

研究報告

不同活化溫度孟宗竹活性碳應用於飲用水質之改良

周坤池¹ 盧崑宗¹

【摘要】本試驗係先將孟宗竹利用機械窯在升溫速率 25°C/hr 下，加熱至 500°C，並持溫 1 hr，得到孟宗竹炭，再將其以活化爐在氮氣流量 15 mL/min 下，將竹炭以升溫速率 10°C/min，再通入流量 33 mL/min 之水蒸氣，分別依不同活化溫度 700、900 及 1000°C，活化時間 1 hr，製成活性碳，並與市售活性碳比較其基本性質與分析其應用飲用水質之改善效果。試驗結果發現，活性碳之收率隨活化溫度之升高而降低，真密度、孔隙度、碳元素含量及比表面積均隨活化溫度之升高而增加，但酸鹼值差異不大，活性炭微孔之平均孔隙直徑約 20.0 Å 左右。以竹活性炭處理均可使水質具鹼性，並可溶入高濃度鉀離子，以 900°C 以上活化之竹活性炭才可將水中鈣及鎂離子去除，使硬水或中水變成軟水。孟宗竹活性炭處理後，以較高溫活化溫之活性炭對硝酸態氮的吸附效果較佳，可降低水中硝酸態氮含量。整體而言，孟宗竹竹活性炭對水質較差之地下水的改善效果優於水質較佳之自來水。

【關鍵字】孟宗竹活性碳、活化溫度、飲用水、水質

Research paper

Improvement of Drinking Water Qualities by Using Moso Bamboo Activated Carbon Made from Different Activation Temperatures

Kun-Chi Zhou¹ Kun-Tsung Lu¹

【Abstract】In this study, the moso bamboo charcoals was first obtained using a steel kiln at a heating rate of charcoalization of 25°C/hr for a temperature of 500°C and holding time of 1 hr. Then the activated carbons made from moso bamboo charcoal using a activated furnace under conditions of N₂ inlet flowing rate of 15 mL/min, heating rate of 10°C/min and steam injection flowing rate of 33 mL/min, three different activation temperatures of 700, 900, and 1000°C and activation time of 1 hr were carried out, respectively. The fundamental properties of the activated carbons comparison with commercial one and the improved efficiency of tap and ground drinking water qualities by treated with the moso bamboo activated carbon were examined. The results showed that the yield of activated carbons decreased with increasing activation temperatures, while the solid density, porosity, content of carbon and specific surface area increased with increasing activation temperatures. However, the pH value was not significantly different and the average pore diameter was about 20.0 Å. The results

1. 國立中興大學森林系碩士、教授 (通訊作者)，台中市 402 國光路 250 號

Master, Professor (Corresponding Author), Department of Forestry, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan. 250, Kuo-Kuang Rd. Taichung, Taiwan. E-mail: lukt@nchu.edu.tw

also indicated that the drinking water possessed more alkalinity, more concentration of K^+ was soluble in water after moso bamboo activated carbon treatments. The Ca^{2+} and Mg^{2+} could be removed only by treated with activated carbon made from activation temperature over $900^{\circ}C$, i.e. hard water or moderately hard water would be become to a soft water. The results also found that the activated carbon made from higher activation temperature had superior adsorption efficiency on NO_3^-N . Generally speaking, the improved efficiency of bamboo activated carbon treatments for poor quality of ground water was better than that of the superior quality of tap water.

Key words: Moso bamboo activated carbon, Activation temperature, Drinking water, Water quality.

一、前言

近年來，由於土地的過度開發或不當利用，使得河川污染、水庫優養化等，民生飲用水的環保問題層出不窮，衍生而來的是地下水受重金屬或硝酸態氮等易致癌物的污染，自來水添加過多的氯而使飲水品質不佳，或氯與水中有機物反應產生氯仿等危害健康的物質，因此，飲用水的潔淨與否成爲重大的民生問題。

儘管最近對於飲用水的各種商品化產品琳瑯滿目，眾說紛紜，但使飲用水喝的安全及健康則是大家的共識。在各種水處理法中，過濾是淨化水質的首要工作，目前市場商品化的過濾材質以進口椰殼活性碳爲主，但爲培植國內相關產業之發展，開發本土生產之濾材，也是刻不容緩的課題。

將木、竹材或其他天然材料炭化及活化所得炭材應用於空氣污染物或污水處理，已廣泛受各國之注意並投入相當之研究 (洪崇彬等、2004; Pulido *et al.*, 1998; Lua and Guo, 2000; Ahsan *et al.*, 2001; Chiang *et al.*, 2001; Devi and Dahiya, 2008)；國內竹炭產業在農委會的推廣下，近年已成一種新興的產業，竹炭的功能大家也耳熟能詳，而竹炭是具多樣型態孔隙的多孔性物質，因其具有物理與化學的不同吸附特性，使竹炭成爲具有潛力改善水質的材料；然而，竹材炭化及活化程度的差異，會影響竹炭或活性碳本身官能基的不同，及微孔、中孔與巨孔的分佈，進而影響竹炭的吸附特性 (Abe, *et al.*, 2001 ; Chiang *et al.*, 2001 ; Pulido-

Novicio *et al.*, 2001 ; Mizuta *et al.*, 2004 ; Pastor-Villegas *et al.*, 2006)，因此，如何製造合適的活性碳，使其能吸附水中的各種雜質，使水質淨化，同時能將水分子團加以細緻化，使水更利人體的吸收，讓飲用水變得乾淨健康，值得努力研究的。

又較低溫炭化之竹炭，其孔隙中尚有殘存焦油之疑慮，利用水蒸氣物理活化法進一步將竹炭製成活性碳，除可增加炭材孔隙特性外，更可確保竹焦油去除，而增加炭材之安全性。本研究之目的係探討將孟宗竹炭以水蒸氣活化法，在不同活化溫度下製成活性碳，除分析活性碳之基本性質外，並探討其用於改善自來水及地下水之水質效果，評估孟宗竹活性碳作爲水質濾材之可行性。

二、材料與方法

(一) 試驗材料

1. 竹材：鹿谷鄉產 4-6 年生孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*, moso bamboo)，含水率約 8-10%，剖成尺寸 670 mm × 23 mm × 12 mm 之竹片備用。
2. 水樣品：採用中興大學森林系館之地下水與自來水兩種水質。

(二) 試驗方法

1. 孟宗竹活性碳之製造：利用機械窯在升溫速率 $25^{\circ}C/hr$ 下，將孟宗竹加熱至 $500^{\circ}C$ ，並持溫 1 hr，得到竹炭，再將竹炭磨碎，並以篩網選取 6-8 mesh (2.38-3.36 mm)，利用活化爐在氮氣流量 15 mL/min 下，將竹炭以升

溫速率 10°C/min，再通入流量 33 mL/min 之水蒸氣，分別在不同活化溫度為 700、900 及 1000°C 下，活化 60 min 而得 3 種活性碳，並與市售活性碳(佑瑄有限公司)加以比較，而經 SEM 觀察結果，市售活性碳為椰殼碳。

2. 炭材基本性質分析

(1)收率：竹炭活化後之收率依下式計算之。

$$\text{收率 (\%)} = W_1 \times 100/W_2$$

W_1 ：竹炭活化前之絕乾重 (kg)

W_2 ：竹炭活化後質量 (kg)

(2)元素分析：使用 Elementar vario EL III Heraeus CHNOS Rapid F002 元素分析儀 (Elemental analyzer)，進行碳 (C)、氫 (H)、氮 (N)、硫 (S) 等含量分析，並依下式計算試樣氧 (O) 含量的重量百分比。

$$O (\%) = 100 - (C + H + N + S)$$

(3)密度與孔隙度：取適當大小之活性炭，秤取其於空氣中的重量 (W_{air})，接著再將試樣沒入蒸餾水中，超音波震盪器震盪 10 sec 去除表面氣泡後取出，秤取其於水中的重量 (W_{water})，利用下式求出試樣之視密度 (Apparent density, ρ_a)。

$$\rho_a = W_{\text{air}} \times \rho_0 / (W_{\text{air}} - W_{\text{water}})$$

ρ_a ：試樣視密度 (g/cm³)

W_{air} ：試樣在空氣中之重量 (g)

W_{water} ：試樣在水中之重量 (g)

ρ_0 ：25°C 水之密度 (g/cm³)

真密度 (True relative density, ρ_s) 之測定使用 Micromeritics Accupyc1330 真密度測定儀，利用氮氣置換試樣內部孔隙體積，計算出試樣之實質體積，在已知質量的情況下即可求得試樣之真密度，或稱實質密度 (Solid density)。接著利用下式便可計算出試樣之孔隙度 (Porosity, ε)。

$$\varepsilon (\%) = (\rho_s - \rho_a) \times 100/\rho_s$$

ε ：試樣孔隙度 (%)

ρ_s ：試樣真密度 (g/cm³)

ρ_a ：試樣視密度 (g/cm³)

(4)酸鹼值：依據 CNS698 (1965) 工業用活性碳 (粉狀) 檢驗法，測定活性炭之酸鹼值，即將試料 1 g 置入圓底燒瓶並加入新煮沸之蒸餾水 30 mL，於瓶上裝置迴流冷凝器，煮沸 5 min，待冷卻靜置澄清，取上部澄清液，以 Suntex SP-701 pH meter 測定之。

(5)比表面積與微孔隙：將試片以 100°C 真空烘箱乾燥 1 星期，之後再於 200°C 下利用氮氣除去雜質，以 Micromeritics ASAP2000 試驗儀於 0.18-0.52 之不同相對壓力下，以氮吸附等溫曲線 (Nitrogen adsorption isotherms) 及 ASP2000 Micropore Analysis 軟體，分別利用 BET 與藍牟爾 (Langmuir) 公式計算比表面積，並以 Dubinin-astakhov (D-A) 公式計算微孔表面積及微孔體積，再由 BET 公式計算平均孔隙直徑。

3. 水質處理：稱取上述氣乾活性炭 100 g，置於 500 mL 濾水器中，分別將地下水與自來水注滿沖洗 3 次後，固定水量 300 mL，並靜置 10 min 後，將水濾出，進行以下水質分析。

4. 水質分析

(1)導電度：在常溫下，以 Cond 720 型導電度計測定之，單位為 $\mu\text{mho/cm}$ 。

(2)酸鹼值：在常溫下，以 Suntex SP-701 pH meter 測定之。

(3)表面張力：在常溫下，以 Kyowa CBVP-A3 表面張力儀測定之，單位為 dyne/cm。

(4)總溶解固體物含量：在常溫下，以 Cond 720 型導電度計測定之，單位 mg/L。

(5)陰、陽離子濃度：將水樣通過 0.45 μm 濾膜 (Gelman-science GN-6) 後，以離子層析儀 (Ion chromatograph, Dionex DX-120, USA) 分析之，陽離子包括 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，陰離子包括 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- -N、 NO_2^- -N 等。

(6)硬度：以 Ca^{2+} 與 Mg^{2+} 濃度計算之，計算

式如下(江漢全, 2005)。

$$\text{Hardness (mg/L as CaCO}_3\text{)} = 2.497 \times \text{Ca (mg/L)} + 4.118 \times \text{Mg (mg/L)}。$$

三、結果與討論

(一) 活性碳之基本性質

將 500°C 炭化之孟宗竹炭, 在活化時間 60 min 下, 比較不同活化溫度之活性碳基本性質, 結果如表 1 所示。活性碳之收率隨活化溫度之升高而降低, 活化溫度 700°C 時收率仍有 90.3%, 但 1,000°C 已降至約 61% 左右; 活性碳之視密度亦隨活化溫度之增加而降低, 活化溫度 1,000°C 時僅 0.15 g/cm³ 且與其他炭材有顯著差異, 又將竹炭以水蒸氣活化後, 真密度隨活化溫度之升高而增加, 700°C 者為 1.64 g/

cm³, 而 1,000°C 者為 2.01 g/cm³, 僅與市售活性碳無顯著差異; 活化溫度升高亦可增加活性碳之孔隙度, 活化溫度 700、900 及 1,000°C 之孔隙度依序為 66.5、85.2 及 92.5%, 以活化溫度 1,000°C 者之孔隙度高於市售活性碳之 86.4%; 又不同活化溫度對活性碳之酸鹼值無顯著差異, 活化溫度 700°C 者 pH 值為 10.2, 而 1,000°C 亦僅增加至 10.3, 又本試驗之市售活性碳 pH 值為 8.0 與其他活性碳有顯著差異。

不同活化溫度活性碳之元素組成如表 2 所示; 不同活化溫度之各元素含量並不一定之規則性, 本試驗以活化溫度 900°C 者有最高之碳及氧元素含量, 最低之氫、氮及硫元素含量, 而市售活性碳則有較低之碳及硫元素含量, 但有較高之氫、氧及氮元素含量。

表 1. 不同活化溫度活性碳之收率與基本性質

Table 1. Yield and fundamental properties of activated carbon prepared at different activation temperatures

活化溫度 (°C)	收率 (%)	視密度 (g/cm ³)	真密度 (g/cm ³)	孔隙度 (%)	pH 值
700	90.3 ^c	0.55 ^c	1.64 ^a	66.5 ^a	10.2 ^b
900	71.6 ^b	0.29 ^b	1.96 ^b	85.2 ^b	10.2 ^b
1000	61.5 ^a	0.15 ^a	2.01 ^c	92.5 ^c	10.3 ^b
商用活性碳	--	0.28 ^b	2.03 ^c	86.4 ^b	8.0 ^a

註: 1. 活化時間 60 min.

2. 同一欄中不同字母表示根據鄧肯氏多重變異分析 (Duncan's multiple range test) 具顯著差異 (P < 0.05)。

表 2. 不同活化溫度活性碳之元素組成

Table 2. Elemental composition of activated carbon prepared at different activation temperatures

活化溫度 (°C)	C (%)	H (%)	O (%)*	N (%)	S (%)
700	90.01 ^b	1.46 ^c	5.46 ^b	0.91 ^b	2.16 ^c
900	92.49 ^d	0.71 ^a	5.94 ^c	0.42 ^a	0.44 ^b
1000	91.13 ^c	1.12 ^b	5.31 ^a	0.90 ^b	1.54 ^d
商用活性碳	86.13 ^a	1.59 ^d	9.97 ^d	2.14 ^c	0.18 ^a

註: 1. 活化時間 60 min.

2. *by difference.

3. 同一欄中不同字母表示根據鄧肯氏多重變異分析 (Duncan's multiple range test) 具顯著差異 (P < 0.05)。

不同活化溫度活性碳之比表面積與微孔孔隙如表 3 所示；將 500°C 炭化竹炭在相同活化時間 60 min 下，BET 或藍牟爾比表面積均隨活化溫度之升高而增加，其中 700、900 及 1,000°C 者之 BET 比表面積分別為 388、582 及 644 m²/g 三種活性碳間均有顯著差異；微孔表面積及微孔體積亦隨活化溫度之升高而加大，

但微孔表面積 900°C 及 1,000°C 者並無顯著差異，又以活化溫度 900°C 者之平均孔隙直徑最大，達 19.78 Å；又市售活性碳之 BET 或藍牟爾比表面積、微孔表面積、微孔體積及平均孔隙直徑均高於本試驗之各種製備條件者，其中以比表面積約為 900°C 活性碳者之 2 倍左右。

表 3. 不同活化溫度活性碳之比表面積與微孔孔隙

Table 3. Surface area and micropore of activated carbon prepared at different activation temperatures

活化溫度 (°C)	BET 比表面積 (m ² /g)	Langmuir 比表面積 (m ² /g)	微孔表面積 (byD-A) (m ² /g)	微孔體積 (cm ³ /g)	平均孔隙直徑 (Å)
700	388 ^a	514 ^a	475 ^a	0.1716 ^a	18.90 ^a
900	582 ^b	769 ^b	713 ^b	0.2488 ^b	19.78 ^c
1000	644 ^c	851 ^c	751 ^b	0.2726 ^c	19.70 ^b
商用活性碳	1024 ^d	1393 ^d	877 ^c	0.4272 ^d	20.87 ^d

註：同表 1。

(二) 飲用水之水質處理

地下水及自來水以不同活化溫度活性碳處理之水質，分別如表 4、表 5、表 6 及表 7 所示。導電度 (Electrical Conductivity, E. C.) 之大小與水中解離之離子含量有關，本試驗所採

用對照組之地下水及自來水之導電度分別為 402 及 246 μmho/cm，飲用水經活性碳處理後，導電度隨活化溫度之升高而增加，例如，以 1,000°C 活性碳處理者之地下水及自來水導電度分別提高至 1,393 及 1,109 μmho/cm 且與其他活

表 4. 不同活化溫度活性碳處理之地下水水質

Table 4. Quality of ground water after treatment with activated carbon prepared at different activation temperatures

試樣名稱	導電度 (μmho/cm)	pH 值	表面張力 (dyne/cm)	總溶解固體物含量 (mg/L)	硬度 (mg/L as CaCO ₃)
未處理原水	402±10 ^b	6.86±0.00 ^a	73.3±0.0 ^d	219±3 ^a	164±1 ^d
活化 700	811±9 ^c	8.70±0.01 ^c	71.8±0.1 ^a	445±8 ^b	69±4 ^b
溫度 900	1245±12 ^d	9.63±0.00 ^d	71.9±0.0 ^{ab}	690±4 ^c	0±0 ^a
(°C) 1000	1393±8 ^e	9.88±0.01 ^d	72.0±0.1 ^c	1120±8 ^d	0±0 ^a
商用活性碳	362±2 ^a	7.71±0.00 ^b	72.0±0.0 ^{bc}	201±3 ^a	157±3 ^c

註：1. 活化時間 60 min.

2. 同一欄中不同字母表示根據鄧肯氏多重變異分析 (Duncan's multiple range test) 具顯著差異 (P < 0.05)。

表 5. 不同活化溫度活性炭處理之自來水水質

Table 5. Quality of tap water after treatment with activated carbon prepared at different activation temperatures

試樣名稱	導電度 ($\mu\text{mho/cm}$)	pH 值	表面張力 (dyne/cm)	總溶解固體 物含量 (mg/L)	硬度 (mg/L as CaCO_3)
未處理原水	246 \pm 5 ^a	7.35 \pm 0.00 ^a	73.0 \pm 0.3 ^c	138 \pm 1 ^a	106 \pm 1 ^c
活化 700	480 \pm 4 ^b	8.71 \pm 0.01 ^b	72.3 \pm 0.3 ^a	272 \pm 7 ^b	108 \pm 1 ^c
溫度 900	764 \pm 4 ^c	9.70 \pm 0.01 ^c	72.6 \pm 0.1 ^{abc}	409 \pm 10 ^c	34 \pm 2 ^b
($^{\circ}\text{C}$) 1000	1109 \pm 3 ^d	9.92 \pm 0.00 ^c	72.7 \pm 0.0 ^{bc}	605 \pm 6 ^d	17 \pm 1 ^a
商用活性炭	250 \pm 4 ^a	8.15 \pm 0.00 ^b	72.5 \pm 0.1 ^{ab}	135 \pm 2 ^a	107 \pm 2 ^d

註：如表 4。

表 6. 不同活化溫度活性炭處理水質之陽離子含量

Table 6. Cation content of water after treatment with activated carbon prepared at different activation temperatures

試樣名稱	地下水 (mg/L)			
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
未處理原水	13.10 \pm 0.02 ^d	1.61 \pm 0.02 ^a	40.96 \pm 0.02 ^d	15.03 \pm 0.01 ^d
活化 700	11.90 \pm 0.02 ^a	163.90 \pm 0.02 ^b	14.30 \pm 0.02 ^b	8.20 \pm 0.02 ^b
溫度 900	13.90 \pm 0.01 ^c	331.00 \pm 0.02 ^c	0.00 \pm 0.00 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
($^{\circ}\text{C}$) 1000	12.70 \pm 0.02 ^c	603.90 \pm 0.03 ^d	0.00 \pm 0.0 0 ^a	0.00 \pm 0.00 ^a
商用活性炭	12.39 \pm 0.01 ^b	1.89 \pm 0.04 ^a	38.28 \pm 0.01 ^c	13.62 \pm 0.04 ^c
試樣名稱	自來水 (mg/L)			
	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
未處理原水	4.68 \pm 0.01 ^a	1.60 \pm 0.02 ^b	28.46 \pm 0.02 ^d	8.59 \pm 0.01 ^d
活化 700	6.12 \pm 0.01 ^c	76.60 \pm 0.02 ^c	26.68 \pm 0.02 ^c	10.15 \pm 0.01 ^c
溫度 900	6.10 \pm 0.01 ^c	174.50 \pm 0.02 ^d	5.20 \pm 0.02 ^b	5.20 \pm 0.01 ^b
($^{\circ}\text{C}$) 1000	6.40 \pm 0.01 ^d	303.00 \pm 0.02 ^c	1.90 \pm 0.02 ^a	2.90 \pm 0.02 ^a
商用活性炭	4.85 \pm 0.03 ^b	1.43 \pm 0.02 ^a	29.62 \pm 0.03 ^e	8.05 \pm 0.01 ^c

註：如表 4。

表 7. 不同活化溫度活性碳處理水質之陰離子含量

Table 7. Anion content of water after treatment with activated carbon prepared at different activation temperatures

試樣名稱		地下水 (mg/L)			
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N
未處理原水		10.90±0.02 ^b	31.40±0.01 ^a	10.70±0.01 ^d	0.00±0.00 ^a
活化	700	13.82±0.02 ^e	56.50±0.02 ^c	11.75±0.02 ^e	0.39±0.02 ^c
溫度	900	12.15±0.02 ^d	56.80±0.02 ^e	6.80±0.02 ^b	0.87±0.01 ^d
(°C)	1000	11.55±0.01 ^c	58.30±0.01 ^d	6.24±0.01 ^a	1.11±0.02 ^e
商用活性碳		10.01±0.01 ^b	49.06±0.01 ^a	8.29±0.02 ^c	0.30±0.02 ^b
試樣名稱		自來水 (mg/L)			
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N
未處理原水		5.30±0.01 ^b	42.32±0.01 ^e	3.20±0.01 ^c	0.00±0.00 ^a
活化	700	6.32±0.02 ^e	42.30±0.02 ^d	3.95±0.02 ^e	0.10±0.02 ^b
溫度	900	6.21±0.01 ^d	41.30±0.02 ^b	3.37±0.02 ^d	0.30±0.02 ^d
(°C)	1000	5.99±0.01 ^d	41.80±0.01 ^c	3.10±0.01 ^b	0.30±0.01 ^d
商用活性碳		4.29±0.02 ^b	33.25±0.01 ^a	2.27±0.01 ^a	0.19±0.02 ^c

註：如表 4。

性碳者均呈顯著差異，顯示活性碳中之所含之陽離子成分易溶於水中，尤其是鉀離子 (如表 6)；又經相同活性碳處理之地下水導電度高於自來水，除未處理地下水本身陽離子含量較自來水高外，由表 6 中得知地下水之陽離子濃度高於自來水者所致；又市售活性碳過濾之地下水與自來水之導電度僅 362 及 250 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ ，由表 6 中可知其陽離子含量尤其鉀離子濃度較少所致。又根據美國飲用水質之標準，導電度須在 50-1500 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 之間，本試驗活性碳處理之水質可合乎此標準。

在酸鹼值方面，本試驗地下水質偏弱酸，pH 值為 6.86，自來水偏弱鹼，pH 值為 7.35，又地下水及自來水以較高溫活化之活性碳處理後，酸鹼值更高，900 及 1000°C 處理者，pH 值均高達 9.50 以上且與其他炭材有顯著差異。

而市售活性碳處理者，pH 值較偏中性。pH 值過低時，會造成配水系統中管線腐蝕，使水質中鉛、銅、鋅等重金屬含量過高，pH 值過高 (> 8.5) 時，會造成消毒效率降低，且會有苦味及管垢產生之困擾，故在健康上 pH 值影響屬間接性，根據我國飲用水現行標準，pH 值限值 6.0~8.5 之間。本試驗之 pH 值偏高，此係活性碳用量過多所致。

又本試驗所採用之地下水及自來水之表面張力分別為 73.3 及 73.0 dyne/cm，經活性碳處理後均下降，顯示孟宗竹活性碳處理可將水分子團細緻化，應有利於人體之吸收，又不同活化溫度活性碳處理水質之表面張力，以地下水者下降較多且同活化溫度處理者均與原水有顯著差異，而自來水者些微下降且僅 700°C 者和市售活性碳與未處理者有顯著差異。又如表 3

所示，活性碳微孔隙直徑愈小者，處理後水質之表面張力有愈低之趨勢。

總溶解固體物 (Total dissolved solids, TDS) 亦即濁度，是多種物質之總稱，主要包括碳酸氫根離子、氯鹽、硫酸鹽、鈣、鎂、鈉、鉀等無機鹽及少量可溶性之有機物質；飲水中總溶解固體量對於患病率及死亡率並無明顯之直接關聯，總溶解固體主要影響在味覺口感方面，低於 600 mg/L 之水質口感最佳；又活性碳處理之水質總溶解固體物均提高，且隨活化溫度之升高而增加，主要仍是碳材中之鉀離子溶出所致 (如表 6)，又相同條件之活性碳處理者，自來水之總溶解固體物低於地下水者，且除 1000°C 活性碳者稍高於為 605 mg/L 外，其餘均合乎我國現行飲用水水質標準為 500 mg/L 以下。

水中之多價陽離子 (Multivalent cations) 是導致水具有硬度 (Hardness) 的主要原因，多價陽離子中，尤以鈣與鎂離子為天然水中之主要陽離子，當水硬度大於 150 mg/L as CaCO₃，就稱為硬水 (Hard water)，對飲用水而言，口感不佳，易形成鍋垢，我國現行飲用水水質標準硬度限值為 150 mg/L as CaCO₃；本試驗之地下水硬度為 164 mg/L as CaCO₃，屬於硬水，自來水為 106 mg/L as CaCO₃，屬於中水 (Moderately hard water, 50-150 mg/L as CaCO₃)。由表 6 中可知，地下水之未處理水質之鈣及鎂離子分別為 40.96 及 15.03 mg/L，經孟宗竹活性碳處理後，除 700°C 竹炭處理之地下水鈣及鎂離子降為 14.30 及 8.20 mg/L，亦即地下水由硬水 (164 mg/L as CaCO₃) 變為中水 (69 mg/L as CaCO₃) 外，以 900°C 以上高溫活化之孟宗竹活性碳才能將硬水或中水變成軟水 (Soft water, < 50 mg/L as CaCO₃)，亦即才能將水中鈣及鎂離子完全去除 (如表 6)，而自來水質處理亦有相同現象，但其改善效果似乎不如地下水，但仍以高溫活化 (900°C 以上) 者才具此效果，其原因除了高溫活化具較大比表面積外，主要歸因於較高溫度活化之竹活性碳表面

金屬所形成之金屬氧化物，對溶液中之離子具有獨特吸附性所致 (Dong *et al.*, 2000; Manju *et al.*, 2002)，而市售椰殼活性碳則無此效果。又地下水之鈉離子濃度高於自來水者，經活性碳處理後，兩種水之鈉離子濃度均與原水者雖有統計上之差異，但均相差不大；反而鉀離子濃度隨活化溫度之增加而提高，尤其地下水者增加最多，此係竹活性碳中所含之鉀大量解離溶出所致，又活化溫度高者之相對鉀含量愈多，因此經此處理者，鉀離子濃度則較高，又鉀離子對人體之助益優於鈉離子。

在陰離子方面如表 7 所示；水中之氯離子 (Cl⁻) 為水及廢水中主要之陰離子之一，水中氯鹽含量較高時，水帶有鹹味，當主要陽離子為鈉離子時，氯鹽達 250 mg/L 即有鹹味，然而，若主要陽離子為鈣與鎂離子時，即使氯鹽含量高達 1000 mg/L 亦不覺得有鹹味；根據我國飲用水及灌溉用水之水質標準，氯鹽濃度限值 250 mg/L。本試驗未處理水質之地下水和自來水氯離子分別為 10.90 和 5.30 mg/L，地下水和自來水經孟宗竹活性碳處理後其氯離子含量均增加，但隨活化溫度之增加而稍微降低，氯離子增加的原因可能是活性碳含有 Al、Si、K、Ca、Fe、S、Cl 等元素 (Ahmendna *et al.*, 2000)，地下水和自來水經活性碳處理後之氯離子溶出所致，但活化度愈高者因比表面積大，仍會有吸附作用，因此經其處理者，氯離子含量較低；本試驗不同活化溫度活性碳過濾之水質仍可合乎我國飲用水之氯鹽濃度標準。

原水進行硫酸鹽 (SO₄²⁻) 之分析可瞭解其是否適合公共用水、工業用水及灌溉用水之用途，在溶氧不足情況下，SO₄²⁻ 會還原成 H₂S 和 NH₃ 及 CH₄ 等氣體同時釋出並產生臭味；根據我國飲用水及灌溉用水之水質標準，硫酸鹽限值 250 mg/L，本試驗地下水和自來水之硫酸鹽 (SO₄²⁻) 分別為 31.40 和 42.32 mg/L，地下水經竹活性碳和市售活性碳處理者其硫酸鹽濃度均增加，且隨活化溫度之升高而增加，此可能孟宗竹活性碳含有硫元素，因氧化而溶入水中所

致，又在地下水之溶出量大於活性碳吸附量，因此硫酸鹽濃度較原水者為高；而自來水經竹活性碳處理之硫酸鹽濃度均較原水者為低，且隨活化溫度增加而降低，本試驗竹活性碳過濾之水質仍可合乎我國飲用水標準。

在各國的飲用水水質標準中，一般均訂有硝酸態氮 (Nitrate, NO_3^- -N) 及亞硝酸態氮 (Nitrite, NO_2^- -N) 之限值，認為硝酸態氮為「可能影響健康之物質」，而亞硝酸態氮則屬於「影響適飲性物質」。由於硝酸態氮含量過高的飲用水，已有造成嬰兒罹患「藍嬰症」(Methemoglobinemia) 之病例，故飲用水中硝酸態氮和亞硝酸態氮的測定相當受到重視 (江漢全、2005)。由試驗結果顯示，本試驗地下水和自來水之硝酸態氮含量分別為 10.70 和 3.20 mg/L，地下水經活性碳處理後之硝酸態氮含量均隨活化溫度增加而降低，其中又以 900、1000°C 活化者硝酸態氮含量 (6.80 和 6.24 mg/L) 低於市售活性碳者 (8.29 mg/L)；而自來水方面除 1000°C 者處理之硝酸態氮含量 (3.10 mg/L) 降低外，其他則略高於原水含量。由以上結果顯示，活化溫度愈高之比表面積愈大的活性碳對硝酸態氮的吸附效果愈佳，尤其原水中硝酸態氮濃度愈高者，吸附效果更顯著。又我國飲用水法規標準中硝酸態氮容許上限為 10 mg/L，本試驗除地下水原水及 700°C 活性碳過濾者高於 10 mg/L 外，其他活性碳過濾之水質合乎此標準。又亞硝酸態氮在水以中通常含量少且不多見，本試驗地下水及自來水原水之亞硝酸態氮為 0 mg/L，經竹活性碳及市售活性碳處理後之亞硝酸態氮含量略為增加，此可能竹活性碳中含氮物質經硝化作用 (Nitrification) 氧化成 NO_2^- 所致 (江漢全、2005)。

四、結論

本研究係將孟宗竹炭依不同活化溫度製造活性碳，並分析其應用於地下水及自來水水質之改善效果，試驗結果獲得以下 3 點結論。

(一) 隨活化溫度升高，活性碳之收率降低，但

視密度、真密度、孔隙度、碳元素含量及比表面積均會提高，而酸鹼值則無顯著差異。

(二) 以孟宗竹活性碳處理地下水及自來水等飲用水均可使水質具鹼性，並可溶入高濃度鉀離子，並可使水分子團更細緻化，以 900°C 以上活化之竹活性碳才可將水中鈣及鎂離子去除，使硬水或中水變成軟水。

(三) 孟宗竹活性碳處理後，氯離子、硫酸鹽及亞硝酸態氮易溶入水中，但較高溫活化溫之活性碳對硝酸態氮的吸附效果較佳，可降低水中硝酸態氮含量。

五、引用文獻

- 江漢全著 (2004) 水質分析。三民書局 台北。第 63、91、99、100 頁。
- 洪崇彬、許德仁、王松永、蕭英倫、柯淳涵 (2004) 碳化條件對竹炭室內空氣淨化效能之探討，林產工業 23(3) : 183-197。
- Abe, I., T. Fukuhara, J. Maruyama, H. Tatsumoto and S. Iwasaki (2001) Preparation of carbonaceous adsorbents for removal of chloroform from drinking water. *Carbon* 39: 1069-1073.
- Ahmedna, M., W. E. Marshall and R.M. Rao (2000) Production of granular activated carbon from select and agricultural by-products and evaluation of their physical, chemical and adsorption properties. *Bioresource Technol.* 71: 113-123.
- Ahsan, S., S. Kaneco, K. Ohta, T. Mizuon and K. Kani (2001) Use of some natural and waste materials for waste water treatment. *Wat. Res.* 35(15): 3738-3742.
- Chiang, H. L., P. C. Chiang and C. P. Huang (2001) Effect of pore structure and temperature on VOC adsorption on activated carbon. *Carbon* 39(4): 523-534.
- Devi, R. and R. P. Dahiya (2008) COD and BOD removal from domestic wastewater

- generated in decentralized sectors. *Bioresource Technol.* 99: 334-349.
- Dong, D., Y. M. Nelson, L. W. Lion, M. L. Shuler and W. C. Ghiorse (2000) Adsorption of Pb and Cd onto metal oxides and organic material in natural surface coatings as determined by selective extractions: new evidence for the importance of Mn and Fe oxides. *Water Research* 34: 427-436.
- Lua, A. C. and J. Guo (2000) Activated carbon prepared from oil palm stone by one-step CO₂ activation for gaseous pollutant removal. *Carbon* 38(7): 1089-1097.
- Manju, G., N., K. A. Krishnan, V. P. Vinod and T. S. Anirudhan (2002) An investigation into the sorption of heavy metals from wastewaters by polyacrylamide-grafted iron (III) oxide. *Journal of Hazardous Materials B* 91: 221-238.
- Mizuta, K., T. Matumoto, Y. Hatate, K. Nishihara and T. Nakanishi (2004) Removal of nitrate-nitrite-nitrogen from drinking water using bamboo powder charcoal. *Bioresource Technol.* 95: 255-257.
- Pastor-Villegas, J., J. F. Pastor-Valle, J. M. M. Rodríguez and M. G. García (2006) Study of commercial wood charcoals for the preparation of carbon adsorbents. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 76: 103-108.
- Pulido, L. L., T. Hata, Y. Imamura, S. Ishihara and T. Kajimoto (1998) Removal of mercury and other metals by carbonized wood powder from aqueous solutions of their salts. *J. Wood Sci.* 44: 237-243.
- Pulido-Novicio, L., T. Hata, Y. Kurimoto, S. Ishihara and Y. Imamura (2001) Adsorption capacities and related characteristics of wood charcoals carbonized using a one-step or two-step process. *J. Wood Sci.* 47: 48-57.