



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I854813 B

(45)公告日：中華民國 113 (2024) 年 09 月 01 日

(21)申請案號：112133198

(22)申請日：中華民國 112 (2023) 年 09 月 01 日

(51)Int. Cl.：

A01G9/26 (2006.01)

B09C1/10 (2006.01)

H01M8/16 (2006.01)

H01M4/86 (2006.01)

(71)申請人：國立清華大學(中華民國) NATIONAL TSING HUA UNIVERSITY (TW)

新竹市光復路二段 101 號

(72)發明人：林曜宇 LIN, YAO-YU (TW)；李欣恬 LI, HSIN-TIEN (TW)；蘇姮倓 SU, HENG-AN (TW)；劉姿吟 LIU, TZU-YIN (TW)；陳翰儀 CHEN, HAN-YI (TW)

(74)代理人：葉璟宗；卓俊傑

(56)參考文獻：

TW 202105815A

TW 202220261A

審查人員：彭裕志

申請專利範圍項數：12 項 圖式數：7 共 26 頁

(54)名稱

植物微生物燃料電池

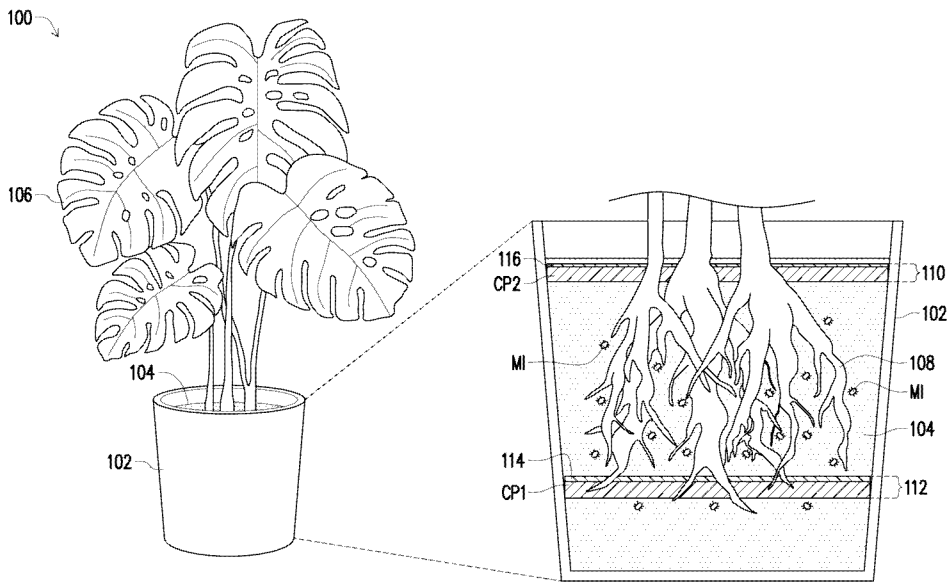
(57)摘要

一種植物微生物燃料電池，包括植栽容器、植物、正極（cathode）與負極（anode）。植栽容器內部具有培養介質，所述培養介質內具有微生物群。植物則是種植於植栽容器的培養介質中。正極設置於所述培養介質的表面，負極設置於所述培養介質中接近植物的根部。所述負極包括以咖啡渣製備的多孔碳材，因此植物微生物燃料電池整體成本可大幅降低，且上述多孔碳材易於加工並具有高生物相容性。

A plant microbial fuel cell includes a planting container, a plant, a cathode and an anode. The planting container has a culture medium therein, and a microbial population is in the culture medium. The plant is grown in the culture medium in the planting container. The cathode is disposed on a surface of the culture medium, and the anode is arranged in the culture medium close to roots of the plant. The anode includes a porous carbon material prepared from coffee grounds, and thus the overall cost of the plant microbial fuel cell can be greatly reduced, and the porous carbon material is easy to process and has high biocompatibility.

指定代表圖：

- 符號簡單說明：
- 100:植物微生物燃料電池
 - 102:植栽容器
 - 104:培養介質
 - 106:植物
 - 108:根部
 - 110:正極
 - 112:負極
 - 114、116:多孔碳材
 - CP1、CP2:導電板
 - MI:微生物群



【圖1】



I854813

【發明摘要】

【中文發明名稱】植物微生物燃料電池

【英文發明名稱】PLANT MICROBIAL FUEL CELL

【中文】

一種植物微生物燃料電池，包括植栽容器、植物、正極（cathode）與負極（anode）。植栽容器內部具有培養介質，所述培養介質內具有微生物群。植物則是種植於植栽容器的培養介質中。正極設置於所述培養介質的表面，負極設置於所述培養介質中接近植物的根部。所述負極包括以咖啡渣製備的多孔碳材，因此植物微生物燃料電池整體成本可大幅降低，且上述多孔碳材易於加工並具高生物相容性。

【英文】

A plant microbial fuel cell includes a planting container, a plant, a cathode and an anode. The planting container has a culture medium therein, and a microbial population is in the culture medium. The plant is grown in the culture medium in the planting container. The cathode is disposed on a surface of the culture medium, and the anode is arranged in the culture medium close to roots of the plant. The anode includes a porous carbon material prepared from coffee grounds, and thus the overall cost of the plant microbial fuel cell

can be greatly reduced, and the porous carbon material is easy to process and has high biocompatibility.

【指定代表圖】圖1。

【代表圖之符號簡單說明】

100: 植物微生物燃料電池

102: 植栽容器

104: 培養介質

106: 植物

108: 根部

110: 正極

112: 負極

114、116: 多孔碳材

CP1、CP2: 導電板

MI: 微生物群

【特徵化學式】

無

【發明說明書】

【中文發明名稱】植物微生物燃料電池

【英文發明名稱】PLANT MICROBIAL FUEL CELL

【技術領域】

【0001】 本發明是有關於一種微生物燃料電池（microbial fuel cell，MFC）技術，且特別是有關於一種植物微生物燃料電池（PMFC）。

【先前技術】

【0002】 植物微生物燃料電池技術為利用植物光合作用而形成之含糖養分作為供應來源，提供植物根部附近的微生物群進行分解。在分解含糖養分的反應中會產生電子，因此可透過設置在根部的電極片收集微生物生產之電能，形成自發電系統。

【0003】 然而，植物微生物燃料電池普遍存在輸出功率低的問題。為了提升輸出功率，目前於微生物燃料電池研究領域中，負極材料多為高生物相容性之碳材作為基材並複合成本高昂的高導電奈米材料。

【發明內容】

【0004】 本發明提供一種植物微生物燃料電池，能提高功率密度表現和生物相容性，同時減少所需成本。

【0005】 本發明的一種植物微生物燃料電池包括植栽容器、植物、正極（cathode）與負極（anode）。植栽容器內部具有培養介質，所述培養介質內具有微生物群。植物則是種植於植栽容器的培養介質中。正極設置於所述培養介質的表面，負極設置於所述培養介質中接近植物的根部。所述負極包括以咖啡渣製備的多孔碳材。

【0006】 在本發明的一實施例中，上述正極包括碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。

【0007】 本發明的另一種植物微生物燃料電池包括植栽容器、植物、正極與負極。植栽容器內部具有含微生物群的培養介質，植物則是種植於植栽容器的培養介質中。上述正極設置於培養介質的表面，負極則設置於培養介質中並接近植物的根部，其中正極與負極都包括以咖啡渣製備的多孔碳材。

【0008】 在本發明的所有實施例中，上述負極還可包括一導電板，所述多孔碳材塗佈於所述導電板表面。

【0009】 在本發明的另一實施例中，上述正極還可包括一導電板，所述多孔碳材塗佈於所述導電板表面。

【0010】 在本發明的所有實施例中，上述導電板包括碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。

【0011】 在本發明的所有實施例中，上述多孔碳材是以所述咖啡渣與活化劑的活化重量比例 1:1~1:5 製備的。

【0012】 在本發明的所有實施例中，上述活化劑包括 NaOH、

Na_2CO_3 、 KOH 或 K_2CO_3 。

【0013】 在本發明的所有實施例中，上述培養介質包括水、土壤、或水與土壤。

【0014】 在本發明的所有實施例中，上述植物包括觀葉植物（*foliage plants*）。

【0015】 在本發明的所有實施例中，上述微生物群包括大腸桿菌、腐敗希瓦氏菌、廢水汙泥中或植物生長環境中之多樣性微生物系統。

【0016】 基於上述，本發明以廢棄的咖啡渣製備成高表面積且具備一定導電度之多孔碳材，作為植物微生物燃料電池的電極材料，以取代成本較高的奈米材料，因此能大幅降低成本。同時，本發明利用咖啡渣多孔碳材製成的生物碳電極，塗佈在現有的植物微生物燃料電池中常用的負極(導電)板，不但能改善功率密度表現和生物相容性，同時減少所需成本，並且能實現廢棄物再利用的循環經濟。

【0017】 為讓本發明的上述特徵和優點能更明顯易懂，下文特舉實施例，並配合所附圖式作詳細說明如下。

【圖式簡單說明】

【0018】

圖 1 是依照本發明的一實施例的一種植物微生物燃料電池的示意圖。

圖 2 是製備例 1~4 的咖啡渣多孔碳材的掃描式電子顯微 (SEM) 影像。

圖 3 是製備例 1~4 與比較製備例的 BET 比表面積曲線圖。

圖 4A 是製備例 1~4 與比較製備例的孔徑分布曲線圖。

圖 4B 是製備例 1~4 與比較製備例的微孔 (micropore) 與中孔 (mesopore) 分布曲線圖。

圖 5 是製備例 1~3 與比較製備例的孔徑分布條狀圖。

圖 6 是實驗例 1~4 的植物微生物燃料電池的示意圖。

圖 7 是實驗例 1~4 的植物微生物燃料電池之電流密度與功率密度的曲線圖。

【實施方式】

【0019】 圖 1 是依照本發明的一實施例的一種植物微生物燃料電池的示意圖。

【0020】 請參照圖 1，實施例中的植物微生物燃料電池 100 包括植栽容器 102、種植於植栽容器 102 內部的培養介質 104 中的植物 106、正極 (cathode) 110 與負極 (anode) 112。在一實施例中，上述植物 106 可為觀葉植物 (foliage plants) 或其他適合的植物。植栽容器 102 內部的培養介質 104 可以是水、土壤、或水與土壤。而且，培養介質 104 內具有微生物群 MI，例如包括大腸桿菌、腐敗希瓦氏菌、廢水汙泥中或植物生長環境中之多樣性微生物系統。正極 110 設置於培養介質 104 的表面；舉例來說，

在植栽容器 102 中的培養介質 104 可為水與土壤，且水面高於土壤，所以正極 110 可設置於土壤與水的交界處。但本發明並不限於此，在另一實施例中，正極 110 可自培養介質 104 露出並暴露於空氣中。至於負極 112 是設置於培養介質 104 中並接近植物 106 的根部 108，且負極 112 包括以咖啡渣製備的多孔碳材 114 (下文亦稱為「咖啡渣多孔碳材」)。在一實施例中多，上述多孔碳材 114 是以咖啡渣與活化劑的活化重量比例 1:1~1:5 製備的，其中活化劑例如 NaOH、Na₂CO₃、KOH 或 K₂CO₃。由於使用廢棄的咖啡渣製備成高表面積且具備一定導電度之多孔碳材 114 作為負極 112 的材料，所以可取代傳統成本較高的奈米材料，從而降低成本。而且，咖啡渣多孔碳材製成的生物碳電極具有較佳的生物相容性並且能實現廢棄物再利用的循環經濟。

【0021】在圖 1 中，負極 112 還可包括一導電板 CP1，而多孔碳材 114 是塗佈於導電板 CP1 表面，其中導電板 CP1 例如但不限於碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。正極 110 可以是一導電板 CP2，例如但不限於碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。此外，在導電板 CP2 表面也可塗佈多孔碳材 116，如奈米碳管或活性碳。然而，在另一實施例中，正極 110 可與負極 112 一樣包括使用以咖啡渣製備的多孔碳材 116，可更進一步降低植物微生物燃料電池 100 的成本，且經實驗證明這樣植物微生物燃料電池 100 還是具有優異的功率密度。

【0022】 以下列舉實驗來驗證本發明的實施效果，但本發明並不侷限於以下的內容。

【0023】 〈製備例 1~4〉

【0024】 首先，將廢棄的咖啡渣（coffee waste，CW）在氮氣氣氛下以 450°C 碳化兩小時並球磨，再調配出咖啡渣與活化劑 NaOH 的重量比例分別為 1:0、1:1、1:3 和 1:5 的混合物。然後，在氮氣氣氛下以 800°C 活化前述混合物兩小時，然後經過酸洗與乾燥得到製備例 1（CWAC-0）、製備例 2（CWAC-1）、製備例 3（CWAC-3）、製備例 4（CWAC-5）的咖啡渣多孔碳材。

【0025】 〈比較製備例〉

【0026】 使用商用活性碳（CAC）作為比較。商用活性碳售自泓明石墨，型號G03-Y200-1k。

【0027】 〈SEM 分析〉

【0028】 使用 SEM 觀察製備例 1~4 的表面形貌，得到圖 2。

【0029】 從圖 2 能看出，製備例 1（CWAC-0）表面與其他製備例相比，表面較無孔洞。

【0030】 〈BET 分析〉

【0031】 由於僅由 SEM 表面形貌影像無法得知咖啡渣多孔碳材的孔徑分布及比表面積等材料特徵，因此將製備例 1~3 的活性碳與比較製備例 1 的碳材進行 BET 表面結構分析，得到圖 3 的 BET 比表面積（Specific Surface Area）曲線圖、圖 4A 的孔徑分布曲線圖以及圖 4B 的微孔（micropore）與中孔（mesopore）分

布曲線圖，其中，微孔是指孔徑小於 2 nm、中孔是指孔徑在 2 nm ~ 50 nm 之間。

【0032】從圖 3 可得到，製備例 1 (CWAC-0) 之比表面積為製備例 1~4 中最低，僅為 $10 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，主要原因是此咖啡渣多孔碳材並未經活化過程，因此其表面未出現活化後之孔洞。製備例 2

(CWAC-1) 因為加入活化劑，其比表面積相較於 CWAC-1 有大幅度的上升，為 $988 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，也比商用活性碳 (CAC) 要高。而製備例 3 (CWAC-3)、製備例 4 (CWAC-5) 之比表面積分別為 $2244 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ 及 $2124 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ ，約為 CWAC-1 的兩倍，推測主要原因為活化劑之比例上升，使活化劑能更有效的包覆所有的材料，因此能創造更多活化面，進而增加更多比表面積。

【0033】從圖 4A 可得到製備例 1~4 與比較製備例的孔徑分布都顯示大孔 (macropore) 明顯較少，大孔是指孔徑大於 50 nm。從圖 4B 可得到製備例 2 的微孔量多於中孔量，而製備例 3~4 的中孔量大於微孔量。

【0034】如將圖 4A 的孔徑分布轉換為大孔、中孔與微孔的分布，可得到圖 5。從圖 5 能更直觀地看出製備例 1~4 的中孔量與微孔量差異。

【0035】〈水接觸角量測〉

【0036】首先，將製備例 1~4 的咖啡渣多孔碳材分別與導電助劑 (碳黑) 以及黏結劑 (PVDF) 以重量比例 80:10:10 調配成漿料 (攪拌一天)，再將漿料塗佈於石墨氈表面，作為測試樣品。然

後 5 μl 之去離子水滴到含咖啡渣多孔碳材的塗佈層表面，並觀察水接觸角 θ 。接觸角量測原理為測量上述液滴 5 μl 之去離子水與上述塗佈層表面的角度，當水接觸角 θ 越小時表示塗佈層表面越親水，反之亦然。

【0037】 量測結果分別為製備例 1 (CWAC-0) 的水接觸角為 147°、製備例 2 (CWAC-1) 的水接觸角為 140°、製備例 3 (CWAC-3) 的水接觸角為 112°、製備例 4 (CWAC-5) 的水接觸角為 116°。因此，製備例 3 與製備例 4 具有較佳的親水性。

【0038】 〈片電阻量測〉

【0039】 對上述測試樣品進行四點探針量測。量測結果分別為商用活性碳 (CAC) 的片電阻 (sheet resistance) 為 1386 $\text{m}\Omega\Box^{-1}$ 、製備例 1 (CWAC-0) 的片電阻為 1256 $\text{m}\Omega\Box^{-1}$ 、製備例 2 (CWAC-1) 的片電阻為 1105 $\text{m}\Omega\Box^{-1}$ 、製備例 3 (CWAC-3) 的片電阻為 1042 $\text{m}\Omega\Box^{-1}$ 、製備例 4 (CWAC-5) 的片電阻為 832 $\text{m}\Omega\Box^{-1}$ 。因此，製備例 2~4 具有較佳的導電率。

【0040】 〈實驗例1〉

【0041】 首先，將CAC與導電助劑（碳黑）以及黏結劑（聚偏二氟乙烯(PVDF)）以重量比例80:10:10調配成漿料（攪拌一天），再將漿料塗佈於12 cm×12 cm的石墨氈(厚度5 mm)作為正極，其中正極的一側需裁出一個洞提供植物穿過去。

【0042】 然後，將製備例4 (CWAC-5) 的咖啡渣多孔碳材與導電助劑（碳黑）以及黏結劑（PVDF）同樣以重量比例80:10:10調配成漿

料（攪拌一天），再將漿料塗佈於工作面積為12 cm×12 cm的石墨氈(厚度5 mm)作為負極。

【0043】 接著，使用鈦線穿過正、負極無塗佈的表面，然後以濕地土壤加自來水栽種美人蕉（*Canna indica*）的方式裝設成如圖6所示的植物微生物燃料電池（PMFC），其中負極設置在濕地土壤中並接近美人蕉的根部，正極則設置在濕地土壤與自來水的界面。負極離容器底部約5 cm，正極與負極的距離約7 cm，自來水的水面在正極上方2 cm。

【0044】 〈實驗例2〉

【0045】 採用與實驗例1相同的製備方式，但將CAC改為製備例2（CWAC-1）的咖啡渣多孔碳材。

【0046】 〈實驗例3〉

【0047】 採用與實驗例1相同的製備方式，但將CAC改為製備例3（CWAC-3）的咖啡渣多孔碳材。

【0048】 〈實驗例4〉

【0049】 採用與實驗例1相同的製備方式，但將CAC改為製備例4（CWAC-5）的咖啡渣多孔碳材。

【0050】 〈電池長期測試〉

【0051】 將實驗例 1~4 的 PMFC 轉為閉路模式，使用 1000Ω 之電阻連接正極與負極，並且使用量測儀器量測電阻之跨壓直到閉路電壓（closed circuit voltage，CCV）保持穩定，並且使用 $P=V^2/R$ 公式計算得到相對應之功率密度，以測量長期操作下的電池電壓

（ cell voltage ）以及功率密度（ power density ）。測試期間並不補充營養液。以上實驗皆使用陰極之幾何面積作為標準化依據。

【0052】 於實驗開始後第 10 天待開路電壓穩定後進行長期負載電壓量。詳細來說，以 1000 Ω 外電阻連接 PMFC 之正、負極，並量測外電阻兩端之電壓取得長期負載電壓，並藉由 $P=V^2/R$ 公式計算得到相對應之功率密度。結果可得平均電壓所有參數之長期負載電壓相除了特定幾天外界擾動較不穩定以外，其餘皆可維持穩定輸出在 0.9 伏左右，CWAC-5//CWAC-5 之長期負載電壓略低於 CWAC-1//CWAC-3，而與 CWAC-5//CAC 之表現接近，然而其表現相對穩定，三盆同樣參數之間的表現也相對接近。除此之外，每組參數以咖啡渣活性碳做為正、負極塗佈材料皆能維持負載電壓於 850 mV 至 1200 mV 區間，且維持功率密度於 60 mW m^{-2} 至 70 mW m^{-2} 區間超過 20 天。

【0053】 下表 1 是對實驗例 1~4 的 PMFC 持續測量 40 天的平均值。

【0054】 表 1

實驗例(負極//正極)	平均電壓(mV)	平均功率密度 (mW m ⁻²)
1 (CWAC-5//CAC)	922.9	66.7
2 (CWAC-5//CWAC-1)	933.1	68.3
3 (CWAC-5//CWAC-3)	903.2	64.2
4 (CWAC-5//CWAC-5)	894.6	63.4

【0055】 從表 1 可看出實驗例 2 具有比其他實驗例優異的平均電壓與平均功率密度。

【0056】 〈實驗例5〉

【0057】 採用與實驗例1相同的製備方式，但將CWAC-5改為製備例2（CWAC-1）的咖啡渣多孔碳材。

【0058】 〈實驗例6〉

【0059】 採用與實驗例1相同的製備方式，但將CWAC-5改為製備例3（CWAC-3）的咖啡渣多孔碳材。

【0060】 〈電化學效能〉

【0061】 使用變電阻法量測將實驗例 1、5~6 的 PMFC 的極化曲線、功率密度以及電極電位。於測量極化曲線之前 24 小時將原本閉路之 PMFC 斷路。接著於 24 小時後記錄 PMFC 之開路電壓以及正極、負極相對於參考電極之電位，再將 PMFC 之正極、負極以電阻連接，並且記錄該電阻 20 分鐘後之電阻跨壓以及電極相對於參考電極之電位，再藉由測得之電壓與已知電阻計算得到電流密度與功率密度。

【0062】 待以上電阻測量完成之後，緊接著接上下一個電阻，亦即前後兩電阻間無時間上之間隔。本實驗所使用之測量儀器為 BioLogic potentiostat（恆電位儀）VSP，參考電極為 Ag/AgCl。電阻分別為 3.6、10、51、100、150、200、300、390、1000 及 3900 Ω 。

【0063】 量測結果如圖 7 所示，電流密度及功率密度皆以陰極之

幾何面積計算，其中實驗例 1 (CWAC-5//CAC)之最大電流密度約為 388.2 mA m⁻²，而實驗例 5 (CWAC-1//CAC)與實驗例 6 (CWAC-3//CAC)之最大電流密度分別為 248.8 mA m⁻² 及 300.0 mA m⁻²。實驗例 1、實驗例 5 與實驗例 6 之平均最大功率密度分別為 89.3 mW m⁻²、63.2 mW m⁻²、65.9 mW m⁻²。

【0064】 至於電阻的量測結果顯示在表 2 與表 3。

【0065】 表 2

實驗例(負極//正極)	內部阻抗(Ω)	外部阻抗(Ω)
1 (CWAC-5//CAC)	148.1	166.7
5 (CWAC-1//CAC)	228.9	233.3
6 (CWAC-3//CAC)	185.5	166.7

【0066】 從表 2 可得到，本發明的咖啡渣多孔碳材也能使 PMFC 具有良好的導電度。

【0067】 表 3

實驗例(負極//正極)	內部阻抗(Ω)	負極阻抗(Ω)	外部阻抗(Ω)
1 (CWAC-5//CAC)	148.1	46.2	166.7
5 (CWAC-1//CAC)	228.9	83.1	233.3
6 (CWAC-3//CAC)	185.5	45.7	166.7

【0068】 從表 3 可得到，在內電阻量測中，實驗例 1 有最低的內電阻和負極電阻，此結果有利於整體 PMFC 運作。

【0069】 綜上所述，本發明以廢棄的咖啡渣製備成多孔碳材，作

為植物微生物燃料電池的電極材料，因此能大幅降低成本。同時，通過使用咖啡渣多孔碳材能讓負極更有利於微生物附著，進而使得微生物能夠有效地轉移電子，並且還可以在不需要補充營養液的情況下提供長期電力。

【0070】 本發明利用咖啡渣多孔碳材製成的電極塗佈在現有的植物微生物燃料電池中常用的負極(導電)板，不但能改善功率密度表現和生物相容性，同時減少所需成本，並且能實現廢棄物再利用的循環經濟。本發明的植物微生物燃料電池在操行期間幾乎不會造成污染，因此能成為可持續能源。

【0071】 雖然本發明已以實施例揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何所屬技術領域中具有通常知識者，在不脫離本發明的精神和範圍內，當可作些許的更動與潤飾，故本發明的保護範圍當視後附的申請專利範圍所界定者為準。

【符號說明】

【0072】

100: 植物微生物燃料電池

102: 植栽容器

104: 培養介質

106: 植物

108: 根部

110: 正極

112: 負極

CP1、CP2: 導電板

MI: 微生物群

【發明申請專利範圍】

【請求項1】 一種植物微生物燃料電池，包括：

植栽容器，其內部具有培養介質，所述培養介質內具有微生物群；

植物，種植於所述植栽容器的所述培養介質中；

正極（cathode），設置於所述培養介質的表面；以及

負極（anode），設置於所述培養介質中接近所述植物的根部，其中所述負極包括以咖啡渣製備的多孔碳材，所述多孔碳材內中孔的量多於微孔的量，其中所述微孔的孔徑小於 2 nm，且所述中孔的孔徑在 2 nm ~ 50 nm 之間。

【請求項2】 如請求項1所述的植物微生物燃料電池，其中所述正極包括碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。

【請求項3】 一種植物微生物燃料電池，包括：

植栽容器，其內部具有培養介質，所述培養介質內具有微生物群；

植物，種植於所述植栽容器的所述培養介質中；

正極，設置於所述培養介質的表面；以及

負極，設置於所述培養介質中接近所述植物的根部，其中所述正極與所述負極包括以咖啡渣製備的多孔碳材，所述多孔碳材內中孔的量多於微孔的量，其中所述微孔的孔徑小於 2 nm，且所述中孔的孔徑在 2 nm ~ 50 nm 之間。

【請求項4】 如請求項1或3所述的植物微生物燃料電池，其中所述負極更包括一導電板，所述多孔碳材塗佈於所述導電板的表面。

【請求項5】 如請求項4所述的植物微生物燃料電池，其中所述導電板包括碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。

【請求項6】 如請求項3所述的植物微生物燃料電池，其中所述正極更包括一導電板，所述多孔碳材塗佈於所述導電板的表面。

【請求項7】 如請求項6所述的植物微生物燃料電池，其中所述導電板包括碳布、石墨氈、碳氈、石墨紙、碳紙、石墨刷、碳刷、不鏽鋼網或發泡鎳。

【請求項8】 如請求項1或3所述的植物微生物燃料電池，其中所述多孔碳材是以所述咖啡渣與活化劑的活化重量比例1:1~1:5製備的。

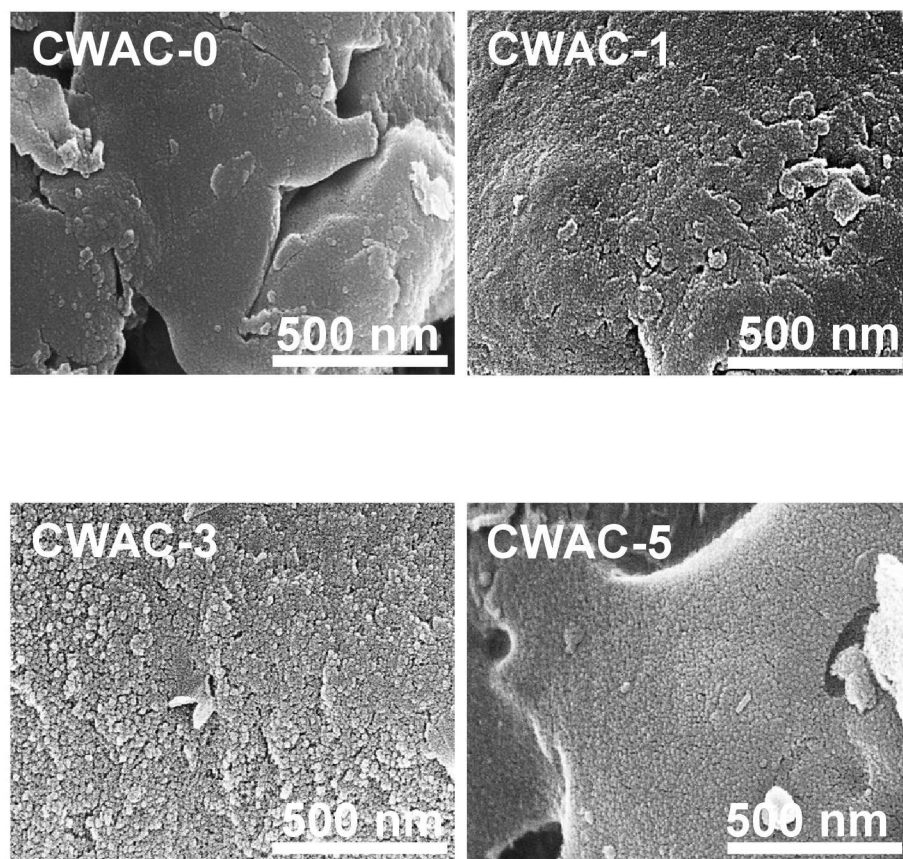
【請求項9】 如請求項8所述的植物微生物燃料電池，其中所述活化劑包括NaOH、Na₂CO₃、KOH或K₂CO₃。

【請求項10】 如請求項1或3所述的植物微生物燃料電池，其中所述培養介質包括水、土壤、或水與土壤。

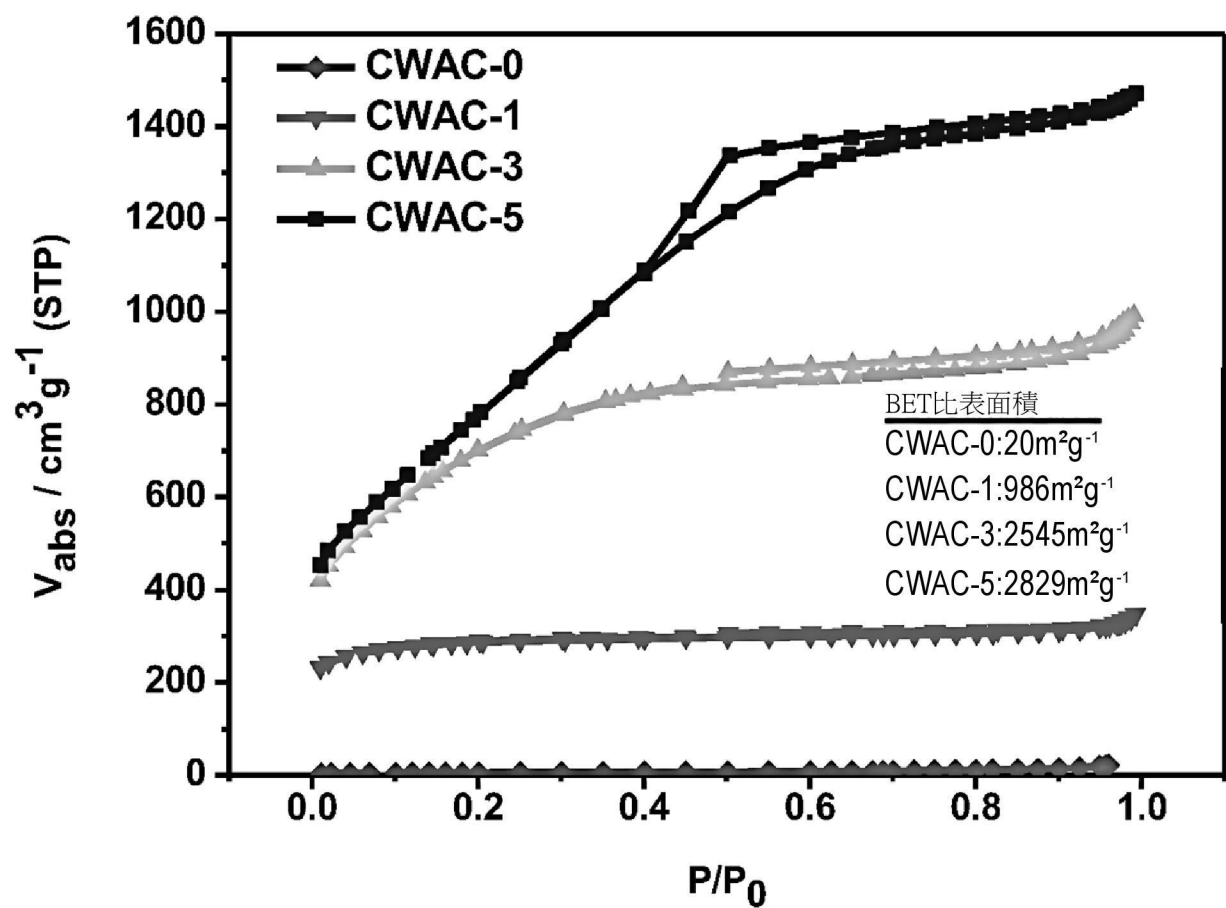
【請求項11】 如請求項1或3所述的植物微生物燃料電池，其中所述植物包括觀葉植物（foliage plants）。

【請求項12】 如請求項1或3所述的植物微生物燃料電池，其中所述微生物群包括大腸桿菌、腐敗希瓦氏菌、廢水汙泥中或植物生長環境中之多樣性微生物系統。

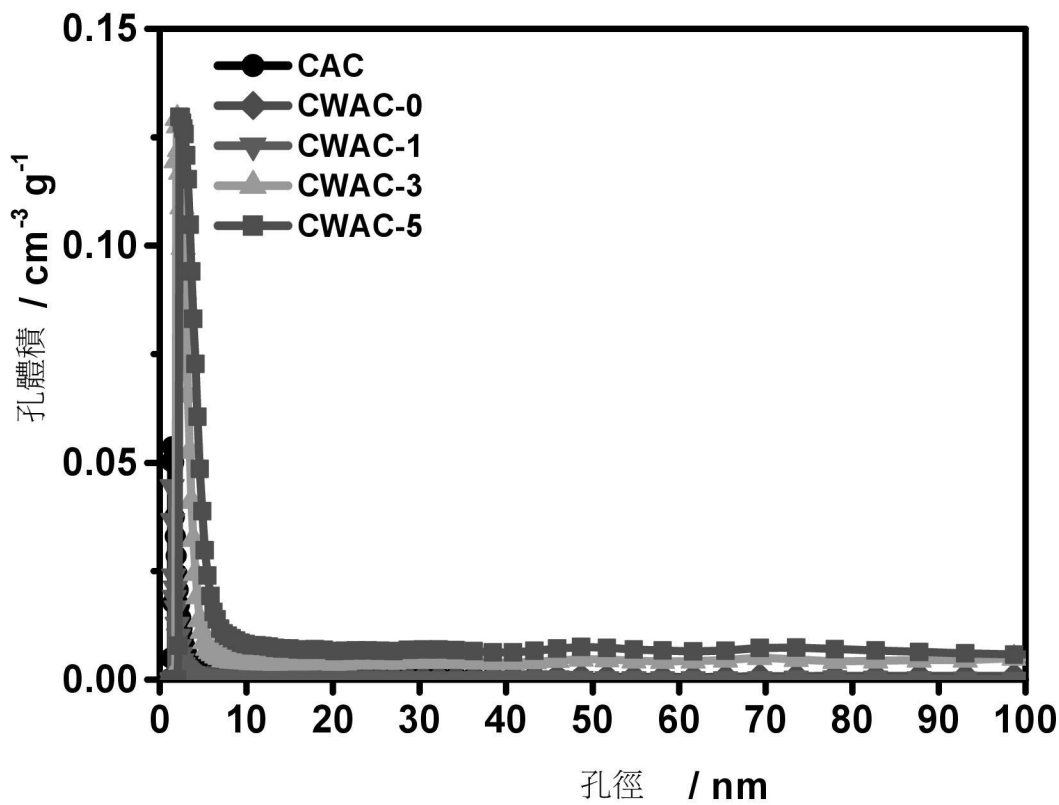




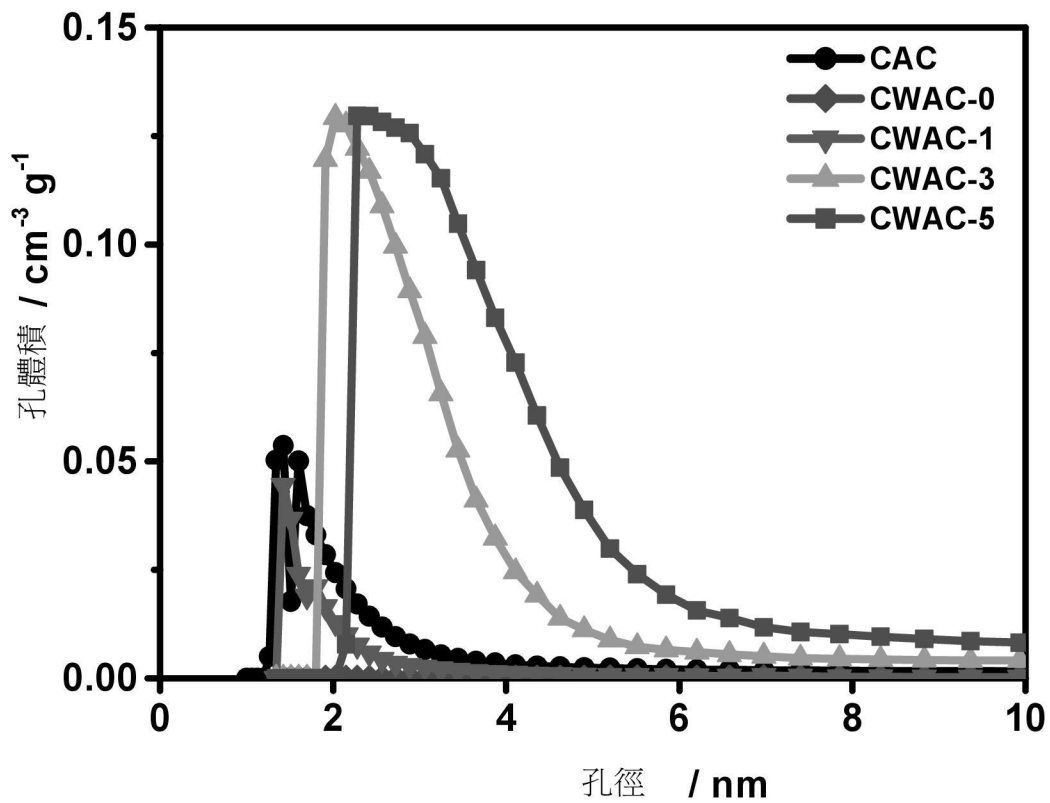
【圖2】



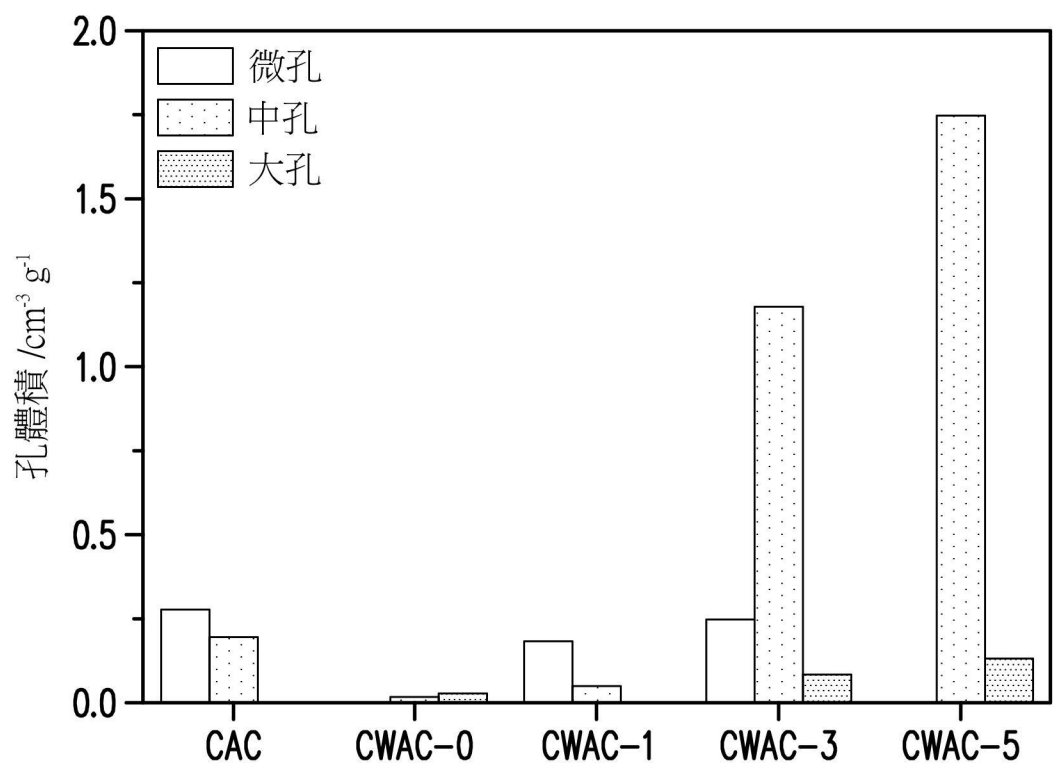
【圖3】



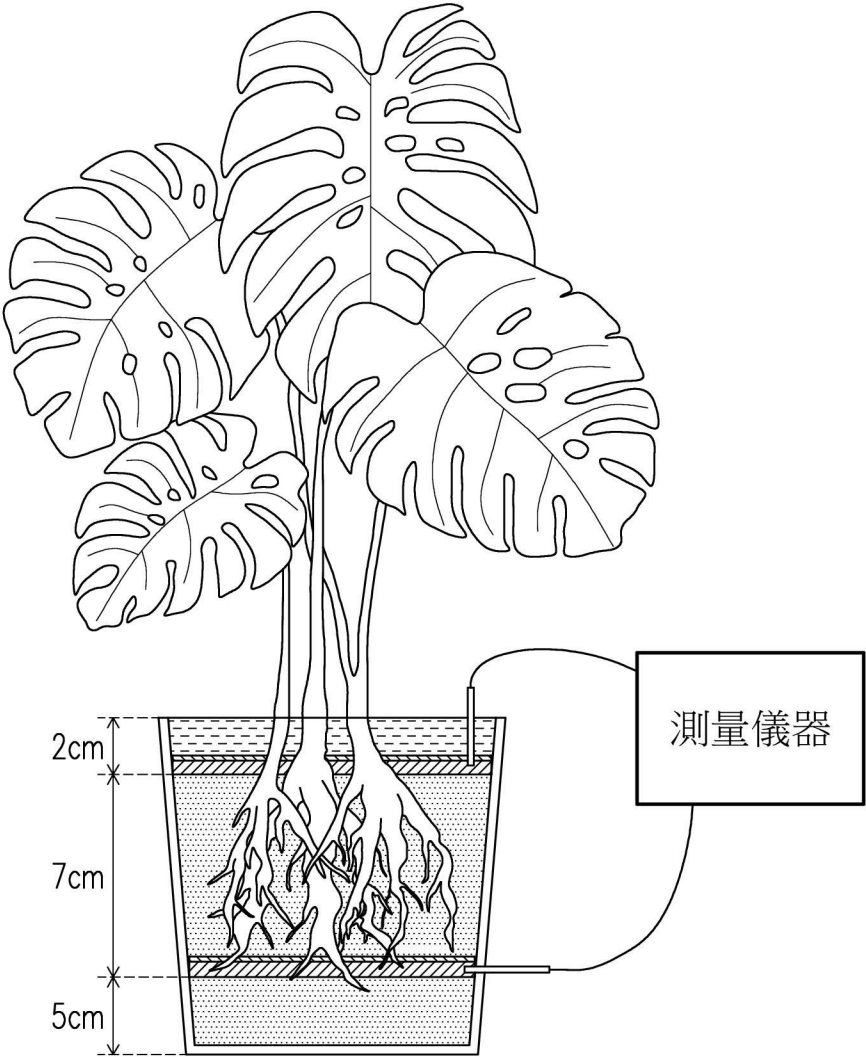
【圖4A】



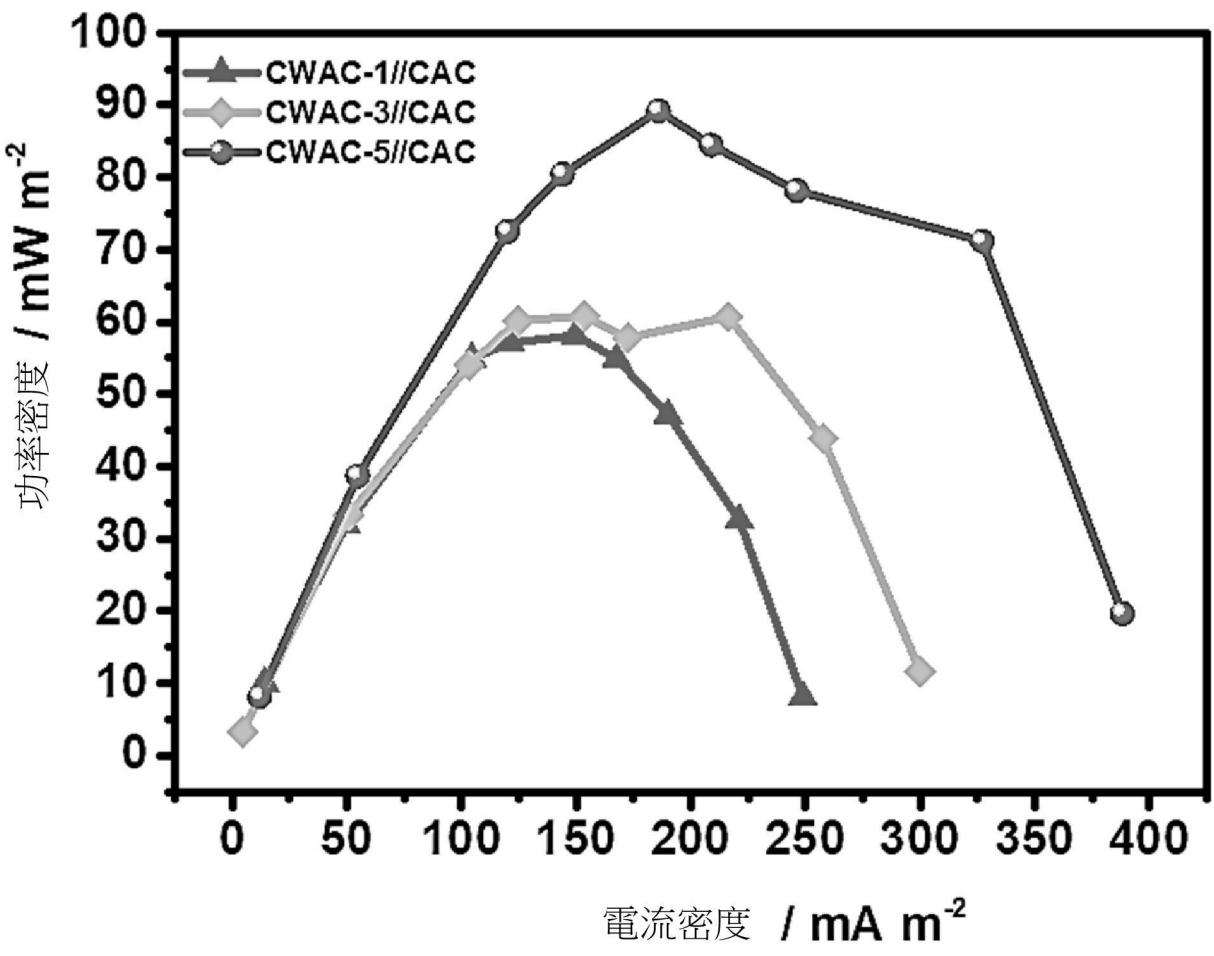
【圖4B】



【圖5】



【圖6】



【圖7】