

一种普通小球藻及其培养方法和应用

申请号：[201110007511.2](#)

申请日：2011-01-14

申请(专利权)人 [江南大学](#)

地址 [214122 江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道1800号](#)

发明(设计)人 [杨海麟 夏小乐 辛瑜 张玲 王武 李昌灵 李宇佶](#)

主分类号 [C12N1/12\(2006.01\)I](#)

分类号 [C12N1/12\(2006.01\)I](#) [C02F3/32\(2006.01\)I](#) [C12P7/64\(2006.01\)I](#)
[C12R1/89\(2006.01\)N](#)

公开(公告)号 [102586116A](#)

公开(公告)日 [2012-07-18](#)

专利代理机构 [上海智信专利代理有限公司 31002](#)

代理人 [王洁 顾小伟](#)



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102586116 A

(43) 申请公布日 2012. 07. 18

(21) 申请号 201110007511. 2

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 01. 14

C12N 1/12 (2006. 01)

(83) 生物保藏信息

C02F 3/32 (2006. 01)

CCTCC NO :M 2010373 2010. 12. 31

C12P 7/64 (2006. 01)*C12R 1/89* (2006. 01)

(71) 申请人 江南大学

地址 214122 江苏省无锡市滨湖区蠡湖大道
1800 号

(72) 发明人 杨海麟 夏小乐 辛瑜 张玲

王武 李昌灵 李宇佶

(74) 专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 王洁 顾小伟

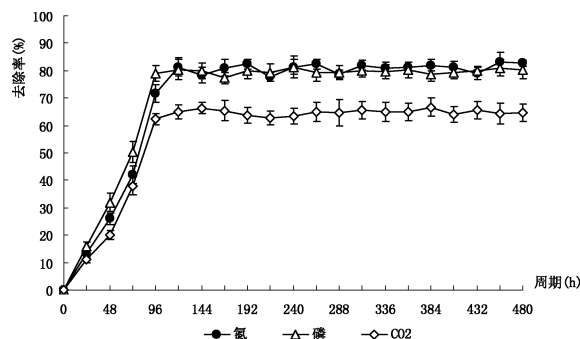
权利要求书 1 页 说明书 6 页 附图 4 页

(54) 发明名称

一种普通小球藻及其培养方法和应用

(57) 摘要

本发明提供了一种普通小球藻, 为小球藻 C9-JN2010, 保藏编号为 :CCTCC NO :M2010373, 还提供了其培养方法, 以市政污水和 / 或工业污水经污水处理厂处理后的二级出水为培养基, 接种后进行培养, 初始接种密度为 1.0×10^7 cfu/ml $\sim 6.0 \times 10^7$ cfu/ml, 培养条件为 :光照周期为 10h : 14h \sim 16h : 8h, 光照强度为 5000lux \sim 15000lux, 培养温度为 20 \sim 30 $^{\circ}$ C, pH 为 6.5 \sim 8.5, CO₂ 气体通气量为 0.01 \sim 0.2 VVm, CO₂ 浓度为 15.0% \sim 30.0% (v/v), 还提供了普通小球藻在污水处理和油脂生产中的应用, 本发明的普通小球藻 CO₂ 耐受能力强, 生产强度高, 其培养方法把污水处理和产生生物能源与其他副产品 (如, 蛋白质、化妆品原料及动物饲料等) 相结合, 降低生产成本, 达到废物资源的综合利用, 实现节能减排的绿色生产, 设计巧妙独特, 适于大规模推广应用。



1. 一种普通小球藻,其特征在于,所述普通小球藻是小球藻 C9-JN2010,保藏编号为:CCTCC NO:M 2010373。

2. 一种普通小球藻培养方法,其特征在于,在光反应器内,以市政污水和 / 或工业污水经污水处理厂处理后的二级出水为培养基,接种根据权利要求 1 所述的普通小球藻并进行培养,其中,初始接种密度为 $1.0 \times 10^7 \text{cfu/ml} \sim 6.0 \times 10^7 \text{cfu/ml}$,所述培养的条件为:光照周期为 10h : 14h ~ 16h : 8h,光照强度为 5000lux ~ 15000lux,培养温度为 20 ~ 30℃,pH 为 6.5 ~ 8.5,CO₂ 气体通气量为 0.01 ~ 0.2Vvm,所述 CO₂ 气体的 CO₂ 浓度为 15% ~ 30% (v/v)。

3. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,所述污水处理厂是无锡市惠联热电有限公司的污水厂。

4. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,所述 CO₂ 气体是将工厂排放的废气与空气混合而成。

5. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,所述二级出水中总氮为 30.0 ~ 50.0mg/L,氨氮为 10.0 ~ 16.0mg/L,总磷浓度为 2.0 ~ 4.0mg/L。

6. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,培养 480h 后,所述光反应器内藻细胞浓度达 $1.0 \times 10^8 \text{cfu/ml} \sim 5.0 \times 10^8 \text{cfu/ml}$,且所述光反应器内的所述培养基的水质符合国家 A 类排放水标准。

7. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,培养至所述光反应器内的所述培养基中总氮浓度低于 15.0mg/L,氨氮浓度小于 1.0mg/L,总磷浓度低于 0.5mg/L。

8. 根据权利要求 2 所述的普通小球藻培养方法,其特征在于,培养至所述光反应器内的所述普通小球藻的油脂含量达 25.0% ~ 40.0% (W)。

9. 根据权利要求 1 所述的普通小球藻在污水处理中的应用。

10. 根据权利要求 1 所述的普通小球藻在油脂生产中的应用。

一种普通小球藻及其培养方法和应用

技术领域

[0001] 本发明涉及藻类技术领域,更具体地,涉及小球藻技术领域,特别是指一种普通小球藻及其培养方法和应用。

背景技术

[0002] 能源紧缺,环境污染和粮食不足是当今三大世界难题。全球气候变暖归因于大气中的主要温室气体 CO₂ 的增加,与普遍存在的由富营养化物质(如,氮和磷等)以及其它污染物所导致的水污染同属于主要的环境问题之一。

[0003] 微藻对解决上述难题具有非常重要的作用。微藻是一种能进行光合自养的微生物,在生态系统中处于初级生产者,在整个物质循环中作用巨大,生产效率高,发展前景诱人。且微藻富含油脂、蛋白质、碳水化合物、微量元素及其它生物活性物质,因而其不仅可作为饵料,且是食品和生物能源的主要来源之一。微藻具有生长速率快、生产强度高、光利用率高等优点,利用微藻作为生物能源的原材料越来越受到多方面的关注。目前,已有的作为生物能源原料的微藻,主要是 CO₂ 耐受能力较差,生产强度低,且采用高浓度的培养基进行培养,生产成本过高,产业化受阻。

[0004] 因此,需要提供一种微藻,其 CO₂ 耐受能力强,生产强度高,而且很有必要把污水处理和生产生物能源与其他副产品(如,蛋白质、化妆品原料及动物饲料等)相结合,降低生产成本,可达到废物资源的综合利用,实现节能减排的绿色生产。

发明内容

[0005] 本发明的主要目的就是针对以上存在的问题与不足,提供一种普通小球藻及其培养方法和应用,该普通小球藻 CO₂ 耐受能力强,生产强度高,其培养方法把污水处理和生产生物能源与其他副产品(如,蛋白质、化妆品原料及动物饲料等)相结合,降低生产成本,达到废物资源的综合利用,实现节能减排的绿色生产,设计巧妙独特,适于大规模推广应用。

[0006] 在本发明的第一方面,提供了一种普通小球藻,其特点是,所述普通小球藻是小球藻 C9-JN2010,保藏编号为 :CCTCC NO :M 2010373。

[0007] 所述普通小球藻是从黄海海域的海水中分离并经过人工选育得到的,命名为小球藻 C9-JN2010,为绿色、单个球形藻体、壁薄,学名分类为一种普通小球藻 (*Chlorella vulgaris*),其于 2010 年 12 月 31 日保藏在中国典型培养物保藏中心 (China Center for Type Culture Collection,简称 CCTCC),菌种保藏登记号为 CCTCC NO :M 2010373。

[0008] 上述普通小球藻的分离与选育方式为:取含有小球藻的黄海海水 100mL,先用滤纸过滤除去大型颗粒物后将滤液放入离心管内,在 5000r/min 下离心 15min。倒净上清液,加入基础培养基培养后,振荡使藻细胞悬浮。再经离心倒去上清液。按照上述清洗藻细胞步骤重复三次后。取 10mL 藻悬浮液于 f/2 培养基中先进行光照培养 5d 后,取样 10mL 再重新接种于新鲜 f/2 培养基中进行光照培养。重复光照培养 3 次后,取 1mL 培养物进行 10⁻¹、10⁻²、10⁻³、10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶ 梯度稀释,取 0.2mL 涂布于 f/2 固体培养基的平板上,其中,琼脂含

量为 2%，置于 25℃，光照强度为 4000lux，光照周期为 12h : 12h，相对湿度为 75% 的人工气候箱中培养，三至四周后，固体平板上长出绿色的单个藻落，随后挑取单藻落在 f/2 固体培养基的平板上进行平板划线分离，反复 5 次后，得到纯藻种，经鉴定后为普通小球藻。随后，将以上获得的普通小球藻再进行选育。取对数期生长的小球藻，分别稀释 10, 100, 1000 和 10000 倍涂布于 f/2 固体培养基上，在 25℃，光照 4000lux，光照周期为 12h : 12h 的条件下培养。7d 后挑取深绿色单克隆藻菌落接种于液体培养液中，选用 100mL 三角瓶，内有 50mL 培养液。共挑取了 120 个单克隆藻菌落，在与前相同的条件下培养，每天摇动 2 次。14d 后，去除贴壁严重的和颜色发黄的，挑选出 50 株藻液颜色浓绿、不贴壁的小球藻。将这 50 株小球藻分别接种于新的液体培养液，2 个平行样，相同培养条件下，转速为 100rpm，以原有小球藻种作为对照，每天计算它们的细胞密度。8d 后，根据其生长速度和最终生物量，挑选出 15 株小球藻，生长速度和生物量均大于对照，且藻液浓绿，无贴壁现象。将 15 株小球藻分别接种于新的液体培养液，换用 250mL 三角瓶，内装 150mL 培养液，设置 3 个平行样，培养条件同上。以原有藻种作为对照，每天计算细胞密度。培养 14d 后，各取 100mL，在 4℃ 离心并倒去上清，将余下藻体在冷冻干燥机中干燥，冷井温度为 -35℃，干燥 48h 后称重，此后每 1h 称重 1 次，直至恒重。用气相色谱测粗油脂，综合油脂含量和生长速度挑选出紫外诱变的出发株。获得优良小球藻 C9-JN2010 藻株。

[0009] 在本发明的第二方面，提供了一种普通小球藻培养方法，其特点是，在光反应器内，以市政污水和 / 或工业污水经污水处理厂处理后的二级出水为培养基，接种上述的普通小球藻并进行培养，其中，初始接种密度为 $1.0 \times 10^7 \text{cfu/ml} \sim 6.0 \times 10^7 \text{cfu/ml}$ ，所述培养的条件为：光照周期为 10h : 14h ~ 16h : 8h，光照强度为 5000lux ~ 15000lux，培养温度为 20 ~ 30℃，pH 为 6.5 ~ 8.5，CO₂ 气体通气量为 0.01 ~ 0.2Vvm，所述 CO₂ 气体的 CO₂ 浓度为 15% ~ 30% (v/v)。培养合适时间后，离心光反应器的培养液，收获普通小球藻。

[0010] 所述污水处理厂可以是任何污水处理厂。较佳地，所述污水处理厂是无锡市惠联热电有限公司的污水厂。

[0011] 所述 CO₂ 气体可以是任何来源的 CO₂ 气体。较佳地，所述 CO₂ 气体是将工厂排放的废气与空气混合而成。可以直接混合，也可以对废气做一定处理（如，除尘、除硫等）后再混合，从而有效利用废气，并减少污染。

[0012] 所述二级出水是污水处理厂二级处理工艺的二沉池出水，不同污水处理厂的二级出水中氮磷等含量一般相差不大。一般地，所述二级出水中总氮为 30 ~ 50.0mg/L，氨氮为 10 ~ 16.0mg/L，总磷浓度为 2.0 ~ 4.0mg/L，pH 为 6.5 ~ 8.0。

[0013] 培养时间根据需要确定，当处理污水时，较佳地，培养 480h 后，所述光反应器内藻细胞浓度达 $1.0 \times 10^8 \text{cfu/ml} \sim 5.0 \times 10^8 \text{cfu/ml}$ ，且所述光反应器内的所述培养基的水质符合国家 A 类排放水标准（总氮浓度为 15.0mg/L，氨氮浓度为 1.0mg/L，总磷浓度为 0.5mg/L）。即其中的氮磷等含量符合国家 A 类排放水标准，实现污水处理效果。

[0014] 采用本发明的普通小球藻处理污水时，较佳地，培养至所述光反应器内的所述培养基中总氮浓度低于 15.0mg/L，氨氮浓度小于 1.0mg/L，总磷浓度低于 0.5mg/L。

[0015] 采用本发明的普通小球藻积累油脂时，较佳地，培养至所述光反应器内的所述普通小球藻的油脂含量达 25% ~ 40% (W)。

[0016] 在本发明的第三方面，提供了上述的普通小球藻在污水处理中的应用。例如，以上

述的普通小球藻即小球藻 C9-JN2010 为生物能源的原料,以市政污水和工业污水经污水处理厂处理后的二级出水为培养基,通过小球藻 C9-JN2010 的深度处理,其中,水中总氮浓度低于 15.0mg/L,氨氮浓度小于 1.0mg/L,总磷浓度低于 0.5mg/L,污水中的氮磷含量分别降低了 80.0%~98.0% (W) 和 80.0%~99.5% (W),CO₂ 浓度降低 30.0~75.0% (v/v),pH 为 7.0~8.0。

[0017] 在本发明的第四方面,提供了上述的普通小球藻在油脂生产中的应用。例如,以小球藻 C9-JN2010 为生物能源的原料,以市政污水和工业污水经污水处理厂处理后的二级出水为培养基,通过小球藻的生长积累油脂,藻细胞浓度可达 1.0×10^8 cfu/ml ~ 5.0×10^8 cfu/ml,油脂含量 25%~40% (W)。

[0018] 本发明的有益效果在于:

[0019] a. 与其它作为生物能源原料的藻种相比较,本发明的普通小球藻主要是 CO₂ 耐受能力强 (15%~30% (v/v)),降污能力强,生产强度高,且可以将市政污水和工业污水二级出水为培养基,不需要外加氮磷等营养元素,可以减轻水资源负担和降低污水处理及生物能源生产的成本。

[0020] b. 采用本发明的普通小球藻构建的城市污水深度处理工艺,在进行污水处理和 CO₂ 减排的同时可获得生物能源,设计独特巧妙,是一种绿色生产、低成本的污水再利用与生物能源生产技术,适于大规模推广应用。

[0021] c. 采用本发明的普通小球藻构建的城市污水深度处理工艺,能实现氮、磷及 CO₂ 高去除效率 (如,水中总氮浓度低于 15.0mg/L,氨氮浓度小于 1.0mg/L,总磷浓度低于 0.5mg/L,污水中的氮磷含量分别降低了 80.0%~98.0% (W) 和 80.0%~99.5% (W),CO₂ 浓度降低 30.0%~75.0% (v/v)),并且藻浓度及油脂的含量高 (分别为光反应器内的藻浓度达 1.0×10^8 cfu/ml ~ 5.0×10^8 cfu/ml,其油脂含量为 25%~40% (W)),可达到保护环境和生物资源再生产的双重效果,实现较高的经济和社会综合效益,适于大规模推广应用。

附图说明

[0022] 图 1 是本发明的普通小球藻的光学显微镜形态图。

[0023] 图 2A 是采用本发明的普通小球藻培养方法分割培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的氮、磷及 CO₂ 去除效果示意图。

[0024] 图 2B 是采用本发明的普通小球藻培养方法分割培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的生物量及胞内脂肪积累效果示意图。

[0025] 图 3A 是采用本发明的普通小球藻培养方法连续培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的氮、磷及 CO₂ 去除效果示意图。

[0026] 图 3B 是采用本发明的普通小球藻培养方法连续培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的生物量及胞内脂肪积累效果示意图。

[0027] 图 4A 是采用本发明的普通小球藻培养方法分批培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的氮、磷及 CO₂ 去除效果示意图。

[0028] 图 4B 是采用本发明的普通小球藻培养方法分批培养小球藻 C9-JN2010 处理污水的生物量及胞内脂肪积累效果示意图。

具体实施方式

[0029] 为了能够更清楚地理解本发明的技术内容,特举以下实施例详细说明。

[0030] 废水中氮、磷的转化率即去除率是衡量本工艺污水处理效果的一项重要指标,计算方法如下所示:

[0031] 氮、磷的转化率(%) = $(C_1 - C_2) \times 100\% / C_1$

[0032] 式中: C_1 - 废水培养基中初始氮、磷的含量, mg;

[0033] C_2 - 处理后废水培养液中氮、磷的含量, mg。

[0034] 废气中 CO_2 的转化率即 CO_2 减排量是衡量本工艺废气处理效果的一项重要指标,计算方法如下所示:

[0035] CO_2 的转化率(%) = $(C_1 - C_2) \times 100\% / C_1$

[0036] 式中: C_1 - 电厂废气中 CO_2 的体积浓度, %;

[0037] C_2 - 处理后废气中 CO_2 的体积浓度, %。

[0038] 微藻油脂的含量或油脂的得率是衡量本工艺的综合经济效益的一项重要指标,计算方法如下所示:

[0039] 油脂的得率(%) = $m_1 / m_0 \times 100\%$

[0040] 式中: m_0 - 提取油脂的藻体干重, g;

[0041] m_1 - 粗油脂的质量, g。

[0042] 实施例 1

[0043] 采用分割法- 二步法相耦合的发酵方式并以过滤除杂菌或杂藻后的市政污水和工业污水的经污水处理厂处理的二级出水为培养基,向该培养基中接种小球藻 C9-JN2010,其中,初始接密度为 6.0×10^7 cfu/ml,光照周期为 16h : 8h,光照强度为 15000lux,培养温度为 30℃,pH 为 7.0, CO_2 气体的 CO_2 浓度为 30% (v/v),通气量为 0.1Vvm,分割培养前,培养 48h 后所述光反应器内藻浓度高达 2.0×10^8 cfu/ml,且所述光反应器内的氮、磷的含量符合国家 A 类排放水标准时进行发酵液分割,取出 1/3 ~ 2/3 所述发酵液进行浓缩获得浓缩发酵液,将一部分所述浓缩发酵液返回所述光反应器中并往所述光反应器中补加新鲜的市政污水,保持所述培养基的总量 100%,继续培养至所述光反应器内的藻浓度达 5.0×10^8 cfu/ml。将剩余的所述浓缩发酵液充入具有海盐浓度为 2.5% (W) 的污水培养基的积油罐中在通气量为 0.2Vvm 的 CO_2 浓度为 30.0% (v/v) 的所述 CO_2 气体下二步发酵进行油脂积累 48h,之后收集藻体提取藻油。

[0044] 利用上述工艺培养小球藻 C9-JN2010,氮、磷及 CO_2 的去除率及油脂积累关系见图 2A-2B 所示。

[0045] 由图 2A 分析可知,在 0 ~ 48h 培养过程中,随着培养时间延长,小球藻 C9-JN2010 对氮、磷及 CO_2 的消耗速度加快,在 48h 消耗速度最快,达到最大值分别为 90.0% (W)、93.0% (W) 和 70% (v/v),且藻体浓度达到 2.0×10^8 cfu/ml,随后进行分割,取出其中 2/3 发酵液进行浓缩后,将其中的 1/3 返回反应器并充入无盐的新鲜市政污水,保持培养基总量 100%,另外一部分通入积油罐二次发酵积油 48h。由图 2B 分析可知,最终藻浓度达 5.0×10^8 cfu/ml,油脂含量最高达到 40.0% (W)。以后按上述再次进行分割培养,半连续培养,连续分割 10 次。

[0046] 实施例 2

[0047] 采用连续发酵方式并以过滤除杂菌或杂藻后的市政污水和工业污水是经污水处理厂处理的二级出水为培养基,向该培养基中接种小球藻 C9-JN2010,其中,初始接密度为 3.5×10^7 cfu/ml,光照周期为 14h : 10h,光照强度为 5000lux,培养温度为 25℃,pH 为 8.5,CO₂ 气体的 CO₂ 浓度为 25.0% (v/v),通气量为 0.2V_{Vm},连续培养 480h,氮、磷去除效果,CO₂ 的转化率 (% (v/v)) 及油脂积累关系见图 3A-3B 所示。

[0048] 由图 3A 分析得知,在连续培养前期,随着培养的时间延长,其对氮、磷及 CO₂ 的利用加快。在 0 ~ 120h 氮的利用速度不断加快,随后去除率达到 80.0% (W),在 120 ~ 288h 还不稳定,随后氮去除率趋于稳定在 80.0% (W)。在 0 ~ 96h 磷的利用速度不断加快,随后去除率达到 80.0% (W),96 ~ 216h 还不稳定,随后磷去除率趋于稳定在 80.0% (W)。在 0 ~ 96h CO₂ 利用速度不断加快,随后去除率达到 65.0% (v/v),在 96 ~ 240h 还不稳定,随后 CO₂ 去除率趋于稳定在 65.0% (v/v)。

[0049] 由图 3B 分析得知,在连续培养前期,随着培养的时间延长,藻细胞生长速率及油脂的积累速率加快。在 0 ~ 96h 藻体生长速度不断加快,藻体浓度达 3.0×10^8 cfu/ml,在 96 ~ 240h 还不稳定,随后藻体浓度趋于稳定在 3.0×10^8 cfu/ml。在 0 ~ 192h 油脂积累速度不断加快且油脂含量高达 25.0% (W),192h 以后藻体油脂的含量趋于稳定在 25.0% (W)。

[0050] 实施例 3

[0051] 采用分批发酵方式并以过滤除杂菌或杂藻后的市政污水和工业污水是经污水处理厂二级出水为培养基,向该培养基中接种小球藻 C9-JN2010,其中,初始接密度为 1.0×10^7 cfu/ml,光照周期为 10h : 14h,光照强度为 7500lux,培养温度为 20℃,pH 为 6.5,CO₂ 的浓度为 15.0% (v/v),通气量为 0.01V_{Vm},分批培养 480h,氮、磷去除效果,CO₂ 的转化率 (% (v/v)) 及油脂积累关系见图 4A-4B 所示。

[0052] 由图 4A 分析得知,在培养前期,随着培养的时间延长,其对氮、磷及 CO₂ 的利用加快。在 0 ~ 168h 内氮的利用速度不断加快且去除率高达 98.0% (W),随后在 168 ~ 216h 内一直保持在此水平,但在 240h 开始下降为 91.0% (W),之后一直保持在此水平。在 0 ~ 168h 内磷的利用速度不断加快且去除率高达 99.5% (W),随后在 168 ~ 264h 内一直保持在此水平,但在 288h 略有下降,为 98.0% (W),之后一直保持在此水平。在 0 ~ 168h 内 CO₂ 利用速度不断加快且去除率高达 75.0% (v/v),并在 168 ~ 240h 内保持稳定,随后利用速度逐渐减慢,最终 CO₂ 去除率只有 30.0% (v/v)。

[0053] 由图 4B 分析得知,在分批培养前期,随着培养的时间延长,藻细胞生长速率及油脂的积累速率加快。在分批培养过程中,在 0 ~ 120h 藻体生长不断加快且藻体浓度最大达 1.1×10^8 cfu/ml,在 120h ~ 168h 内维持在此水平,随后藻体浓度开始下降,最终为 5.2×10^7 cfu/ml。在 0 ~ 168h 内藻体油脂积累速度不断加快且藻体油脂含量高达 30.0% (W),随后一直保持在此水平。

[0054] 因此,本发明的以市政污水和工业污水为培养基并利用普通小球藻 C9-JN2010 高密度培养工艺进行污水处理,向该培养基中接种小球藻 C9-JN2010,其中,初始接密度为 1.0×10^7 cfu/ml ~ 6.0×10^7 cfu/ml,光照周期为 10h : 14h ~ 16h : 8h,光照强度为 5000lux ~ 15000lux,培养温度为 20 ~ 25℃,pH 为 6.5 ~ 8.5,CO₂ (15.0% ~ 30.0% (v/v)) 通气量为 0.01 ~ 0.2V_{Vm},培养 480h 后,藻细胞浓度高,且所述光反应器内的氮、磷等含量符合国家 A 类排放水标准 (总氮浓度为 15.0mg/L,氨氮浓度为 1.0mg/L,总磷浓度为 0.5mg/L)

L)。通过小球藻的深度处理后,水中总氮浓度低于 15.0mg/L,氨氮浓度小于 1.0mg/L,总磷浓度低于 0.5mg/L,污水中的氮磷含量分别降低了 80.0%~98.0% (W) 和 80.0%~99.5% (W), CO₂ 浓度降低 30.0~75.0% (v/v), pH 为 7.0~8.0。通过小球藻的生长积累油脂,最终光反应器内的藻浓度达 1.0×10^8 cfu/ml ~ 5.0×10^8 cfu/ml, 油脂含量可达 25.0%~40.0% (W)。能实现 CO₂ 减排和生物能源生产、氮、磷及 CO₂ 高去除效率,并且藻浓度、油脂的含量高,达到保护环境和生产生物资源的双重效果,操作简便快速、成本低、无污染、社会和经济综合效益高,适于大规模推广应用。

[0055] 综上所述,本发明的普通小球藻 CO₂ 耐受能力强,生产强度高,其培养方法把污水处理和生产生物能源与其他副产品(如,蛋白质、化妆品原料及动物饲料等)相结合,降低生产成本,达到废物资源的综合利用,实现节能减排的绿色生产,设计巧妙独特,适于大规模推广应用。

[0056] 在此说明书中,本发明已参照其特定的实施例作了描述。但是,很显然仍可以作出各种修改和变换而不背离本发明的精神和范围。因此,说明书和附图应被认为是说明性的而非限制性的。

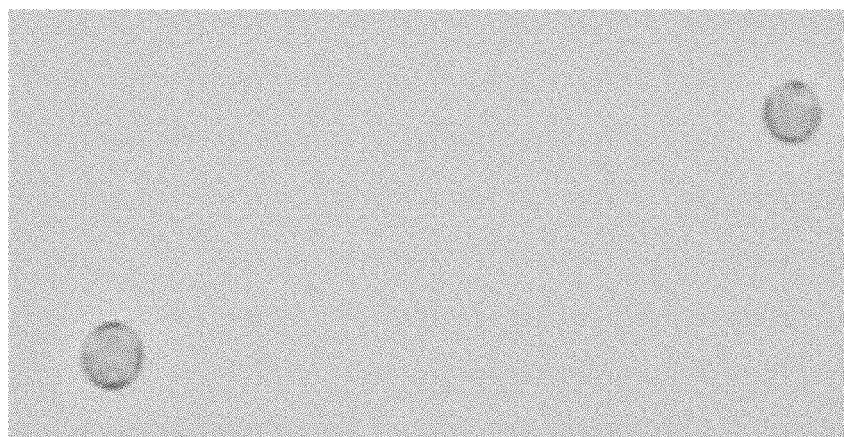


图 1

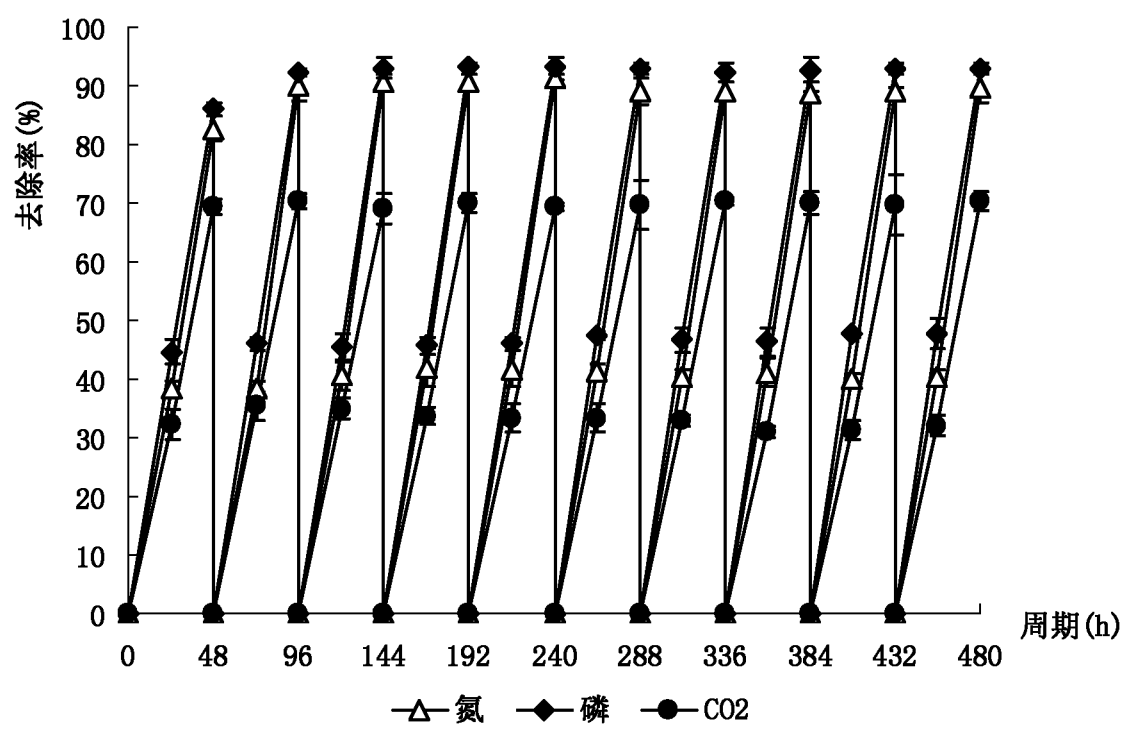


图 2A

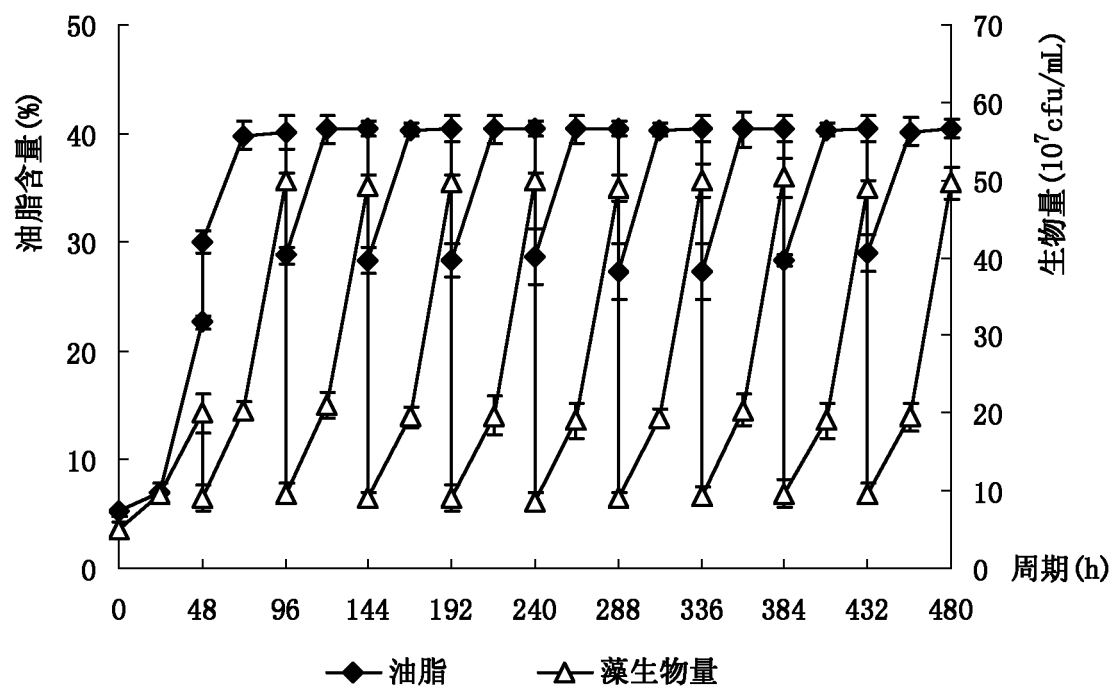


图 2B

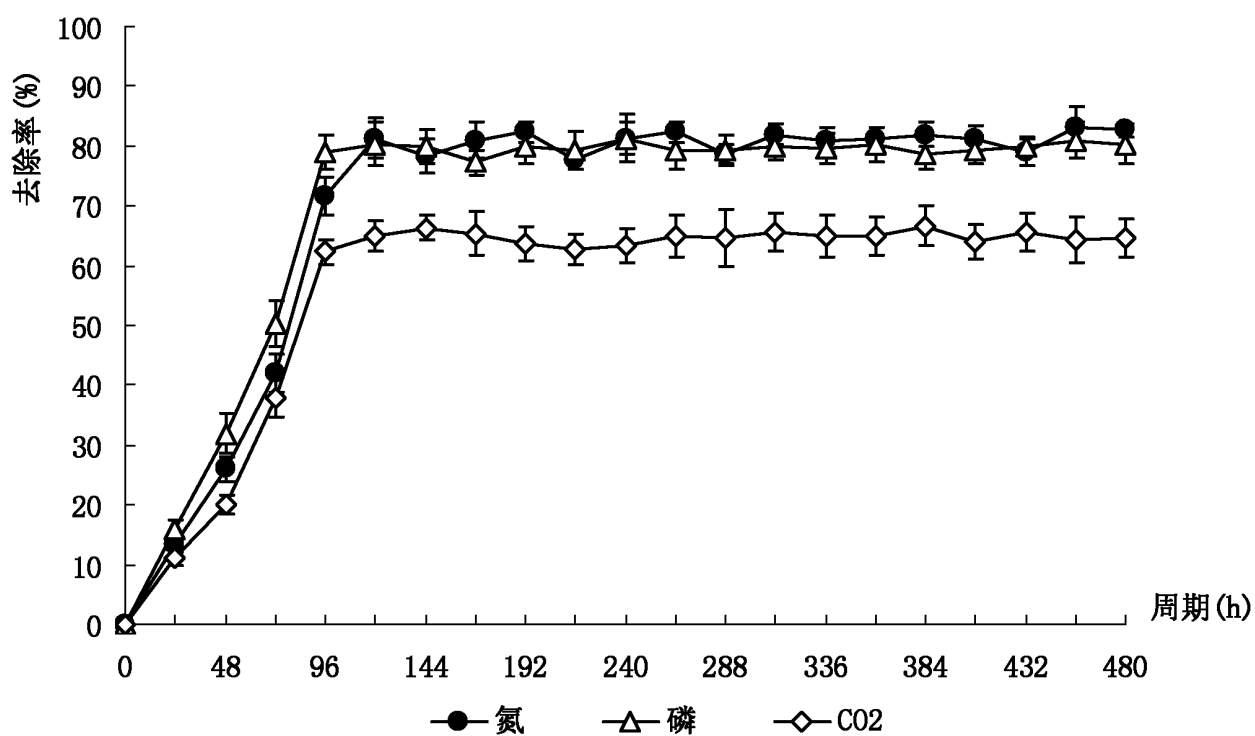


图 3A

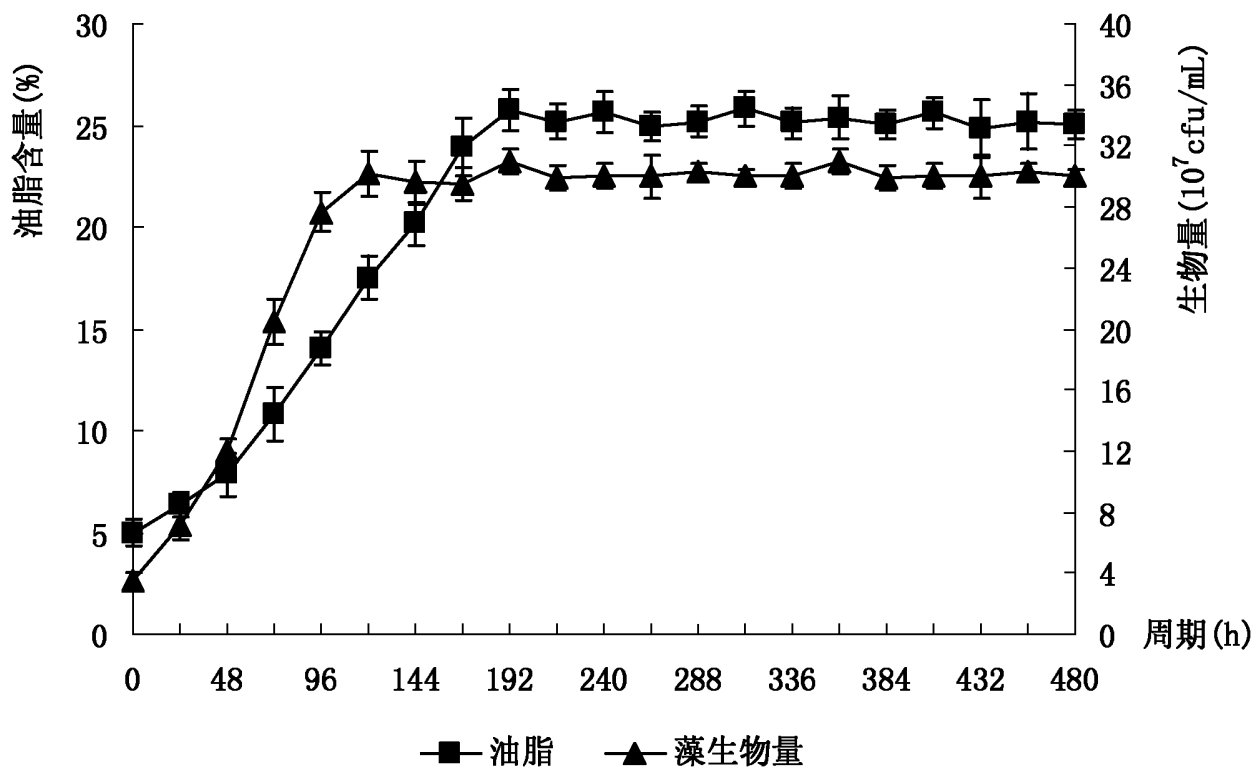


图 3B

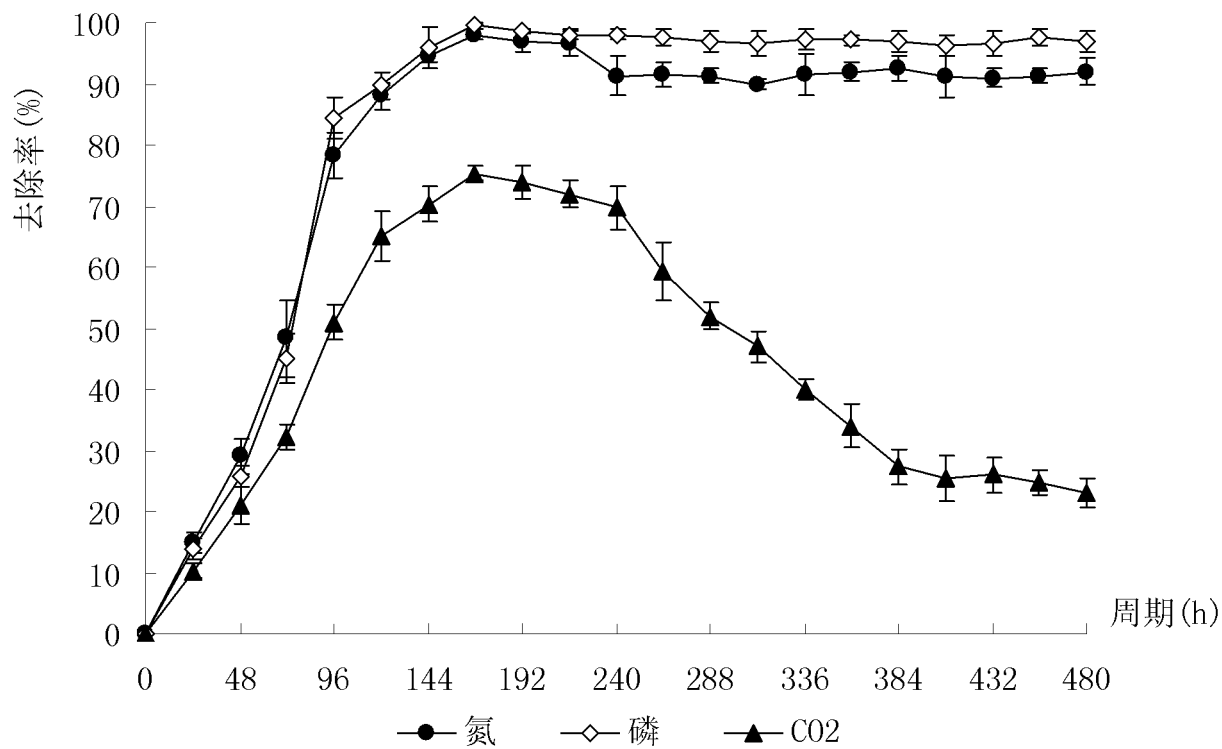


图 4A

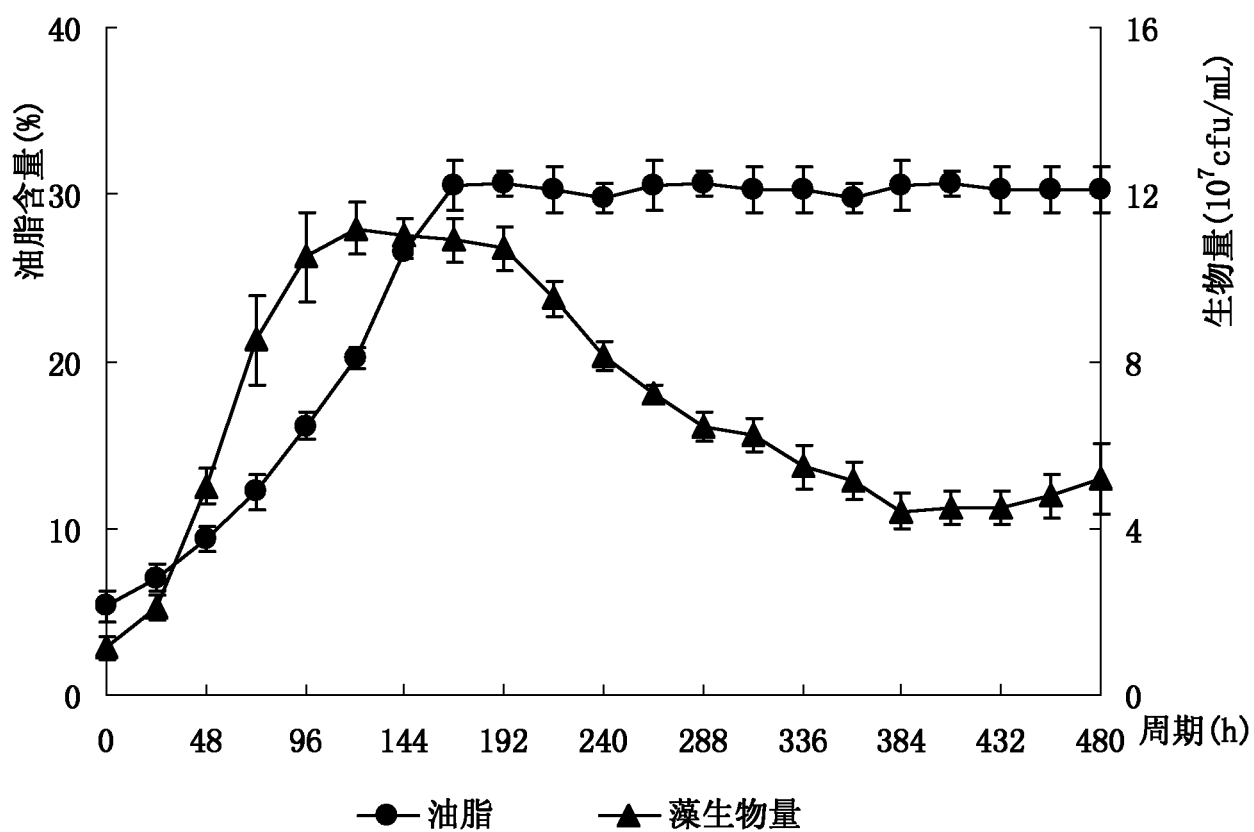


图 4B