受到环境影响而脱落;(3) 可耐环境因素影响,耐腐蚀性好,重复利用率高,降低成本;(4) 不会有纤维等杂质混入收获的藻产物中;(5) 吸水 and 保水性能好,有利于微藻生长繁殖逐渐增加的对培养液消耗的要求。

[0046] 本实用新型中的多孔板和超微孔膜较佳都是以分子筛为基质,分子筛通常是由 $TO_4$ ( $T = Si, P, Al, Ge$  等)四面体构成的具有微孔结构的晶态无机固体,具有不同的笼或孔状结构(孔径通常小于 2nm)。由于分子筛能将比其孔径小的分子吸附到空穴内部,而把比孔径大的分子排斥在其空穴外,起到筛分分子的作用,故得名分子筛。沸石分子筛的实际用途是非常广泛的,比如它可以用作吸附剂、离子交换剂,尤其是可以用作石油裂解催化剂,这是人们开发具有良好催化活性和选择性沸石分子筛的动力。当然,随着人们对分子筛研究的不断深入,其应用范围也得到进一步的拓展,比如可以用作电池材料、药物载体等等。沸石分子筛的这些特性主要依赖于其机构和组成方面的特征,例如孔道的多维性、孔的尺寸、孔容、阳离子的数目和位点、Si/Al 比例等,可以说分子筛的性能是这几种因素的综合作用的体现。与一般常用的固体吸附剂如硅胶、活性炭、活性氧化铝等相比,分子筛在吸附性能方面有两个显著的特点,一个是选择性吸附,另一个是高效率吸附。

[0047] 由于分子筛的组成元素主要是亲水性元素以及多维的孔道结构,分子筛具有良好的水吸附性能。其吸附方式主要为物理吸附,而且被吸附的水分子主要储藏于分子筛的孔道中,因此在吸水前后分子筛材料体积并没有明显变化。同时,分子筛在水分子连续输送方面也具有很好性能,这是分子筛能够在较长时间内使内部和表面保持均一湿度的原因。此外,分子筛还有一项重要的特性是能够在水分子的协助下,对金属离子表现出良好的传输性能,使材料内部的离子能够源源不断地向表面进行输送。这些特点决定了分子筛在半干法微藻培养方面具有产业化应用的潜力。

[0048] 本实用新型覆膜多孔板结构的表面生长式培养系统耗水量比较低、微藻细胞生长较快、收获便利及总体能耗低,具体优势如下:

[0049] 1、本实用新型采用的是表面生长式微藻培养系统。我们将微藻接种于超微孔膜的

表面后,利用供液装置向多孔板源源不断地注入培养液,培养液经过多孔板内部达到超微孔膜表面,供藻细胞生长。这样就避免了传统光生物反应器中水的大量使用,减少了动力系统的能耗;减少了管道设计;减少了单位生物质产量的占地面积;同时,通过使微藻生长浓度极大地提高,也简化了传统微藻后期收获中浓缩、离心、过滤等工艺,提高了生产效率、降低运营成本;

[0050] 2、本实用新型中所使用光源直接照射到微藻细胞,而不需要通过水体,因此光能量衰减较少,相对传统光生物反应器,大幅度提高了光能利用率,同时大幅度提高了微藻生长速率和品质,这是微藻生物能源产业化的关键一步;

[0051] 3、传统管式光生物反应器需要对水、藻混合物进行搅拌,以保证微藻在充足的光照条件下充分生长,能耗和成本较高。而本实用新型所涉及的培养系统不需通过搅拌来避免藻细胞沉降、实现藻细胞充分生长,从而减少了能耗,节约了成本;

[0052] 4、相对于其他光生物反应器,半干法光生物反应器可以便捷地改变微藻生长环境。微藻的生长(生物量积累)和代谢物的产生(如油脂)一般是两个分开的过程,因为它们对环境要求不相同,细胞生长需要高氮环境,而油脂积累过程则需要低氮等胁迫环境。目前常用的方法是等到培养基体系内原有氮源消耗完毕时才逐步转化为缺氮诱导环境,往往需要10天以上;若生长已近平台期,想快速进入油脂累积阶段,目前只能是先采集藻细胞后再转入低氮或无氮培养基中进行油脂代谢,这个工作量很大,而且能耗高。而通过本实用新型的培养系统及培养方法,我们可以根据微藻生长情况随时改变生长环境,以实现微藻生物量的积累或油脂累积。

[0053] 5、使用本实用新型的表面生长式培养系统及培养方法,与现有的表面生长式培养系统及方法相比,具有明显的优势:

[0054] 5a) 本实用新型中,其多孔板具有强的吸水性、透水性,从而可以为微藻的培养、生长源源不断地提供水分和其他培养所需的营养成分。多孔板内具有内部连通的数个微孔管道,孔径约为 $3 \sim 40 \mu\text{m}$ ,加上扩散性能良好,所述多孔板可迅速吸收培养液,达到饱和状态,为在表面培养微藻做好储备。在水分蒸发减少时,可在孔道内产生汲取作用。在汲取作用下,培养液可在多孔板的管道/网络/空穴内流动,可使培养液快速补给到超微孔膜表面,使超微孔膜表面的湿度均一饱和。借助水分的运动,培养液中的营养物质小分子也会随同水流动到达任何地方,培养液实现从培养板内部向培养板表面运输。在上述自然机理作用下,由于是一个自然现象,没有能耗,因而相对于现有技术可降低供液能耗。本实用新型的多孔板和超微孔膜较佳选择均以分子筛为基质,由于分子筛的规格均一,可实现液体的流动快速而且均匀;

[0055] 由分子筛制造的多孔板和超微孔膜具有双重多孔性,所述双重多孔性为①自身多孔性,即,分子筛本身所具有孔径,从而具有强吸水性和保水性;②制成板或超微孔膜的多孔性,即,制成的分子筛多孔板或超微孔膜还具有除了分子筛本身孔径以外的孔径,这种孔径大于分子筛本身孔径,增加水生生物在多孔板表面与水的接触面积,并且增加水的流动性,从而有利于将富含营养成分的培养液向水生生物输送。这种分子筛的多孔性和板/超微孔膜的多孔性的配合极大地增加了多孔板的吸水性和保水性,并增加了将培养液递送至水生生物的能力,有利于水生生物生长;

[0056] 5b) 本实用新型的培养板为刚性,其机械强度高,可在竖直方向自支撑,只需简易



地对其底部支撑固定即可,便于实现尺寸上的延展,可提高单位空间的有效利用效率;

[0057] 5c) 本实用新型的培养板抗腐蚀性好,从而在收获后或污染后,可耐受消毒剂,从而保证其循环使用性好;以及

[0058] 5d) 本实用新型的培养板成本低,分子筛材料加工制造工艺目前相对成熟,而且可以选用的原材料可来自本欲填埋处理的废渣。

[0059] 5e) 本实用新型为覆膜式多孔板,其中多孔板是通过压制成型的方式制成,其多孔板的第一孔径可通过调节压制材料的颗粒粒径、粘合剂混入量及压合的力度等调整所得板的孔径范围,而多孔板外侧表面覆盖的超微孔膜具有更致密的孔,这些致密孔的大小可通过制膜液的分子筛浓度、分散程度及颗粒粒径大小等调节,使其孔径可防止藻种和细菌进入多孔板内部,但不影响水渗透;使培养板内外部分各司其职。

[0060] 由上述优点可见,这在很大程度上克服了微藻培养规模化所遇到的技术瓶颈——装备大型化和提高空间利用率障碍,使微藻生物能源产业化具有可能性。

[0061] 6、本实用新型的培养板,是将刚性材料的多孔板在常温常压下,经含有分子筛 beta 或分子筛 ZSM-5 的制膜液(类似涂料的形态)通过辊子涂布、喷涂或浸没法处理,在多孔板的外侧形成一层超微孔膜。所述超微孔膜的孔径小于多孔板的孔径,其中多孔板的孔径可以方便地培养液在其中流动渗透至表面;而所述的超微孔膜提供藻种附着,借助这种超微孔膜,可以减少细菌等污染物质进入到多孔板内部,不会影响多孔板的重复利用;同时也可以起到增大水渗透阻力,调节培养板表面水的渗出量,使其达到适合藻生长的水量,避免培养液浪费。

[0062] 另外一个额外的好处在于,不仅可降低做催化剂用的分子筛废料处理成本,起到环境保护作用,而且还低成本地进行了环境治理。

[0063] 综上所述,本实用新型解决了现有的浸没式微藻培养的光生物反应器系统制造和维护成本昂贵,空间利用率低、生产效率低、能耗高的问题。本实用新型中,不仅培养系统经济廉价,而且微藻对光能、碳源及营养的利用效率高,次生代谢物的生成速度快,大幅提高了单位占地面积生物量产率和次生代谢物产率。

## 附图说明

[0064] 图 1 为培养单元的示意图。

[0065] 图 2 为表面生长式培养系统的 1000a 的示意图。

[0066] 图 3 为表面生长式培养系统 1000b 的示意图。

## 具体实施方式

[0067] 需要说明的是本实用新型中“刚性”所指代的含义是指相对于帆布、纤维布或海绵具有更大硬度的材质,这些材质的特点是皆可在竖直方向无特殊支撑架的状态下实现自支撑、且耐腐蚀性强。

[0068] 下面结合附图和实施例对本实用新型作进一步的描述。

[0069] <覆膜多孔板结构的表面生长式培养板>

[0070] 本实用新型的覆膜多孔板结构的表面生长式培养板 1、是一层多孔板的两侧再分别覆盖一层超微孔膜,而该多孔板是由刚性吸水渗水材料制成,该多孔板具有第一孔径;所

述的超微孔膜具有第二孔径,其中第二孔径小于第一孔径,通常该第一孔径是由多孔板形成时所具有的板的孔径,而第二孔径的大小可使水和无机盐顺利通过,但藻粒和细菌无法进入渗透超微孔膜。

[0071] 其中,所述的培养板可通过以下方法制造:将具有 $6 \sim 8\text{\AA}$ 的孔径的物质A(如分子筛类多孔材料)和粘合物质B(如铝石类辅助剂)以质量份数比约70份:25份混合,在室温和常压用本领域公知技术处理,形成粒度约为50nm的微球,然后在 $80\text{--}100^\circ\text{C}$ 和常压,使粘接混合物压制形成硬质多孔板,其表面较佳形成如波浪的凹凸面,以增加其表面积,所述多孔板具有 $3 \sim 40\ \mu\text{m}$ 的第一孔径。然后将该多孔板再经如下处理:用含有分子筛beta或分子筛ZSM-5的制膜液,制膜液是以beta或ZSM-5分子筛为基质,以水为分散介质,加上助剂制成的涂料,制膜液的制成方法和形态类似乳胶漆,将该多孔板在室温和常压下通过辊子涂布、喷涂或浸没法处理,形成该超微孔膜,所述超微孔膜具有 $0.2\text{--}3\ \mu\text{m}$ 或 $0.2\text{--}2\ \mu\text{m}$ 的第二孔径,更优选为 $0.2\ \mu\text{m}\text{--}0.45\ \mu\text{m}$ 的第二孔径。

[0072] 一般来说,超微孔膜的孔径是根据所需培养的藻种来确定,藻种粒径越小,则超微孔膜的第二孔径亦越小,防止藻种被倒吸进入到多孔板内部,无法正常生长繁殖。同时,在多孔板的外侧面的超微孔膜的孔径相较于多孔板内部的孔径更小,使表面水分不会快速溢流和蒸发,达到有效持水效果。

[0073] 其中培养板还可以采用如下的方法制造:将具有 $6 \sim 8\text{\AA}$ 的孔径的物质A(如分子筛类多孔材料)和粘合物质B(如铝石类辅助剂)以质量份数比约70份:25份混合,向上述混合物加入添加剂C(如田菁和硝酸少量添加物)进行粘接,在 $80\text{--}100^\circ\text{C}$ 和常压,使粘接混合物压制形成硬质多孔板,所述多孔板具有 $3 \sim 40\ \mu\text{m}$ 的第一孔径;再经过用含有分子筛beta或分子筛ZSM-5的制膜液处理,在多孔板两侧面覆盖一层具有 $0.2\text{--}3\ \mu\text{m}$ 或 $0.2\text{--}2\ \mu\text{m}$ 的第二孔径的超微孔膜。压制成的多孔板所具有的第一孔径大小范围,可主要通过改变分子筛A的粒径,其次是粘合物质B的量、压制的方式、压力等来实现第一孔径大小的调节;一般来说,分子筛的平均粒径越大、粘合物质B的量越少,压力越小,得到的压制成型多孔板第一孔径越大。

[0074] 其中,用于形成多孔板的材料还可以选择分子筛、玻璃砂、玻璃粉或青石,所使用的粘合物质可选择铝石,以及铝石、田菁粉和硝酸组成的混合物。其中分子筛具有 $5\ \text{\AA} \sim 2\text{nm}$ 的孔径,优选为 $6 \sim 8\text{\AA}$ 。

[0075] 当所述多孔板由分子筛和铝石组成时,其中所述分子筛为50-90质量份,铝石为5-45质量份。当所述多孔板由分子筛和铝石、田菁粉及硝酸组成时,其中所述分子筛为60-80质量份,铝石为15-35质量份,田菁粉为1-4质量份,硝酸为1-4质量份。

[0076] <培养板组成的培养单元>

[0077] 图1示出了本实用新型的培养单元101,培养单元101包括培养板1、固定装置2、培养液回收装置3、供液装置4。所述固定装置2可包括相对的固定组件21和22,固定组件21和22之间形成可固定培养板1的孔隙23。培养单元100可包括多个培养板1的阵列,其形成较大的平面培养板组件。供液装置4设置在培养板1的上方,供液装置4可具有孔、缝隙等出口,从而培养液以滴漏、渗漏等形式进入培养板1。培养板1的顶端侧缘可密封在供液装置4中。作为替换,供液装置4可沿竖直方向与培养板1间隔开,以使得培养液从供液装置4滴落至培养板1。培养板1的下端侧面可密封在培养液回收装置3中,与培养液回

收装置 3 中的培养液接触。

[0078] < 培养系统实施例 1 >

[0079] 结合图 1 和图 2 进行说明,图 2 示出了本实用新型的表面生长式培养系统 1000a 的,表面生长式培养系统 1000a 可包括多个如图 1 所示的培养单元 101 和设置在培养单元 101 之间光源装置 8,以及为培养单元 101 提供培养液的培养液供给装置 9。

[0080] 如图 1 和 2 所述,所述固定装置 2 包括相对的固定组件 21 和 22,固定组件 21 和 22 之间形成可固定培养板 1 的孔隙 23,且培养板 1 还可以向上从孔隙 23 中取出。

[0081] 图 2 中的多个培养单元 101 设置为相互平行且间隔开一距离。每两个培养单元 101 之间设置至少一光源装置 8。光源装置可为双面光源,对两侧的培养单元进行照射。光源装置 8 也可根据需要提供为单面光源。

[0082] 图 2 的表面生长式培养系统 1000a 包括培养液供给装置 9,该培养液供给装置 9 包括培养液池 6、循环泵 7。

[0083] 培养液回收装置 3 用于将从多孔板 1 下端渗出或未覆膜被多孔板 1 吸收的培养液收集并通过管道返回至培养液池 6。当培养系统 1000a 工作时,循环泵 7 启动,将培养液池 6 中的培养液通过管道输送至供液装置 4,供液装置 4 将培养液供给培养板 1,培养板 1 吸收培养液并通过其内部的细小孔径运输至培养板 1 的表面,提供为微藻生长所需的营养,而培养板 1 端部同时与培养液回收装置 3 内的培养液相接触,培养液通过毛细作用浸润培养板 1 下端的部分区域,使得培养板 1 处于半干状态。

[0084] 培养液供给装置 9 还可包括二氧化碳混入装置(图中未示),用于将二氧化碳混入到培养液中。

[0085] < 培养系统实施例 2 >

[0086] 结合图 1 和图 3 说明本实用新型的另一培养系统 1000b。图 3 示出了本实用新型的表面生长式培养系统 1000b。与图 2 所示的实施例类似,培养系统 1000b 也可包括一个或多个图 1 的培养单元 101。具体地,培养系统 1000b 可包括培养板 1、固定装置 2、培养液回收装置 3、供液装置 4、培养液池 6、压力罐 11、空气压缩气源 12、液位计 13、截止阀 14、截止阀 15、减压阀 16、排气阀 17、和压力表 18。

[0087] 图 3 的表面生长式培养系统 1000b 包括培养液循环装置 9b,所述培养液循环装置 9b 中可选采用空气压缩方式。该空气压缩方式所用装置为本领域可选的其他压力泵替代装置,可选但不限于包括压力罐 11、空气压缩气源 12、液位计 13 以及配套阀门,优选截止阀 14、15,减压阀 16 等。通过将压力罐 11 内储备足量培养液的情况下,将循环装置 9b 中其上游截阀 15 关闭,将截止阀 14 开启,通过空气压缩气源 12 使压力罐 11 内培养液在循环装置 9b 中输送至供液装置 4,可选用压力表 18 监测,供液装置 4 以喷淋、滴漏或渗漏的方式给培养板 1 提供培养液,从而使含培养所需营养物质的培养液浸润整个培养板 1,培养液回收装置 3 位于培养板 1 的下方,未被培养板 1 吸收的培养液流至培养液回收装置 3,培养液回收装置 3 中的培养液通过管道回流至培养液池 6。

[0088] 水生生物表面生长式培养系统的操作

[0089] 本实用新型实施例 1 的表面生长式培养系统 1000a 可如下操作:

[0090] - 通过培养液供给装置 9 使得供液装置 4 具有包含 CO<sub>2</sub>微泡的培养液,供液装置 4 以喷淋、滴漏或渗漏的方式给培养板 1 提供培养液;

[0091] - 使培养板 1 与培养液回收装置 3 中的培养液保持接触,从而使含 CO<sub>2</sub>微泡的培养液浸润培养板 1;

[0092] - 在培养板 1 的表面接种微藻;

[0093] - 利用所述光源装置 8 照射所述培养板 1,并设置培养系统 1000a 周围的环境湿度和温度,温度通常为 20-35℃,湿度在 50-80%的范围,使得微藻生长。

[0094] 本实用新型实施例 2 的表面生长式培养系统 1000b 可如下操作:

[0095] 1. 排气阀 17 打开,截止阀 14 和截止阀 15 关闭,减压阀 16 压力调至 0MPa,减压阀 16 要求在 0-1.0MPa 范围内可调;

[0096] 2. 在培养液池 6 中添加一定体积量的培养液;

[0097] 3. 打开截止阀 15,培养液从培养液池 6 流入压力罐 11,液面在截止阀 14 相连的管路入口以下;

[0098] 4. 关闭截止阀 15 和排气阀 17,打开截止阀 14,调整减压阀 16 的压力,压力罐 11 内的培养液会逐渐流入供液装置 4,为培养板 1 提供微藻所生长所需要的培养液。其中,根据培养板 1 承载的微藻生长情况和压力表 18 显示的压力,将减压阀 16 的压力调整到适当的值;

[0099] 5. 流经培养液回收装置 3 的培养液返回到培养液池 6 中,同时对培养液池 6 中的成分进行实时监测,如果成分达不到培养要求,及时补充相应的培养液成分;

[0100] 6. 压力罐 11 中安装有低液位检测的液位计 13,当液位低于设定的液位后,将排气阀 17 打开,截止阀 15 打开,截止阀 14 关闭,培养液从培养液池 6 流入压力罐 11。重复步骤 3 至步骤 5 的过程,实现对培养板 1 上微藻不间断供给培养液;

[0101] 7. 在培养液浸润整个培养板 1 后,在培养板 1 的表面上接种微藻;

[0102] 8. 利用光源装置 8 照射培养板 1,并设置培养系统 100 周围的环境湿度和温度,温度通常为 20-35℃,湿度在 50-80%的范围,使得水生生物生长。

[0103] 本实用新型实施例 2 的系统借助压力表 18、减压阀 16 以及液位计 13,可以根据微藻生长状况较为精确地控制培养液的供给量和速度,实现精准控制的目的。

[0104] 以下是将本实用新型的培养单元与现有技术进行比较,以进一步使本本实用新型的技术效果得到体现:

[0105] 实施例 1 本实用新型培养板及对照的制备

[0106] 本实用新型培养板 1 的制备例:

[0107] 首先,将以 1:1 的 A:B 质量比混合物质 A 和物质 B,所述物质 A 为分子筛 ZSM-5,具有约 7Å 的孔径,在 80 至 100℃的温度范围和常压范围处理所述混合物,冷却成型一个多孔板,所得到的多孔板具有约 20 μm 的第一孔径。

[0108] 然后,向上述成型的多孔板的两侧表面涂刷制膜液 C(通过辊子涂布、喷涂或浸没法处理),C 的质量不超过上述成型多孔板总重量的 5%,C 较佳选择为含分子筛 ZSM-5 的物质,在 80 至 100℃的温度范围和常压条件下,使 C 在多孔板表面形成具有第二孔径为 0.9-1.1 μm 的超微孔膜。获得本实用新型培养板①。

[0109] 或者,向上述成型的多孔板的两侧表面涂刷制膜液 C'(通过辊子涂布、喷涂或浸没法处理),C' 的质量不超过所述混合物的 5%,C' 较佳选择为含分子筛 beta 的物质,在 80 至 100℃的温度范围和常压条件下,使 C' 在多孔板表面形成具有第二孔径为 1.9-2.2 μm

的超微孔膜。获得本实用新型培养板②。

[0110] 所述培养板①和②的尺寸均为 1 米 \*2 米 \*3 厘米。

[0111] 设置两组对照：

[0112] 1) 对照帆布 (32 支), 尺寸与所述培养板 1 相当, 夹心层有为海绵吸水材料。

[0113] 2) 无覆膜的对照多孔板, 其制备过程为: 首先, 将以 1:1 的 A:B 质量比混合物质 A 和物质 B, 所述物质 A 为分子筛 ZSM-5, 具有约 7Å 的孔径, 在 80 至 100°C 的温度范围和常压范围处理所述混合物, 冷却成型后, 所得多孔板形成具有约 20 μm 的第一孔径。该对照多孔板的尺寸与所述培养板 1 相当。

[0114] 实施例 2 吸水率比较

[0115] 表 1. 吸水率比较

[0116]

对象	干重(g)	吸水后重量(g)	吸水率 (%)
培养板①	100	245	145
培养板②	102	251	146
对照帆布	130	236	81.5
对照多孔板	97	223	129

[0117] 由表 1 可见, 本实用新型培养板吸水率分别明显高于对照帆布和无覆膜的对照多孔板。

[0118] 实施例 3 培养试验

[0119] 3.1. 培养液组成

[0120] 以小球藻培养的培养液组成为例, 见下表 2。

[0121] 表 2 小球藻培养的培养液组成

[0122]

组分	使用量	母液
NaNO <sub>3</sub>	1m L/L	25g/100ml dH <sub>2</sub> O
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	1m L/L	7.5g/100ml dH <sub>2</sub> O
MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	1m L/L	7.5g/100ml dH <sub>2</sub> O
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1m L/L	2.5g/100ml dH <sub>2</sub> O
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1m L/L	17.5g/100ml dH <sub>2</sub> O
NaCl	1m L/L	2.5g/100ml dH <sub>2</sub> O
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1m L/L	0.2g/100ml dH <sub>2</sub> O

FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1m L/L	0.05g/100ml dH <sub>2</sub> O
EDTA-Fe	1m L/L	
痕量金属溶液	1mL/L	
土壤提取液	40mL/L	

[0123] 表 3 痕量金属溶液的配方

[0124]

组分	母液
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2.86g/100mL dH <sub>2</sub> O
MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	1.86g/100mL dH <sub>2</sub> O
ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	0.22g/100mL dH <sub>2</sub> O
Na <sub>2</sub> MO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	0.39g/100mL dH <sub>2</sub> O
CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	0.08g/100mL dH <sub>2</sub> O
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	0.05g/100mL dH <sub>2</sub> O

[0125] 此外,培养液中 EDTA-Fe 的制备方法为:取 4.1mL 浓盐酸用蒸馏水稀释至 50mL,制成 1NHCl;称取 0.93gEDTA-Na<sub>2</sub>并溶解至 500mL 蒸馏水中,制成 0.1NEDTA-Na<sub>2</sub>溶液;称取 FeCl<sub>3</sub>6H<sub>2</sub>O0.90g 并溶于 10mL 上述 1NHCl 中,然后与 10mL0.1NEDTA-Na<sub>2</sub>溶液混合,加入蒸馏水稀释至 1000mL。土壤提取液配制方法为:取未施过肥的花园土 200g 置于烧杯或三角瓶中,加入蒸馏水 1000mL,瓶口用透气塞封口,在水浴中沸水加热 3 小时,冷却,沉淀 24 小时,此过程连续进行 3 次,然后过滤,取上清液,于高压灭菌锅中灭菌后于 4℃冰箱中保存备用。

[0126] 按照如上表 2 及表 3 的配方,配制培养小球藻所用的培养液。储藏于容器中待用。

### [0127] 3.2. 本实用新型培养板培养系统及对照组的装配

[0128] 依照图 1-2 所示的培养系统,分别连接培养单元 101 和培养液供给装置 9,将管道连接至供液装置 4,培养液回收装置 3 连接至培养液池 6,开启泵 7,将培养液池 6 中的培养液输送至各培养板①、培养板②上端所设的供液装置 4 中,且供液装置 4 以滴落的方式滴到多孔板 1 的顶端侧缘。

[0129] 再依照图 1-2 所示的培养系统,只是将其中的培养板①换成相同尺寸的非覆膜对照多孔板、帆布。

### [0130] 3.3 培养系统的运行

[0131] 参照图 2 所述,将本实用新型的表面生长式培养单元 1000a 用于培养微藻,可包括以下步骤:

[0132] - 运行图 2 所示的培养系统及对照组的培养系统;

[0133] - 在培养板①、②、对照多孔板、帆布的表面接种微藻;

[0134] 利用所述光源装置 8 照射所述培养板①、②、无覆膜对照多孔板、帆布,并设置培养系统 1000a 周围的环境温度通常为 20-35℃,湿度在 50-80%的范围,使得微藻生长。

[0135] 4. 培养物结果对比

[0136] 在上述培养系统培养 24、48 和 72 小时后,分别从同等面积的本实用新型培养板①和②、对照帆布、无覆膜对照多孔板上收获微藻培养物,称重藻泥,在 70℃干燥脱水后,称取干重进行干生物质重量比较。

[0137] 实施本实用新型实施例 1 的表面生长式培养系统的结果比较:

[0138]

培养时间(小时)	培养板①干生物质重(g)	培养板②干生物质重(g)	对照帆布干生物质重(g)	无覆膜对照多孔板干生物质重(g)
24	135	139	96	120
48	288	284	196	265
72	406	412	253	384

表 4 培养结果比较

[0139] 由表 4 可见,微藻干生物质在本实用新型培养板 1 的产出均显著高于对照帆布,明显高于无覆膜对照多孔板。而超微孔膜的孔径稍大的培养板②,其干生物质重超过培养板①。

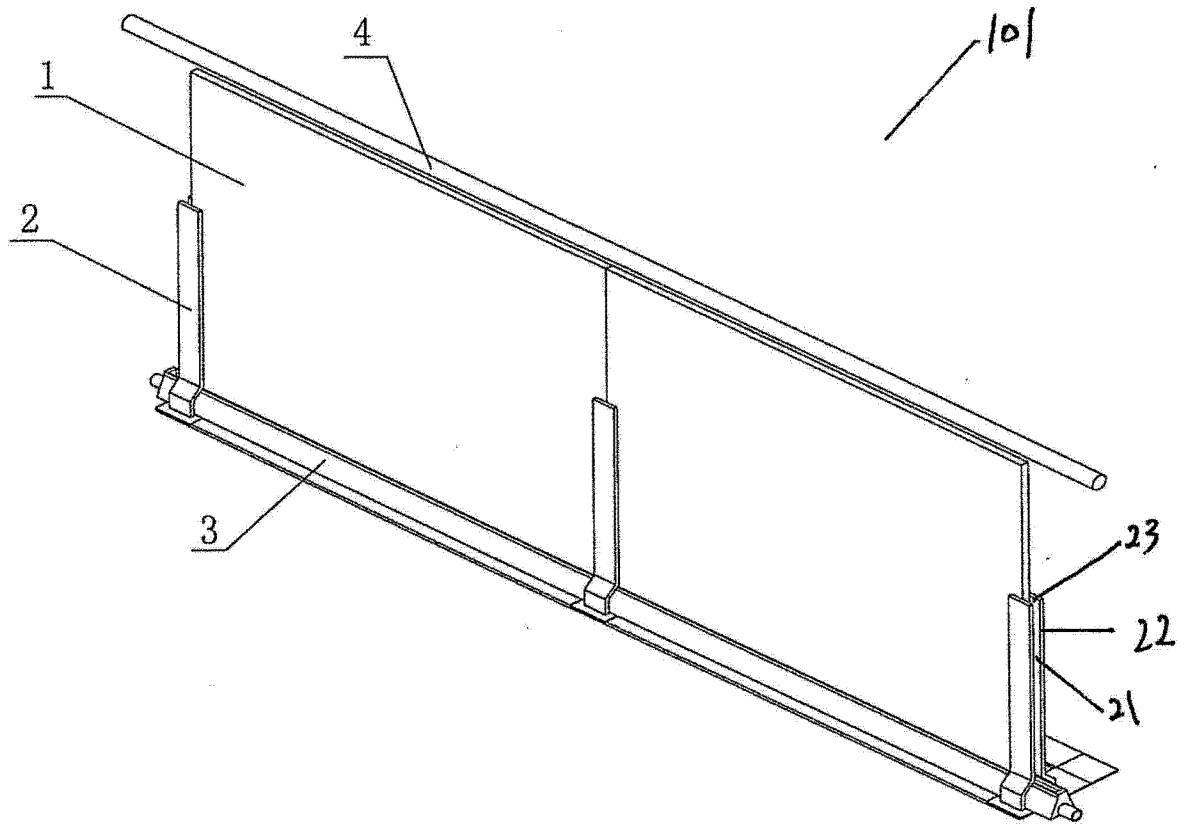


图 1



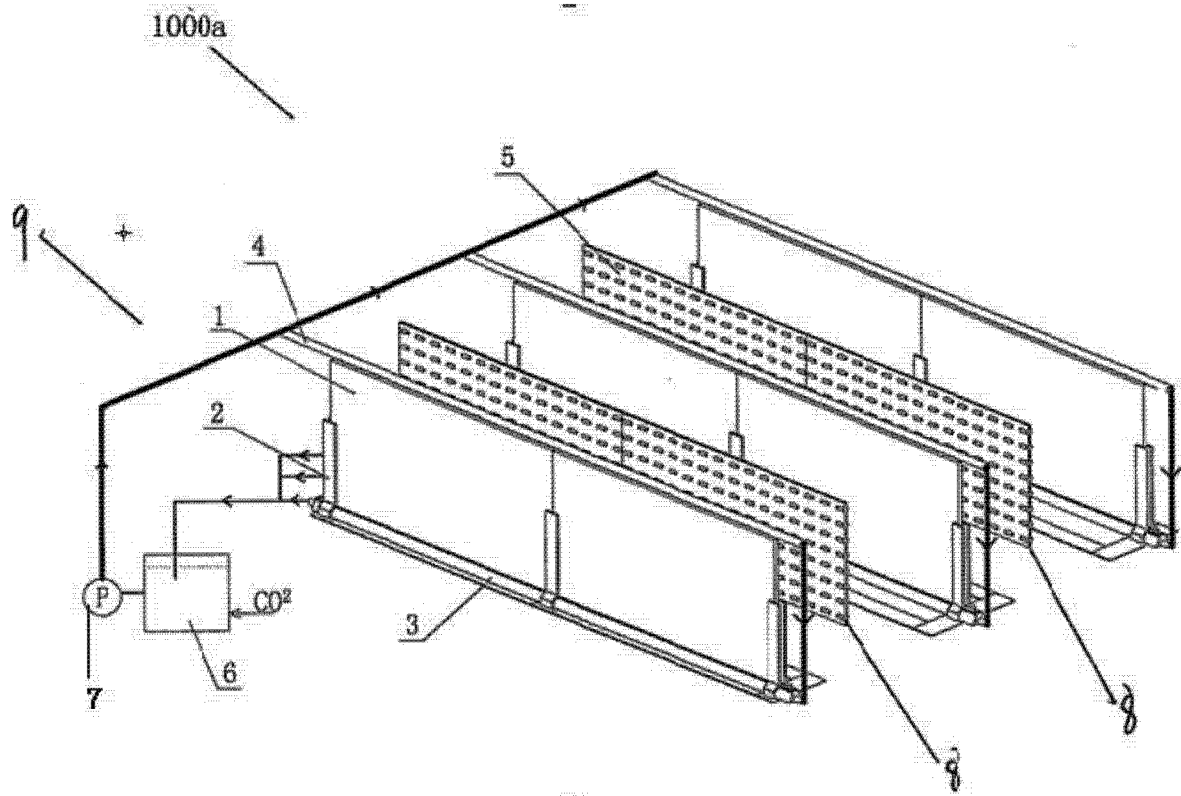


图 2

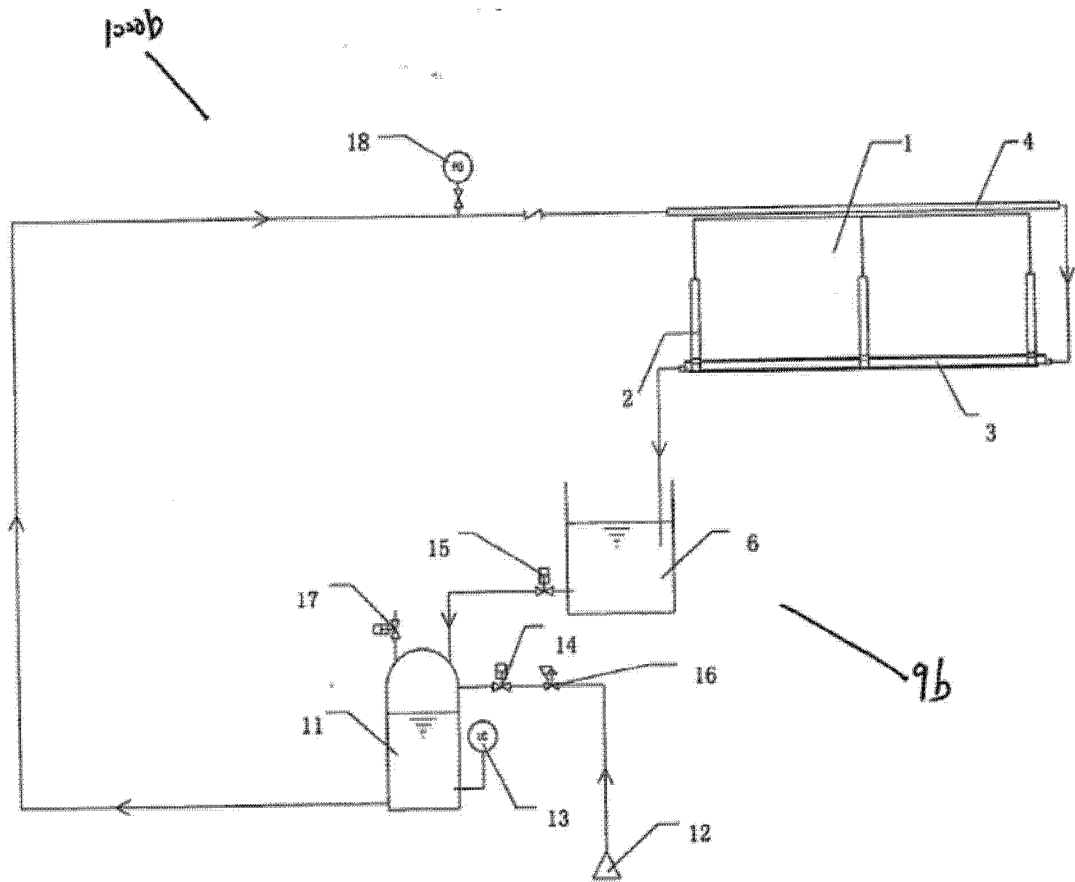


图 3