



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103003204 A

(43) 申请公布日 2013. 03. 27

(21) 申请号 201180034404. 7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011. 05. 16

C02F 11/04 (2006. 01)

(30) 优先权数据

C02F 3/28 (2006. 01)

61/345, 029 2010. 05. 14 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2013. 01. 11

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2011/036697 2011. 05. 16

(87) PCT申请的公布数据

W02011/143667 EN 2011. 11. 17

(71) 申请人 加利福尼亚大学董事会

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 R·张

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 韦东

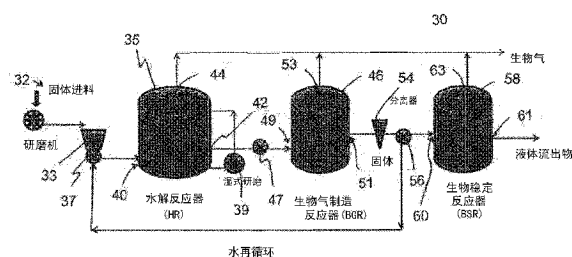
权利要求书 4 页 说明书 21 页 附图 9 页

(54) 发明名称

高效厌氧消化器系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种从有机材料生成生物气的厌氧消化器系统。所述系统包括其中含有产酸和水解细菌培养物的水解反应器(就所述培养物而言所述有机材料是水解底物),其中含有产乙酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造反应器,和其中含有产甲烷细菌培养物的生物稳定反应器。所述生物稳定反应器的操作条件调整成增加所述系统的消化率和能量转换效率。还公开了使用所述系统的方法。



1. 一种从有机材料生成生物气的厌氧消化器系统,所述系统包括:

其中含有水解细菌培养物的水解反应器,所述有机材料就所述培养物而言是水解底物,所述水解反应器还包括:

接受有机材料的水解入口;

从水解反应器排放水解流出物的第一水解出口;和

从水解反应器排出生物气的气孔;

其中含有产乙酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造反应器,所述生物气制造反应器还包括:

接受来自水解反应器出口的水解流出物的生物气制造反应器入口;

从生物气制造反应器排放生物气制造流出物的生物气制造反应器出口;和

从生物气制造反应器排出生物气的气孔;和

其中含有产甲烷细菌培养物的生物稳定反应器,所述生物稳定反应器还包括:

接受来自生物气制造反应器出口的生物气制造流出物的第一生物稳定反应器入口;

从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的生物稳定反应器出口;和

从生物稳定反应器排出生物气的气孔。

2. 一种从有机材料生成生物气的厌氧消化系统,所述系统包括:

其中含有细菌培养物的水解反应器,用于从含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述水解反应器还包括:

接受有机材料的水解入口;

从水解反应器排放水解流出物的水解出口;和

从水解反应器排出生物气的气孔;

其中含有细菌培养物的生物气制造反应器,用于从含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述生物气制造反应器还包括:

接受来自水解反应器出口的水解流出物的生物气制造反应器入口;

从生物气制造反应器排放生物气制造流出物的生物气制造反应器出口;和

从生物气制造反应器排出生物气的气孔;和

其中含有细菌培养物的生物稳定反应器,用于从基本不含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述生物稳定反应器还包括:

接受来自生物气制造反应器出口的生物气制造流出物的生物稳定反应器入口;

从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的生物稳定反应器出口;和

从生物稳定反应器排出生物气的气孔。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述生物稳定反应器包括维持产甲烷细菌培养物的容器,其中所述生物稳定反应器出口与所述生物稳定反应容器垂直表面连通。

4. 如权利要求 1-3 中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物气制造反应器包括维持产甲烷细菌培养物的容器,其中所述生物气制造反应器出口与所述生物气制造反应容器垂直表面连通。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述生物气制造反应器具有高于约 30°C 的受控内部温度。

6. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物气制造反应器具有约

25℃ - 约 55℃ 的受控内部温度。

7. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物气制造反应器具有约 6.8- 约 8.2 的受控内部 pH。

8. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述有机材料是选自固体、液体和其组合的成员。

9. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述水解反应器还包括产乙酸细菌培养物。

10. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述生物稳定反应器具有等于或低于所述生物气制造反应器的受控内部温度。

11. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物稳定细菌培养物基本不含产乙酸细菌。

12. 如权利要求 1-6 中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物稳定反应器具有约 6.8- 约 8.2 的受控内部 pH。

13. 如权利要求 1、2 或 12 中任一项所述的系统,其特征在于,所述生物气制造反应器配置成加工选自液体、固体和其组合的成员。

14. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括所述生物气制造反应器上游的研磨机,用于机械减小所述有机材料中的固体颗粒尺寸。

15. 如权利要求 1、2 或 13 中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括:

位于所述生物气制造反应器和所述生物稳定反应器之间的固液分离器,所述分离器配置成分离生物气制造流出物的纤维状固体组分与液体组分。

16. 如权利要求 15 所述的系统,其特征在于,所述纤维状固体组分具有约 60%- 约 70% 的含水量。

17. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括流动地位于所述生物气制造反应器和所述生物稳定反应器之间的滤器方式。

18. 如权利要求 17 所述的系统,其特征在于,所述滤器方式选自研磨机、网格、滤器、筛、过滤器、狭板和其组合之一。

19. 如权利要求 1 或 2 所述的系统,其特征在于,从所述水解反应器排放的生物气包括氢和二氧化碳,从所述生物气制造反应器排放的生物气包括甲烷和二氧化碳,从所述生物稳定反应器排放的生物气包括甲烷。

20. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述有机材料具有高含盐量。

21. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括从所述生物气制造流出物中移除氨、盐和其组合之一的移除装置。

22. 如权利要求 21 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括经所述移除装置转移至少部分所述生物气制造流出物到所述水解反应器的液体线。

23. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括从水解反应器第二出口接受生物气制造流出物的生物稳定反应器第二入口。

24. 如前述权利要求中任一项所述的系统,其特征在于,所述系统还包括生物稳定反应器流出物再循环线,将所述生物稳定反应器流出物进料到选自所述水解反应器、所述生物气制造反应器和其组合的元件。

25. 一种生成生物气的方法,所述方法包括:

将有机材料递送给前述权利要求中任一项所述的系统水解反应器作为原料;

在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产酸和水解细菌培养物的水解混合物以生成氢、二氧化碳、和水解流出物;

转移至少部分水解流出物到所述生物气制造反应器;

在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产乙酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造混合物以生成甲烷、二氧化碳、和生物气制造流出物;

转移至少部分生物气制造流出物到生物稳定反应器;和

在厌氧条件下孵育含有生物气制造流出物与生物稳定产甲烷细菌培养物的生物稳定混合物以生成甲烷和生物稳定流出物。

26. 一种从部分消化的有机材料中生成生物气的生物稳定反应器系统,所述反应器系统包括:

含入口的容器,所述容器用于混合部分消化的有机材料和用于有机材料生物气制造的生物稳定细菌培养物;

排放由生物气制造产生的生物气的气孔;和

从所述容器排放生物气制造所产生液体流出物的出口;

其中所述部分消化的有机材料用所述容器上游的产乙酸和产甲烷细菌培养物的混合物进行甲烷生成,且所述生物稳定细菌培养物是产甲烷细菌培养物。

27. 如权利要求 26 所述的系统,其特征在于,所述产甲烷细菌培养物基本不含产乙酸细菌。

28. 如权利要求 26 所述的系统,其特征在于,所述系统还包括固液分离器,用于分离待注入容器的部分消化有机材料中的固体组分与液体组分。

29. 如权利要求 26 所述的系统,其特征在于,所述容器配置成维持于约 25°C - 约 55°C 的内部温度。

30. 如权利要求 26-29 中任一项所述的系统,其特征在于,所述容器配置成使所述有机材料与所述生物稳定细菌培养物的混合物维持于约 6.8- 约 8.2 的 pH。

31. 如权利要求 26 所述的系统,其特征在于,所述出口配置成从所述容器内壁表面相邻区域排出液体流出物。

32. 如权利要求 26 所述的系统,其特征在于,所述排放的生物气从所述容器顶部排出。

33. 如权利要求 26-32 中任一项所述的系统,其特征在于,所述入口与水解反应器操作性地流体相连,从而水解反应器流出物转移到所述系统中。

34. 一种生成生物气的方法,所述生物气为选自甲烷、氢、二氧化碳和其组合的成员,所述方法包括:

递送原料到水解反应器,部分所述原料包括磨碎的固体有机材料,所述水解反应器包括水解和产乙酸细菌培养物,所述固体有机材料就所述培养物而言是水解底物;

在充分厌氧条件下孵育含有原料与水解和产乙酸细菌培养物的水解混合物一段时间以生成氢、二氧化碳、和水解流出物;

转移第一部分水解流出物到其中含有产乙酸和产甲烷生物气制造细菌培养物的生物气制造反应器中;

在充分厌氧条件下孵育含有第二部分所述水解流出物与生物气制造细菌培养物的生物气制造混合物一段时间以生成甲烷、二氧化碳、和生物气制造流出物；

转移至少一部分生物气制造流出物到其中含有生物稳定细菌培养物的生物稳定反应器；和

在充分厌氧条件下孵育含有生物气制造流出物与生物稳定细菌培养物的生物稳定混合物一段时间以生成甲烷和二氧化碳。

35. 如权利要求 34 所述的方法，其特征在于，所述生物稳定孵育在等于或低于所述生物气制造孵育的温度进行。

36. 如权利要求 34 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括在所述生物气制造孵育前给所述生物气制造反应器提供不同液体原料。

37. 如权利要求 34-36 中任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括在转移到所述生物稳定反应器前，分离所述生物气制造流出物的固体组分与液体。

38. 如权利要求 37 所述的方法，其特征在于，所述方法还包括将部分已分离液体再循环到所述水解反应器。

39. 如权利要求 34-38 中任一项所述的方法，其特征在于，所述各步骤基本同时进行。

40. 如权利要求 34 所述的方法，其特征在于，所述生物稳定细菌培养物是基本不含产乙酸细菌的产甲烷细菌培养物。

41. 如权利要求 34-40 中任一项所述的方法，其特征在于，所述方法还包括转移至少部分所述水解流出物到所述生物稳定反应器。

高效厌氧消化器系统及方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本 PCT 申请要求 2010 年 5 月 14 日提交的美国临时专利申请第 61/345,029 号的优先权,其公开内容通过引用全文纳入本文以用于所有目的。

[0003] 发明背景

技术领域

[0004] 本发明总体涉及高效厌氧消化器系统及其使用方法。

[0005] 相关技术描述

[0006] 生物消化众所周知是一种污水处理和环境保护方法。近期生物消化在可再生能源发电领域脱颖而出。生物消化过程中产生的生物气能用于运行电力生产的发电机和出于加热目的的锅炉。

[0007] 图 1A、1B 和 1C 描述使用单个反应容器的常规消化器系统。图 1A 显示干式厌氧堆肥(Dranco)过程。Dranco 消化器是干式、单级、高温厌氧消化系统(Verma, 2002)。进料被引入所述消化器顶部并流入在其中螺旋钻移除厌氧消化液的锥形底部。部分厌氧消化液用于接种来料并加入蒸气以使温度增至高温范围。剩余厌氧消化液脱水产生废水和滤饼。所述滤饼包含活性细菌、一些氮和好氧稳定用作堆肥的未消化固体。优选分类废物以维持堆肥质量。所述反应器内没有混合,除了生物气相对底物向下推流移动的一些鼓泡。据报道 Dranco 消化器维持高平均有机加载率($12-15\text{kg VS}/\text{m}^3/\text{d}$)以处理城市有机固体废物。

[0008] 图 1B 显示运行 Kompogas 工艺的系统。Kompogas 消化器是高固体推流设计。圆柱形反应器水平定向且包含辅助脱气和匀化的内转子(Lissens 等 2001;Nichols2004)。所述系统预制成 15,000 或 25,000 吨/年(t/y)尺寸。内部固体含量必须小心维持在 23-28%以使系统适当流动。因此,一些工艺用水和厌氧消化液与进入的有机废物混合,所述有机废物还提供接种(Lissens 等 200)。停留时间为高温条件下 15-20 天。

[0009] 图 1C 显示 Valorga 系统。Valorga 系统是干式、单级消化器,处理总固体(TS)为 25-30%的推流厌氧消化液(Nichols2004)。与其他推流消化器不同,Valorga 设计使用加压生物气以混合。这消除了对接种环的需求。所述垂直圆柱形消化器包含跨三分之二消化器直径的分区延伸。这迫使材料在底部进入以在离开前环壁绕流(de Laclos 等, 1997)。根据 Nichols(2004),总固体(TS)低于 20%的原料在 Valorga 系统中运行不好,因为砂粒沉淀并凝结生物气注入口。停留时间为 21 天且生物气产量报道为 $220-270\text{m}^3/\text{t VS}$ (Nichols2004)。

[0010] 图 2 描述顺序分批厌氧堆肥(SEBAC)系统,包括 2 或 3 批、顺序加载的滤床消化器,从而渗滤液能通过喷雾器在消化器间转移(Chynoweth 等, 1991;Chynoweth 等, 1992;Okeefe 等, 1993;Forster-Carneiro 等, 2004)。将粗略切碎的城市生活垃圾有机部分(OFMSW)置于分批式消化器中。来自成熟消化器的渗滤液喷射到新鲜材料上作为接种物,而渗滤液再循环到成熟堆积物顶部直至甲烷生成稳定。然后,消化器转至内部再循环,直到甲烷生成随着分批成熟而变慢。在实验室测试中,SEBAC 工艺用纯食物废物加载时启动困难(Forster-Carneiro 等, 2004)。需要填充剂以防止压紧和允许渗滤液引流。早期

先导研究分别报道了停留时间为 21 和 42 天时甲烷产量为 160 和 190m³/t VS (Chynoweth 等, 1992)。废物流包含 60% 纸和纸板、10% 塑料和 6% 庭园废物, 作者报道了所述产量代表 80-90% 最终产甲烷能力。

[0011] 常规厌氧相固体(APS)系统分解生物可降解材料以处理废物、生成生物气、或两者都有。现有 APS 系统的运行原理是分阶段多相的固体厌氧消化。

[0012] 由于厌氧消化使用混合且高度竞争的微生物培养, 所述培养能基本降解有机物中所有生物可降解组分, 厌氧消化成为废物降解和处理的关键技术之一。与其他生物质转化技术如乙醇发酵相比, 厌氧消化成本更低且更适应分布操作的不同尺寸。用于厌氧消化工艺的细菌和真菌具有有效的酶系统以降解有机聚合物, 如纤维(例如纤维素和半纤维素)、蛋白和脂肪。多年来, 厌氧消化技术从单一的环境管理工艺发展到生成可再生能源的可行工艺。随着对再生能源以及减少温室气体排放和环境退化的需求日益增长, 厌氧消化获得了更多的关注。

[0013] 现有高固体和厌氧消化器的示例是 Zhang 等的美国专利号 6, 342, 378 和 Zhang 的美国专利号 7, 556, 737。这些专利公开了加利福尼亚大学戴维斯分校(UC Davis)开发的厌氧相固体消化器(APS- 消化器)。APS- 消化器结合了分批和连续消化器的特色(Zhang 和 Zhang, 1999; Zhang, 2002; Hartman, 2004)。所述示范性系统包括 5 个反应器: 4 个水解反应器和 1 个生物气制造反应器。原料加载到各个水解反应器内并通过胞外酶和产酸细菌作用, 使废物溶解并转变成简单有机酸。收集所述酸并转移至生物气制造反应器, 在其中它们通过产甲烷细菌进一步还原成甲烷。多个水解反应器使得各分批水解反应起点之间有时间间隔。尽管有分批加载和操作安排, 此时间间隔有助于相对恒定的生物气生产率。各批次完全消化后, 移除固体和液体并好氧稳定。在实验室测试中, APS 消化器系统能消化稻秸, 减少 40-60% 的 TS 且生成 400-500m³ 生物气 /t VS, 这与更易降解底物所见的产率相当(Zhang 和 Zhang, 1999)。其他在 APS 消化器上测试的底物包括用后食物废物、食物加工废料和畜肥。餐馆食物废物和绿色垃圾(剪草)的生物气产量分别为 600 和 440m³/tVS, 停留时间 12 天且生物气生产率是 3-3.5m³/m³/d。

[0014] 现有厌氧消化技术分成 2 类 - 处理固体废物的和处理废水的。对于固体和液体材料都需要处理的应用如食品加工厂, 现有技术有局限。

[0015] 依然需要提高厌氧消化技术的性能。现有厌氧消化器需要大量孵育时间以在可排放流出物前使内容物消化和生物稳定。另外, 需要继续在增加产量和降低成本方面提高效率。

[0016] 根据上述内容, 有方法和设备克服已知生物消化器(包括厌氧消化器)的上述和其他缺点是有益的。

发明内容

[0017] 本发明的多个方面针对从有机材料生成生物气的厌氧消化器系统。所述系统包括水解反应器、生物气制造反应器和生物稳定反应器, 所述水解反应器中包含以有机材料作为水解底物的产酸细菌和水解细菌培养物, 所述生物气制造反应器中包含产乙酸细菌和产甲烷细菌培养物, 所述生物稳定反应器中包含产甲烷细菌培养物。所述水解反应器还包括接受有机材料的入口, 从水解反应器排放水解流出物的出口, 和从水解反应器排放生物气

的气孔。所述生物气制造反应器还包括接受来自水解反应器出口的水解流出物的生物气制造反应器入口,从生物气制造反应器排放生物气制造流出物的反应器出口,和从生物气制造反应器排放生物气的气孔。所述生物稳定反应器还包括接受来自生物气制造反应器出口的生物气制造流出物的生物稳定反应器入口,从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的生物稳定反应器出口,和从生物稳定反应器排放生物气的气孔。

[0018] 在多个实施方式中,所述生物气制造反应器具有约 6.8-约 8.2 的受控内部 pH。在多个实施方式中,所述生物稳定反应器具有约 6.8-约 8.2 的受控内部 pH。在多个实施方式中,所述生物气制造反应器具有约 25°C - 约 55°C 的受控内部温度。在多个实施方式中,所述生物稳定反应器具有等于或低于所述生物气制造反应器的受控内部温度。在多个实施方式中,所述生物稳定反应器具有约 25°C - 约 55°C 的受控内部温度。

[0019] 在多个实施方式中,所述有机材料是选自固体、液体和其组合的成员。

[0020] 在多个实施方式中,所述生物稳定反应器细菌培养物基本是产甲烷的。在多个实施方式中,所述生物稳定反应器细菌培养物基本没有产酸细菌。

[0021] 在多个实施方式中,所述系统还包括所述生物气制造反应器上游的研磨机用于机械减小原料中固体颗粒的尺寸。在多个实施方式中,所述系统还包括位于所述生物气制造反应器和所述生物稳定反应器之间的固液分离器,所述分离器配置成从所述生物气制造反应器流出物中分离纤维状固体组分与液体组分中。在示例性实施方式中,所述纤维状固体组分的含水量为约 60%-约 75%。示例性研磨机可选磨碎来自所述水解反应器的材料,将已磨碎材料送回该水解反应器。在示例性系统中,研磨机磨碎水解流出物,然后移回至所述生物气制造反应器。

[0022] 本发明的多个方面针对从部分消化的有机材料生成生物气的生物稳定反应器系统。所述生物稳定反应器包括容器、气孔和出口,所述容器包括用于混合部分消化的有机材料与生物稳定细菌培养物的入口以生物消化有机材料,所述气孔用于排放生物气制造产生的生物气,所述出口用于从所述容器排放生物气制造产生的液体流出物。所述部分消化的有机材料用所述容器上游的产酸和产甲烷细菌培养物的混合物进行甲烷生成。所述生物稳定细菌培养物是产甲烷培养物。

[0023] 在多个实施方式中,所述系统还包括用于分离待进入生物稳定容器的部分消化有机材料中固体组分与液体组分的固液分离器。在多个实施方式中,生物稳定反应器容器配置成维持约 25°C - 约 55°C 的内部温度。所述生物稳定反应器容器可配置成使有机材料和生物稳定细菌培养的混合物维持于约 6.8-约 8.2 的 pH。

[0024] 在多个实施方式中,所述生物稳定出口配置成从所述生物稳定容器内壁表面相邻区域排出液体流出物。所排放的生物气可从所述生物稳定容器顶部排放。

[0025] 在多个实施方式中,所述方法还包括使部分分离的液体从固液分离器再循环到水解反应器。来自一个或多个反应器的流出物可转移至一个或多个其他反应器。在多个实施方式中,所述生物气制造流出物再循环至所述水解反应器。在多个实施方式中,所述生物稳定流出物再循环至所述水解反应器。在多个实施方式中,所述生物稳定流出物再循环至所述生物气制造反应器。在多个实施方式中,来自反应器的流出物再循环回各反应器中。再循环的流出物可以是液体、固体或其组合。在多个实施方式中,再循环的流出物是液体,将所述流出物加至水解反应器的原料以调整其含水量。可加工所述液体以在再循环到水解反

应器前移除氨和其他成分(例如盐元素)。

[0026] 本发明的多个方面针对从有机材料生成生物气的方法。所述方法包括将原料递送给所述系统的水解反应器,在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产酸和水解细菌培养物的混合物以生成氢、二氧化碳和水解流出物,转移至少部分水解流出物到所述生物气制造反应器,在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造混合物以生成甲烷、二氧化碳和生物气制造流出物,转移至少部分生物气制造流出物到所述生物稳定反应器,在厌氧条件下孵育含有生物气制造流出物与生物稳定产甲烷细菌培养物的生物稳定混合物以生成甲烷和生物稳定流出物。

[0027] 在多个实施方式中,各步骤基本同时进行。

[0028] 本发明的系统和方法具有通过附图和下列本发明详细描述显而易见或在其中更详细列出的其他特征和优势,所述附图纳入本说明书并作为其部分,所述本发明详细描述一起用于解释本发明原理。

[0029] 附图简要说明

[0030] 图 1A、1B 和 1C 是常规生物消化器的示意图。

[0031] 图 2 是常规顺序分批厌氧堆肥(SEBAC)系统的示意图。

[0032] 图 3 是本发明厌氧消化工艺所涉及生化过程的示意图。

[0033] 图 4 是根据本发明的厌氧消化器系统示意图。

[0034] 图 5 是与图 4 系统类似的厌氧消化器系统示意图,显示可选氨移除装置的应用。

[0035] 图 6 是与图 4 系统类似的厌氧消化器系统示意图,显示可选氨移除装置的应用和添加新鲜液体进料到生物气制造反应器。

[0036] 图 7 是本发明厌氧消化器系统的示意图,其中水解反应器流出物直接转移至生物稳定反应器。

[0037] 图 8 是本发明厌氧消化器系统的示意图,其中来自生物稳定反应器的流出物再循环到消化器系统中,例如经阀 37 通过水解反应器。

[0038] 图 9 显示根据本发明系统和方法生成的生物气产品的公共利益。

[0039] 发明详述

[0040] 详细参考本发明的多个实施方式,其示例描述于附图中。尽管发明结合多个实施方式来描述,应理解它们不意在将本发明限于这些实施方式。相反,本发明意在覆盖替代物、修改和等价物,其可包括在由所附权利要求定义的本发明精神和范围内。

[0041] 定义和缩写

[0042] “生物气”指通过生物分解有机物产生的气体,通常在没有氧气情况下。生物气示例包括但不限于通过厌氧消化、发酵或生物气制造生物可降解材料如生物质、肥料、污水、城市废物、绿色垃圾和作物而产生的甲烷、氢和二氧化碳。

[0043] “生物气制造”一般指由来自有机材料的微生物生成生物气产品。多个方面中,“生物气制造”指在处理本发明液体或固体原料或材料中生成生物气。多个方面中,“生物气制造”指通过本发明工艺和系统从有机材料生成甲烷和 / 或二氧化碳的工艺。

[0044] “厌氧消化”应理解为通常用于工业、化学、农业和环境领域。多个方面中,“厌氧消化”指微生物在没有氧气情况下分解有机或生物可降解材料以处理废物和 / 或释放能量的一系列过程。多个方面中,“厌氧消化”指加工多种有机材料,包括液体、固体和其组合。“厌

氧消化”与“AD”和“消化”互换使用。

[0045] “甲烷生成”和“生物产甲烷”互换使用且指由产烷生物形成甲烷。多个方面中，“甲烷生成”与“生物产甲烷”互换使用。“甲烷生成”应理解为通常用于工业、化学、农业和环境领域且一般指由称为产烷生物的微生物形成甲烷。多个方面中，甲烷生成通过厌氧发酵产生。

[0046] “产烷生物”和“产甲烷细菌培养物”应理解为通常用于环境、农业和化学领域且广泛指能从有机材料生成甲烷和 / 或代谢有机材料的微生物类别。示例性产烷生物包括但不限于奥氏甲烷杆菌(*Methanobacterium oinelianskii*)、甲酸甲烷杆菌(*Mb. formicium*)、索氏甲烷杆菌(*Mb. sohngeni*)、巴氏甲烷八叠球菌(*Methanosarcina barkeri*)、甲烷八叠球菌(*Ms. methanica*) 和马氏产甲烷球菌(*Mc. mazei*) 及其组合。还使用甲烷菌科(*Methanobacteriaceae*)、甲烷八叠球菌科(*Methanosarcinaceae*)、甲烷丝状菌科(*Methanosaetaceae*)、甲烷粒菌科(*Methanocorpusculaceae*)、甲烷微菌科(*Methanomicrobiaceae*) 和其他古细菌生物。

[0047] “产乙酸菌”和“产乙酸细菌培养物”应理解为通常用于环境、农业和化学领域且广泛指能生成乙酸作为厌氧发酵产物的微生物类别。

[0048] “产酸菌”和“产酸细菌培养物”应理解为通常用于环境、农业和化学领域且广泛指能生成挥发性脂肪酸作为厌氧发酵产物的微生物类别。

[0049] “细菌培养物”应理解为通常用于农业、化学和环境领域。多个方面中，“细菌培养物”指混合培养物。多个方面中，“细菌培养物”包括细菌和古细菌。

[0050] “有机底物”、“有机材料”和“原料”基本互换使用且指能用于本发明工艺和系统以生成生物气产品的材料。一些方面中，“有机底物”指能用于本发明工艺和系统的碳质材料。“有机底物”可指液体、固体、或其组合。

[0051] 在一个示例性实施方式中，所述有机底物是食物废物和城市固体废物。先前的研究显示厌氧消化食物废物和其与农业废料如畜肥和城市固体废物的混合物的可用性(Zhang 等, 2006; EI-Mashad 和 Zhang, 2010; Zhu 等, 2010)。多个方面中，所述有机材料通过化学处理如酸处理、碱处理、放射处理、热处理、放射处理、氨处理和其组合来预处理。

[0052] “有机材料”和“原料”基本互换使用。“原料”应理解为用于农业和环境领域。

[0053] “部分消化”指已经历生物气制造过程的有机材料。多个方面中，“部分消化”指其中至少相当一部分已经历水解或至少相当一部分已经历产乙酸和产甲烷细菌培养的有机材料。

[0054] “水解”应理解为通常用于工业、化学、农业和环境领域。“水解”一般指通过添加水分子将分子分成两个或更多部分。多个方面中，“水解”指水分子分成氢阳离子和氢氧阴离子的化学反应。多个方面中，“水解”指通过本发明工艺和系统从有机材料生成氢和 / 或二氧化碳的过程。多个方面中，“水解”指通过水解微生物代谢有机材料生成氢的过程。

[0055] “水解微生物”应理解为通常用于工业、化学、农业和环境领域且广泛指能生成氢作为厌氧呼吸产物的微生物类别。示例性水解微生物包括但不限于梭菌(*Clostridium*)、乳杆菌(*Lactobacillus*) 和其他厚壁菌(*Firmicutes*) 及变形菌(*Proteobacteria*) 以及其组合。

[0056] “固液分离器”一般指根据本发明工艺和系统分离固体组分与液体组分的装置。多

个方面中，“固液分离器”指从没有装置时产生的水平增加固体组分与液体组分之间分离量的装置。多个方面中，“固液分离器”指分离直径大于约 1mm、小于约 3mm、小于约 5mm、小于约 10mm、或小于约 20mm 的固体颗粒的装置。

[0057] “反应器”、“容器”和“反应容器”基本互换使用以指内装材料的装置，且在一些方面中指发生本发明所述反应的装置。

[0058] “孵育”应理解为通常用于化学、农业和环境领域。本文所用的“孵育”一般指使材料停留一段时间以用于产生所需反应。

[0059] 本文所用的“流体”广泛指液体，有活没有悬浮的固体材料。多个方面中，所述固体的量使所述“流体”能经本发明系统流动。

[0060] “固体”应理解为通常用于化学、农业和环境领域。“固体”包括但不限于惰性固体、可溶性固体、生物可降解固体和非生物可降解固体。多个方面中，“固体”指生物可降解固体。

[0061] “酸”、“碱”和“盐”应理解为通常用于化学、农业和环境领域的这些术语。

[0062] “HR”指“水解反应器”。“BGR”指“生物气制造反应器”。“BSR”指“生物稳定反应器”。

[0063] 为了便于所述权利要求中的解释和精确定义，术语“上”或“较高”、“下”或“较低”、“之内”和“之外”、以及“顶部”和“底部”用于参考图中所示特征位置来描述本发明特征。

[0064] 在多个方面中，各个图的修改类似前面的修改且同一参考数字和随后的下标“a”、“b”、“c”、“d”和省略符号指定对应部分。

[0065] 除非另有说明，本文所用的术语和缩写应理解为通常用于工业、化学、农业和环境领域。除非另有说明，使用单数包括复数，反之亦然。

[0066] 本发明的多个方面涉及 2002 年 1 月 29 日授权且题为 BIOGASIFICATION OF SOLID WASTE WITH AN ANAEROBIC SOLIDS DIGESTER SYSTEM (用厌氧固体消化器系统的固体废物生物气制造) 的美国专利号 6,342,378 和 2009 年 7 月 7 日授权且题为 ANAEROBIC PHASED SOLIDS DIGESTER FOR BIOGAS PRODUCTION FROM ORGANIC SOLIDS WASTE (用于从有机固体废物生成生物气的厌氧相固体消化器) 的美国专利号 7,556,737 所公开的消化器系统和方法，所述专利通过引用全文纳入本文以用于所有目的。与现有厌氧消化器系统相反，根据本发明的系统达到更高的加工率和更高的能量转化效率。

[0067] 现在转向附图，其中类似的组分由各个图中类似的参考数字指定，关注图 3 和 4。图 3 是参与厌氧消化过程的生化过程的概括说明。如图 3 所示，厌氧消化中，有机物由微生物的胞外酶水解成可溶性化合物如氨基酸、糖和长链脂肪酸。然后所述水解步骤产物发酵成短链挥发性脂肪酸(VFA)、醇、氨和硫化氢。VFA (除了乙酸酯以外) 和醇进一步由产乙酸细菌转化成乙酸、氢和二氧化碳，其随后由产甲烷细菌转化成甲烷和二氧化碳。厌氧消化产生的生物气可包含氢、甲烷、二氧化碳作为主要组分并能用作发电和热生成的燃料，或运输载体的燃料。

[0068] 在一个示例性实施方式中，有机材料或原料是农业废料，如稻秸。先前研究显示使用常规批式或半连续进料消化反应器，厌氧消化秸秆(稻秸和麦秸)与其他农业和食物废物如畜肥、绿叶和糖蜜的混合物的可行性(Hills, D. J. 和 D. W. Roberts, *Agricultural Wastes* 3:179-189 (1981); Dar, G. H. 和 S. M. Tandon, *Biological Wastes*

21:75-83(1987);Adbullah 等, Journal of Agricultural Sciences119:255-263(1992);Somayaji, D. 和 S. Khanna, World Journal of Microbiology&Biotechnology10:521-523(1994)。Hills 和 Roberts 的研究(1981)显示添加碎稻秸或碎麦秸到牛粪可增强厌氧消化过程和提高甲烷生成。稻秸是木质-纤维素材料,主要由纤维素(37.4%)、半纤维素(44.9%)、木质素(4.9%)和硅灰(13.1%)构成(Hills, D. J. 和 D. W. Roberts, Agricultural Wastes3:179-189(1981))。秸秆包含约 0.4% 氮且碳氮比(C/N)约为 75。厌氧消化的合适 C/N 比范围是 25-35 (Hills, D. J. 和 D. W. Roberts, Agricultural Wastes3:179-189(1981))。因此,可能需要补充氮以影响稻秸的厌氧消化。

[0069] 氮可以无机形式如氨或有机形式如尿素、畜肥或食物废物所含的有机氮加入。然而,一旦氮从有机物中释放,它会变成水溶性的氨(NH_4^+)。在消化液体中再循环氮会降低连续操作厌氧消化器所需的氮量。畜肥和食物废物如果在稻秸生成附近区域易得,则是良好的营养源。氮肥如氨或尿素是能简单加至秸秆另一氮源且当处理其它废物类型不可行时其可能更适于所述区域。因此,在多个实施方式中,所述有机材料补充有氮源。在多个实施方式中,所述氮源是选自尿素、畜肥、食物废物、无机氮肥和其组合的成员。

[0070] 在多个实施方式中,所述有机材料特别是农业废料(如稻秸)通过选自下组的化学处理方法预处理:碳酸氢盐处理、碱性过氧化物处理、放射处理、氨处理和其组合。

[0071] 在多个实施方式中,所述有机材料是固体、液体或其组合。示例性系统有固体材料和液体材料如废水。

[0072] 图 4 显示从有机材料或原料生成生物气的厌氧消化器系统,一般指定为 30。在示例性系统中,固体原料 32 进入研磨机 33 以减小固体颗粒尺寸。

[0073] 磨碎的原料通过泵 37 进入水解容器(水解反应器) 35。示例性系统可选包括湿式研磨机 39 以进一步连续减小反应器中固体组分的粒度。

[0074] 示例性水解反应器包括接受来自泵原料的入口 40 和排放水解流出物的第一出口 42。气孔 44 可从水解容器 35 排出生物气。任何反应容器的入口可配置成接受固体、液体或其组合。

[0075] 来自水解反应器 35 的水解流出物经生物气制造泵 47 进入生物气制造反应器 46。所述生物气制造反应器包括生物气制造细菌培养物以从含有水解流出物的有机材料中生成生物气。所述有机材料经入口 49 进料并经出口 51 离开以从所述生物气制造反应器排放生物气制造流出物。排放生物气制造产物的 BGR 气孔 53 在所述生物气制造反应器上提供。

[0076] 来自生物气制造反应器 46 的流出物可选经固液分离器 54 进料。示例性分离器是从混合有机材料中分离具有所需大小颗粒的常规装置。示例性分离器在所述生物气制造反应器和生物稳定反应器间串联提供。

[0077] 固液分离器 54 下游的 BSR 泵 56 将有机材料(生物气制造流出物)转移至生物稳定反应器 58。所述生物稳定反应器包括接受来自生物气制造反应器出口流出物的第一入口 60 和从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的出口 61。气孔 63 从生物稳定反应器中排出生物气产物。

[0078] 现在更详细描述系统 30 的组件。

[0079] 在多个实施方式中,泵 37 是带切碎器的泵。孵育阶段中,水解反应器 35 的混合内容物经带切碎器的泵进行泵送以降低原料中固体组分的粒度。通过减小颗粒尺寸,一般可

增加系统 30 (特别是水解反应器 35) 的能量转换效率。如下所述, 系统 30 还适应添加液体原料。

[0080] 水解反应器 35 配置成内装混合物或溶液。在多个实施方式中, 水解反应容器 35 包括有一个或多个内部垂直分隔物的区室, 与 ‘378 专利的容器类似。示例性反应容器包括单个未分隔的区室。示例性容器是配置成在无氧环境中装有磨碎原料的密封区室。示例性水解反应器是没有搅拌器、螺旋钻或其他混合装置的标准圆柱形容器。然而, 应理解根据本文描述, 可提供所述容器, 混合或搅拌在添加或移除有机材料工艺中或者在所有或部分孵育期中使用的装置。这种装置包括但不限于顶置式搅拌器、气体或电驱动搅拌器、磁力搅拌器、振荡器、均质机、超声波仪、鼓泡管和起泡器。

[0081] 在多个实施方式中, 水解出口 42 与水解反应容器的任何内表面流体连通。在示例性反应器中, 出口与水解反应容器的垂直表面流体连通。出口可以已知方式与容器侧壁直接或间接相连, 从而使通常收集于容器中央区域的不需要材料穿经最小。在多个实施方式中, 生物气从反应容器的内部排出。在示例性系统中, 气孔与容器顶部相连。在多个实施方式中, 气孔与高于液体内容物表面的容器顶部相连。

[0082] 示例性水解反应器包含产酸和水解细菌培养物的悬浮液或混合物。所述细菌培养物可与水性基底如水混合。在示例性系统中, 所述细菌培养物经入口引入水解反应器。所述水解细菌培养物用作孵育期间有机原料的水解底物。

[0083] 操作中, 所述水解细菌培养物与原料在所述水解反应器内混合。在多个实施方式中, 所述水解容器包含有机原料、细菌培养物和水性液体的混合物, 等于至少 50%、优选至少 60%、更优选至少 70%、甚至更优选至少 80% 且甚至更加优选至少 90%、95% 或基本 100% 的该水解容器内部容量。

[0084] 在多个实施方式中, 孵育期间水解反应器 35 的内部温度维持于约 25°C - 约 55°C 的范围, 优选约 50°C - 约 55°C 的范围。在多个实施方式中, 孵育期间水解反应器 35 中原料和细菌培养物的内部 pH 为约 4.0 - 约 7.0。在多个实施方式中, 添加化学物以调整 pH。所述化学物可经入口或通过其他已知方法添加。

[0085] 原料与水解细菌培养物的混合物由微生物的胞外酶水解成可溶性化合物如氨基酸、糖和长链脂肪酸。应理解任何产生水解的活性中温或高温生物能用于所述水解细菌培养物。所述水解细菌培养物可包括但不限于来自梭菌种、乳杆菌种和真细菌 (Eubacteria) 种的微生物。梭菌种包括但不限于热解糖梭菌 (*C. thermolacticum*)、热硫化氢梭菌 (*C. thermohydrosulfuricum*)、琥珀酸嗜热梭菌 (*C. thermosuccinogene*)、丁酸梭菌 (*C. butyricum*)、巴氏梭菌 (*C. pasteurianum*) 和贝氏梭菌 (*C. beijerinckii*)。乳杆菌包括但不限于副干酪乳杆菌 (*Lactobacillus paracasei*)。真细菌包括但不限于产气肠杆菌 (*E. aerogenes*)。其他用于水解反应器 35 的有用微生物和微生物混合物通过本文描述对本领域技术人员显而易见。

[0086] 示例性有效混合培养微生物能自身无限维持, 只要添加新鲜有机材料供给, 因为发酵工艺的主要产物是气体, 其逃逸出培养基且留下很少 (如果有) 毒性生长抑制产物。混合培养一般提供最完整的发酵作用。通过本文描述可进行营养平衡和 pH 调节以有利于水解活性。

[0087] 生物气制造反应器 46 与水解反应器 35 物理配置类似。在多个实施方式中, 生物

气制造出口 51 与所述生物气制造反应容器的任何内表面流体连通。在示例性反应器中,出口与所述生物气制造反应容器的垂直表面流体连通。出口可以已知方式与容器侧壁直接或间接相连,从而使通常收集于容器中央区域的不需要材料的引入最小。在多个实施方式中,生物气从反应容器的内部排出。在示例性系统中,气孔与容器顶部相连。在多个实施方式中,气孔与高于液体内容物表面的容器顶部相连。

[0088] 在多个实施方式中,生物气制造反应器 46 配置成加工选自液体、固体和其组合的成员。在示例性系统中,湿式研磨机 39 减小来自水解反应器 35 的水解流出物中固体颗粒的尺寸。在一个示例性实施方式中,所述有机材料保持小固体组分用于所述生物气制造反应器的加工。生物气制造反应器中加工后有机材料中剩余的任何固体可选由固液分离器 54 下游移除。

[0089] 示例性生物气制造反应器包含产乙酸和甲烷细菌培养,统称为生物气制造细菌培养。在多个实施方式中,所述生物气制造细菌培养物包括产酸菌、产乙酸菌、产烷生物和其不同量的组合之一。所述细菌培养物可通过已知工艺与水性基底如水混合。在多个实施方式中,一个或多个反应器的内容物与混合装置相混合。示例性混合装置包括但不限于推进器、搅拌器、鼓泡和热循环。操作中,所述生物气制造细菌培养物与流出物在所述生物气制造反应器内混合。在多个实施方式中,所述生物气制造容器包含有机材料(流出物)、细菌培养物和水性液体的混合物,等于至少 50%、优选至少 60%、更优选至少 70%、甚至更优选至少 80% 且甚至更加优选至少 90%、95% 或基本 100% 的该生物气制造容器内部容量。

[0090] 生成甲烷的厌氧系统使用成酸细菌和产甲烷生物,统称为产烷生物,所述系统可用于生成甲烷。厌氧消化的微生物学综述列于 Anaerobic Digestion (《厌氧消化》)、The Microbiology of Anaerobic Digestion (《厌氧消化的微生物学》),D.F.Toerien 和 W.H.J.Hattingh, Water Research, 第 3 卷,第 385-416 页,派格蒙出版社(Pergamon Press),其通过引用纳入本文以用于所有目的。如 Toerien 综述所列,成酸物种可包括来自包括但不限于以下属的物种:气杆菌(Aerobacter)、气单胞菌(Aeromonas)、产碱杆菌(Alcaligenes)、芽孢杆菌(Bacillus)、拟杆菌(Bacteroides)、梭菌(Clostridium)、埃希氏杆菌(Escherichia)、克雷白氏杆菌(Klebsiella)、钩端螺旋体(Leptospira)、微球菌(Micrococcus)、奈瑟氏菌(Neisseria)、副大肠菌(Paracolonobacterium)、变形杆菌(Proteus)、假单胞菌(Pseudomonas)、红假单胞菌(Rhodopseudomonas)、八叠球菌(Sarcina)、沙雷氏菌(Serratia)、链球菌(Streptococcus)和链霉菌(Streptomyces)。本发明还使用选自下组的微生物:奥氏甲烷杆菌、甲酸甲烷杆菌、索氏甲烷杆菌、巴氏甲烷八叠球菌、甲烷八叠球菌和马氏产甲烷球菌及其组合。还使用甲烷菌科、甲烷八迭球菌科、甲烷丝状菌科、甲烷粒菌科、甲烷微菌科和其他古细菌生物。

[0091] 广泛种类的底物可通过产甲烷细菌利用,但认为各物种特征性地限于使用一些化合物。因此,认为某些有机底物如污水中所存在化合物的完全发酵需要一些产甲烷细菌种。例如,戊酸的完全发酵需要多至 3 种产甲烷细菌。戊酸由弱氧化甲烷杆菌(Mb. Suboxydans)氧化成乙酸和丙酸,其不被该生物进一步攻击。第二物种如丙酸盐甲烷杆菌(Mb. Propionicum)能将丙酸转化成乙酸、二氧化碳和甲烷。发酵乙酸需要第三物种如甲烷八叠球菌(Methanosarcina methanica)。

[0092] 控制示例性生物气制造反应器的内部环境以促进甲烷生成。在多个实施方式中,

生物气制造反应器 46 的内部温度维持在高于约 30℃。在多个实施方式中,所述生物气制造反应器的内部温度维持于约 25℃ – 约 55℃。在多个实施方式中,所述生物气制造反应器具有约 6.8– 约 8.2 的受控内部 pH。在多个实施方式中,添加化学物以调节 pH。

[0093] 生物稳定反应器入口 60 与生物气制造出口 51 流体连通。多个方面中,生物稳定反应器 58 与生物气制造反应器 46 配置类似。生物稳定反应器 58 包括将有机材料(如流出物)和细菌培养物维持于无氧环境的容器。示例性容器是圆柱形。然而,应理解所述容器可根据本发明具有与水解反应器和生物气制造反应器类似的其他形状和配置。

[0094] 在多个实施方式中,一个或多个反应器包括用于细菌培养的固体支持物如薄片、塑料小球、沙、生物膜等。所述固体支持物促进细菌保留并增加细菌群。其他物质如二氧化硅还可加至反应器以促进其中的化学和生化反应。

[0095] 在多个实施方式中,生物稳定出口 61 与与生物稳定反应容器的任何内表面流体连通。在示例性反应器中,出口与生物稳定反应容器的垂直表面流体连通。出口可以已知方式与容器侧壁直接或间接相连,从而使通常收集于容器中央区域的不需要材料吸入最小。在多个实施方式中,生物气从反应容器的内部排出。在示例性系统中,气孔与容器顶部相连。在多个实施方式中,气孔与高于液体内容物表面的容器顶部相连。

[0096] 示例性生物稳定反应器不包括混合装置。应理解可提供已知混合装置以混合和搅拌,包括但不限于搅拌器或螺旋钻。在多个实施方式中,生物稳定出口与生物稳定反应容器的垂直表面流体连通。出口可以已知方式与容器侧壁直接或间接相连,从而使通常收集于容器中央区域的不需要材料穿经最小。在示例性系统中,生物稳定气孔与容器顶部相连。在多个实施方式中,气孔与高于液体内容物表面的容器顶部相连。

[0097] 在多个实施方式中,生物稳定反应器 58 配置成加工选自液体、固体和其组合的成员。在多个实施方式中,生物稳定反应器配置成加工基本为液体的有机材料,指没有固体或仅有小、少量固体颗粒的液体。在示例性系统中,可选的固液分离器 54 在生物气制造流出物进入生物稳定反应器前从中分离出相对较大颗粒。以此方式,所述生物稳定反应器能对液体组分有效运作,而固体组分主要在水解反应器 35 和生物气制造反应器 46 中处理。在多个实施方式中,将分离的固体颗粒加入水解反应器原料。在多个实施方式中,所分离的固体颗粒离线加工,如在单独堆肥系统中。

[0098] 在多个实施方式中,所述生物稳定反应器用部分消化的有机材料进料。示例性生物稳定反应器接受部分消化的生物气制造流出物。本领域技术人员根据本文描述应理解如何在转移到生物稳定反应器前调节生物气制造反应器的加工水平。加工水平很大程度取决于进入系统的有机材料组成。在食物废物用作原料的示例性情况中,水解流出物可在生物气制造反应器中孵育一段充足的时间以基本用尽所有固体组分。相反,秸秆原料中的固体组分不易消化。在多个实施方式中,转移到生物稳定反应器前在生物气制造反应器中消化的固体组分为约 70%,更优选 75%,更优选 80%,更优选 85%,更优选 90%,且更加优选 95%。在多个实施方式中,有机材料(水解流出物)在生物气制造反应器中孵育,直到基本消化所有固体组分。

[0099] 根据本文描述应理解,待从生物气制造反应器中分离的颗粒最小尺寸取决于应用和系统条件。在多个实施方式中,进入生物稳定反应器 58 的固体颗粒大于或等于约 20mm 直径,优选约 10mm 直径,更优选约 1mm 直径。

[0100] 不同于生物气制造反应器 46, 示例性生物稳定反应器 58 包含产甲烷细菌培养物, 但基本没有产乙酸细菌培养物。由于用于生物稳定反应器的有机材料(如流出物)进入包括产乙酸细菌培养物和产甲烷细菌培养物的示例性生物气制造反应器, 所述有机材料在进入生物稳定反应器前部分消化。在多个实施方式中, 所述固体组分由生物气制造反应器中的产乙酸细菌培养物用尽, 从而生物稳定反应器能适用于可溶性组分的最大能量转换效率。

[0101] 在多个实施方式中, 生物稳定反应器 58 中的产甲烷细菌培养物基本不含产乙酸细菌。“基本不含产乙酸细菌”指所述培养物包含最少的产乙酸细菌和少量酸化反应。多个方面中, “基本不含产乙酸细菌”指可水解组分少量反应或根本不反应。多个方面中, “基本不含产乙酸细菌”指少于约 10%, 更优选少于约 5%, 更优选少于约 3% 且更加优选少于约 1%。在多个实施方式中, 生物稳定反应器中的细菌培养物包括产酸菌、产乙酸菌、产烷生物和其不同量的组合之一。在多个实施方式中, 生物稳定反应器中的细菌培养物包括产乙酸菌、产烷生物和其不同量的组合之

[0102] 任何未消化的固体组分由可选固液分离器 54 分开并堆肥。所分离组分可选转移回生物气制造反应器 46 中。在多个实施方式中, 生物气制造流出物中的固体组分是纤维状固体。在多个实施方式中, 生物气制造流出物中的固体组分含水量为约 60%- 约 75%。在多个实施方式中, 所述固液分离器是滤器。在多个实施方式中, 所述固液分离器是研磨机、网格、滤器、筛、过滤器、狭板和其组合之一, 用于以常规方式修改固体颗粒尺寸、分离固体颗粒或两者。在某些示例性实施方式中, 使用过滤器。

[0103] 由于固体组分进入生物气制造反应器然后分离之后进入生物稳定反应器, 因此示例性生物气制造反应器和示例性生物稳定反应器在各入口处都不需要过滤器或的类似装置用于防止固体进入。相反, 现有厌氧消化系统包括生成甲烷的单一反应容器并因而需要过滤器或将所述生物气制造反应器配置成有效用尽固体和液体组分, 如通过延长孵育时间或增加容器尺寸。

[0104] 在示例性系统中, 固体组分在进入生物稳定反应器前被消化或移除。因此, 示例性生物稳定反应器可与生物质保留反应器类似配置。这种生物质保留反应器的示例是生物膜反应器、上升气流沉淀架(upflow sludget blacket)反应器和厌氧顺序批式反应器。生物质保留反应器类型的反应器一般用于加工废水和其他没有固体组分的有机材料。

[0105] 在多个实施方式中, 所述生物稳定容器包含有机材料、细菌培养物和水性液体的混合物, 等于至少 50%、优选至少 60%、更优选至少 70%、甚至更优选至少 80% 且甚至更加优选至少 90%、95% 或基本 100% 的该生物稳定容器内部容量。在多个实施方式中, 所述水解容器、生物气制造容器、生物稳定容器或其组合出于安全考虑包括高于固体和液体内容物的顶部空间空体积。在多个实施方式中, 所述顶部空间等于约 5% 的容器体积。

[0106] 在多个实施方式中, 生物稳定反应器 58 的内部温度为约 25°C - 约 55°C, 优选约 25°C - 约 30°C。在多个实施方式中, 生物稳定反应器 58 的内部温度低于生物气制造反应器 46 的内部温度。应理解反应容器内的实际温度事实上可波动, 因此内部温度可指平均温度或温度范围。在多个实施方式中, 生物稳定反应器 58 在有机材料和细菌培养物孵育中具有约 6.8- 约 8.2 的内部 pH。

[0107] 在多个实施方式中, 可能在系统中的任何点或多个点需要机械降解或化学处理有机材料(如原料)以获得合适粒度或使有机材料碳质组分更易为各消化细菌培养物所得到。

机械降解的已知方法可根据本发明使用。有机底物的多种预处理宜与本发明一起使用，如酸或碱性水解。

[0108] 发现有机材料和原料的机械尺寸的减小出于一些原因辅助生物降解。物理尺寸减小对应于待消化颗粒活性表面积增加。机械尺寸减小还可使细胞破裂，从而使生物可降解组分更易为微生物得到。在多个实施方式中，有机材料用包含研磨原料到约 5 毫米 – 约 50 毫米尺寸的方法来预处理。在多个实施方式中，原料加热至约 50℃ – 约 120℃ 的温度，更优选约 60℃ – 约 90℃。在多个实施方式中，原料通过选自下组的物理工艺预处理：研磨、切割、加热和其组合。所述预处理可以在生物气制造反应器上游。

[0109] 在多个实施方式中，水解反应器 35 和生物气制造反应器 46 包含细菌培养物以通过生物消化含有至少一些固体组分的有机材料来生成生物气且生物稳定反应器 58 包含细菌培养物以通过生物消化基本不含固体组分的有机材料来生成生物气。涉及固体组分存在的“基本不含”指低于约 10%，多个方面中低于约 5%，多个方面中低于约 3%，且多个方面中低于约 1%。在多个方面中，“基本不含”固体组分的有机材料指液体废水。

[0110] 现在描述根据本发明的厌氧消化器系统使用方法。在多个方面中，所述系统与美国专利号 7, 556, 737（‘737 专利）和 6, 342, 378（‘378 专利）公开的消化器系统类似操作，所述专利通过引用纳入本文以用于所有目的。在多个方面中，所述系统的组件与美国专利号 4, 316, 961 和 4, 722, 741 所公开的系统类似操作，所述专利通过引用纳入本文以用于所有目的。

[0111] 示例性水解反应器 35 和生物气制造反应器 46 可选间歇加热和 / 或冷却并顺序分批进料以促进能量转换。生物稳定反应器 65 可根据本文描述所理解的多种因素而加热或不加热，所述因素包括但不限于气候条件以及有机材料的特定内容物和分布。在多个实施方式中，水解反应器 35 和生物气制造反应器 46 隔热以保存热量。在多个实施方式中，所有反应器 – 水解反应器、生物气制造反应器和生物稳定反应器 – 隔热以保存热量。

[0112] 在示例性方法中，固体含量大于约 10% 的有机材料首先进入研磨机 33 以用于机械尺寸减小。得到的混合物包括固体水溶液。在示例性系统中，固体颗粒具有小于或等于约 20mm 的直径。在多个实施方式中，固体颗粒的尺寸在研磨机中连续减小且有机原料连续进入水解反应器。

[0113] 然后，含固体的物质用作水解反应器 35 的原料。所述原料由水解反应器中的化学和生化反应组合来分解产生糖、有机酸（如氨基酸和脂肪酸）和醇（如乙醇）的混合物。由于水解反应器中存在水、水解和产酸细菌培养物、和酶，发生化学水解。生化反应由产酸和水解微生物完成。

[0114] 包括水解和产酸细菌培养物在内的水解反应器原料和内容物构成所述反应器中的水解混合物。所述水解混合物在充足条件下保留于所述反应器中一段足够时间以生成生物气。在示例性系统中，所述生物气包括氢和二氧化碳作为主要成分以及硫化氢和氨作为次要成分。所述生物气经气孔 44 移出并转移至另一位置或保存。

[0115] 在使水解反应进行至在水解反应器 35 中所包含的完成一段孵育期后，所述水解流出物经可选湿式研磨机 39 和泵 47 转移到生物气制造反应器 46。在示例性系统中，反应器中的水解流出物和产乙酸及产甲烷细菌培养物形成生物气制造混合物。在生物气制造反应器 46 中，所述生物气制造混合物中的糖、有机酸、醇和其他化合物由产乙酸和产甲烷细

菌培养物转化成生物气。生物气制造反应器 46 生成的生物气包含甲烷和二氧化碳,硫化氢和氨是次要组分。所述生物气经气孔 53 移出并转移至另一位置或保存。生物气制造反应器生成的生物气可与水解反应器生成的气体混合,其中气体会稍后分离。或者,来自各反应器的生物气可保持分开。

[0116] 在孵育一段时间以使大部分生物气制造发生后,所述生物气制造流出物经固液分离器 54 转移至生物稳定反应器 58。在示例性方法中,所述生物气制造混合物在充足条件下孵育一段足够的时间以用尽所有或部分固体组分。现有厌氧消化器系统需要在所述生物气制造反应器中孵育有机材料直到内容物生物稳定,根据本发明的系统和方法在生物稳定反应器 58 中提供生物稳定。示例性生物气制造反应器会达到生物可降解固体组分的约 80%- 约 90% 最大生物气生成潜能。

[0117] 在多个实施方式中,系统 30 包括一个或多个工艺用以再循环加工液体、固体或其组合。在多个实施方式中,至少部分来自一个或多个系统反应器的流出物转移至一个或多个反应器中。所有或部分水解流出物可转移回水解反应器。所有或部分生物气制造流出物可转移至水解反应器。所有或部分生物稳定流出物可转移至水解反应器、生物气制造反应器或其组合。在多个实施方式中,各反应器的流出物不再循环。

[0118] 在示例性系统中,所述生物气制造流出物在穿过可选固液分离器 54 后主要是液体,仅有少部分小固体颗粒。在示例性系统 30 中,此液体部分再循环到水解反应器 35。再循环的液体可进入研磨机 33 作为洗脱剂,加入水解反应器原料,和 / 或直接进入水解反应器。来自水解反应器的再循环液体可在进入水解反应器前加至原料混合装置如混合槽或混合泵。再循环的液体可补充水解反应器原料中的水和营养物。

[0119] 根据本发明再循环生物气制造流出物的工艺不同于 Zhang 的美国专利号 7, 556, 737 的再循环工艺。不同于 Zhang 的连续再循环,本发明的再循环工艺在一个或多个批次中进行,因为原料被加入研磨机。进行再循环以部分保存液体和减少城市水使用。在示例性系统中,来自生物气制造反应器 46 的流出物转移至研磨机 33 或泵 37 以调节水解反应器 35 原料的含水量。在示例性系统中,所述流出物主要是液体。包括有机酸的剩余有机材料转变成生物稳定反应器 58 中的生物气。

[0120] 所述生物稳定流出物可以常规方式使用或处理。例如,所述生物稳定流出物可进一步加工用于水和营养物回收。所述生物稳定流出物还可用于作物灌溉。在多个实施方式中,所述生物稳定再循环到水解反应器、生物气制造或两者。使生物稳定流出物的液体组分再循环的工艺与上述再循环生物气制造流出物的工艺类似。

[0121] 在示例性系统中,固体原料如作物残余、稻秸、绿色垃圾、城市废物等分批或半批次引入水解反应器。同时,所述生物气制造反应器大量连续生成生物气。在多个实施方式中,所述固体原料从所述反应器顶部分批或半批次进入水解反应器。

[0122] 所述系统可包括一个以上的水解反应器和根据本文描述了解的其他组件。例如,所述系统可包括缓冲槽。所述原料在多个水解槽中水解后,收集来自不同水解槽的流出物并转移至缓冲槽用于平衡。氢和二氧化碳气体还可在水解槽中生成。所平衡的可溶性物质间歇转移至生物气制造反应器用于连续生物气生成。完成消化循环后,所消化的秸秆在加入新一批秸秆前从水解反应器中移出。在多个实施方式中,所述系统包括一个以上的水解反应器、生物气制造反应器、和生物稳定反应器。

[0123] 根据本文描述应理解调节各水解反应器、生物气制造反应器和生物稳定反应器孵育条件的方式。在多个实施方式中,温度、压力和孵育时间中至少一种维持在所需或预定范围内。在多个实施方式中,所述系统包括监控和控制一个或多个反应器内条件和流速的控制器和微处理器。

[0124] 为了增加各反应器的反应速率和效率,热和化学条件可不同。在多个实施方式中,所述水解反应器在约 50℃ - 约 55℃ 的温度操作,所述生物气制造反应器在约 35℃ - 约 40℃ 的温度操作,所述生物稳定反应器在约 25℃ - 约 30℃ 的温度操作。在多个实施方式中,所述水解反应器在约 35℃ - 约 45℃ 的温度操作,所述生物气制造反应器在约 35℃ - 约 40℃ 的温度操作,所述生物稳定反应器在约 25℃ - 约 35℃ 的温度操作。

[0125] 在多个实施方式中,所述水解反应器在约 4.5- 约 6.5 的 pH 操作,所述生物气制造反应器在约 6.8- 约 8.0 的 pH 操作,所述生物稳定反应器在约 6.8-8.0 的 pH 操作。在多个实施方式中,水解反应器、生物气制造反应器和生物稳定反应器都在约 6.5- 约 8.2 的 pH 操作。

[0126] 在多个实施方式中,所述工艺达到的总固体(TS)减少至少约 50%,优选至少约 60% 且更优选至少约 90%。在多个实施方式中,挥发性固体(VS)减少至少约 60%,更优选至少约 70% 且甚至更优选至少约 80%。在多个实施方式中,TS 和 VS 的减少分别为:对于食物废物的至少约 70% 和至少约 80%,对于食物与绿色垃圾混合物的至少约 70% 和至少约 80%,对于绿色垃圾的至少约 50% 和至少约 70%。在多个实施方式中,本发明系统和方法的平均生物气产量为至少 300mL/gVS,优选至少 400mL/gVS,且更优选至少 500mL/gVS。在多个实施方式中,所述系统产生至少约 200mL/gVS,优选至少 300mL/gVS 且更优选至少 400mL/gVS。在另一个实施方式中,收集自水解反应器的氢气浓度为约 10%- 约 60%,更优选约 20%- 约 50%。

[0127] 在多个实施方式中,收集自生物气制造反应器的甲烷气体浓度为约 40%- 约 80%,更优选约 50%- 约 70% 且最优选约 60%。在多个实施方式中,收集自生物稳定反应器的甲烷气体浓度为约 60%- 约 80%,更优选约 65%- 约 80% 且最优选约 70%。

[0128] 转向图 5,显示根据本发明的厌氧消化器系统 30a。系统 30a 在许多方面类似系统 30,但包括可选的氨移除装置 67。系统 30a 包括 3 个厌氧反应器:水解反应器 35、生物气制造反应器 46 和生物稳定反应器 58。

[0129] 氨移除装置 67 在再循环前移除氨、盐和其他元素。装置 67 分离并移除不需要的过量氨和盐。这可能需要用于处理有高蛋白含量和盐的有机材料,如肉产品。

[0130] 系统 30a 的使用方法与系统 30 的使用方法类似。在多个实施方式中,由固液分离器 54 分开的液体通过氨移除装置 67 以在再循环到水解反应器前移除液体中的氨。所述氨移除工艺可以是化学、机械或离子过程,包括气体剥离、膜分离和其他常规技术。在一个示例性实施方式中,所述液体用碱化学(石灰或氢氧化钠)处理以使 pH 增加到高于约 9,且同时气体(空气或生物气)通过液体(如鼓泡)以从所述液体中脱去氨。气体中的氨可稍后从该气体中移出并收集为氨产物。一种氨收集工艺是使载有氨的气体与酸(例如硫酸或硝酸)反应。氨会与酸反应形成硫酸铵或硝酸铵,其用作肥料产品或用于其他目的。

[0131] 关于图 6,显示根据本发明的示例性厌氧消化器系统 30b。系统 30b 在许多方面与系统 30a 类似,除了生物气制造反应器 46 接受来自外部来源的新鲜液体进料 68。在示例性系统中,所述新鲜液体进料是废水。液体进料 68 与来自水解反应器 35 的流出物一起加入

所述生物气制造反应器。系统 30b 一般用于固体和液体原料都需要处理的应用,例如固体废物和废水。

[0132] 在操作和应用中,系统 30b 与上述系统 30a 和系统 30 以基本相同方式使用。

[0133] 关于图 7,示例性厌氧消化器系统 30c 还包括第二水解流出物口 42a,使水解反应器流出物经第二生物稳定入口 60a 转移到生物稳定反应器 58。

[0134] 图 8 显示本发明的示例性系统 30d,其中水解反应器第二流出物口 42a 使水解反应器流出物经生物稳定反应器第二入口 60a 转移到生物稳定反应器 58。所述系统还包括线 80,来自生物稳定反应器的流出物通过其(如经阀 37)再循环回所述系统(如回到水解反应器)中。

[0135] 作为日益重要的生物燃料生成技术之一,厌氧消化提供许多公共利益,涉及生物能量生成、环境质量保护和公共健康改善。图 9 显示厌氧消化和其副产物的许多公共利益。

[0136] 与常规高固体消化器相反,根据本发明的高效厌氧生物消化器系统就有机材料转化成生物气能量而言提供增加的能量效率。本发明的系统还可用于比任何现有技术更多的应用。通过使用可选的水再循环和氨与盐分离工艺,所述系统能用于处理有广泛化学组成范围的多种有机固体材料。

[0137] 根据本发明的系统和方法提供在一个系统中处理固体废物和废水的能力和灵活性。所述系统能用于处理固体废物和废水并生成生物气(例如氢和甲烷气体)以产生能量。因此,所述系统可增加能量效率并降低系统成本。

[0138] 在示例性系统中,生物稳定反应器 58 和生物气制造反应器 46 在功能和结构上不同。在示例性系统中,固体组分由生物气制造反应器消化,由固液分离器 54 分离用于堆肥,或其组合。因此,所述生物稳定反应器主要对液体废水操作。由于进入生物气制造反应器和生物稳定的有机材料不同,各反应器中包含的细菌培养物一般不同。部分出于上述原因,生物稳定反应器相较仅有生物气制造设备和工艺的系统,允许更高的加工率和更短的停留时间。

[0139] 根据本发明的系统相较现有系统能减少废物和废水的有机含量。

[0140] 另外,示例性系统利用一些特征以使生物消化工艺比现有厌氧消化系统更有效并从给定有机材料生成更多生物气。这些可选特征和益处包括至少(1)3 种生物和温度定相厌氧消化工艺以达到快速转化有机材料为生物气的最优的热、化学和生化条件;(2)同时机械和生物分解有机固体以提高化学和生化反应速率;(3)水再循环以减少清洁水使用和废水排放;和(4)在一个系统中处理固体废物和废水。

[0141] 根据本发明的系统能用于从有机材料中生成生物气能量,所述有机材料如食物和庭园废物、农业残余、食物加工副产品和动物粪肥。

[0142] 就转化有机材料为生物气能量而言,根据本发明的系统提供比现有高固体消化器能效更高的方式。所述系统能用于比现有技术更多的应用。由于可选的水再循环和氨与盐分离工艺纳入消化器系统,所述系统可用于处理有广泛化学组成范围的多种有机固体材料。

[0143] 与现有厌氧消化系统相比,根据本发明的厌氧消化系统具有较高能量转换效率而成本较低,包括资本、操作和维护成本。此外,所述系统更易操作和维护。

[0144] 总之,在多个优选实施方式中,本发明提供:

[0145] 从有机材料生成生物气的厌氧消化器系统,所述系统包括:其中含有水解细菌培养物的水解反应器,所述有机材料就所述培养物而言是水解底物,所述水解反应器还包括:接受有机材料的水解入口;从水解反应器排放水解流出物的第一水解出口;和从水解反应器排出生物气的气孔;其中含有产乙酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造反应器,所述生物气制造反应器还包括:接受来自水解反应器出口的水解流出物的生物气制造反应器入口;从生物气制造反应器排放生物气制造流出物的生物气制造反应器出口;从生物气制造反应器排出生物气的气孔;和其中含有产甲烷细菌培养物的生物稳定反应器,所述生物稳定反应器还包括:接受来自生物气制造反应器出口的生物气制造流出物的第一生物稳定反应器入口;从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的生物稳定反应器出口;和从生物稳定反应器排出生物气的气孔。

[0146] 根据前面段落用于从有机材料生成生物气的厌氧消化系统,所述系统包括:其中含有细菌培养物的水解反应器,用于从含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述水解反应器还包括:接受有机材料的水解入口;从水解反应器排放水解流出物的水解出口;和从水解反应器排出生物气的气孔;其中含有细菌培养物的生物气制造反应器,用于从含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述生物气制造反应器还包括:接受来自水解反应器出口的水解流出物的生物气制造反应器入口;从生物气制造反应器排放生物气制造流出物的生物气制造反应器出口;和从生物气制造反应器排出生物气的气孔;以及其中含有细菌培养物的生物稳定反应器,用于从基本不含生物可降解固体的有机材料生成生物气,所述生物稳定反应器还包括:接受来自生物气制造反应器出口的生物气制造流出物的生物稳定反应器入口;从生物稳定反应器排放生物稳定流出物的生物稳定反应器出口;和从生物稳定反应器排出生物气的气孔。

[0147] 根据任何前面段落的系统,所述生物稳定反应器包括维持产甲烷细菌培养物的容器,其中所述生物稳定反应器出口与该生物稳定反应容器垂直表面连通。

[0148] 根据任何前面段落的系统,所述生物气制造反应器包括维持产甲烷细菌培养物的容器,其中所述生物气制造反应器出口与该生物气制造反应容器垂直表面连通。

[0149] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物气制造反应器具有高于约 30℃ 的受控内部温度。

[0150] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物气制造反应器具有约 25℃ - 约 55℃ 的受控内部温度。

[0151] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物气制造反应器具有约 6.8- 约 8.2 的受控内部 pH。

[0152] 根据任何前面段落的系统,其中所述有机材料是选自固体、液体和其组合的成员。

[0153] 根据任何前面段落的系统,其中所述水解反应器还包括产乙酸细菌培养物。

[0154] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物稳定反应器具有等于或低于所述生物气制造反应器的受控内部温度。

[0155] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物稳定细菌培养物基本不含产乙酸细菌。

[0156] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物稳定反应器具有约 6.8- 约 8.2 的受控内部 pH。

[0157] 根据任何前面段落的系统,其中所述生物气制造反应器配置成加工选自液体、固

体和其组合的成员。

[0158] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括所述生物气制造反应器上游的研磨机,用于机械减小所述有机材料中的固体颗粒尺寸。

[0159] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括:位于所述生物气制造反应器和所述生物稳定反应器之间的固液分离器,所述分离器配置成分离生物气制造流出物的纤维状固体组分与液体组分。

[0160] 根据任何前面段落的系统,其中所述纤维状固体组分具有约 60%- 约 70% 的含水量。

[0161] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括流动地位于所述生物气制造反应器和所述生物稳定反应器之间的滤器方式。

[0162] 根据任何前面段落的系统,其中所述滤器方式选自研磨机、网格、滤器、筛、过滤器、狭板和其组合之一。

[0163] 根据任何前面段落的系统,其中从所述水解反应器排放的所述生物气包括氢和二氧化碳,从所述生物气制造反应器排放的生物气包括甲烷和二氧化碳,从所述生物稳定反应器排放的生物气包括甲烷。

[0164] 根据任何前面段落的系统,其中所述有机材料具有高含盐量。

[0165] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括从所述生物气制造流出物中移除氨、盐和其组合之一的移除装置。

[0166] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括经所述移除装置转移至少部分所述生物气制造流出物到所述水解反应器的液体线。

[0167] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括从水解反应器第二出口接受生物气制造流出物的生物稳定反应器第二入口。

[0168] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括生物稳定反应器流出物再循环线,将生物稳定反应器流出物进料到选自所述水解反应器、所述生物气制造反应器和其组合的元件。

[0169] 一种生成生物气的方法,所述方法包括:将有机材料递送给任何上面权利要求所述的系统水解反应器作为原料;在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产酸和水解细菌培养物的水解混合物以生成氢、二氧化碳、和水解流出物;转移至少部分水解流出物到所述生物气制造反应器;在厌氧条件下孵育含有水解流出物与产乙酸和产甲烷细菌培养物的生物气制造混合物以生成甲烷、二氧化碳、和生物气制造流出物;转移至少部分生物气制造流出物到生物稳定反应器;在厌氧条件下孵育含有生物气制造流出物与生物稳定产甲烷细菌培养物的生物稳定混合物以生成甲烷和生物稳定流出物。此方法可以但不必须使用本文所列任何装置或系统实施。在多个实施方式中,所述方法包括从水解反应器转移部分流出物到生物稳定反应器。

[0170] 一种从部分消化的有机材料中生成生物气的生物稳定反应器系统,所述反应器系统包括:含入口的容器,所述容器用于混合部分消化的有机材料和用于有机材料生物气制造生物稳定细菌培养物;排放由生物气制造产生的生物气的气孔;和从所述容器排放生物气制造所产生液体流出物的出口;其中所述部分消化的有机材料用所述容器上游的产乙酸和产甲烷细菌培养物的混合物进行甲烷生成,且所述生物稳定细菌培养物是产甲烷细菌

培养物。所述生物稳定反应器系统可以但不必须用于任何装置或系统或者实施本文所列任何方法。部分消化的有机材料从生物气制造反应器、水解反应器或两者的组合转移到生物稳定反应器。

[0171] 根据任何前面段落的系统,其中所述产甲烷细菌培养物基本不含产乙酸细菌。

[0172] 根据任何前面段落的系统,所述系统还包括固液分离器,用于分离待注入容器的部分消化有机材料中的固体组分与液体组分。

[0173] 根据任何前面段落的系统,其中所述容器配置成维持于约 25°C – 约 55°C 的内部温度。

[0174] 根据任何前面段落的系统,其中所述容器配置成使所述有机材料与所述生物稳定细菌培养物的混合物维持于约 6.8– 约 8.2 的 pH。

[0175] 根据任何前面段落的系统,其中所述出口配置成从所述容器内壁表面相邻区域排出液体流出物。

[0176] 根据任何前面段落的系统,其中所排放的生物气从所述容器顶部排出。

[0177] 根据任何前面段落的系统,其中所述入口与水解反应器操作性地流体相连,从而水解反应器流出物转移到所述系统中。

[0178] 一种生成生物气的方法,所述生物气为选自甲烷、氢、二氧化碳和其组合的成员,所述方法包括:递送原料到水解反应器,部分所述原料包括磨碎的固体有机材料,所述水解反应器包括水解和产乙酸细菌培养物,所述固体有机材料就所述培养物而言是水解底物;在充分厌氧条件下孵育含有原料与水解和产乙酸细菌培养物的水解混合物一段时间以生成氢、二氧化碳、和水解流出物;转移第一部分水解流出物到其中含有产乙酸和产甲烷生物气制造细菌培养物的生物气制造反应器中;在充分厌氧条件下孵育含有第二部分所述水解流出物与生物气制造细菌培养物的生物气制造混合物一段时间以生成甲烷、二氧化碳、和生物气制造流出物;转移至少部分生物气制造流出物到其中含有生物稳定细菌培养物的生物稳定反应器;在充分厌氧条件下孵育含有生物气制造流出物与生物稳定细菌培养物的生物稳定混合物一段时间以生成甲烷和二氧化碳。所述方法还可选包括转移至少部分水解流出物到生物稳定反应器。所述方法可以但不必须使用任何装置或系统实施或者作为本文所列任何方法的组分或补充。

[0179] 根据任何前面段落的方法,其中所述生物稳定孵育在等于或低于所述生物气制造孵育的温度进行。

[0180] 根据任何前面段落的方法,所述方法还包括在所述生物气制造孵育前给所述生物气制造反应器提供不同液体原料。

[0181] 根据任何前面段落的方法,所述方法还包括在转移到所述生物稳定反应器前,分离所述生物气制造流出物的固体组分与液体。

[0182] 根据任何前面段落的方法,所述方法还包括将部分已分离液体再循环到所述水解反应器。

[0183] 根据任何前面段落的方法,其中各步骤基本同时进行。

[0184] 根据任何前面段落的方法,其中所述生物稳定细菌培养物是基本不含产乙酸细菌的产甲烷细菌培养物。

[0185] 根据任何前面段落的方法,所述方法还包括转移至少部分所述生物气制造流出物

到所述生物稳定反应器。

实施例

[0186] 实施例 1 :测试的高效厌氧消化器系统

[0187] 图 1 所示高效厌氧消化器系统(HR BioDigester)就处理蔬菜废弃物进行测试。HR BioDigester 系统具有 3 个反应器 - 水解反应器(HR)、生物气制造反应器(BR)和生物稳定反应器(BSR)。HR、BR 和 BSR 的工作容积分别为 5、5 和 9 升。所有反应器在 35 摄氏度操作。HR 的水力停留时间为 5 天, BR 为 20 天且 BSR 为 12 天。3 种蔬菜(包括卷心菜、青椒和芹菜)的混合物用作所述消化器系统的原料并测试 HR BioDigester 约 70 天。蔬菜混合物用实验室食品加工机从新鲜蔬菜中制备。蔬菜混合物的总固体(TS)和挥发性固体(VS)含量分别为 6-7% 和 5.5-6.5%, 由 55% 卷心菜、27% 辣椒和 17% 芹菜组成。

[0188] 蔬菜混合物首先注入 HR。在 HR 中, 蔬菜通过微生物反应, 发生水解且大部分转化成挥发性脂肪酸(乙酸是产生的主要酸)。HR 中的 pH 维持于 5-6 (大部分 5.6-5.8)。HR 间歇式混合(每小时 3 分钟)且然后在流出物排出前沉淀 2 小时。HR 的流出物在位于反应器壁上的 2 个口排出, 一个在大致中等高度(称为上端口), 一个接近底部(下端口)。从上端口移出的流出物所包含的悬浮固体少于从下端口移出的流出物。来自上端口的流出物直接送至 BSR 且来自下端口的流出物送至 BGR 以转变成生物气。来自 BGR 的流出物在通过固液分离器(压)以移除固体部分后注入 BSR 进一步处理。排出来自 BSR 的流出物。BGR 和 BSR 间歇式混合(每小时 3 分钟)并在排放流出物前沉淀(没有混合)2 小时。BGR 和 BSR 中的 pH 维持于 7.4-7.8 范围。

[0189] 进行 2 个测试。第一测试用于图 1 的系统 (a) 并持续约 50 天, 前 30 天系统启动且后 20 天收集系统性能数据。在第一测试后, 第二测试用于图 1 的系统 (b) 并持续 30 天。第一测试仅用蔬菜混合物进料 HR, 第二测试用蔬菜混合物和取自 BSR 流出物的循环水进料 HR。第一测试中, 将氢氧化铵加入 HR 以增加含氮量和碱度从而控制 pH。第二测试用于再循环系统中的营养物, 从而避免添加氨的需求。循环水的量与蔬菜混合物的量相同。蔬菜和循环水在注入 HR 前混合。

[0190] 测试结果

[0191] HR 生成的生物气包含 5-30% 氢、70-93% 氧化碳和 2-4% 甲烷。HR 中的生物气组成根据进料条件而变化。BGR 和 BSR 生成的生物气具有稳定的组成, 有 70-72% 甲烷和 30-28% 氧化碳。第一测试中, 第一测试阶段中来自消化器系统的平均生物气产量为 624ml/gVS, , 这是根据注入 HR 的原始蔬菜混合物来计算。HR、BGR 和 BSR 中分布的生物气产量分别为 80、116 和 428ml/gVS。第二测试中, 平均生物气产量为 557ml/gVS。HR、BGR 和 BSR 中分布的生物气产量分别为 76、122 和 359ml/gVS。2 个系统达到的固体减少就总固体(TS)而言为 86-88% 且就挥发性固体(VS)而言为 92-93%。由于蔬菜的高消化率, 用按压从 BGR 反应器流出物移出的固体较少, 为约 2% 固体。超过 85% 总固体和超过 90% 挥发性固体经微生物消化工艺转化成生物气。

[0192] 参考文献

[0193] CHYNOWETH, D. P. , G. BOSCH, J. F. K. EARLE, R. LEGRAND 和 K. X. LIU(1991). "A novel process for anaerobic composting of municipal solid-waste. (用于厌氧堆肥城市固

体废物的新工艺) "Applied Biochemistry and Biotechnology28-9:421-432.

[0194] CHYNOWETH, D. P., J. OWENS, D. OKEEFE, J. F. K. EARLE, G. BOSCH 和 R. LEGRAND(1992). "Sequential batch anaerobic composting of the organic fraction of municipal solid waste. (城市固体废物有机部分的顺序批式厌氧堆肥)" Water Science and Technology25(7):327-339.

[0195] DE BAERE, L. (2000). "Anaerobic digestion of solid waste:state-of-the-art. (厌氧消化固体废物:技术发展水平)" Water Science and Technology41(3):283-290.

[0196] DE BAERE, L. (2006). "Will anaerobic digestion of solid waste survive in the future? (厌氧消化固体废物会在未来存活?)" Water Science and Technology53(8):187-194.

[0197] DE LACLOS, H. F., S. DESBOIS 和 C. SAINT-JOLY(1997). "Anaerobic digestion of municipal solid organic waste:Valorga full-scale plant in Tilburg, the Netherlands. (厌氧消化城市固体有机废物:荷兰蒂尔堡的 Valorga 工厂装置)" Water Science and Technology36(6-7):457-462

[0198] EPA. (2008). " The AgSTAR Program:Guide to Anaerobic Digesters. (AgSTAR 程序:厌氧消化器指南)" 2008 年 5 月 20 日录用, 来自 <http://www.epa.gov/agstar/operational.html#addatabase>.

[0199] FORSTER-CARNEIRO, T., L. A. FERNANDEZ, M. PEREZ, L. I. ROMERO 和 C. J. ALVAREZ(2004). "Optimization of SEBAC start up phase of municipal solid waste anaerobic digestion. (城市固体废物厌氧消化的 SEBAC 起步阶段优化)" Chemical and Biochemical Engineering Quarterly18(4):429-439.

[0200] LISSENS, G., P. VANDEVIVERE, L. DE BAERE, E. M. BIEY 和 W. VERSTRAETE(2001). "Solid waste digesters:process performance and practice for municipal solid waste digestion. (固体废物消化器:就城市固体废物消化而言的工艺性能和实施)" Water Science and Technology44(8):91-102.

[0201] MARSH, M. L. H. 和 T. LAMENDOLA, California Energy Commission, PIER Program (加利福尼亚能源委员会, PIER 项目) (2006). Dairy methane digester system90-day evaluation report-Hilarides Dairy (乳制品甲烷消化器系统 90 天评估报告 - 希拉迪斯乳品公司). CEC-500-2006-086.

[0202] NICHOLS, C. E. (2004). "Overview of anaerobic digestion technologies in Europe. (欧洲厌氧消化技术概述)" BioCycle45(1):47-53.

[0203] OKEEFE, D. M., D. P. CHYNOWETH, A. W. BARKDOLL, R. A. NORDSTEDT, J. M. OWENS 和 J. SIFONTES(1993). " Sequential batch anaerobic composting of municipal solid-waste(MSW)and yard waste. (城市固体废物 (MSW) 和庭园废物的顺序批式厌氧堆肥)" Water Science and Technology27(2):77-86.

[0204] RAPPORT, J. L., R. ZHANG, R. B. WILLIAMS 和 B. M. JENKINS(2008). "Anaerobic digestion technologies for municipal waste treatment. (城市废物处理的厌氧消化技术)" International Journal of Environment and Waste Treatment 出版中.

- [0205] TEN BRUMMELER, E. (2000). "Full scale experience with the BIOCEL process. (BIOCEL 工艺的完全级别经验)" Water Science and Technology 41(3):299-304.
- [0206] TEN BRUMMELER, E., M. M. J. AARNINK 和 I. W. KOSTER (1992). "Dry anaerobic-digestion of solid organic waste in a BIOCEL reactor at pilot-plant scale. (试验厂规模 BIOCEL 反应器中固体有机废物的干式厌氧消化)" Water Science and Technology 25(7):301-310.
- [0207] TEN BRUMMELER, E., H. HORBACH 和 I. W. KOSTER (1991). "Dry anaerobic batch digestion of the organic fraction of municipal solid-waste. (城市固体废物有机部分的干式厌氧消化)" Journal of Chemical Technology and Biotechnology 50(2):191-209.
- [0208] VANDEVIVERE, P., L. DE BAERE 和 W. VERSTRAETE (2002). Types of anaerobic digesters for solid wastes (固体废物的厌氧消化器类型). Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes. J. Mata-Alvarez. Barcelona, IWA 出版公司 (IWA Publishing):111-140.
- [0209] VERMA, S. (2002). Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes (城市固体废物中生物可降解有机物的厌氧消化), 哥伦比亚大学理学硕士 (Columbia University. Master of Science).
- [0210] ZHANG, R. H. 和 Z. Q. ZHANG (1999). " Biogasification of rice straw with an anaerobic-phased solids digester system. (用厌氧相固体消化器系统的稻秸生物气制造)" Bioresource Technology 68(3):235-245
- [0211] ZHANG, R. B. (2002). Biogasification of Organic Solid Wastes (有机固体废物的生物气制造). Biocycle 43(1):56-59.
- [0212] ZHANG, R. H., H. M. El-Mashed, K. Hartman, F. Wang, G. Liu, C. Choate, 和 P. Gamble. 2006. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion (鉴定食物废物为厌氧消化原料). Bioresource Technology 98(2007):929-935.
- [0213] EL-MASHAD, H. M. 和 R. H. ZHANG. Co-digestion of food waste and dairy manure for biogas production (食物废物与牛粪共消化用于生物气生成). 2010. Bioresource Technology 101(2010):4021-4028. 235-244.
- [0214] ZHU, B., R. H. ZHANG, P. GIKAS, J. RAPPORT, B. M. JENKINS, 和 X. LI. 2010. Biogas production from municipal solid waste using integrated rotary drum and anaerobic phased solid digester system (用集成转鼓和厌氧相固体消化器系统从城市固体废物生成生物气). Bioresource Technology 101(2010):6374-6380.
- [0215] 上面参考的文献通过引用纳入本文以用于所有目的。

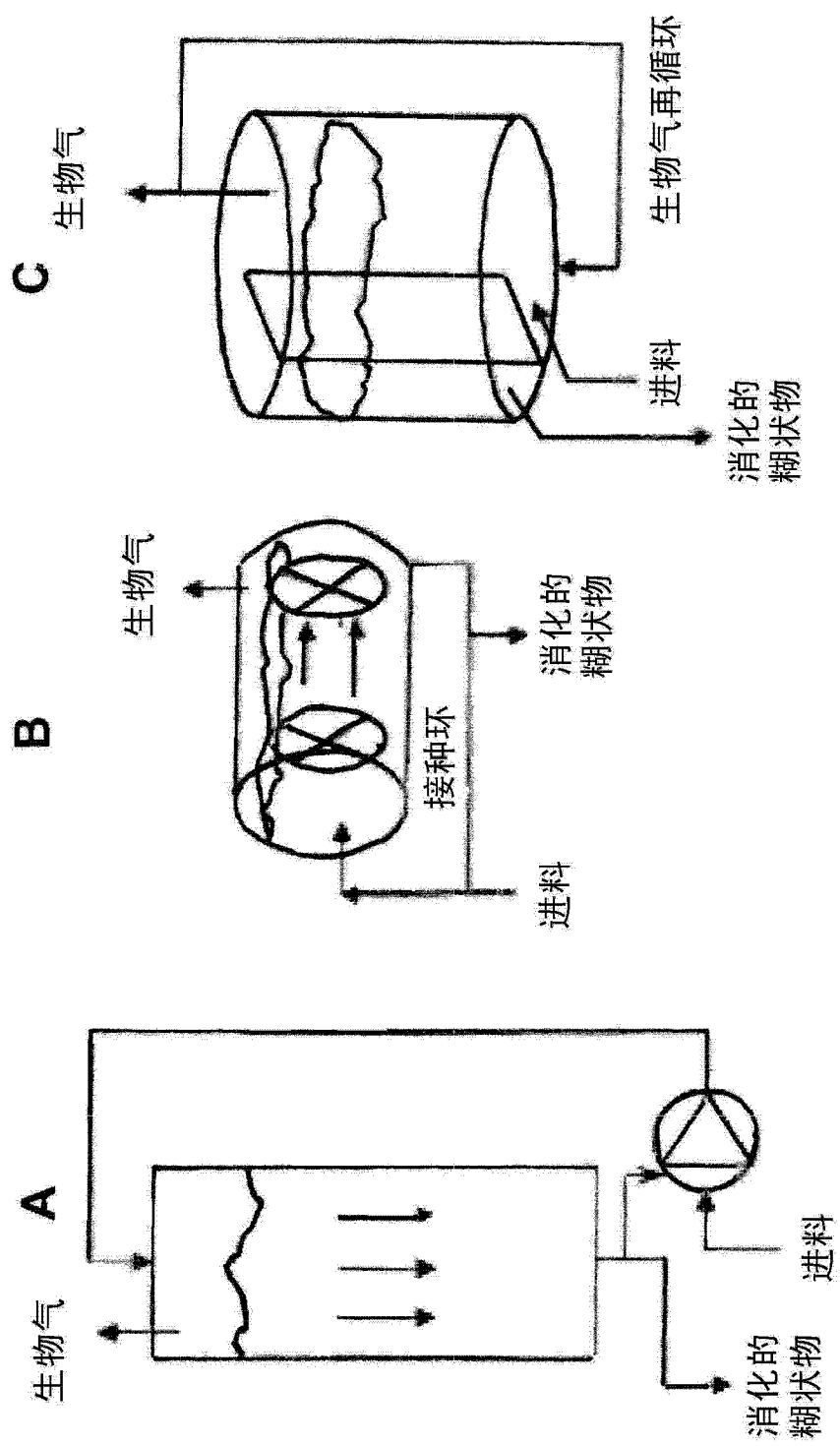


图 1

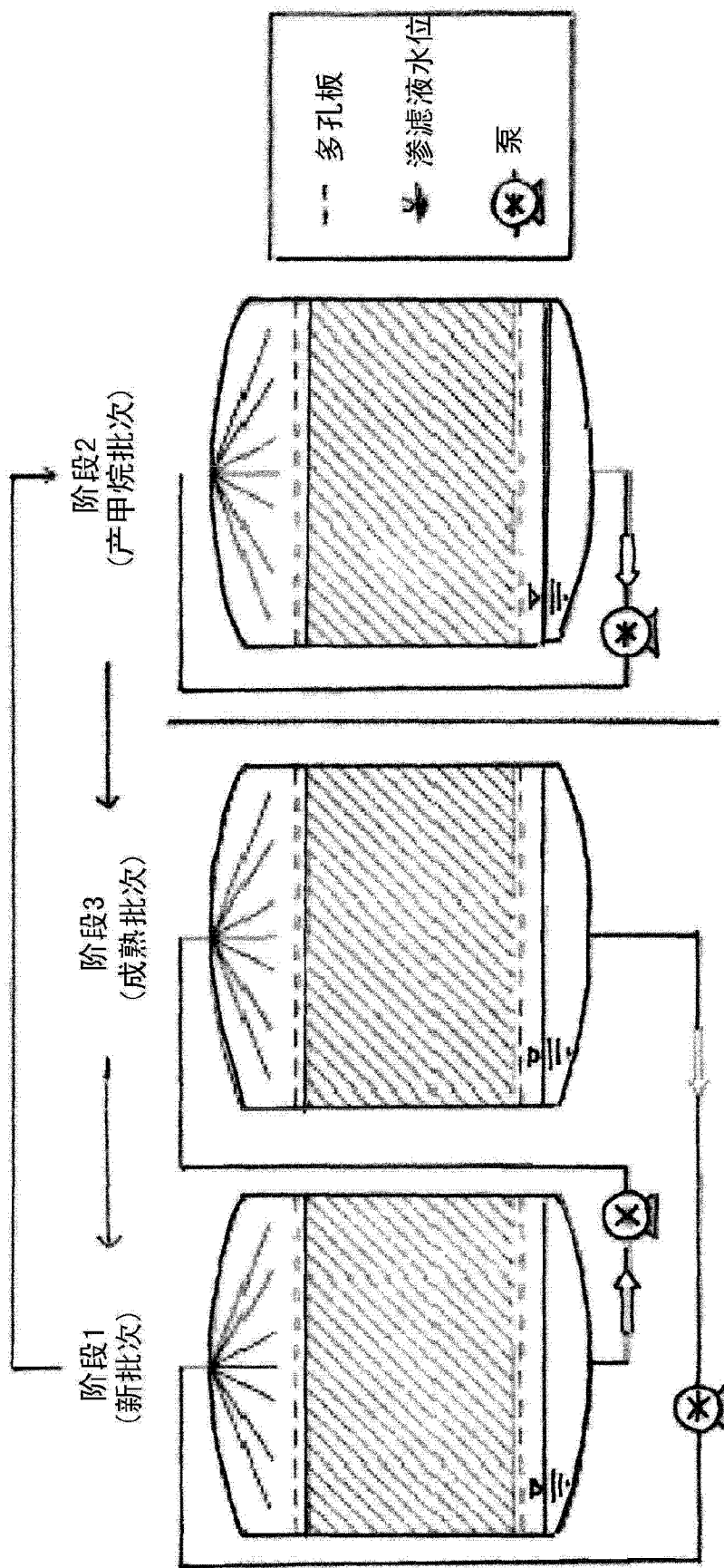


图 2

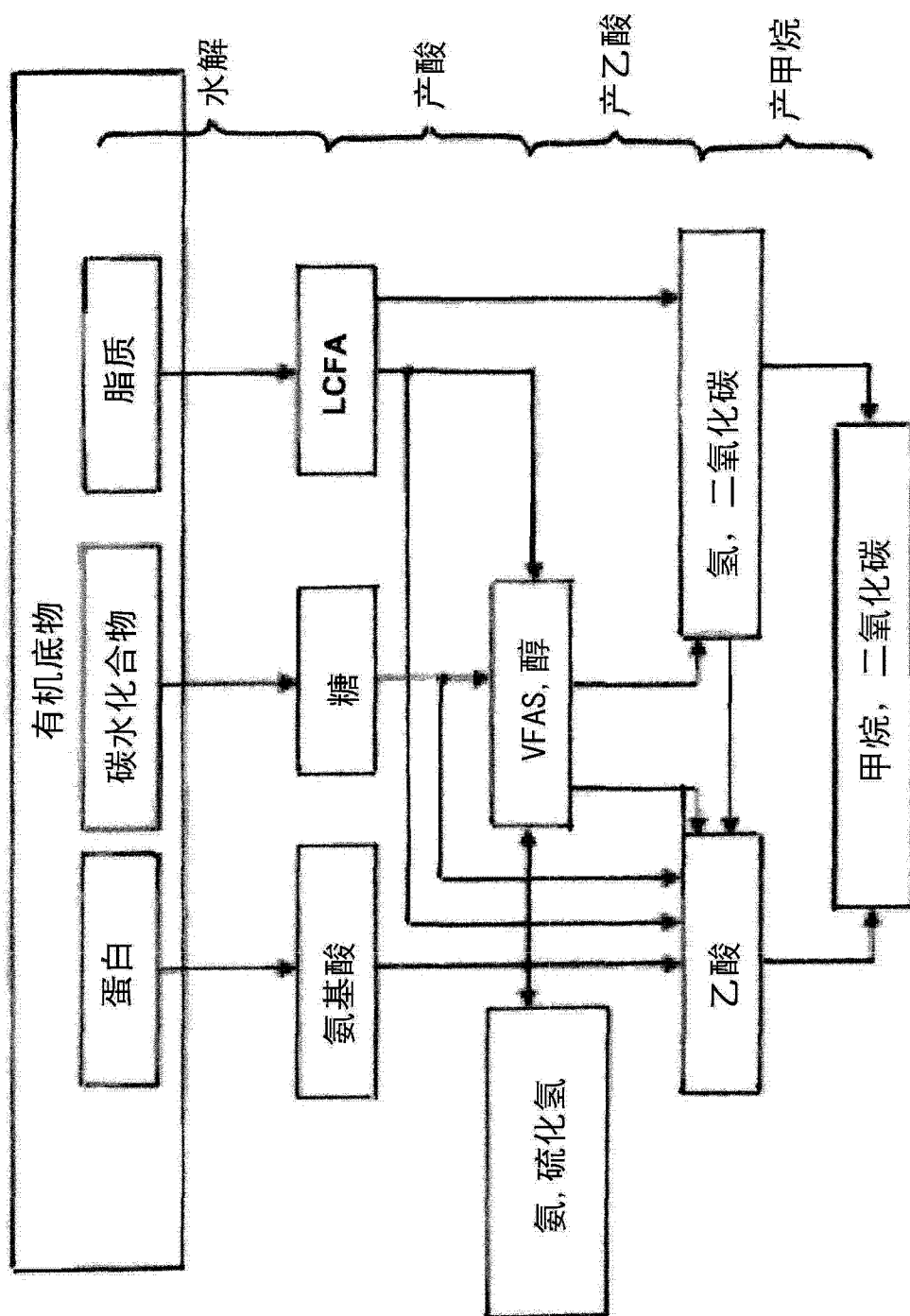


图 3

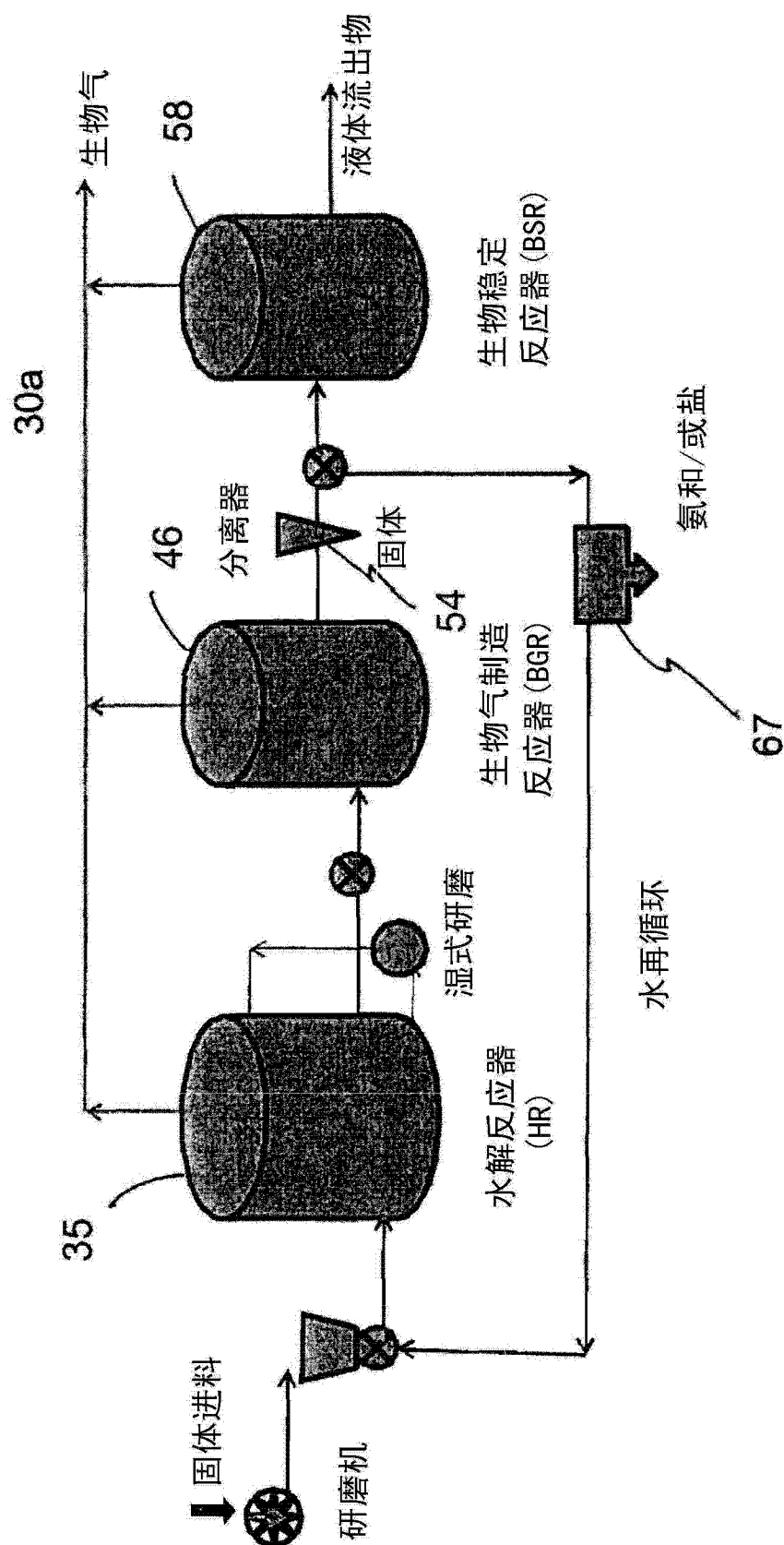


图 5

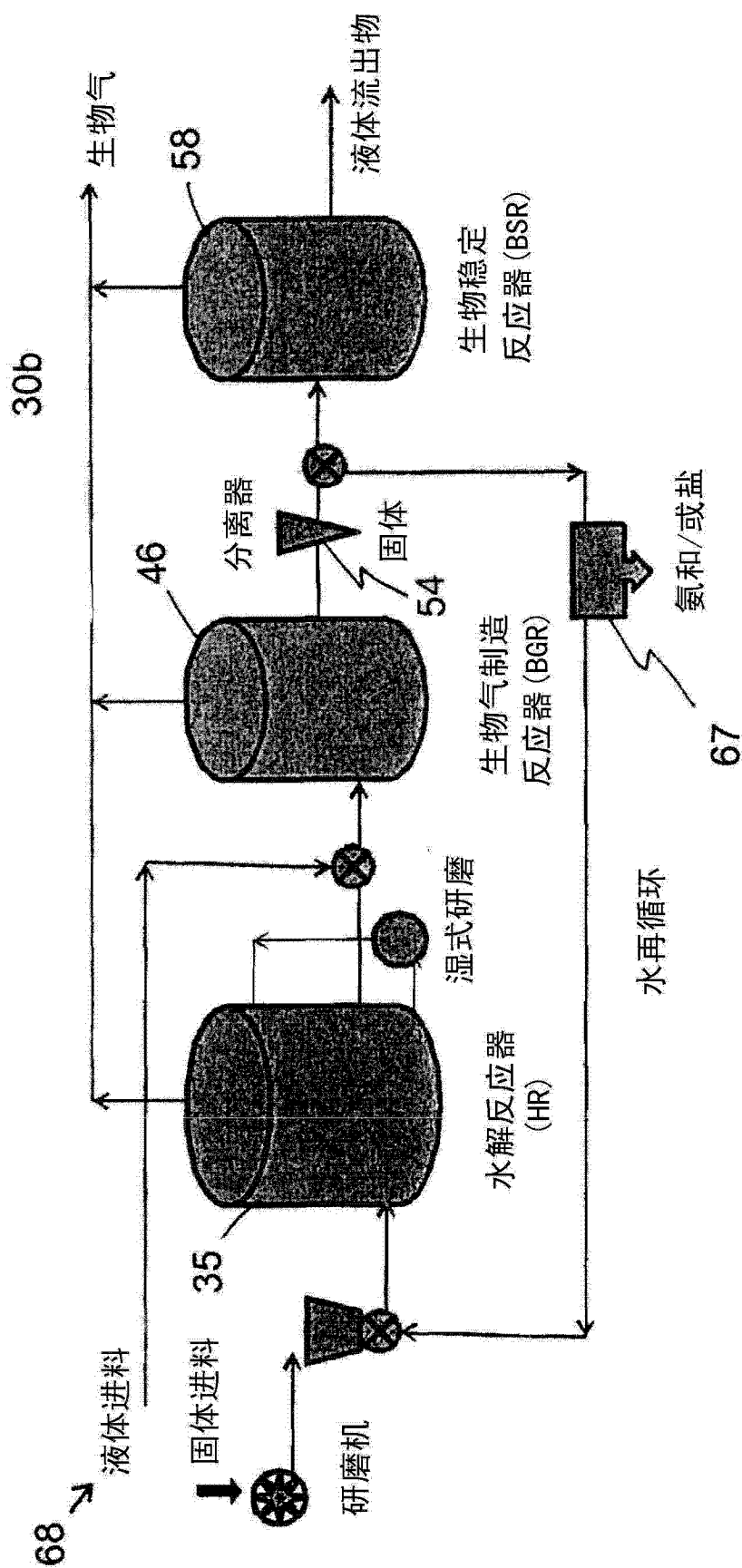


图 6

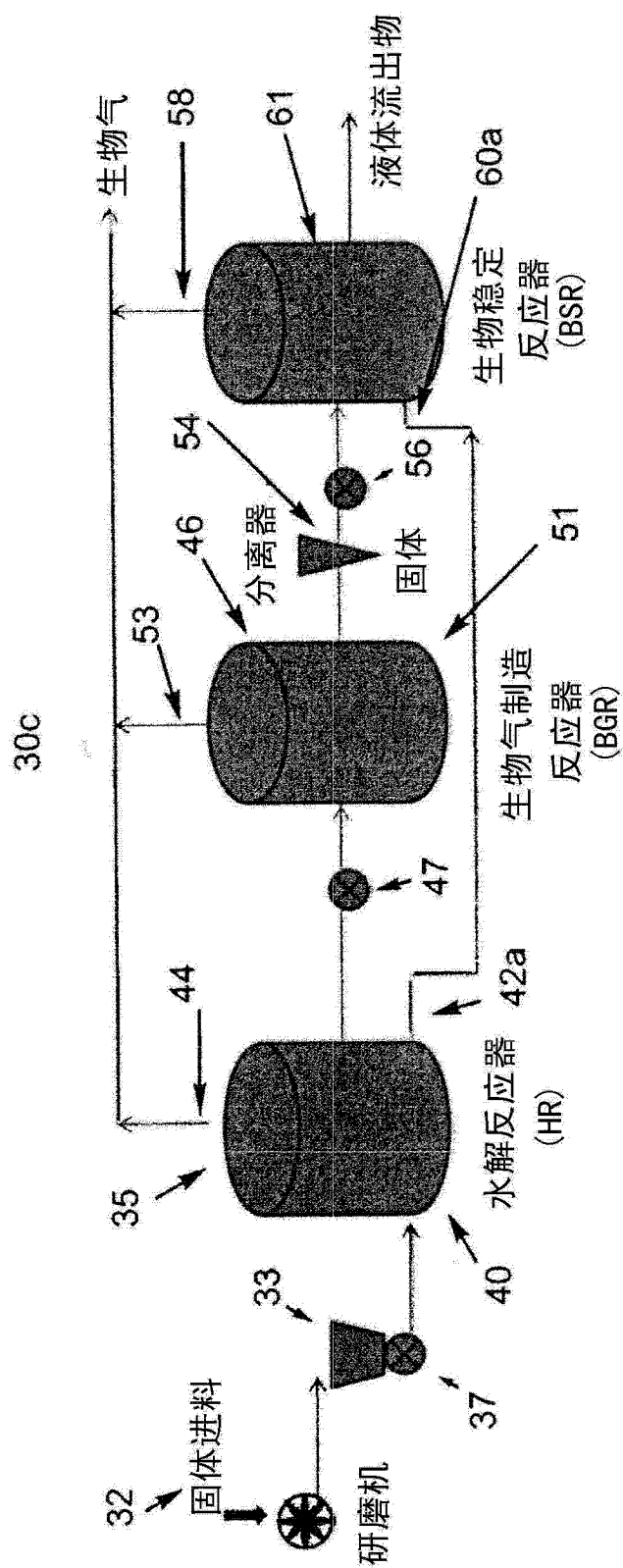


图 7

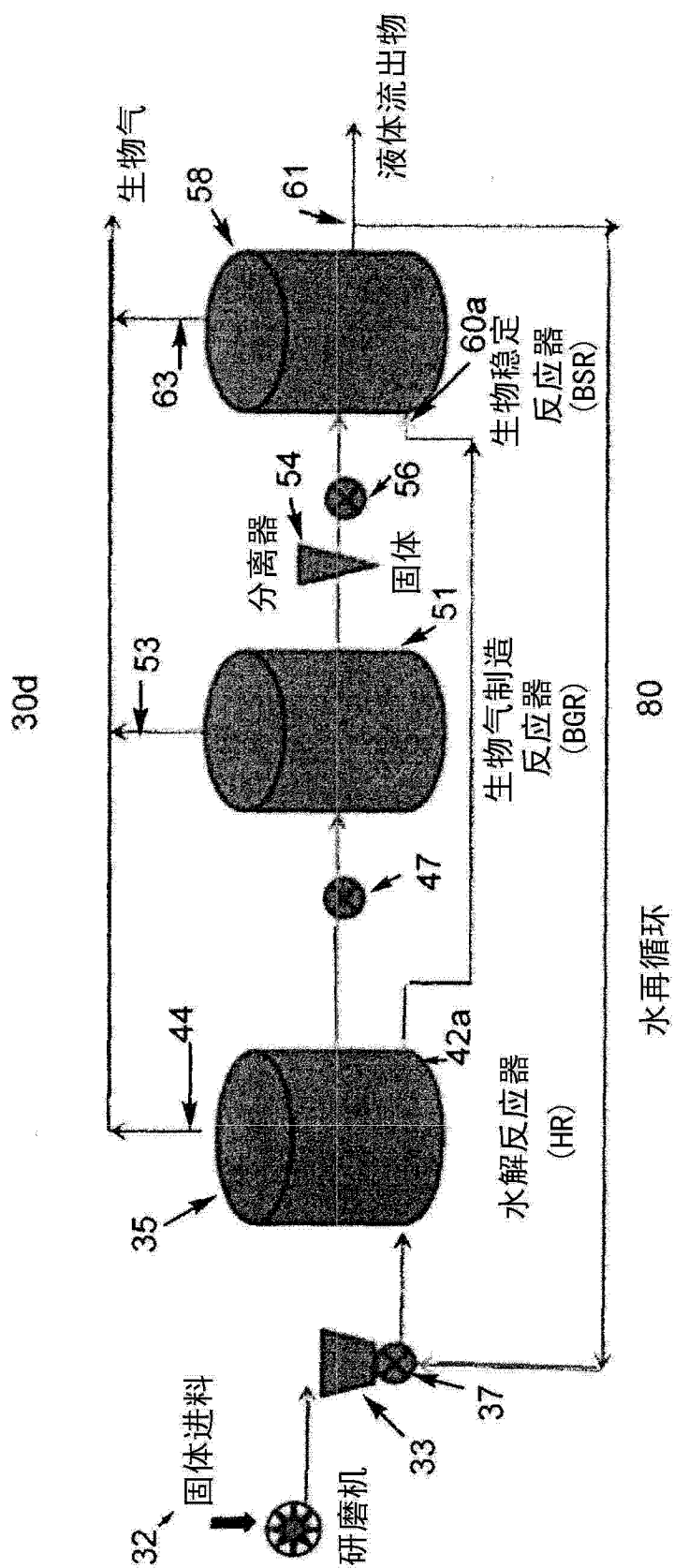


图 8

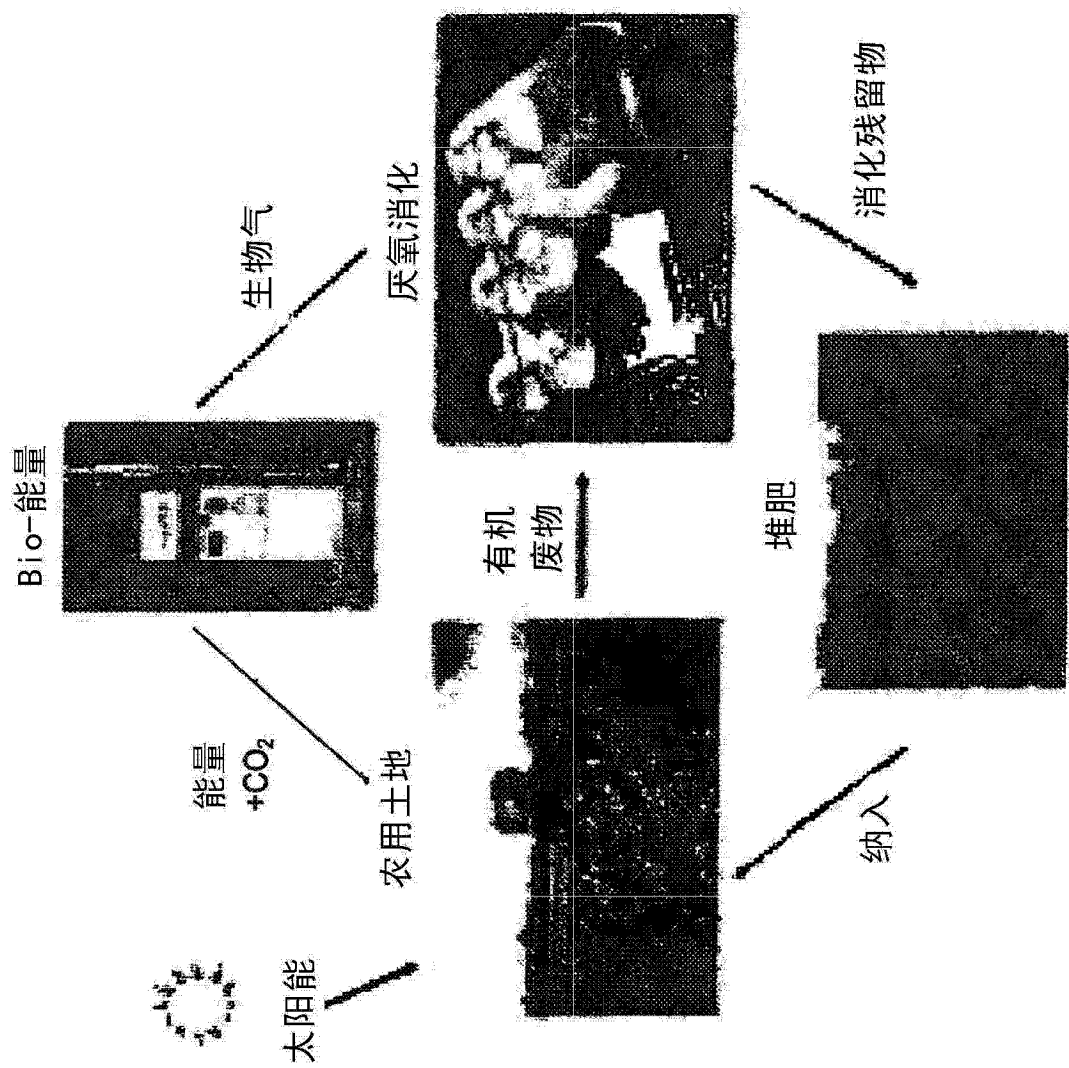


图 9